

С.А. Батырбай*, О.К. Бейсенбаев¹, А.С. Сидиков², Н.М. Дауренбек¹

¹Южно-Казахстанский университет им. М. Ауезова

160012, Республика Казахстан, г. Шымкент, проспект Тауке хана, 5

²Филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина
в городе Ташкент,

Республика Узбекистан, г. Ташкент, ул. Дурмон йули, 34

*sybat_batyrbay@mail.ru

МОДИФИКАЦИЯ ГУДРОНА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГОССИПОЛОВОЙ СМОЛЫ И ВТОРИЧНОГО ПОЛИПРОПИЛЕНА

Аннотация: В современных условиях особое внимание уделяется разработке экологических и долговечных вяжущих материалов, получаемых с применением вторичных и возобновляемых ресурсов. Одним из перспективных направлений является модификация нефтяных вяжущих природными и полимерными компонентами, способными улучшать их эксплуатационные характеристики. В настоящем исследовании проведено модифицирование гудрона смесью госсиполовой смолы и вторичного полипропилена (ВПП) при участии персульфата калия ($K_2S_2O_8$), выполняющего функцию инициатора радикальных процессов. Применение методов ИК-Фурье-спектроскопии и растровой электронной микроскопии позволило установить образование новых функциональных групп, повышение степени полярности вяжущего и более равномерное распределение полимерной фазы в его структуре. Проведённые испытания показали улучшение адгезионных, термических и деформационных свойств модифицированного материала по сравнению с исходным гудроном. Повышение структурно-механической прочности и стабильности к старению свидетельствует о синергетическом эффекте между госсиполовой смолой и ВПП. Разработанная технология демонстрирует эффективность утилизации отходов хлопкоперерабатывающей промышленности и пластика, что открывает возможности для создания устойчивых, высококачественных и конкурентоспособных вяжущих систем с пониженными экологическими рисками и расширенными областями применения, включая дорожное строительство, гидроизоляционные покрытия, промышленные смеси и инновационные композитные материалы для строительной отрасли.

Ключевые слова: гудрон, госсиполовая смола, вторичный полипропилен, персульфат калия, ИК-спектроскопия, растровая электронная микроскопия.

Введение

Полимерное модифицирование битумных вяжущих позволяет существенно повысить их эксплуатационные качества, включая сопротивляемость колееобразованию, растрескиванию и улучшение адгезии к минеральным заполнителям [1, 2]. Однако использование первичных полимеров сопровождается ростом себестоимости и оказывает неблагоприятное воздействие на окружающую среду [3]. Одним из рациональных направлений считается применение возобновляемых и вторичных источников полимерного сырья, в частности переработанного полипропилена (ВПП), широко встречающегося в составе твёрдых бытовых отходов [4-6].

Особый интерес представляет использование природной госсиполовой смолы – побочного продукта переработки хлопкового сырья, содержащего активные фенольные и альдегидные группы, способствующие химическому взаимодействию с битумной матрицей [7, 8]. Совмещение госсиполовой смолы с ВПП обеспечивает образование структурированных композиций, сочетающих эластичность полимера и полярность смолы, что повышает совместимость компонентов [9].

Для активации межфазного взаимодействия и устранения несовместимости между полимерной и битумной фазами применяют инициаторы радикальных реакций, такие как персульфат калия ($K_2S_2O_8$) [10-12]. При его термическом разложении образуются сульфат-радикалы, способные инициировать процессы прививки и функционализации макромолекул

полипропилена, что приводит к улучшению адгезионных свойств, повышению гомогенности и устойчивости полученного материала [13].

Таким образом, комбинированное использование госсиполовой смолы, переработанного полипропилена и персульфата калия представляет собой перспективное направление для разработки экологических и долговечных битумных композиций.

Условия и методы исследования

В качестве исходного вяжущего применялся нефтяной гудрон, полученный из остаточных фракций нефтепереработки. Для модификации использовались две добавки: госсиполовая смола и вторичный полипропилен (ВПП), введенные в количестве 5% от массы битумного материала. Для активации химических превращений и инициирования радикальных реакций в систему добавлялся персульфат калия ($K_2S_2O_8$) в дозировке 0,5-1 %.

Процесс модификации осуществлялся методом расплавного смешения. Компоненты последовательно загружались в предварительно разогретый гудрон при температуре 180-200°C. Смесь перемешивалась в лабораторном смесителе в течение 45-60 мин до достижения однородной консистенции. После окончания смешения образцы выдерживались при комнатной температуре не менее 24 ч, что обеспечивало стабилизацию структуры и завершение химического взаимодействия между компонентами.

Для изучения изменений химической структуры применялся метод ИК-Фурье-спектроскопии (FTIR), позволяющий определить появление новых функциональных групп и увеличение степени полярности вяжущего. Анализ микроструктуры и распределения полимера в битумной матрице выполнялся с помощью растровой электронной микроскопии (РЭМ).

Результаты исследований

ИК-спектры образца – 1 (рис. 1) показали, что наличие интенсивных полос в области $1050-1215\text{ см}^{-1}$ и 2924 см^{-1} указывает на внедрение цепей вторичного полипропилена в матрицу гудрона. Полосы в области $1396-1590\text{ см}^{-1}$ подтверждают присутствие ароматических и азотсодержащих структур, связанных с госсиполовой смолой. Сохранение широкого диапазона деформационных колебаний ($507-812\text{ см}^{-1}$) свидетельствует о стабильной ароматической основе битумной матрицы. Присутствие персульфата калия, по-видимому, способствовало частичному окислению, что отражается в усилении полос $C=O$ и $C-O-C$ ($1050-1215\text{ см}^{-1}$). По результатам ИК-спектроскопии установлено, что модификация гудрона госсиполовой смолой и вторичным полипропиленом в присутствии персульфата калия сопровождается изменением спектральных характеристик.

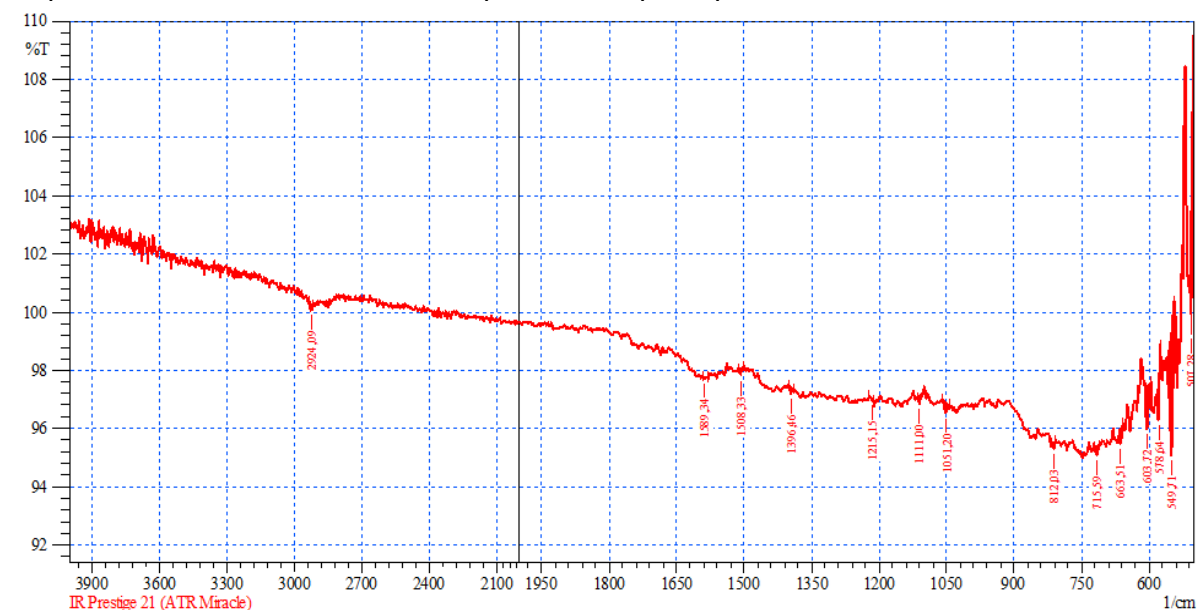


Рисунок 1 – ИК-Фурье спектроскопия модифицированного гудрона

РЭМ-анализ. По результатам растровой электронной микроскопии (рис. 2) модифицированного гудрона установлено, что основным элементом является углерод (88,31%), что подтверждает органическую природу материала. Повышенное содержание

кислорода (10,62%) связано с процессами окислительной модификации при введении госсиполовой смолы и вторичного полипропилена в присутствии персульфата калия. Присутствие серы (1,07%) отражает участие инициатора и возможное образование сульфоксидных и сульфоновых групп. Полученные данные свидетельствуют об успешном протекании реакции модификации и формировании функционализированной структуры вяжущего.

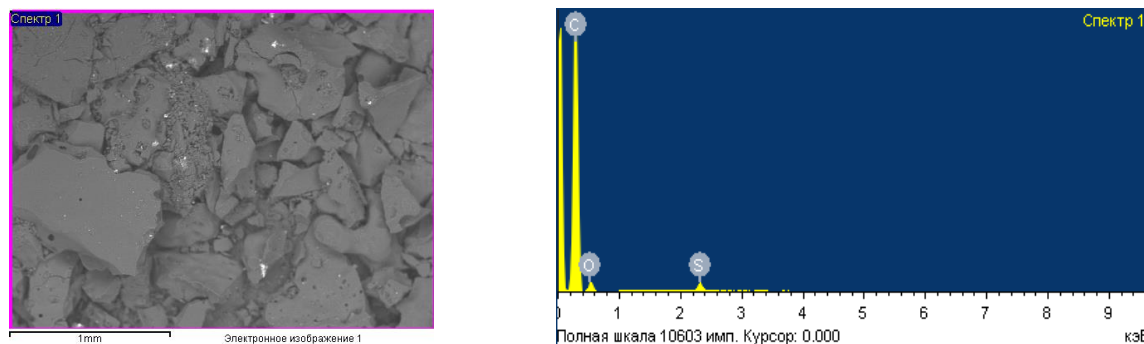


Рисунок 2 – Результаты растровой электронной микроскопии модифицированного гудрона

Обсуждение научных результатов

Анализ экспериментальных данных показал, что введение госсиполовой смолы и вторичного полипропилена в состав нефтяного гудрона при применении персульфата калия в качестве инициатора вызывает существенные изменения в его структуре и химическом составе. По данным ИК-Фурье спектроскопии отмечено появление новых полос поглощения, соответствующих связям С–О и С–О–С, что свидетельствует о формировании кислородсодержащих функциональных групп и реализации реакций радикальной модификации. Повышение интенсивности сигналов в области $1400\text{--}1600\text{ см}^{-1}$ указывает на участие ароматических и фенольных фрагментов госсиполовой смолы, способствующих увеличению полярности и химической активности системы [14, 15].

Результаты растровой электронной микроскопии показали равномерное распределение полимерных включений в битумной матрице и отсутствие выраженной фазовой неоднородности, что свидетельствует о хорошей совместимости компонентов [16, 17]. Элементный анализ подтвердил увеличение содержания кислорода и серы, что связано с процессами окислительной модификации и взаимодействием с инициатором. Полученные результаты демонстрируют, что взаимодействие госсиполовой смолы, вторичного полипропилена и битумной основы приводит к формированию стабильной полимерно-битумной структуры с улучшенными эксплуатационными характеристиками [18, 19].

Таким образом, комбинированная модификация гудрона природными и вторичными компонентами позволяет не только повысить долговечность и адгезионные свойства вяжущего, но и снизить экологическую нагрузку, что подтверждает перспективность данного направления.

Заключение

Результаты проведенной работы показали, что использование композиции на основе госсиполовой смолы и вторичного полипропилена в присутствии персульфата калия способствует глубокой структурной трансформации нефтяного гудрона. В ходе модификации формируются новые кислородсодержащие группы, что повышает полярность, химическую активность и устойчивость системы. По данным ИК-Фурье спектроскопии и растровой электронной микроскопии установлено, что компоненты взаимодействуют на молекулярном уровне, обеспечивая равномерное распределение полимера и повышение однородности битумной матрицы. Таким образом, предложенный подход демонстрирует возможность эффективного использования природных и вторичных ресурсов для получения экологичных, долговечных и экономически целесообразных вяжущих материалов.

Список литературы

1. Shafabakhsh G. Using Waste Plastics as Asphalt Modifier: A Review / G. Shafabakhsh, M. Sadeghnejad, M. Karami // Materials. – 2022. – Vol. 15, № 14. – P. 8112.

2. Ariyawansa C. Using Waste Plastics as Asphalt Modifier: A Review / C. Ariyawansa, S. Sirisomboonchai, Y. Zhou // International Journal of Pavement Research and Technology. – 2022. – Vol. 15. – Article 8745802.
3. Li H. A chemical method to upcycle waste polypropylene into bitumen modifiers / H. Li, X. Zhang, Q. Yang // Journal of Cleaner Production. – 2025. – Vol. 457. – P. 141239.
4. Saeed K. Recycled Polymer Modified Bitumen for Road Construction / K. Saeed, M. Raza, N. Ali // International Journal of Engineering Research and Applications. – 2023. – Vol. 13, № 4. – P. 45-53.
5. Mohammed S. Recycling micro polypropylene in modified hot asphalt mixture / S. Mohammed, M. El-Basyouny, K. Omar // Scientific Reports. – 2023. – Vol. 13. – Article 30857.
6. Yernazarov E. Modified Bitumen Materials from Kazakhstani Oilfield / E. Yernazarov, L.L. Frolova, R.V. Silva // Advances in Polymer Technology. – 2024. – Vol. 43, № 2. – P. 112-121.
7. Abbas M. The nutritional and industrial significance of cottonseeds and gossypol / M. Abbas, A. Ibrahim, H. Chen // Plant Phenome Journal. – 2023. – Vol. 6. – Article e10433.
8. Niu X. The potential roles of gossypol as anticancer agent / X. Niu, J. Zhang, Y. Liu // Frontiers in Pharmacology. – 2024. – Vol. 15. – Article 10722855.
9. Gulomov Sh.T. Researches of process of reception of anticorrosive materials and building bitumens on the basis of gossypol resin / Sh.T. Gulomov, Kh.Z. Rajapbayev // Zamonaviy fan ta'lim va tarbiya jurnali. – 2018. – № 1. – P. 112-118.
10. Kumar V. Radiation and Radical Grafting Compatibilization of Polymers for Improved Bituminous Binders / V. Kumar, A. Patel, R. Singh // Polymer Bulletin. – 2024. – Vol. 81, № 9. – P. 4112-4127.
11. Bhattacharyya A. Grafting: a versatile means to modify polymers / A. Bhattacharyya. – Famagusta: Eastern Mediterranean University, 2017. – 32 p.
12. Rao K.R. Studies on K₂S₂O₈/Ascorbic acid initiated synthesis and grafting / K.R. Rao, A. Sharma, M. Khan // YMER Journal. – 2021. – Vol. 20, № 3. – P. 153-160.
13. Liu B. Solid-state hydroxylation of polypropylene initiated by potassium persulfate / B. Liu, P. Zhou, Y. Wang // Macromolecular Research. – 2025. – Vol. 33, № 5. – P. 712-721.
14. Oxidative Modification of Bitumen with Natural Resins / X. Li et al // Fuel. – 2022. – Vol. 320. – P. 124-138.
15. Effect of Bio-based Additives on Bitumen Rheology and Structure / R.A. Al-Mansob et al // Materials Today Communications. – 2020. – Vol. 25. – P. 101-136.
16. Morphological Characterization of Polymer-Modified Asphalt Binders / J. Zhang et al // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 229. – P. 116-147.
17. Gawel I. The Role of Polymer Distribution in Bitumen Compatibility / I. Gawel, F. Czechowski // Fuel Processing Technology. – 2018. – Vol. 176. – P. 150-158.
18. Sustainable Asphalt Using Recycled Polymers and Natural Additives / M.S. Sureshkumar et al // Journal of Materials Research and Technology. – 2020. – Vol. 9(6). – P. 13688-13700.
19. Performance Enhancement of Asphalt Binder via Radical Grafting / H. Wang et al // Polymer Degradation and Stability. – 2021. – Vol. 183. – P. 109-121.

С.А. Батырбай^{1*}, О.К. Бейсенбаев¹, А.С. Сидиков², Н.М. Дауренбек¹

¹М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті
160012, Қазақстан Республикасы, Шымкент қ., Тәуке хан даңғылы, 5

²И.М. Губкин атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің филиалы,
Өзбекстан Республикасы, Ташкент қаласы, дурмон йули көшесі, 34

*e-mail: symbat_batyrbay@mail.ru

ГОССИПОЛ ШАЙЫРЫ МЕН ЕКІНШІЛІК ПОЛИПРОПИЛЕН НЕГІЗІНДЕ ГУДРОНДЫ МОДИФИКАЦИЯЛАУ

Қазіргі жағдайда қайталама және жаңартылатын ресурстарды пайдалану арқылы экологиялық таза әрі ұзақ мерзімді байланыстырғыш материалдарды әзірлеуге айрықша назар аударылуда. Перспективалы бағыттардың бірі – мұнай негізіндегі байланыстырғыштарды олардың пайдалану қасиеттерін жақсартта алатын табиғи және полимерлі компоненттермен модификациялау болып табылады. Осы зерттеуде гудрон госсипол шайыры мен екіншілік полипропилен (ЕПП) қоспасымен, радикалдық процестердің инициаторы қызметін атқарған калий

персульфатының ($K_2S_2O_8$) қатысуымен модификацияланды. ИҚ-спектроскопия және растрлық электронды микроскопия әдістерін қолдану нәтижесінде жаңа функционалдық топтардың түзілуі, байланыстырғыштың полярлығының артуы және полимер фазасының құрылымда біркелкі таралуы анықталды. Жүргізілген сынақтар модификацияланған материалдың бастапқы гудронмен салыстырғанда адгезиялық, жылулық және деформациялық қасиеттерінің жақсарғанын көрсетті. Құрылымдық-механикалық беріктіктің және қартаюға төзімділіктің артуы госсипол шайыры мен ЕПП арасындағы синергетикалық әсерді дәлелдейді. Әзірленген технология мақта өңдеу және пластик қалдықтарын тиімді түрде қайта пайдалануға мүмкіндік беріп, экологиялық тәуекелі төмен, тұрақты, сапалы және бәсекеге қабілетті байланыстырғыш жүйелерді жасауға жол ашады. Мұндай жүйелер жол құрылысында, гидрооқшаулағыш жабындарда, өнеркәсіптік қоспаларда және құрылыс саласына арналған инновациялық композиттік материалдарда қолдануға лайық.

Түйін сөздер: гудрон, госсипол шайыры, екіншілік полипропилен, калий персульфаты, ИҚ-спектроскопиясы, растрлық электронды микроскопия.

S.A. Batyrbay^{1*}, O.K. Beisenbayev¹, A.S. Sidikov², N.M. Daurenbek¹

¹M. Auezov South Kazakhstan University,

160012, Shymkent, Republic of Kazakhstan, Tauke Khan avenue, 5

²Branch of the Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin

Republic of Uzbekistan, Tashkent, Durmon Yuli Street, 34

* e-mail: symbat_batyrbay@mail.ru

MODIFICATION OF TAR USING GOSSYPOLE RESIN AND RECYCLED POLYPROPYLENE

In modern conditions, special attention is given to the development of environmentally friendly and durable binders produced using secondary and renewable resources. One of the promising approaches is the modification of petroleum binders with natural and polymer components capable of improving their performance characteristics. In this study, the modification of bitumen residue was carried out using a mixture of gossypol resin and recycled polypropylene (RPP) in the presence of potassium persulfate ($K_2S_2O_8$), which served as a radical initiator. The application of FTIR spectroscopy and scanning electron microscopy made it possible to identify the formation of new functional groups, an increase in binder polarity, and a more uniform distribution of the polymer phase within its structure. The conducted tests revealed improvements in the adhesive, thermal, and deformation properties of the modified material compared to the original bitumen residue. The enhancement of structural-mechanical strength and aging resistance indicates a synergistic effect between gossypol resin and RPP. The developed technology demonstrates the efficiency of utilizing cotton processing and plastic waste, offering opportunities to create sustainable, high-quality, and competitive binder systems with reduced environmental risks and expanded areas of application, including road construction, waterproofing coatings, industrial mixtures, and innovative composite materials for the construction industry.

Key words: tar, gossypol resin, secondary/recycled polypropylene, potassium persulfate, FTIR analysis, scanning electron microscopy.

Сведения об авторах

Сымбат Азатханқызы Батырбай* – PhD докторант кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств», Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: symbat_batyrbay@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4738-4687>.

Орал Курганбекович Бейсенбаев – доктор технических наук, профессор кафедры «Технология неорганических и нефтехимических производств» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: oral-kb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-213X>.

Абдужалол Сидикович Сидиков – доктор химических наук, профессор кафедры «Общая химия, химия нефти и газа» филиал Российского государственного университета нефти и газа (НИУ) им. И.М. Губкина филиала в городе Ташкент, Республика Узбекистан; e-mail: sidikov_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

Назарбек Мұхаддасұлы Дәуренбек – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Технология неорганических и нефтехимических производств» Южно-Казахстанского университета им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Республика Казахстан; e-mail: daurenbekn@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4238-3359>.

Авторлар туралы мәліметтер

Сымбат Азатханқызы Батырбай* – «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының PhD докторанты, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: symbat_batyrbay@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4738-4687>.

Орал Курганбекович Бейсенбаев – Техника ғылымдарының докторы, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының профессоры, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: oral-kb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-213X>.

Абдужалол Сидикович Сидиков – Химия ғылымының докторы, «Жалпы химия, мұнай және газ химиясы» кафедрасының профессоры, И.М. Губкин атындағы Ресей мемлекеттік мұнай және газ университетінің филиалы, Ташкент қ., Өзбекстан Республикасы; e-mail: sidikov_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

Назарбек Мұхаддасұлы Дәуренбек – техника ғылымдарының кандидаты, доцент, «Бейорганикалық және мұнайхимия өндірістерінің технологиясы» кафедрасының меңгерушісі, М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Шымкент қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: daurenbekn@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4238-3359>.

Information about the authors

Symbat Batyrbay* – PhD doctoral student of the department «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: symbat_batyrbay@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-4738-4687>.

Oral Beisenbaev – Doctor of technical sciences, professor of the department «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: oral-kb@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9442-213X>.

Abdujalol Sidikov – Doctor of chemical sciences, professor of department of «General chemistry, chemistry of oil and gas» at the branch of the Russian State University of Oil and Gas (NRU) named after I.M. Gubkin in Tashkent, Republic of Uzbekistan; e-mail: sidikov_a@mail.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5393-8201>.

Nazarbek Daurenbek – кандидат Candidate of technical sciences, associate professor, head of the department «Technology of inorganic and petrochemical industries» of M. Auezov South Kazakhstan University, Shymkent, Republic of Kazakhstan; e-mail: daurenbekn@yandex.ru. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4238-3359>.

Поступила в редакцию 14.10.2025

Поступила после доработки 08.12.2025

Принята к публикации 09.12.2025

[https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1\(21\)-68](https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-1(21)-68)

MPHTI: 61.51.37



А.Н. Сабитова*, А.Е. Темиржанова, Ж.Ш. Шәріпхан, Б.Б. Баяхметова, Ж.К. Кабышева
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинка, 20А,
*e-mail: alfa-1983@mail.ru

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИИ ПОЛУЧЕНИЯ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО БИТУМА: ПРОБЛЕМЫ, ПЕРСПЕКТИВЫ

Аннотация: В статье проведен экспертный аналитический обзор отечественных и зарубежных литературных источников на основе поставленных задач по реализации цели разработки инновационных технологии получения высококачественного битума из побочных продуктов нефтедобычи и переработки.

Современные научные работы демонстрируют эффективность использования полимерных, минеральных и биологических компонентов, а также вторичных материалов для повышения долговечности и устойчивости битумных вяжущих. Особое внимание уделено полимерным модификаторам, таким как СБС (стирол-бутадиен-стирол), которые повышают эластичность и прочность битума, снижая вероятность растрескивания и деформации. Использование вторичных материалов, включая резиновую крошку, вакуумный газойль и золу-унос, не только улучшает свойства битума, но и снижает негативное воздействие на окружающую среду. Перспективным направлением является применение биомодификаторов, среди которых особую роль играет лигнин – природный полимер, обладающий высокой химической и термической стабильностью.

©А.Н. Сабитова, Ж.Ш. Шәріпхан, Б.Б. Баяхметова, Б.С. Гайсина, Ж.К. Кабышева, 2026