

Keywords: self-healing of concrete, decorative concrete, ground slag, highly active methacolin, superplasticizer, crack resistance coefficient, autogenic mechanism.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

BELOV Nikita Aleksandrovich – Graduate Student, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: nikitka-belov-2001@bk.ru

KURYATNIKOV Yury Yuryevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: yuriy-k@yandex.ru

BELOV Vladimir Vladimirovich – Adviser of the Russian Academy of Architecture and Building Sciences, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Production of Building Materials and Structures, Tver State Technical University, 22, embankment of A. Nikitin, Tver, 170026, Russia. E-mail: vladim-bel@yandex.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Belov N.A., Kuryatnikov Yu.Yu., Belov V.V. Self-healing decorative concretes for the manufacture of small architectural forms // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 12–20.

УДК 665.775

ОЦЕНКА СТРУКТУРНО-ГРУППОВОГО СОСТАВА БИТУМОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ РЕЗИНОВОЙ КРОШКОЙ, МЕТОДОМ ИК-СПЕКТРОСКОПИИ

Ю.Е. Кабанов, С.А. Иванов, И.С. Гуркин

*Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева
(г. Кемерово)*

© Кабанов Ю.Е., Иванов С.А., Гуркин И.С., 2026

Аннотация. Приведены результаты сравнительного исследования структурно-группового состава битума марки БНД 70/100, модифицированного резиновой крошкой по одностадийной и двухстадийной технологиям. Исследование выполнено методом инфракрасной (ИК) спектроскопии на сканирующем электронном микроскопе JSM 6480 LV. Установлено, что базовая углеводородная матрица битума сохраняется при модификации, о чем свидетельствуют характерные полосы поглощения в областях $2\,750\text{--}2\,900$, $790\text{--}910$ и $1\,600\text{ см}^{-1}$. Критерием успешного введения резинового модификатора служит появление новых полос поглощения в интервалах $1\,950\text{--}2\,190$ и $2\,200\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$, что коррелирует с присутствием в системе соединений каучуковой природы. Усиление полосы при $1\,590\text{ см}^{-1}$ указывает на увеличение содержания высокомолекулярных асфальтенов и структурирующих смол в модифицированных битумах. Качественных различий в ИК-спектрах образцов, полученных по разным технологиям, не выявлено.

Ключевые слова: битум, резиновая крошка, модификация, инфракрасная спектроскопия, структурно-групповой состав, асфальтены, каучуковые соединения, ИК-спектр.

DOI: 10.46573/2658-7459-2026-1-20-25

ВВЕДЕНИЕ

Нефтяные дорожные битумы представляют собой сложные коллоидные системы, состоящие из высокомолекулярных углеводородов различных рядов и их гетероатомных производных. Для улучшения их эксплуатационных характеристик, таких как теплоустойчивость, эластичность, трещиностойкость и долговечность, широко применяется модификация полимерными добавками [1, 2]. Одним из наиболее перспективных и экологически целесообразных модификаторов является резиновая крошка из изношенных автомобильных шин, использование которой решает проблему утилизации отходов [3, 4].

Эффективность модификации битума резиной в значительной степени зависит от глубины физико-химического взаимодействия компонентов, что, в свою очередь, определяется технологией введения модификатора. Наиболее распространены одностадийный (прямое смешение всех компонентов) и двухстадийный (предварительная активация или пластификация резины) технологические процессы. Актуальной задачей является оценка влияния применяемой технологии на структурно-групповой состав и, как следствие, на свойства получаемого резинобитумного вяжущего (РБВ) [5]. Инфракрасная (ИК) спектроскопия – один из наиболее информативных методов решения такой задачи, позволяющий идентифицировать функциональные группы и типы химических связей в сложных органических системах.

Цель данной работы заключалась в сравнительном исследовании структурно-группового состава битума БНД 70/100, модифицированного резиновой крошкой по одностадийной и двухстадийной технологиям, методом ИК-спектроскопии для выявления особенностей взаимодействия компонентов.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

В качестве объекта исследования использовали дорожный битум марки БНД 70/100. Модификатором служила резиновая крошка из изношенных автомобильных шин с размером частиц 0,1–0,5 мм. В качестве пластифицирующего компонента применяли масло-пластификатор ПН-6Ш. Были приготовлены следующие образцы:

1. Исходный битум БНД 70/100 (контрольный образец).
2. Битумное вяжущее, модифицированное резиновой крошкой по двухстадийной технологии (предварительная обработка крошки в пластификаторе с последующим смешением с битумом).
3. Битумное вяжущее, модифицированное резиновой крошкой по одностадийной технологии (одновременное смешение всех компонентов).

ИК-спектры образцов снимали на сканирующем электронном микроскопе JSM 6480 LV, оборудованном модулем для ИК-Фурье спектроскопии в режиме нарушенного полного внутреннего отражения. Спектры регистрировали в диапазоне $4000\text{--}400\text{ см}^{-1}$ с разрешением 4 см^{-1} , накоплением 32 скана. Для сравнения также был записан спектр масла-пластификатора ПН-6Ш. Обработку и анализ спектров проводили с использованием специализированного программного обеспечения.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

На рис. 1 представлены ИК-спектры исходного битума, масла-пластификатора и битумов, модифицированных резиновой крошкой по различным технологиям. Визуальный анализ спектров подтверждает их качественное сходство в основных характеристических областях, что указывает на сохранение фундаментальной углеводородной матрицы битума БНД 70/100 после модификации [2, 6].

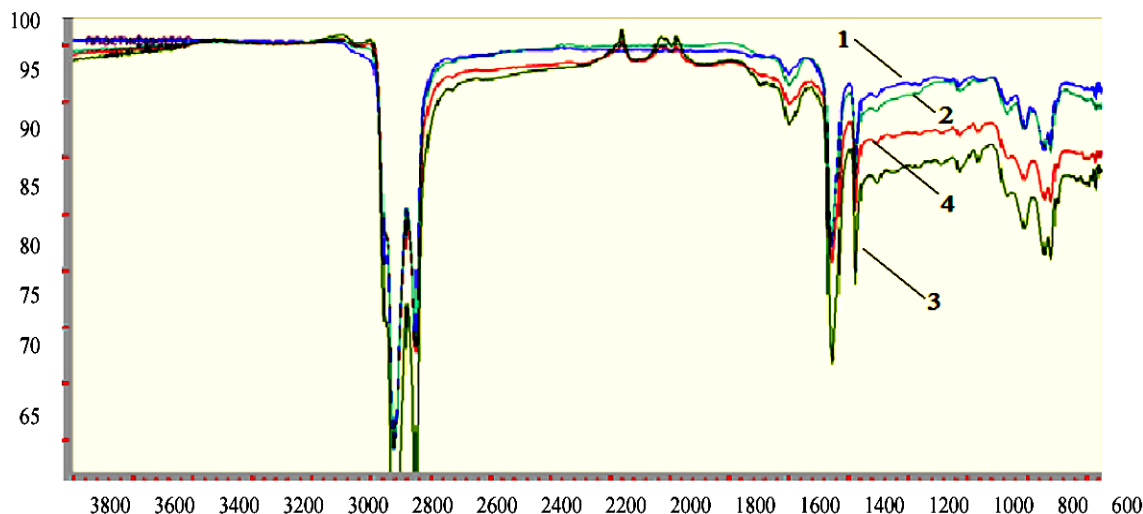


Рис. 1. ИК-спектры исследуемых битумных вяжущих:

- 1 – масла-пластификатора ПН-6Ш;
- 2 – исходного битума марки БНД 70/100;
- 3 – битума, модифицированного резиновой крошкой при двухстадийном технологическом процессе;
- 4 – битума, модифицированного резиновой крошкой при одностадийном технологическом процессе

Анализ спектров выявил следующие характерные полосы поглощения и их изменения:

1. Область валентных колебаний С–Н связей ($2\,750\text{--}2\,900\text{ см}^{-1}$). Все битумные образцы (2, 3, 4) демонстрируют интенсивные дублеты в указанном диапазоне, характерные для асимметричных и симметричных колебаний связей CH_2 и CH_3 в алифатических цепях насыщенных углеводородов, парафинов и масел. Интенсивность этих полос для исходного и модифицированных битумов практически идентична.

2. Область колебаний ароматических структур ($790\text{--}910\text{ см}^{-1}$). В спектрах битумных образцов наблюдаются слабые полосы в этом интервале, что соответствует колебаниям С–Н связей в ароматических кольцах и подтверждает наличие ароматических структур.

3. Область колебаний $\text{C}=\text{C}$ связей ($\sim 1\,600\text{ см}^{-1}$). На всех спектрах битумов присутствует полоса при $\sim 1\,600\text{ см}^{-1}$, связанная с валентными колебаниями $\text{C}=\text{C}$ связей, как правило, циклического строения.

4. Область карбонильных групп ($\sim 1\,590\text{ см}^{-1}$). В спектрах модифицированных битумов (3, 4) наблюдается усиление полосы поглощения вблизи $1\,590\text{ см}^{-1}$ по сравнению с исходным битумом (2). Эта полоса соответствует валентным колебаниям карбонильных

групп ($\text{C}=\text{O}$) и указывает на увеличение содержания высокомолекулярных асфальтенов и структурирующих смол в модифицированных композициях, что согласуется с данными других исследований [4, 7].

5. Область поглощения каучуковых соединений ($1\,950\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$). Наиболее значимым отличием спектров модифицированных битумов (3, 4) от спектров исходных материалов (1, 2) является наличие полос поглощения в интервале $1\,950\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$. Данные полосы отсутствуют в спектрах чистого битума и пластификатора. Появление поглощения в этом диапазоне, в частности в интервале $2\,200\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$, служит надежным индикатором присутствия в системе химических фрагментов каучуковой природы [5], что подтверждается ИК-спектром бутадиенового каучука ПДИ-1К, имеющим характерные пики в области $2\,200\text{--}2\,350\text{ см}^{-1}$ (рис. 2).

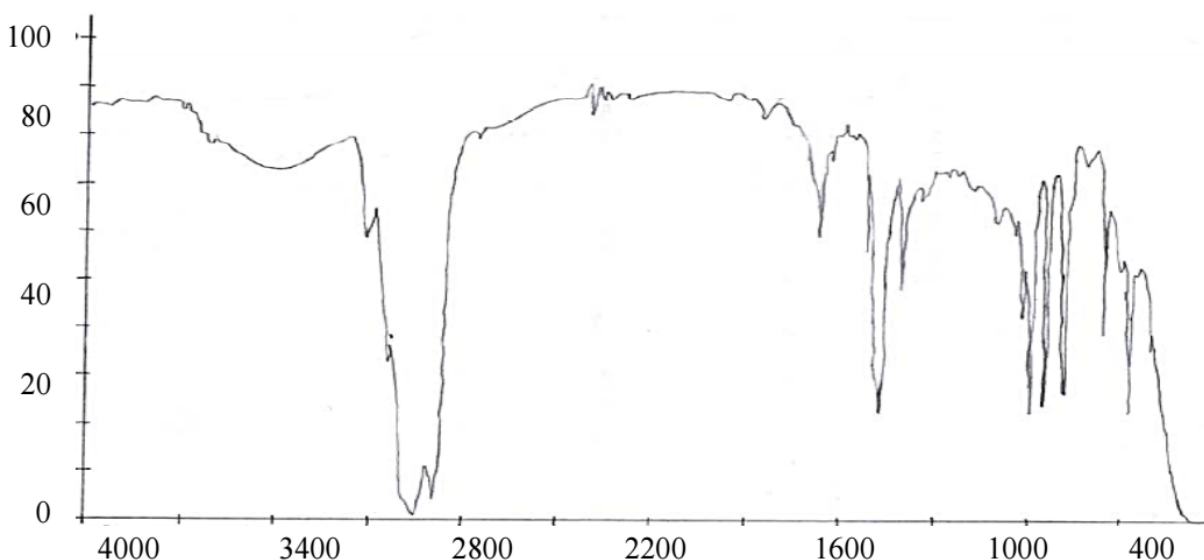


Рис. 2. ИК-спектр гидроксилсодержащего низкомолекулярного бутадиенового каучука ПДИ-1К

Сравнение спектров битумов, модифицированных по одностадийной (4) и двухстадийной (3) технологиям, показывает их высокую степень сходства. Основные различия, согласно рис. 1, носят количественный характер и могут проявляться в незначительных вариациях относительной интенсивности полос в области $1\,950\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$ и при $1\,590\text{ см}^{-1}$. Это позволяет сделать вывод, что обе технологии приводят к сходному типу химического взаимодействия между компонентами [6, 7].

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Метод ИК-спектроскопии подтвердил сохранение основной углеводородной структуры битума БНД 70/100 после его модификации резиновой крошкой, о чем свидетельствует неизменность набора характеристических полос поглощения в областях $2\,750\text{--}2\,900$, $790\text{--}910$ и $1\,600\text{ см}^{-1}$ [2].

2. Надежным спектральным маркером введения резинового модификатора в битумное вяжущее служит появление полос поглощения в интервале $1\,950\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$, которые отсутствуют в спектрах исходного битума и пластификатора. Особенно

показательна область $2\,200\text{--}2\,300\text{ см}^{-1}$, характерная для соединений каучуковой природы [5].

3. Усиление полосы поглощения вблизи $1\,590\text{ см}^{-1}$ в модифицированных образцах указывает на увеличение содержания высокомолекулярных асфальтенов и структурирующих смол, что свидетельствует о структурной перестройке битумной матрицы и может положительно влиять на реологические и эксплуатационные свойства материала [4, 7].

4. Сравнительный анализ ИК-спектров не выявил качественных различий в структурно-групповом составе битумов, модифицированных по одно- и двухстадийной технологиям. Наблюдаемые различия носят количественный характер, что свидетельствует о сходном характере взаимодействия компонентов при использовании данных технологических приемов [6].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Вольфсон С.И. Использование модифицированного дорожного битума в асфальтобетонах и щебеночно-мастичных асфальтобетонах // *Вестник технологического университета*. 2016. № 17. С. 37–40.
2. Модификация битумов, как способ повышения их эксплуатационных свойств / С.И. Вольфсон [и др.] // *Вестник технологического университета*. 2016. № 17. С. 29–33.
3. Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Макаров Д.Б., Хакимуллин Ю.Н., Хозин В.Г. Наномодифицированные битумные вяжущие для асфальтобетона // *Жилищное строительство*. 2010. № 10. С. 34–35.
4. Минхаирова А.И., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г., Хакимуллин Ю.Н. Модификация дорожных битумов смесевыми термоэластопластами // *Вестник Казанского технологического университета*. 2012. Т. 15. № 17. С. 120–122.
5. Мурафа А.В., Аюпов Д.А., Хозин В.Г. Битумно-резиновые вяжущие строительного назначения: учебное пособие. Казань: КГАСУ, 2012.
6. Пузакова Е.В., Закирова Л.Ю., Вольфсон И.С., Хакимуллин Ю.Н., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Хозин В.Г. Влияние состава термоэластопластов на свойства модифицированных битумов // *Вестник Казанского технологического университета*. 2013. Т. 16. № 1. С. 120–121.
7. Makarov D., Ayupov D., Murafa A., Khozin V. Compatibility studies of mixed thermoplastic rubber with road bitumen // *Open Civil Engineering Journal*. 2014. Т. 8. № 1. С. 124–129.

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

КАБАНОВ Юрий Евгеньевич – старший преподаватель кафедры автомобильных дорог и городского кадастра, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28. E-mail: kabanovjue@kuzstu.ru

ИВАНОВ Сергей Александрович – кандидат технических наук, заведующий кафедрой автомобильных дорог и городского кадастра, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28. E-mail: isa.ad@kuzstu.ru

ГУРКИН Илья Сергеевич – студент, ФГБОУ ВО «Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф. Горбачева», 650000, Россия, г. Кемерово, ул. Весенняя, д. 28. E-mail: ilia2018gurkin@mail.ru

БИБЛИОГРАФИЧЕСКАЯ ССЫЛКА

Кабанов Ю.Е., Иванов С.А., Гуркин И.С. Оценка структурно-группового состава битумов, модифицированных резиновой крошкой, методом ИК-спектроскопии // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Строительство. Электротехника и химические технологии». 2026. № 1 (29). С. 20–25.

ASSESSMENT OF THE GROUP COMPOSITION OF RUBBER CRUMB MODIFIED BITUMEN BY INFRARED SPECTROSCOPY

Yu.E. Kabanov, S.A. Ivanov, I.S. Gurkin

T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University (Kemerovo)

Abstract. The paper presents the results of a comparative study of the group composition of BND 70/100 bitumen modified with rubber crumb using one-stage and two-stage technologies. The study was performed by infrared (IR) spectroscopy on a JSM 6480 LV scanning electron microscope. It was found that the basic hydrocarbon matrix of bitumen is preserved upon modification, as evidenced by characteristic absorption bands in the regions of 2 750–2 900, 790–910 and 1 600 cm^{-1} . The criterion for the successful introduction of a rubber modifier is the appearance of new absorption bands in the intervals of 1 950–2 190 cm^{-1} and 2 200–2 300 cm^{-1} , which correlates with the presence of rubber compounds in the system. The intensification of the band at 1590 cm^{-1} indicates an increase in the content of high-molecular-weight asphaltenes and structuring resins in modified bitumens. No qualitative differences were found in the IR spectra of samples obtained using different technologies.

Keywords: bitumen, rubber crumb, modification, infrared spectroscopy, group composition, asphaltenes, rubber compounds, IR spectrum.

INFORMATION ABOUT THE AUTHORS

KABANOV Yuriy Evgenievich – Senior Lecturer, Department of Highways and Urban Cadastre, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russia. E-mail: kabanovjue@kuzstu.ru

IVANOV Sergey Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Highways and Urban Cadastre, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russia. E-mail: isa.ad@kuzstu.ru

GURKIN Ilya Sergeevich – Student, T.F. Gorbachev Kuzbass State Technical University, 28, Vesennaya str., Kemerovo, 650000, Russia. E-mail: ilia2018gurkin@mail.ru

CITATION FOR AN ARTICLE

Kabanov Yu.E., Ivanov S.A., Gurkin I.S. Assessment of the group composition of rubber crumb modified bitumen by infrared spectroscopy // Vestnik of Tver State Technical University. Series «Building. Electrical engineering and chemical technology». 2026. No. 1 (29), pp. 20–25.