

УДК 691.16

Разработка способа изготовления модифицированного битумно-полимерного вяжущего

Е. В. Мурузина¹, Ф. М. Ахметов¹, Л. Ф. Казанская²

¹Набережночелнинский институт (филиал) Казанского федерального университета (КФУ), Россия, 423800, Республика Татарстан, Набережные Челны, пр. Мира, 13

²Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I, Россия, 190031, Санкт-Петербург, Московский пр., 9

Для цитирования: Мурузина Е. В., Ахметов Ф. М., Казанская Л. Ф. Разработка способа изготовления модифицированного битумно-полимерного вяжущего // Известия Петербургского университета путей сообщения. СПб.: ПГУПС, 2026. Т. 23, вып. 1. С. 190–197. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-190-197

Аннотация

Цель: разработка технологической схемы изготовления битум-полимерной композиции на эффективном модификаторе, так как существующий в России дефицит нефтяного битума, его недостаточная стойкость к климатическим условиям страны, а также отсутствие поставок зарубежного производственного оборудования подталкивают к поиску новых технологий производства битумных вяжущих. Традиционное окисление нефти не всегда позволяет получить битум с необходимым набором свойств. Одним из наиболее перспективных решений является модификация битума полимерами. **Методы:** использованы методы оптической микроскопии и ядерного магнитного резонанса при исследовании структуры и свойств вяжущего, а также реологический, термомеханический методы и стандартные методы испытаний битумов. **Результаты:** в качестве модификатора битума при проведении исследований рассматривается смесевой эластомерный термоэластопласт. Исследовано влияние на время растворения полимера таких факторов, как дисперсность, температура и концентрация предварительно растворенного полимера в пластификаторе (мазуте). В зависимости от этих факторов формируется технологическая схема с привязкой соответствующего оборудования. **Практическая значимость:** на лабораторной установке продемонстрирована эффективность применения битумного модификатора в соответствии с предложенной технологической схемой. Промышленное изготовление битумно-полимерных материалов должно включать в свой состав, кроме модифицированного вяжущего, и минеральный наполнитель в виде каолина, доломитовой муки или талька в качестве добавки. Данный прием позволяет повысить эксплуатационную стабильность и удешевить композицию.

Ключевые слова: битумно-полимерное вяжущее, модификация, технологическая схема, изготовление, модифицирующая добавка, диспергирование

Введение

Битум — органическое вяжущее в строительном материаловедении, отличающееся повышенными гидроизоляционными и адгезионными свойствами с хорошими экономическими показателями. Данный факт обуслав-

ливает эффективное применение битума для водонепроницаемых кровельных покрытий и получения асфальтобетонных смесей.

Битум, как правило, получают в результате окисления продуктов прямой и остатков атмосферно-вакуумной перегонки нефти

согласно ГОСТ 9548-2023 «Битумы нефтяные кровельные. Технические условия». Изготовленные таким образом битумы не удовлетворяют требованиям стойкости к внешним условиям и работы в разных климатических регионах нашей страны [1].

В работе [2] представлен модификатор, влияющий на скорость окисления нефти, который улучшает свойства битумных материалов на стадии получения битума. В работе [3] авторы приводят исследования по получению и условию синтеза битума марки БНД 60/90 с использованием модификатора на основе п-фенилендиамина, формалина и глицина.

Применение полимеров для модификации битумов подтверждено рядом исследований [4–7], включая модификации дорожных битумов наноразмерными частицами — углеродными нанотрубками [8]. В настоящее время изучаются не только процессы совмещения полимера в битуме [1, 9], но и получаемые в комплексе свойства [10–11], включая долговечность [4] получаемого модифицированного вяжущего.

Для изготовления в заводских условиях битумно-полимерного вяжущего и материалов на его основе необходимо предоставлять технологию изготовления: последовательность операций, режим приготовления, а также необходимое оборудование с установками. Существуют работы, посвященные этой тематике, в том числе патент на технологическую схему битумно-полимерных композиций [12], технология производства модифицированного битумного вяжущего непрерывным способом по поточной схеме производства и автоматизации [13] и др.

Предложенные технологические цепочки целесообразны для определенного вида как полимерного модификатора, так и битума.

Целью данной работы является разработка технологической схемы изготовления битумно-полимерной композиции (БПК) на эффективном модификаторе с использованием предлагаемой установки.

Методы и материалы исследований

Использованы методы оптической микроскопии и ядерного магнитного резонанса при исследовании структуры и свойств БПК, а также реологический, термомеханический и стандартные методы испытаний битумов.

Материалом в работе является нефтяной битум БНК-40/180 (ПАО «АНК «Башнефть», Республика Башкортостан, Россия). В качестве модифицирующей добавки использовался смесевой термоэластопласт (ТЭП) в виде гранул размером около 3–4 мм белого цвета. Это готовый продукт из этиленпропиленового каучука СКЭПТ-40 и изопренового каучука СКИ, а также полиэтилена высокого давления ПЭВД в соотношении 1:1:2. В [2] было обосновано применение подобного полимера как эффективного варианта модификации кровельного битума для II климатического пояса (Поволжье).

Результаты

В производственных условиях важно, чтобы полимерная часть как можно качественнее и быстрее растворялась в объеме битума, что возможно в первую очередь при увеличении дисперсности модификатора за счет уменьшения размера зерен.

На рис. 1 показана зависимость времени растворения полимера при температуре 180 °С от размера частиц модификатора.

Видно, что кривая носит практически линейный характер: уменьшение размеров частиц модификатора приводит к увеличению скорости их растворения в битуме.

График показывает, что при самой наименьшей дисперсности частиц (до 1 мм) время растворения составит около 4 часов, при размере частиц около 4 мм — до 8 часов. Таким образом, процесс растворения полимера в битуме осуществляется качественнее и быстрее при увеличении степени измельчения полимера.

Зависимость времени растворения полимера в битуме от температуры приведена на рис. 2. Характер графика аналогичен кривой скорости растворения термоэластопласта в толуоле [4]. Это позволяет говорить об идентичном характере растворения представленного модификатора в органических моделях.

С увеличением температуры раствора со 120 до 150 °С скорость растворения полимера снижается более чем в 1,8 раза. Поэтому при заводском изготовлении расплава важно не отклоняться от температурного регламента.

Влияние дисперсности полимера и температуры раствора является важным фактором при изготовлении модифицированных композиций. Однако при промышленном изготовлении БПК существуют свои особенности. Стоит рассмотреть возможность внедрения такой типичной заводской операции, как промежуточное растворение полимера в пластификаторе (гудрон, мазут, техническое масло) [1].

На рис. 3 представлена зависимость времени растворения полимера в битуме от содержания его в пластификаторе. Содержание мазута в растворе составило 10%.

Из представленного графика видно, что по мере увеличения количества модификатора в вяжущем время его растворения в битуме (при одной и той же температуре раствора) значительно увеличивается, несмотря на содержание в композиции пластификатора. Это особенно нецелесообразно в заводских условиях. Высокая концентрация полимера (более 15%) в композиции и наличие даже 10% мазута ста-

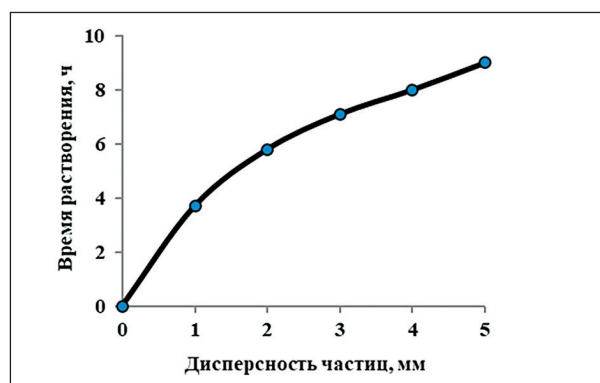


Рис. 1. Зависимость времени растворения полимера в битуме при $t = 180$ °С от дисперсности частиц (содержание полимера — 15%)

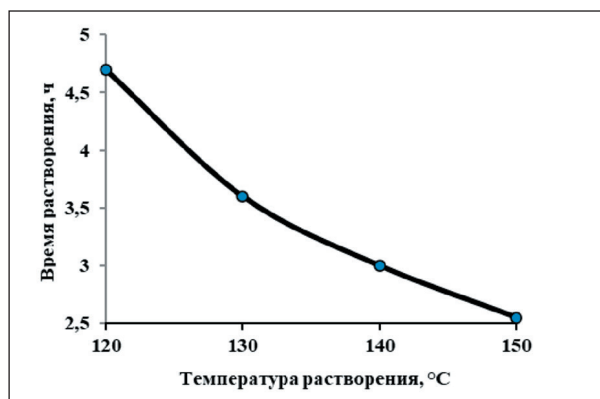


Рис. 2. Зависимость времени растворения от температуры полимера в битуме (содержание полимера — 10%, дисперсность — 2,5 мм)

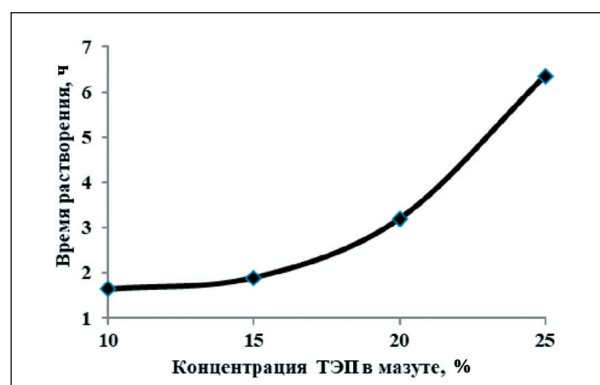


Рис. 3. Зависимость времени растворения полимера в битуме при дисперсности 2,5 мм от содержания полимера в пластификаторе

новятся препятствием для полного совмещения модификатора с битумом. Таким образом, при введении любых концентраций модифицирующей добавки желателно предварительно растворять полимер в пластификаторе, а также не увеличивать содержание модификатора в растворе битума более 10–15%.

При получении модифицированного раствора изготовитель должен стремиться к равномерному распределению высокомолекулярной добавки по всему объему битума. Оптимального результата растворения в условиях производства можно добиться, если перевести полимер в более или менее вязкое подвижное состояние.

Авторы считают, что наилучшим вариантом решения данной задачи является использование для активного смешения модификатора с битумом роторно-пульсационного аппарата (РПА).

Нами на лабораторной установке были опробованы разные комбинации растворения модификатора в битуме: подбирались температура, время, концентрация модификатора, а также рассматривалась возможность введения через раствор пластификатора (наиболее оптимальным представился гудрон).

Наиболее приемлемый способ получения БПК представлен на рис. 4. Начальный битум перемещается из резервуара (1) в накопитель (2) с помощью шестеренчатого насоса Н1, где соблюдается температурный режим 190–210 °С. Изготовление модифицированного вяжущего осуществляется по циклической схеме благодаря насосам и прогреваемым трубопроводам.

Перед запуском РПА1 битум или пластификатор (гудрон, мазут) в количестве около 0,2 м³ самотеком подается в смесительный бак (3) из накопительного бака (2).

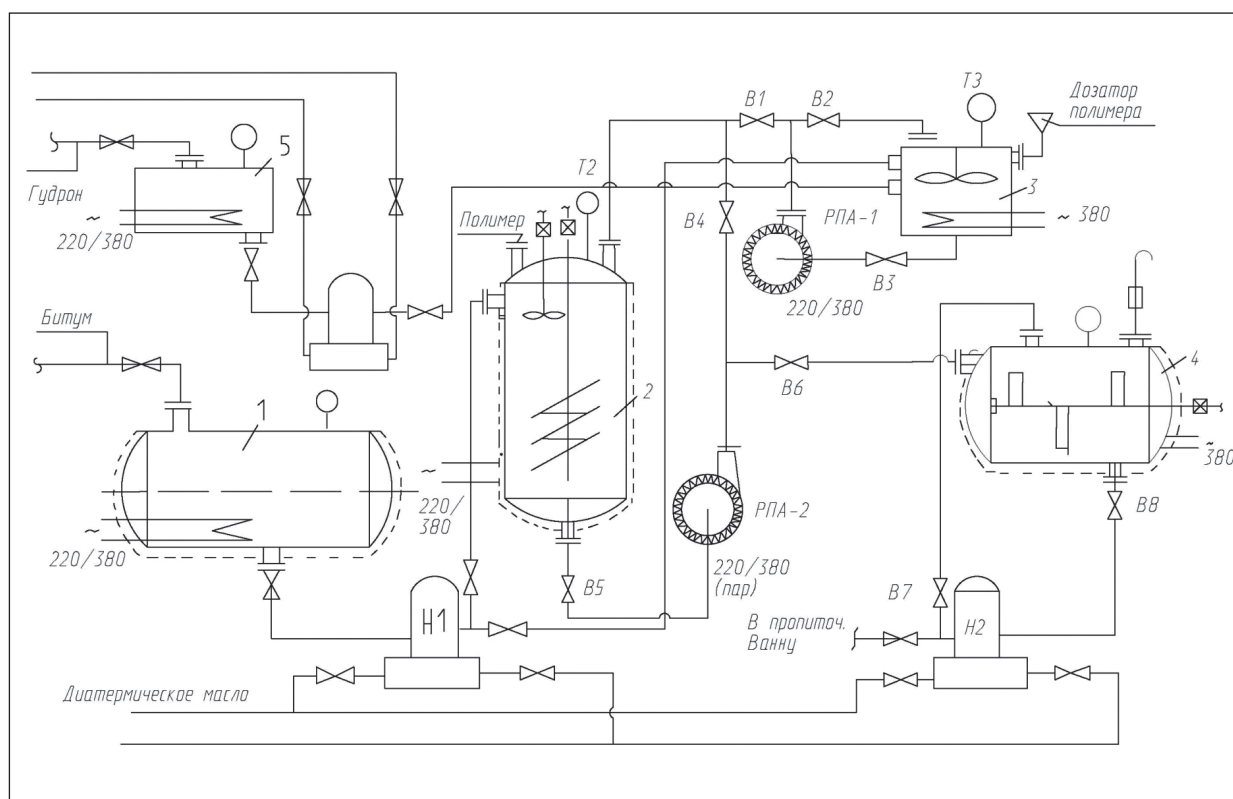


Рис. 4. Предложенная схема изготовления битумно-полимерной композиции

Скорость подачи регулируется клапаном В1, объем залитого битума или пластификатора фиксируется датчиками в баке (3).

При заполнении расчетного объема в смесительном баке задвижка В1 перекрывается, В2 и В3 открываются, и запускается двигатель РПА, при этом начинается циркуляция битума по контуру «РПА1 — трубопроводы — смесительный бак (3)». Движение растворителя без подачи в него полимера осуществляется в течение 15–20 минут. Влияние переходных процессов (выпуск воздуха из циркуляционного контура, стабилизация гидро- и термодинамических режимов) корректируется благодаря регулировке температуры битума с пластификатором в смесительном баке (3) посредством температурного датчика Т3.

По истечении настройки в системе рассчитанное количество полимера подается в смесительный бак (3) для получения концентрата (раствор 20–30%).

Последующая работа РПА1 увеличивает все большее диспергирование полимера с интенсивным смешением битума и пластификатора. Время приготовления смеси по представленному контуру и температурные режимы подстраиваются в зависимости от получения однородной массы.

По окончании предполагаемого времени изготовление полимерного концентрата считается завершенным. Мотор РПА1 выключается, клапаны В1 и В4 открываются, а В2 и В3 перекрываются, запускается РПА1, и плановое количество концентрата поступает в бак (2), оснащенный шиновой и лопастной мешалками. Перед запуском РПА2 отключается РПА1, задвижки В1 и В6 закрываются, В5 открывается. Добавочная порция битума перемещается с помощью насоса Н1 из накопительного бака (1) в резервуар (2).

Объемы концентрата и подаваемого битума регистрируются датчиками в емкости

или метками. В завершение предварительной работы включается двигатель РПА2, и концентрированный полимерный модификатор диспергируется в битуме. Температура в емкости контролируется датчиком температуры Т2. Длительность производственного цикла в РПА1 меняется по мере формирования однородной консистенции.

По мере изготовления модифицированной композиции мотор РПА2 выключается, клапаны В5 и В6 открываются. В емкость добавляется наполнитель, в процесс включается шестеренчатый насос Н2, и готовое вяжущее подается из смесителя (2) в емкость готового продукта (4). Изготовление следующей партии БПК будет проводиться по вышеприведенному режиму до того момента, когда концентрат модификатора в смесительном баке (3) подойдет к концу. Приобретение следующей порции концентрата может идти одновременно с изготовлением модифицированного вяжущего.

Предусматривается рециркуляция готовой композиции в емкости (4) путем перекачивания нагнетателем Н2. Это позволяет улучшить гидродинамическую атмосферу диффузионных процессов растворения и распределение полимера по всему объему продукта.

Дискуссия

Следует отметить, что при изготовлении модифицированного вяжущего поддерживается стабильный температурный режим всей технологической линии: оборудование должно быть оснащено электронагревателями, а трубопроводы теплоизолированы.

Емкость для приготовления модифицированного концентрата имеет теплоизоляционную оболочку (объемом более 0,33 м³) с электрическим подогревом, в которую будет подаваться расплавленный битум или пластификатор. Эта емкость должна быть оснащена

скоростной мешалкой (со скоростью вращения ≥ 700 об./мин.).

Для повышения эффективности смешения данная технологическая схема предусматривает в своем составе наличие малого РПА, работающего в рециркуляционном режиме растворения полимера в битуме или сначала в пластификаторе. В накопительный бак (2) объемом около 2 м³ направляется порция готового полимерного концентрата и перемешивается с битумом.

Промышленное изготовление битумно-полимерных материалов должно включать в их состав, кроме модифицированного вяжущего, и минеральный наполнитель в виде каолина, доломитовой муки или талька в качестве добавки. Данный прием позволяет повысить эксплуатационную стабильность и удешевить композицию.

Заключение

Таким образом, в ходе проведения исследований:

1. Выявлены факторы изготовления битумно-полимерного вяжущего (температура, дисперсность, количество полимера и содержание пластификатора).

2. Разработана лабораторная установка с применением роторно-пульсационного типа (РПА) и технологическая схема изготовления модифицированного битумно-полимерного вяжущего, которое рекомендовано изготавливать в два цикла:

а) изготовление концентрированного раствора модификатора в пластификаторе (возможно до 30%-го раствора) или в битуме при температуре 150–160 °С в реакторе с мешалкой и РПА;

б) после получения концентрата необходимо направить его в смеситель с битумом, где будет использоваться РПА в режиме рециркуляции.

3. Наиболее подходящим для модификации маловязкого битума БНК-40/180 является предложенный смесевой термоэластопласт.

Список источников

1. Разработка составов полимербитумного вяжущего для приготовления асфальтополимербетона / Г.В. Васильевская [и др.] // Инженерный вестник Дона. 2023. № 3 (99). С. 399–408.

2. Кемалов Р. А., Кемалов А. Ф. Технология комплексной модификации битумных изоляционных материалов // Экспозиция. Нефть. Газ. 2013. № 5 (30). С. 21–26.

3. Росилов М. С., Бекназаров Х. С., Чулиев Ж. Р. Изучение производства битума марки ПФГ-РМ путем модификации битума марки БНД 60/90 // Universum: технические науки. 2025. № 2 (131). С. 29–37.

4. Мурузина Е. В. Битум-полимерные композиции кровельного назначения: дисс. ... канд. техн. наук. Казань, 2000. 189 с.

5. Битум-полимерное вяжущее: пат. 2184751 С2 Рос. Федерация. № 2000109181/04 / Шутилин Ю. Ф., Смирных А. А.; заявл. 12.04.2000, опубл. 10.07.2002. Воронежская государственная технологическая академия. 6 с.

6. Битумно-полимерные вяжущие строительного назначения / Д. А. Аюпов [и др.] // Полимеры в строительстве: научный интернет-журнал. 2014. № 2 (2). С. 27–35.

7. Модификация битумов как способ повышения их эксплуатационных свойств / С. И. Вольфсон [и др.] // Вестник технологического университета. 2016. Т. 19. № 17. С. 29–33.

8. Прибылов В. С., Пичугин А. П. Эффективность модификации битума нанодобавками в асфальтобетоне на сталеплавильных шлаках // Эксперт: теория и практика. 2023. № 4 (23). С. 95–100.

9. Regulation of the Rheological of Polymer-Bitumen Binders by Ultrasonic Intensification of Mixing Process / R. Avdeychev [at al.] // International

Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 2, no. 22. Pp. 11926–11932.

10. Блок-сополимерная композиция и способ ее получения: пат. 2767539 С1 Рос. Федерация. № 2020134924 / Аветисова Н.В., Аксенов К.В., Сетракова А.Э.; заявл. 25.10.2020; опубл. 17.03.2022. Публичное акционерное общество «СИБУР Холдинг». 23 с.

11. Becker Y., Mendez M. P., Rodriguez Y. Polymer modified asphalt // Vision tecnologica. 2001. Vol. 9, no. 1. Pp. 39–50.

12. Способ получения битум-полимерной композиции со сниженным выбросом H₂S: пат. 2616043 С2 Рос. Федерация. № 2014124838 / Шредер Зенке (DE); заявл. 17.12.2012; опубл. 12.04.2017. Тоталь Маркетинг Сервис. 21 с.

13. Технология производства нефтяных дорожных битумов, модифицированных нефтешламом и СБС-полимером / Р. Н. Ахметзанова [и др.] // Вестник технологического университета. 2019. Т. 22. № 12. С. 88–92.

Дата поступления: 17.01.2026

Решение о публикации: 06.02.2026

Контактная информация:

МУРУЗИНА Елена Васильевна — канд. техн. наук, доцент; sds-m7lab@mail.ru

АХМЕТОВ Фриль Мирзанурович — канд. техн. наук, доцент; akhmetov_fril@mail.ru

КАЗАНСКАЯ Лилия Фаатовна — д-р техн. наук, профессор; yalifa@inbox.ru

Development of a method for producing a modified bitumen-polymer binder

E.V. Muruzina¹, F.M. Akhmetov¹, L.F. Kazanskaya²

¹ Naberezhnye Chelny Institute (branch) of Kazan Federal University, 13 pr. Mira, Naberezhnye Chelny, 423800, Russia

² Emperor Alexander I Petersburg State Transport University, 9 Moskovsky pr., Saint-Petersburg, 190031, Russia

For citation: *Muruzina E.V., Akhmetov F.M., Kazanskaya L. F.* Development of a Method for Manufacturing a Modified Bitumen-Polymer Binder // Proceedings of Petersburg State Transport University, 2026. Vol. 23, iss. 1. Pp. 190–197. DOI: 10.20295/1815-588X-2026-1-190-197. (In Russian)

Abstract

Objective: to develop a technological scheme that uses an efficient modifier to produce a bitumen-polymer mixture. This research is motivated by the lack of petroleum bitumen available domestically, poor resilience of available bitumen to Russia's climate, and limited access to foreign production equipment, all of which necessitate new technologies for the production of bituminous binders. Polymer modification is regarded as one of the most promising alternatives to traditional oil oxidation techniques that do not consistently produce bitumen with the necessary property set. **Methods:** optical microscopy and nuclear magnetic resonance spectroscopy were used to study the structure and properties of the binder. In addition to standard bitumen testing protocols, rheological and thermal mechanical analyses were employed to assess the binder's performance. **Results:** the research employed a mixed elastomeric thermoplastic as a bitumen modifier. It has been investigated how polymer-dissolving time affects variables including dispersion, temperature, and pre-dissolved polymer concentration in the plasticizer (fuel oil). Based on these parameters, a process flow diagram specifying the required equipment has been developed. **Practical significance:** a laboratory setup validates the effectiveness of the bitumen modifier when implemented in

accordance with the proposed process diagram. For industrial production of bitumen-polymer, the modified binder should be complemented with a mineral filler as an additive, such as kaolin, dolomite flour, or talc. This technique allows for increased operational stability and reduced costs.

Keywords: bitumen-polymer binder, modification, technological scheme, production, modifying additive, dispersion

References

1. Razrabotka sostavov polimerbitumnogo vya-zhushchego dlya prigotovleniya asfal'topolimerbetona / G. V. Vasilovskaya [i dr.] // Inzhenernyj vestnik Dona. 2023. No. 3 (99). S. 399–408. (In Russian)
2. Kemalov R.A., Kemalov A.F. Tekhnologiya kompleksnoj modifikatsii bitumnykh izolyatsionnykh materialov // Ekspozitsiya. Neft'. Gaz. 2013. No. 5 (30). S. 21–26. (In Russian)
3. Rosilov M. S., Beknazarov Kh. S., Chýliev Zh. R. Izuchenie proizvodstva bituma marki PFG-RM putem modifikatsii bituma marki BND 60/90 // Universum: tekhnicheskie nauki. 2025. No. 2 (131). S. 29–37. (In Russian)
4. Muruzina E. V. Bitum-polimernye kompozitsii krovel'nogo naznacheniya: diss. ... kand. tekhn. nauk. Kazan', 2000. 189 s. (In Russian)
5. Bitum-polimernoe vya-zhushchee: pat. 2184751 C2 Ros. Federatsiya. No. 2000109181/04 / Shutilin Yu. F., Smirnykh A.A.; zayavl. 12.04.2000, opubl. 10.07.2002. Voronezhskaya gosudarstvennaya tekhnologicheskaya akademiya. 6 s. (In Russian)
6. Bitum-polimernye vya-zhushchie stroitel'nogo naznacheniya / D.A. Ayupov [i dr.] // Polimery v stroitel'stve: Nauchnyj internet-zhurnal. 2014. No. 2 (2). S. 27–35. (In Russian)
7. Modifikatsiya bitumov, kak sposob povysheniya ikh ekspluatatsionnykh svoystv / S. I. Vol'fson [i dr.] // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2016. T. 19, no. 17. S. 29–33. (In Russian)
8. Pribylov V.S., Pichugin A.P. Effektivnost' modifikatsii bituma nanodobavkami v asfal'tobetone na staleplavil'nykh shlakakh // Ekspert: teoriya i praktika. 2023. No. 4 (23). S. 95–100. (In Russian)
9. Regulation of the Rheological of Polymer-Bitumen Binders by Ultrasonic Intensification of Mixing Process / R. Avdeychev [at al.] // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Vol. 12, no. 22. Pp. 11926–11932.
10. Blok-sopolimernaya kompozitsiya i sposob ee polucheniya: pat. 2767539 C1 Ros. Federatsiya. No. 2020134924 / Avetisova N.V., Aksenov K.V., Setrakova A.E.; zayavl. 25.10.2020; opubl. 17.03.2022. Publichnoe aktsionernoe obshchestvo "SIBUR Kholding". 23 s. (In Russian)
11. Becker Y., Mendez M. P., Rodriguez Y. Polimer modified asphalt // Vision tecnologica. 2001. Vol. 9, no. 1. Pp. 39–50.
12. Sposob polucheniya bitum-polimernoj kompozitsii so snizhennym vybrosom H₂S: pat. 2616043 S2 Ros. Federatsiya. No. 2014124838 / Shreder Zenke (DE); zayavl. 17.12.2012; opubl. 12.04.2017. Total' Marketin Servis. 21 s. (In Russian)
13. Tekhnologiya proizvodstva neftyanykh dorozhnykh bitumov, modifitsirovannykh nefteshlamom i SBS-polimerom / R. N. Akhmetzanova [i dr.] // Vestnik tekhnologicheskogo universiteta. 2019. T. 22. No. 12. S. 88–92. (In Russian)

Received: 17.01.2026

Accepted: 06.02.2026

Author,s information:

Elena V. MURUZINA — PhD in Engineering, Associate Professor; sds-m7lab@mail.ru

Fril M. AKHMETOV — PhD in Engineering, Associate Professor; akhmetov_fril@mail.ru

Liliya F. KAZANSKAYA — D. Sci. in Engineering, Professor; yalifa@inbox.ru