

О ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕЖИМАХ ПРОИЗВОДСТВА КАТИОННЫХ МЕДЛЕННОРАСПАДАЮЩИХСЯ БИТУМНЫХ ЭМУЛЬСИЯХ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ ПОЛИУРЕТАНОВОЙ КОМПОЗИЦИЕЙ МАС-1111

Никита Сергеевич Леонов

*Донбасская национальная академия строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия,
n.s.leonov@donnasa.ru*

Аннотация. Показано, что одним из эффективных органических вяжущих для производства холодных асфальтополимеробетонных смесей широко используемых для текущего ремонта в неблагоприятных погодных условиях является прямые катионные, модифицированные полиуретановой композицией битумные эмульсии. Установлено, что эффективным способом снижения энергоемкости и экологической безопасности производства дорожных асфальтобетонных смесей является разработка составов и технологий производства медленно распадающейся, стабилизированной эмульгатором Эмбит-М и модифицированной полиуретановым полимером МАС-1111 битумополимерных эмульсий. Определены параметры технологических режимов производства битумополимерной эмульсии. Производство катионной битумополиуретановой эмульсии ведут в диспергаторе при зазоре между зубьями ротора и статора битумоэмульсионной установки 0,2–0,4 мм при скорости вращения ротора 5 800 об/мин. в течении, не менее 60 минут до стабилизации условной вязкости, C_{60}^5 . Приведена схема формирования состава структуры агрегативно и седиментационно устойчивой битумополиуретановой эмульсии.

Ключевые слова: атионные медленнораспадающиеся битумополиуретновые эмульсии, состав, технология производства, свойства

Для цитирования: Леонов Н. С. О технологических режимах производства катионных медленнораспадающихся битумных эмульсиях, модифицированных полиуретановой композицией МАС-1111 // *Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры*. 2025. Выпуск 2025-1(171) *Современные строительные материалы*. С. 83–89. doi: 10.71536/vd.2025.1c171.10. edn: awbfqy.

Original article

ON THE TECHNOLOGICAL MODES OF PRODUCTION OF CATIONIC SLOWLY DISINTEGRATING BITUMEN EMULSIONS MODIFIED WITH POLYURETHANE COMPOSITION MAC-1111

Nikita S. Leonov

*Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia,
n.s.leonov@donnasa.ru*

Abstract. It is shown that one of the effective organic binders for the production of cold asphalt-polymer concrete mixtures widely used for routine repairs in adverse weather conditions is direct cationic bitumen emulsions modified with polyurethane composition. It is established that an effective way to reduce the energy intensity and environmental safety of the production of road asphalt concrete mixtures is the development of compositions and technologies for the production of slowly disintegrating bitumen-polymer emulsions stabilized by the emulsifier Embit-M and modified with the polyurethane polymer MAC-1111. The parameters of the technological modes of production of bitumen-polymer emulsion are determined. The production of cationic



bitumen-polyurethane emulsion is carried out in a disperser with a gap between the rotor and stator teeth of the bitumen emulsion plant of 0.2–0.4 mm at a rotor speed of 5 800 rpm for at least 60 minutes until the conditional viscosity stabilizes, C_{60}^5 . A diagram of the formation of the structure composition of the aggregation and sedimentation-resistant bitumen-polyurethane emulsion is given.

Keywords: cationic slow-disintegrating bitumen-polyurethane emulsions, composition, production technology, properties

For citation: Leonov N. S. On the technological modes of production of cationic slowly disintegrating bitumen emulsions modified with polyurethane composition MAC-1111. *Proceeding of the Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture. Modern building materials*. 2025;1(171):83–89. (In Russ.). doi: 10.71536/vd.2025.1c171.10. edn: awbfqy.

ФОРМУЛИРОВАНИЕ ПРОБЛЕМЫ

Одним из эффективных органических вяжущих для производства холодных асфальтополимербетонных смесей является катионные битумополимерные эмульсии [1–4]. Основными достоинствами дорожных битумных эмульсий является возможность их применения при повышенной влажности $W \geq 100\%$, пониженной температуре окружающего воздуха $0...+5\text{ }^\circ\text{C}$, при одновременной экономии дорожного битума. Прямые битумные эмульсии позволяют работать в жёстких неблагоприятных условиях, когда даже в присутствии поверхностно-активных веществ не возможно добиться необходимого качества дорожно-строительных работ с использованием горячих и холодных асфальтобетонных смесей, приготовленных на разжиженных дорожных битумах [5–7].

Дорожные битумные эмульсии широко применяются при сохранении покрытий нежёстких дорожных одежд (защитно-восстанавливающие составы; герметизация трещин; технологии поверхностной обработки); сохранение и восстановление поверхностей асфальтобетонных дорог (технологии поверхностной обработки; фрезерование и устройство слоев износа; холодного и горячего ресайклинга на месте) [8].

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Применение битумных эмульсий для производства холодных асфальтобетонных смесей позволяет экономить 20–40 % нефтяного дорожного битума, способствует продлению дорожно-строительного сезона, приводит к существенному снижению энергозатрат на всех технологических этапах от производства до выполнения работ по текущему и капитальному ремонтам, поверхностной обработки, снижает концентрацию выбросов вредных органических соединений в атмосферу [8–9]. В то же время, после распада битумной эмульсии, показатели качества дорожных асфальтобетонных смесей на нефтяных дорожных битумах, используемых для устройства дорожных покрытий нежёстких дорожных одежд, не позволяют обеспечить нормативные технические характеристики покрытий нежёстких дорожных одежд в условиях изменяющихся высокой интенсивности движения автомобильного транспорта. Для верхних слоёв нежёстких дорожных одежд необходим материал, обладающий высокой прочностью, сдвиго-трещиностойкостью и водостойкостью, и в то же время большой экологичностью. Таким органическим вяжущим является битумополимерные композиции, в частности катионные прямые битумополимерные эмульсии [1; 3; 7; 8; 11–13], приготовленные на битумополимерном вяжущем (нефтяной дорожный битум БНД 100/130П-III, структурно-реологического типа, модифицированный полиуретаном «MAC-1111»), эмульгированным в медленно-распадающимся битумной эмульсии эмульгатором «Эмбит-М».

Целью работы является теоретико-экспериментальное обоснование получения прямой катионной битумополимерной эмульсии с использованием отечественных модификаторов: полимера-полиуретана «MAC-1111» и эмульгатора торговой марки «Эмбит-М» (производство ООО «Селена»).

ОСНОВНОЙ МАТЕРИАЛ

Для получения оптимальной структуры полимербитумного вяжущего необходимо использовать в качестве среды нефтяной дорожный битум третьего структурно-реологического типа, который можно установить по данным группового состава $K_{гр}$. (объединённая формула Тракслера-Фрязинова-Гохмана (1)) [14].

$$K_{гр} = (A + MAC1111 + ПНУ)/(AU + MAC1111), \quad (1)$$

где $K_{гр}$ – групповой состав битума;
 A – массовая концентрация в нефтяном дорожном битуме асфальтенов;
 МАС-1111 – полиуретан;
 ПНУ – концентрация парафино-нафтеновых углеводородов.

Значения коэффициента стандартных свойств от 0,65 до 1,05 характерны для битумов структуры «золь-гель», наиболее полно отвечающих эксплуатационным требованиям в условиях Российской Федерации. Степень приближения битума к типу гель или золь определяется по значению коэффициента стандартных свойств K_{std} [14].

$$K_{std} = \frac{(T_p - T_{xp}) \cdot 3}{25 \cdot D}, \quad (2)$$

где T_p и T_{xp} – температуры размягчения и температуры хрупкости битума, соответственно, °С;
 3 – длина шейки (формы-восьмёрки, см);
 25 – температура определения растяжимости и пенетрации, °С;
 D – дуктильность битума, см.

В соответствии с этим значения коэффициентов, разграничивающих структурные типы битумов, отвечают значениям: I – «гель» – больше 0,13; III – «золь-гель» – от 0,08 до 0,13; II – «золь» – меньше 0,08.

В настоящей работе перевод битума из типа «золь» в тип «золь-гель» (оптимальная структура) с расширением интервала пластичности и повышением адгезии с поверхностью минеральных материалов структурообразующих мезо- и макроструктуры асфальтополимербетона является основными факторами обеспечения длительной водостойкости и морозостойкости холодного асфальтополимербетона выполнен модификацией дисперсионной среды органического вяжущего полиуретановым клеем МАС-1111.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

Характеристики материалов и методов, принятых для исследований.

Битум нефтяной дорожный БНД 70/100 со следующими показателями качества: глубина проникания иглы 25 °С; $\Pi_{25} = 82$ град.; температура размягчения по кольцу и шару $T_p = 50$ °С; растяжимость при 0 °С $D_0 = 46$ см; температура хрупкости $T_{xp} = -20$ °С; изменение массы образца после старения $\Delta m = 0,4\%$ мас.

Полиуретан МАС-1111 $O=C=N-R^1-N=C=O$ содержит в своем составе уретановую группу $-N(R)-C(O)O$, где $R = N$. Относится к синтетическим полимерам. Диапазон рабочих температур от -60 °С до $+80$ °С и характеризуется следующими показателями качества: предел прочности при растяжении 32–45 МПа; относительное удлинение при разрыве 450–580 %; сопротивление разрыву 7,5–10 МПа.

Битумополимерное вяжущее полученное объединением нефтяного дорожного битума БНД 71/100 ($\Pi_{25} = 82$) и 5 % мас. полиуретанового клея МАС-1111 при температуре 110–115 °С в лабораторной механической мешалке, обеспечивающей скорость вращения мешалки 300 об/мин. В процессе объединения температуру битумополимерного вяжущего доводили до 160 °С, при которой вели процесс перемешивания в течении 60 минут до стабилизации T_p и Ξ_{25} .

Процесс приготовления битумополимерной эмульсии выполняли в лабораторной битумоэмульсионной установке порционного типа (рис. 1). В качестве базовой принят битумоэмульсионный диспергатор, разработанный ФГБОУ ВО «ДОННАСА», сконструированный на кафедре «Автомобильные дороги и аэродромы».

В качестве компонентов медленнораспадающейся битумополимерной эмульсии использован раствор эмульгатора Эмбит-М. Для этого в воду, нагретую до температуры 65–75 °С вводили соляную кислоту (0,2 % от массы воды 36 % раствор НСЕ, плотностью 1 179 кг/м³ и алкилтриметиламмония хлорид – АТМ (0,5–1,0 % от массы воды) (рис. 2).

Производство катионной битумополимерной эмульсии необходимо вести по схеме (рис. 4): эмульгатор Эмбит и кислоту вводили в воду с показателями жёсткости, не более 6 мг-экв/л, приготавливая раствор необходимой концентрации, а затем битумополимерное вяжущее подают в диспергатор (эмульсионную установку), где композиция проходит неоднократно между рифлеными частями ротора и статора с зазором 0,1–0,15 мм или 0,2–0,4 мм, и происходит образование эмульсии (рис. 3).

Число оборотов ротора 5 800 об/мин. Оптимальная вязкость битумополимерного вяжущего для эмульгирования находится в интервале от 0,2 до 0,3 Па·с.

Для обеспечения седиментационной и агрегативной устойчивости битумополимерной эмульсии необходимо обеспечить минимальную температуру на выходе диспергатора, которая должна быть не меньше температуры органического вяжущего, при которой вязкость битума не превышает 20 Па·с.

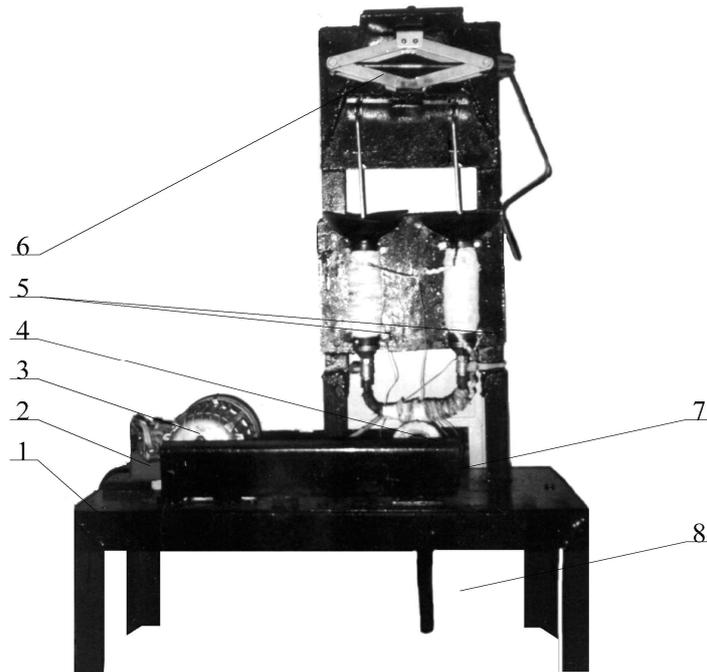


Рисунок 1 – Лабораторная эмульсионная установка: 1 – станина; 2 – блок управления; 3 – электродвигатель привода; 4 – смеситель; 5 – комплект порционных нагнетателей; 6 – усилитель нагнетателей; 7 – защитный кожух элементов привода; 8 – сливной патрубок.

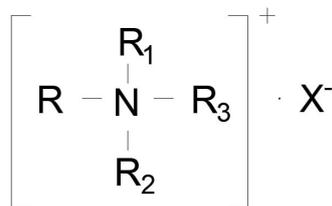


Рисунок 2 – Алкилтриметиламмоний хлорид: R – алифатический радикал ($C_{10}-C_{18}$); R_1, R_2, R_3 – алкилы с короткой цепью (CH_3, C_2H_5 , и др.).

Температуру выпускаемой битумополимерной эмульсии можно определить по формуле (3) [1].

$$T_3 = \frac{\sum_{i=1}^n m_i \cdot C_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n m_i \cdot C_i} = \frac{\sum_{i=1}^n \%_3 \cdot C_i \cdot T_i}{\sum_{i=1}^n \%_3 \cdot C_i} \quad (3)$$

где T_3 – расчётная температура эмульсии на выходе диспергатора, °С;
 n – количество компонентов эмульсии;
 m_i – масса i -того компонента эмульсии, кг;
 T_i – температура i -того компонента эмульсии, кг;
 $\%$ – процентное содержание i -того компонента битумной эмульсии.

Диаметр частиц дисперсной фазы, капель битумополимерного вяжущего должен находиться в диапазоне от 0,001 до 0,02 мм. Концентрация дисперсной фазы битумополиуритановой катионной эмульсии находится в интервале от 40 до 70 % мас.

Схема построения микрокапли дисперсной фазы, капель битумополиуритановой катионной эмульсии приведена на рисунке 4.

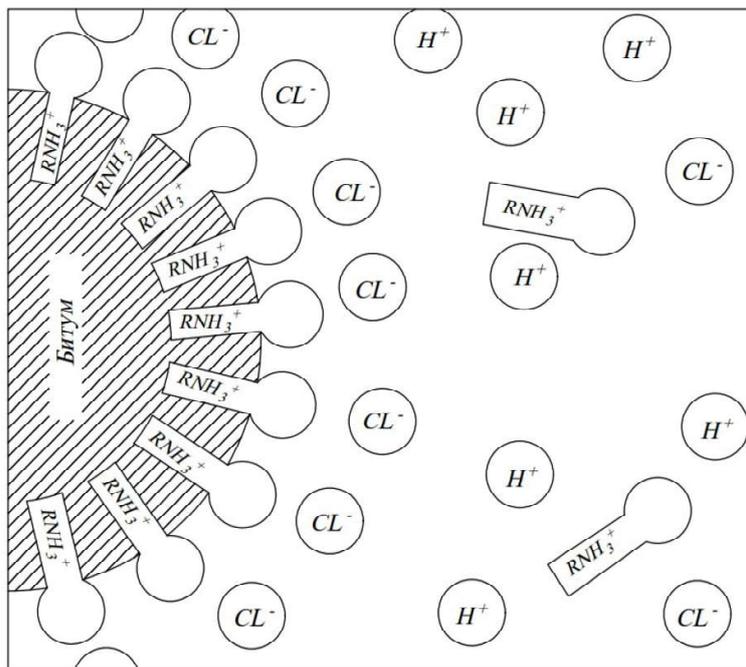


Рисунок 3 – Схема расположения двойного электрического слоя, битумополиуритановой эмульсии с катионоактивным эмульгатором Эмбит-М.

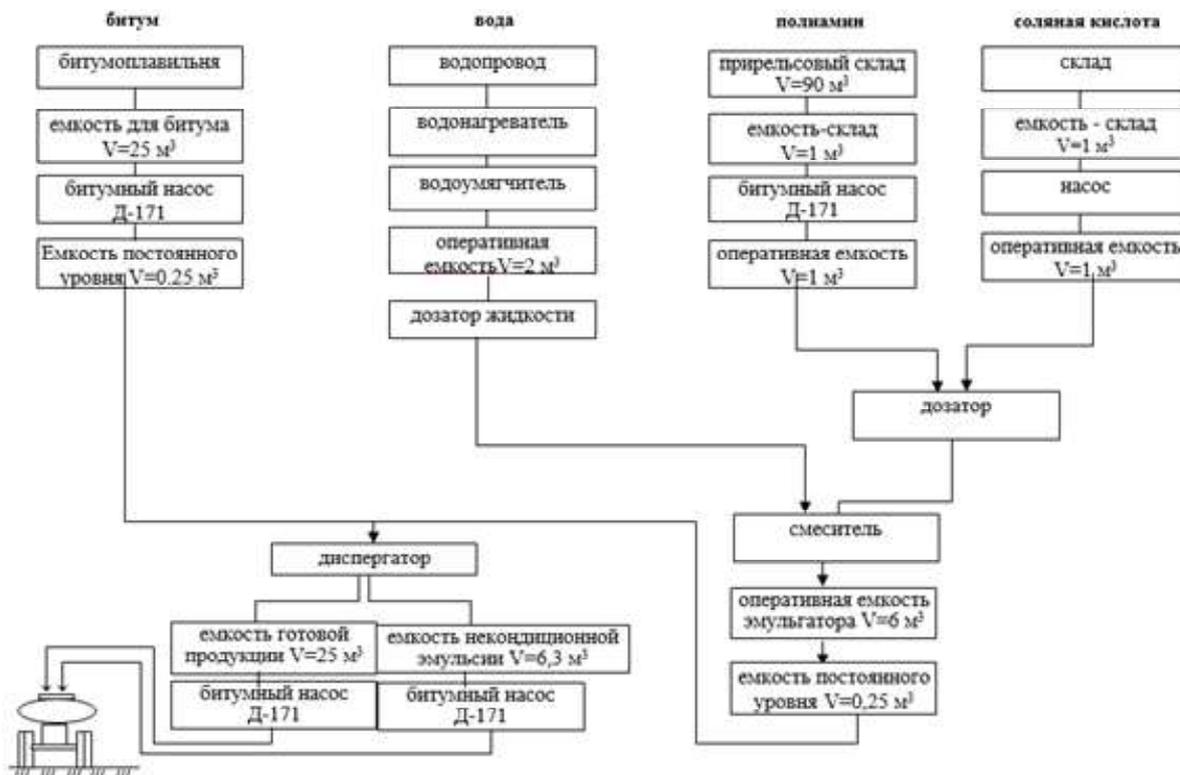


Рисунок 4 – Функциональная схема производства катионной битумной эмульсии.

ВЫВОДЫ

Теоретически и экспериментально доказана целесообразность использования полиуретанового полимера МАС-1111 для модификации битума нефтяного дорожного БНД 71/100 и получения модифицированной битумополимерной эмульсии, приготовленной с использованием эмульгатора Эмбит-М.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. ОДМ 218.8.10.001-2020. Методические рекомендации по технологиям импортозамещения при приготовлении катионных битумнополимерных эмульсий : отраслевой дорожный методический документ : издан на основании распоряжения Федерального дорожного агентства от 17 февраля 2021 № 566-р : введен впервые / разработан ООО «Автодорис». – Москва : Федеральное дорожное агентство (Росавтодор), 2020. – 52 с. – Текст : непосредственный.
2. Братчун, В. І. Про параметри режимів виробництва аніонних емульсій, що повільно розпадаються з використанням сульфаному НП-3 / В. І. Братчун, Ю. В. Грицук. – Текст : непосредственный // Автошляховик України. – 2000. – № 4. – С. 29–30.
3. Будник, В. А. Исследование и разработка способов получения нефтяных битумных эмульсий : специальность 05.17.07 «Химия и технология топлив и специальных продуктов» : автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук / Будник Владимир Александрович ; Уфимский государственный нефтяной технический университет. – Уфа, 2009. – 23 с. – Текст : непосредственный.
4. Термодинамические свойства нефтяных дисперсных систем, модифицированных катионными поверхностно-активными веществами / О. Н. Опанасенко, Н. П. Крутько, О. Л. Жигалова, О. В. Лукша. – Текст : электронный // Известия Национальной академии наук Беларуси. Серия химических наук. – 2013. – № 1. – С. 46–49. – URL: https://elibrary.ru/download/elibrary_25449451_66988503.pdf (дата обращения: 05.11.2024). – EDN: VKXREJ.
5. Асфальтошлакобетоны на анионных битумных эмульсиях / В. И. Братчун, Ю. В. Грицук, А. В. Губарь [и др.] – Текст : непосредственный // Наука и техника в дорожной отрасли. – 2014. – № 4(70). – С. 22–26.
6. Патент № 2183600 Российская Федерация, МПК С 04 В 26/26//С 04 В 111:20, С 08 L 95/00. Плотная эмульсионно-минеральная смесь : № 2000127220/03 : заявл. 30.10.2000 : опубл. 20.06.2002 / Илиополов С. К., Панькин С. В., Углова Е. В. [и др.] ; заявитель РГСУ. – 10 с. – Текст : электронный. – URL: https://patents.s3.yandex.net/RU2183600C1_20020620.pdf (дата обращения: 05.11.2024).
7. Милицын, Д. А. Полимерно-битумные эмульсии и органоминеральные смеси на их основе : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Милицын Дмитрий Александрович ; ФГБОУ ВО «Иркутский государственный технический университет». – Иркутск, 2013. – 162 с. – Текст : непосредственный.
8. Сукорцев, С. В. Катионоактивная битумная эмульсия на основе эмульгатора «ИК» : специальность 05.23.05 «Строительные материалы и изделия» : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сукорцев Сергей Викторович ; Кемеровский технологический институт пищевой промышленности. – Новосибирск, 2006. – 155 с. – Текст : непосредственный.
9. Кемалов, Р. А. Научно-практические аспекты процессов коррозии и способов защиты : монография / Р. А. Кемалов, А. Ф. Кемалов ; Федеральное агентство по образованию, Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Казанский государственный технологический университет». – Казань : КГТУ, 2008. – 277 с. – ISBN 978-5-7882-0575-5. – Текст : непосредственный.
10. Ширкунов, А. С. Получение дорожных полимерно-битумных вяжущих на базе неокисленного высоковязкого гудрона с применением нефтеполимерных смол / А. С. Ширкунов, В. Г. Рябов. – Текст : электронный // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Химическая технология и биотехнология. – 2020. – № 1. – С. 53–68. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/poluchenie-dorozhnyh-polimerno-bitumnyh-vyazhushchih-na-baze-neokislennogo-vysokovyazkogo-gudrona-s-primeneniem-neftepolimernyh-smol/viewer> (дата обращения: 05.11.2024). – DOI: 10.15593/2224-9400/2020.1.05.
11. Коротков, А. В. Изучение физико-химических свойств водной фазы катионных битумных эмульсий / А. В. Коротков, М. А. Высоцкая. – Текст : электронный // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В. Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 28–32. – URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/izuchenie-fiziko-himicheskikh-svoystv-vodnoy-fazy-kationnyh-bitumnyh-emulsiy/viewer> (дата обращения: 05.11.2024).
12. Физико-химическая механика дорожно-строительных материалов : учебник / А. М. Гридчин, В. И. Братчун, В. А. Золотарев [и др.] ; под редакцией д-ра тех. наук, проф. А. М. Гридчина, д. т. н., проф. В. И. Братчуна. – Москва ; Вологда : Инфра-Инженерия, 2022. – 312 с. – ISBN 978-5-9729-0929-2. – Текст : электронный. – URL: <https://znanium.com/catalog/product/1903460> (дата обращения: 13.11.2024). – Режим доступа: по подписке.
13. Эффективные битумоэмульсионные мастики гидроизоляции бетонных и железобетонных конструкций / В. И. Братчун, Н. С. Коннов, А. А. Стукалов [и др.]. – Текст : электронный // Вестник Донбасской национальной академии строительства и архитектуры. – 2024. – Выпуск 2024-1(165) Современные строительные материалы. – С. 10–16. – URL: [https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2024/2024-1\(165\)/st_02_bratshun_konnov_stukalov_demeshkin_cherniy_kristyn_arsenov_malakhov.pdf](https://donnasa.ru/publish_house/journals/vestnik/2024/2024-1(165)/st_02_bratshun_konnov_stukalov_demeshkin_cherniy_kristyn_arsenov_malakhov.pdf) (дата обращения: 29.11.2024). – ISSN 2519-2817.
14. Золотарев, В. А. О комплексном показателе структурно-реологического типа битума / В. А. Золотарев. – Текст : непосредственный // Автомобильные дороги и дорожное строительство. – 1978. – Выпуск 25. – С. 45–49.
15. Золотарёв, В. А. Технические, реологические и поверхностные свойства битумов / В. А. Золотарев. – Текст : непосредственный. – 2012. – Том 1. – 147 с.
16. Грицук, Ю. В. Лабораторна смуліяна установка порціонного типу / Ю. В. Грицук. – Текст : непосредственный // Вісник Донбаської національної академії будівництва і архітектури. – 2000. – Випуск 2000-2(22). – С. 65–67.

Информация об авторе

Леонов Никита Сергеевич – ассистент кафедры автомобильных дорог и аэродромов Донбасской национальной академии строительства и архитектуры, ДНР, Макеевка, Россия. Научные интересы: разработка эффективных технологий переработки техногенного сырья в компоненты композиционных материалов.

Information about the author

Leonov Nikita S. – assistant Highways and Air Fields Department, Donbas National Academy of Civil Engineering and Architecture, DPR, Makeevka, Russia. Scientific interests: development of effective technologies for processing technogenic raw materials into components of composite materials.

Статья поступила в редакцию 23.12.2024; одобрена после рецензирования 17.01.2025; принята к публикации 24.01.2025.

The article was submitted 23.12.2024; approved after reviewing 17.01.2025; accepted for publication 24.01.2025.