

7. Rockwool Russia: tekhnicheskiy albom "Ventiliruemye fasady" [Rockwool Russia: Technical Album "Ventilated Facades"]. Moscow, OOO "Rockwool", 2021. 64 p.;
8. Semenova E.E., Dumanova V.S. Povyshenie energoeffektivnosti ekspluatiruemykh zdaniy [Improving the Energy Efficiency of Buildings in Operation]. Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2020, no. 2 (32), pp. 55-72.;
9. Semenova E.E., Rybalko A.A., Chernikova Yu.A. Vliyanie klimaticheskogo rayona stroitelstva na teplotekhnicheskie kharakteristiki naruzhnykh ograzhdayushchikh konstruksiy s uchetom energosberezheniya [Influence of the Climatic Construction Zone on the Thermal Characteristics of External Enclosing Structures Taking into Account Energy Saving]. Inzhenerno-stroitelnyy vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]. 2023, no. 4 (46), pp. 13-19.;
10. Teplovye poteri v zdaniyakh i sooruzheniyakh [Heat Loss in Buildings and Structures]. Available at: <https://studopedia.ru/19175400patofiziologiya-regionarnogo.html> (accessed April 19, 2025).;
11. Tekhnonikol: tekhnicheskaya dokumentatsiya [Technicol: Technical Documentation]. Available at: <https://www.tehnonikol.ru> (accessed April 19, 2025).;
12. Abrudan A. Thermal Rehabilitation Influence upon the Comfort in Hospitals. A. Abrudan- International Conference on Advancements of Medicine and Health Care through Technology - Cluj-Napoca, Romania, 2016. - P. 155-158.
13. Alhawari A., Mukhopadhyaya P. Thermal bridges in building envelopes - An overview of impacts and solutions. A. Alhawari, P. Mukhopadhyaya- International Review of Applied Sciences and Engineering. - 2018. - № 9(1). - C.31-40. - DOI: 10.1556/1848.2018.9.1.5.
14. Anireddy A. R. Optimizing Energy Efficiency in Residential and Commercial Buildings. A. R. Anireddy- ESP Journal of Engineering & Technology Advancements - 2024. - №4(04). - P.113-117. - DOI:10.56472/25832646/JETA-V4I4P114.14.
15. Ascione F., Bianco N., De Masi R.F., de' Rossi F., Vanoli G. P. Energy refurbishment of existing buildings through the use of phase change materials: Energy savings and indoor comfort in the cooling season. F. Ascione, N. Bianco, R. F. De Masi, F. de' Rossi, G. P. Vanoli- Applied Energy - 2014. - № 114 - P. 990-1007.
16. Gugliermetti F., Bisegna F. Saving energy in residential buildings: The use of fully reversible windows. F. Gugliermetti, F. Bisegna - Energy - 2007. - №7 (32). - P.1235-1247
17. Kurnitski J., Saari A., Kalamees T., Vuolle M., Niemelä J., Tark T. Cost optimal and nearly zero (nZEB) energy performance calculations for residential buildings with REHVA definition for nZEB national implementation. J. Kurnitski, A. Saari, T. Kalamees, M. Vuolle, J. Niemelä, T. Tark- Energy and Buildings - 2011. - № 43. - P. 3279-3288.
18. Papadopoulos A.M. Energy Efficiency in Hospitals: Historical Development, Trends and Perspectives. A. M. Papadopoulos -Energy Performance of Buildings - 2015. - P. 217-233.
19. Vij M. Key Architectural Parameters for Optimizing energy efficiency of Building Envelopes: A Comprehensive Review. M. Vij. Tuijin Jishu - Journal of Propulsion Technology - 2024. - №45(04). - P. 1673-1691. - DOI:10.52783/tjjpt.v45.i04.8386.
20. Zirkelbach D., Holm A., Künzel H.M. Influence of temperature and relative humidity on the durability of mineral wool in ETICS. D. Zirkelbach, A. Holm, H.M. Künzel - 10DBMC International Conference on Durability of Building Materials and Components - France, 2005.

© И. Е. Клюева, Э. Е. Семенова

**Ссылка для цитирования:**

Клюева И. Е., Семенова Э. Е. Влияние теплопроводных включений на теплозащитные свойства ограждающих конструкций лечебных учреждений // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 55-61.

УДК 665.775.4

DOI 10.52684/2312-3702-2025-55-1-61-69

**МЕТОД ОЦЕНКИ СОДЕРЖАНИЯ СБС-ПОЛИМЕРОВ В ДОРОЖНЫХ БИТУМНЫХ ВЯЖУЩИХ**

**И. М. Рожков**

**Рожков Иван Михайлович**, руководитель отдела исследований, Научно-исследовательский институт транспортно-строительного комплекса, г. Москва, Российская Федерация, тел.: + 7 (926) 529-49-40; ORCID: 0009-0002-9811-4534; e-mail: extralab@mail.ru

В современном дорожном строительстве применение улучшенных компонентов асфальтобетонных смесей позволяют увеличивать межремонтные сроки дорожных покрытий. Поэтому в качестве связующих компонентов все чаще применяются дорожные вяжущие, модифицированные полимерами. В данной работе было проведено исследование возможности смесевых вяжущих на основе СБС-полимеров сохранять свои свойства после продолжительного периода эксплуатации дорожных покрытий. С указанной целью была использована методика по определению количества полимера с использованием инфракрасного спектра изложенная в ПНСТ 860. В результате исследований методом ИК-спектрометрии, с применением более чем 20 битумных вяжущих, в том числе экстрагированных на различных участках автомобильных дорог, показана возможность подтверждения заявленного изготовителем содержания СБС-полимера в вяжущем, в том числе после длительного периода эксплуатации.

**Ключевые слова:** ИК-спектрометрия, ПНСТ860, битумные вяжущие, СБС-полимеры.

**A METHOD FOR ASSESSING THE CONTENT OF SBS POLYMERS IN BINDERS**

**I. M. Rozhkov**

**Rozhkov Ivan Michailovich**, Head of the Research Department, Scientific Research Institute of Transport and Construction Complex, Moscow, Russian Federation, phone: + 7 (926) 529-49-40; ORCID: 0009-0002-9811-4534; e-mail: extralab@mail.ru

In modern road construction, the use of improved components of asphalt-concrete mixtures makes it possible to increase the inter-repair time of road surfaces. Therefore, polymer-modified road binders are increasingly used as binding components. In this paper, a study was conducted on the possibility of mixed binders based on SBS polymers to retain their properties after a long period of road surface operation. For this purpose, a technique was used to determine the amount of polymer using the infrared spectrum described in PNST 860. As a result of FTIR spectrometry studies using more than 20 bitumen binders, including those extracted on various sections of highways, it has been shown that it is possible to confirm the SBS polymer content claimed by the manufacturer in the binder, including after a long period of operation.

**Keywords:** FTIR spectrometry, PNST 860, bitumen binders, SBS polymers.

### Введение

Глобальные климатические изменения и повышение нагрузки автомобильного транспорта на дорожное покрытие требуют постоянного внимания к качественным показателям компонентов асфальтобетонных смесей, среди которых важнейшее место занимают битумы и битумное вяжущие различного состава и назначения [12].

Асфальтобетонные смеси были и остаются преобладающими компонентами для обустройства российских автомобильных дорог. Поскольку битумные вяжущие являются достаточно сложной нестабильной органической системой, то крайне важна оценка их качественного состава с целью

прогнозирования последующего поведения покрытий в условиях эксплуатации.

Нефтяной дорожный битум состоит из большого числа предельных алифатических и ароматических углеводородов, спектр которых характеризуется рядом полос (табл. 1), в том числе валентным (2960, 2920, 2851  $\text{см}^{-1}$ ) и деформационным (1456, 1378 и 721  $\text{см}^{-1}$ ) колебаниям метиленовых ( $\text{CH}_2$ ) и метильных ( $\text{CH}_3$ ) групп [8, 6, 19].

Кроме того, в типичном ИК-спектре битума нефтяного дорожного вязкого окисленного присутствует полоса 1601  $\text{см}^{-1}$ , соответствующая ароматическим структурам и пики в низкочастотной области в районе волновых чисел 868, 810 и 745  $\text{см}^{-1}$  [7, 5, 3].

Таблица 1

Соответствие волновых чисел некоторым структурным фрагментам

№ п/п	Функциональная группа	Волновое число, $\text{см}^{-1}$
	1	2
1	C-H	2900-2750
2	C=O	1700
3	C=C 1,2-присоединения	910
4	C=C 1,4-присоединения	965
5	C=C с фенильным радикалом	1590
6	C=C ароматические	1715-1695
7	Концевая винильная группа	1640
8	Цис-группа H-RC=CR'-H	730-665 (1420-1400)
9	Транс-группа H-RC=CR'-H	980-960 (1310-1280)

При анализе ИК-спектров бутадиен-стирольных термоэластопластов (СБС-полимеров) фиксируются пики для карбонильных групп C=O (1740  $\text{см}^{-1}$ ) и непредельных C=C связей (1665  $\text{см}^{-1}$ ). Еще более важные сведения об используемых для модификации полимерах дает анализ полос поглощения в интервалах волновых чисел 910-970  $\text{см}^{-1}$  и 1715-1590  $\text{см}^{-1}$ .

Они позволяют однозначно идентифицировать тип присоединения мономеров, то есть строение основной полимерной цепи. Так, в случае нахождения двойной связи в основной цепи полибутадиенового блока СБС-полимера, т.е. в случае реализации 1,4-присоединения, пик будет наблюдаться при длине волны соответствующей волновому числу 965  $\text{см}^{-1}$ , однако для 1,2-присоединения он характерен при 910  $\text{см}^{-1}$ . Фиксация интенсивного поглощения по полосе 910  $\text{см}^{-1}$  указывает на потенциально возможное химическое взаимодействие термоэластопласта с достаточно широким кругом компонентов, присутствующих в асфальтобетонных смесях. Идентифицировать двойную углерод-углеродную связь с фенильным заместителем поможет полоса 1590  $\text{см}^{-1}$ , а для ароматического кольца характеристическими являются полосы в интервале волновых чисел 1715-1695  $\text{см}^{-1}$ .

Рассмотренная далее методика работы с ИК-спектрометром достаточно проста и вполне доступна со-

трудникам дорожных лабораторий и позволяет оценить в конкретном вяжущем количество СБС-модификатора, использованного при регулировании свойств окисленных дорожных вяжущих.

До недавнего времени ИК-спектрометры не применялись в дорожной отрасли для контроля дорожных строительных материалов и конструкций. При этом это современное оборудование открывает массу новых возможностей для дорожной отрасли, например, для контроля компонентного состава применяемых модифицированных битумных вяжущих материалов. Одной из проблем при контроле качества уже уложенных дорожных покрытий является отсутствие актуальных стандартизованных систем позволяющих проводить достоверную проверку вида и компонентного состава находящихся в составе асфальтобетона вяжущих материалов. Данный контроль затруднен, в том числе, тем, что битумное вяжущее не обладает стабильными свойствами ввиду постоянного его окислительного старения при технологических и эксплуатационных процессах. При этом автором статьи была выдвинута гипотеза, что именно количественное содержание некоторых модифицирующих компонентов может проявлять стабильность, тем самым их наличие и количественное содержание может являться удобным критерием для подтверждения вида и со-

става изначально применяемого битумного вяжущего материала. Данный подход ранее не применялся в нашей стране и может послужить настоящим технологическим прорывом, предоставляющим новые возможности при контроле качества дорожных материалов конструктивов. В данной статье представлены результаты экспериментов, направленных на оценку возможности применения ИК-спектроскопии для типичных дорожных строительных материалов, наиболее широко применяемых на территории Российской Федерации.

#### Материалы и методы

В соответствии с основными положениями, разработанного автором статьи предварительного

национального стандарта ПНСТ-860 «Дороги автомобильные общего пользования. Материалы вяжущие нефтяные битумные. Метод определения количества полимера с использованием инфракрасного спектра», в качестве объектов исследования в работе были рассмотрены как модифицированные битумные вяжущие (представляющие собой лабораторные смеси на основе битума с добавлением СБС-полимера), так и вяжущие, экстрагированные на объектах дорог, длительное время находящихся в эксплуатации. В качестве базового битума, являвшегося основой для создания смесевых композиций в лаборатории, был использован битум нефтяной дорожный вязкий БНД 70/100, произведенный на АО «ГАЗПРОМНЕФТЬ-МОСКОВСКИЙ НПЗ» (табл. 2).

Таблица 2

Физико-механические свойства битума БНД 70/100

№ п/п	Наименование показателя	БНД 70/100, ГОСТ 33133-2014	Методы испытаний
	1	2	3
1	Глубина проникания иглы, 0,1 мм, при 25 °С	80	ГОСТ 33136
2	Температура размягчения по кольцу и шару, °С, не ниже	48	ГОСТ 33142
3	Растяжимость, см, при 0 °С	3,7	ГОСТ 33138
4	Температура хрупкости, °С	-19	ГОСТ 33143
5	Температура вспышки, °С	295	ГОСТ 33141
6	Изменение массы образца после старения, %	0,2	ГОСТ 33140
7	Изменение температуры размягчения после старения, °С	6,0	ГОСТ 33142

В качестве полимерного модификатора был выбран отечественный бутадиен-стирольный термоэластопласт (БС ТЭП, СБС-полимер, термоэластопласт) линейного строения СБС Л 30-01, промышленно синтезируемый на АО «Воронежсинтезкаучук» [4, 18, 9, 23, 1].

С целью наиболее полного набухания полимерных глобул и их равномерного распределения в развернутом состоянии по всему объему базового битума необходимо обеспечить в достаточном количестве в составе ПБВ низкомолекулярных пластифицирующих агентов, таких как парафинонафтовые масла и низкомолекулярные смолы. Поэтому при приготовлении смесевых композиций в идентичных количествах использовалось индустриальное масло [2, 10].

Для проведения основных спектральных исследований в работе был задействован спектрометр ALPHA II, который представляет собой малогабаритный инфракрасный спектрометр на основе преобразования Фурье (FT-IR) модульной конструкции [16]. Спектрометр ALPHA II применяется в различных областях, включая анализ жидкостей и твердых веществ, анализ газов, бесконтактный и неразрушающий анализ и т.п. (рис. 1).

Регистрация ИК-спектров производилась с помощью приставки нарушенного полного внутреннего отражения (НПВО) в области 2000–600 см<sup>-1</sup> при стандартных условиях. Оценка соответствия полученных волновых пиков структурным фрагментам инфракрасных спектров проводилась с помощью специального программного обеспечения (табл. 1). Капли битума предварительно наносились на кристалл НПВО. Особенностью регистрации спектров термоэластопластов, используемых при модификации битума, за-

ключалась в том, что гранулы непосредственно прижимались к элементу НПВО специальным прижимным устройством прибора [13–15].

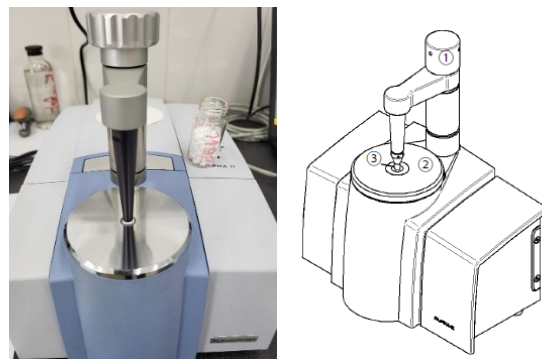


Рис. 1. Спектрометр ALPHA II для измерений в режиме НПВО: ручка для нажатия и отпущения предметного столика (1), предметный столик (2), пластина с встроенным кристаллом НПВО (3) (иллюстрация автора)  
 Fig. 1. ALPHA II spectrometer for measurements in the ATR mode: a handle for pressing and releasing a slide table (1), a slide table (2), a plate with an integrated ATR crystal (3) (illustration by the authors)

На рисунке 2 представлены кривые для битума нефтяного дорожного вязкого БНД 70/100, чистого СБС-полимера марки СБС Л 30-01А, а также их смеси при содержании полимера 3.5 % масс. ИК-спектры, полученные для вяжущих разного компонентного состава, были проанализированы. В области волновых чисел порядка 1380 см<sup>-1</sup> на спектре СБС-полимера наличие пика не отмечено (отсутствует изменение поглощения), в то же время для чистого битума присутствует достаточно интенсивный пик (отмечается интенсивное поглощение). При ана-

лизе ИК-спектра для образца полимера интенсивное поглощение излучения подтверждается пиками в области 700 и 970 см<sup>-1</sup>. На ИК-спектре битума поглощение на указанных частотах отсутствует. Более того, на ИК-спектре модифицированного битумного вяжущего (смесь битума и СБС-полимера) четко детектируются характеристические пики, интенсивность которых может характеризовать количественное содержание СБС-полимера (рис. 2).

Порядок обработки результатов испытаний достаточно подробно описан в ПНСТ 860. В данном случае на ИК-спектре (рис. 2-4) выбирают пики, соответствующие волновым числам порядка 700, 970 и 1380 см<sup>-1</sup>. В ходе работы с каждым пиком проводится отдельная базовая спектральная линия, соединяющая два экстремума на ИК-спектре, близких к следующим значениям волновых чисел:

- для пика 1 – 690 и 790 см<sup>-1</sup>;
- для пика 2 – 930 и 1130 см<sup>-1</sup>;
- для пика 3: 1230 и 1400 см<sup>-1</sup>.

Затем для каждого из указанных выше пиков были вычислены относительные высоты пиков ( $A_n$ ) по следующей формуле:

$$A_n = \log_{10}(B_n) - \log_{10}(P_n),$$

где  $B_n$  – числовое значение пропускания на базовой линии при соответствующем значении волнового числа для каждого оцениваемого пика ( $n$ );  $P_n$  – числовое значение пропускания на ИК-спектре при соответствующем значении волнового числа для каждого оцениваемого пика ( $n$ );  $n$  – номер пика.

Искомое числовое значение содержания СБС-полимера в составе исследованного методом ИК-спектроскопии битумного вяжущего ( $X$ , %) рассчитывают по формуле:

$$X = 5,25 \cdot (A_1 + 2A_2) / A_3,$$

где  $A_1, A_2, A_3$  – относительные высоты пиков, вычисленные ранее.

Данная эмпирическая корреляционная формула была получена при разработке ПНСТ 860 экспериментальным путем на основе калибровочных экспериментов с применением широкого спектра применяемых в РФ СБС-полимеров и модифицированных битумных вяжущих. Таким образом, результаты, получаемые с ее применением, имеют высокую степень достоверности.

Для демонстрации характерных особенностей ИК-спектров на рисунке 2 представлены спектры поглощения битума, СБС-полимера и их смеси с типичным для ПБВ содержанием полимера 3.5 % масс.

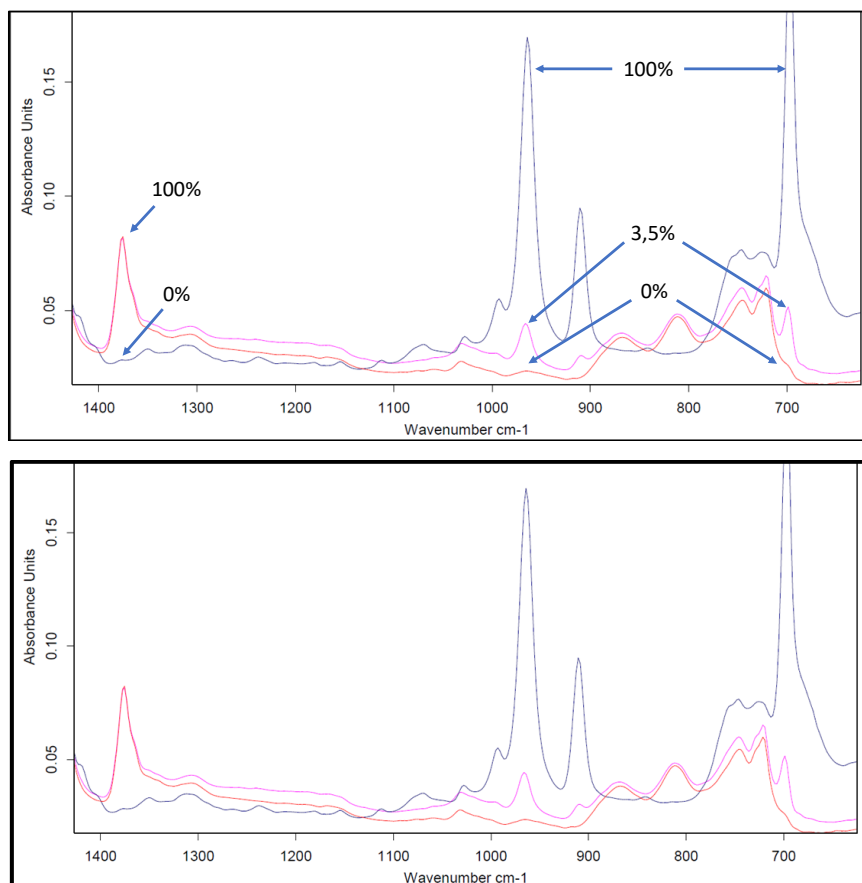


Рис. 2. ИК-спектры поглощения для исходных битума БНД 70/100 (оранжевый), СБС-полимера марки СБС Л 30-01 А (синий) и их смеси при содержании полимера 3.5 % масс (вишневый) (иллюстрация автора)

Fig. 2. FTIR absorption spectra for the initial bitumen BND 70/100 (orange), SBS polymer grade SBS L 30-01 A (blue) and their mixtures with a polymer content of 3.5% by weight (cherry) (illustration by the authors)

### Результаты и обсуждения

Процессы старения битумного вяжущего могут влиять на их компонентный состав, поэтому в дан-

ной работе был проведен комплекс испытаний образцов ПБВ, предварительно подвергнутых сначала кратковременному, а затем и долгосрочному старе-

нию суммарной продолжительности 64 ч. Учитывая, что традиционная методика PAV моделирует старение на горизонте 7–10 лет, то нахождение вяжущих в установке для проведения PAV-старения в течение 64 ч дают основание предполагать моделирование старения в течении 15–30 лет [13, 17, 21].

Спектры для ПБВ 60, полученные в ходе указанного периода старения, представлены на рисунке 3. Аналогично были получены ИК-спектры в случае лабораторного старения битумных вяжущих

марки PG 70-34. Для всех полученных спектров выявлены характеристические пики при ранее установленных волновых числах 1380, 907, 700 см<sup>-1</sup> [22]. С течением времени старения определяемое количество СБС-полимера практически не изменяется, что и отражено на рисунке 3, 4 и в таблице 3. За результат испытания, в соответствии с требованиями ПНСТ 860, принимают полученное содержание в смеси СБС-полимера, округленное до 0,1 %.

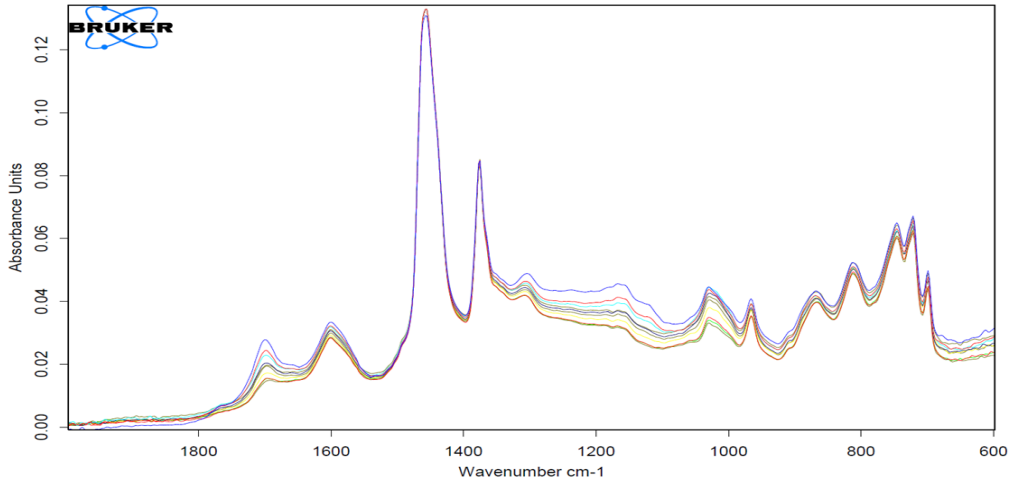


Рис. 3. Изменение спектральных характеристик ПБВ 60 в ходе его длительного старения: серый – исходное ПБВ, синий - ПБВ после 64 ч старения (иллюстрация автора)  
Fig. 3. Changes in the spectral characteristics of PMB 60 during its prolonged aging: gray is the initial PMB, blue is PMB after 64 hours of aging ((illustration by the authors))

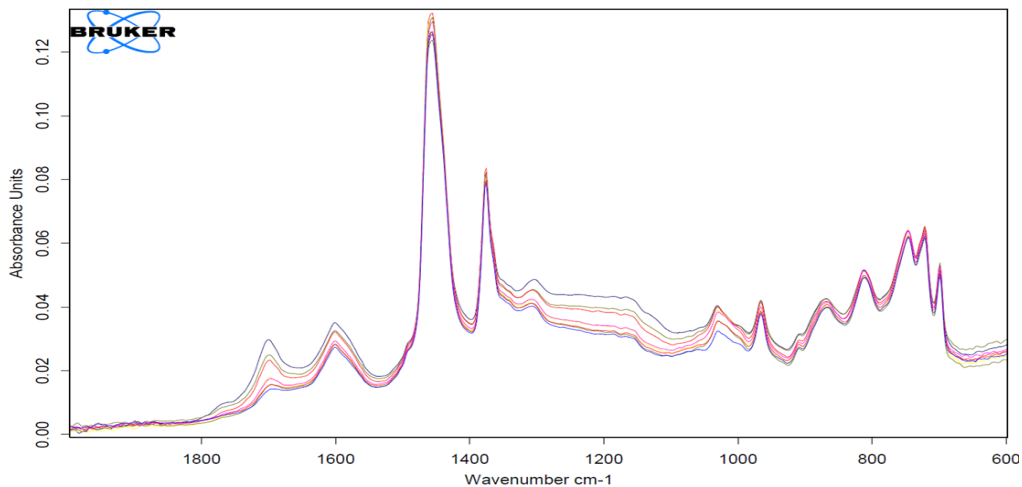


Рис. 4. Влияние ускоренного лабораторного старения на вид ИК-спектров битумного вяжущего PG 70-34: синий – исходное ПБВ, фиолетовый – ПБВ после 64 ч старения (иллюстрация автора)  
Fig. 4. The effect of accelerated laboratory aging on the appearance of the FTIR spectra of bitumen binder PG 70-34: blue is the initial PMB, purple is PMB after 64 hours of aging ((illustration by the authors))

Таблица 3

**Результаты определения содержания СБС-полимера в вяжущем в процессе различного времени старения**

№ п/п	Марка вяжущего	Процентное содержание СБС-полимера в вяжущем										
		Исходное ПБВ	После RTFOT	После PAV-старения, часов								
				2	4	8	12	16	20	31	40	64
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	ПБВ 60	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,8	2,7	2,7	2,7
2	PG 70-34	3,5	3,5	3,5	3,5	3,5	3,6	3,6	3,6	3,6	3,7	3,5

Как показывают результаты эксперимента, количество СБС в составе битумных вяжущих остается стабильным при даже длительном старении.

Для натурального подтверждения возможности определения количества СБС полимера в битумных вяжущих извлеченных из асфальтобетона было проведено исследование RAP вяжущих, извлеченных из асфальтобетонных покрытий, находящихся в эксплуатации в течении продолжительного времени, не менее 3 лет. Суммарно было проанализировано более 10 образцов.

ИК-спектры вышеуказанных образцов приведены на рисунке 5. Анализируя интенсивность характеристических пиков поглощения можно отследить, что для образцов с номерами 1, 2, 3, 4 и 6 подтверждается наличие СБС-полимеров в экстрагированном вяжущем в количестве типичном для ПБВ, в том числе после многолетней эксплуатации. Это, в соответствии с выводами по таблице 3, подтверждает соответствие компонентных показателей исходных ПБВ и РГ вяжущих положениям действующей нормативно-технической документации.

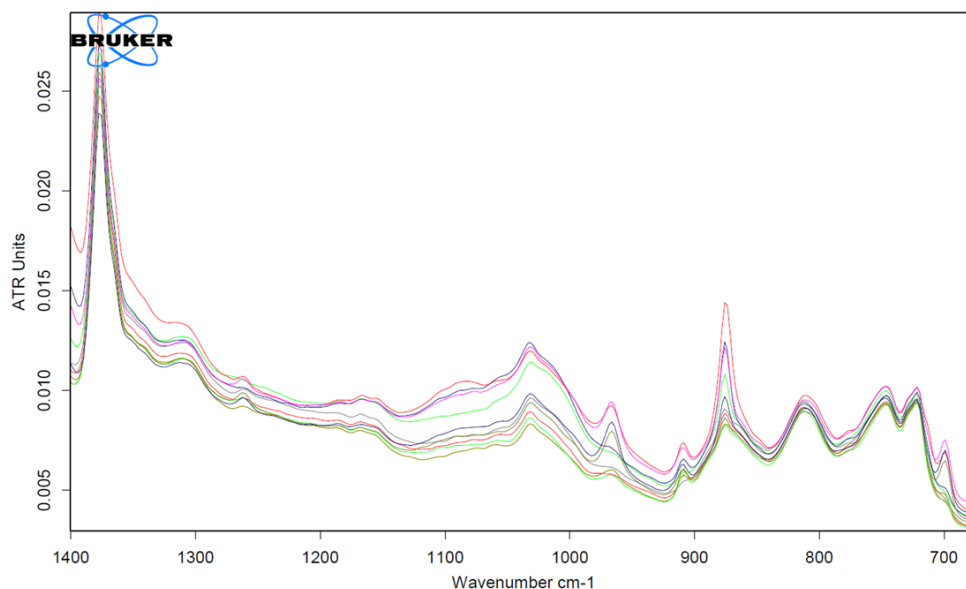


Рис. 5. ИК-спектры различных RAP вяжущих (иллюстрация автора)  
Fig. 5. IR spectra of various RAP binders ((illustration by the authors))

Таблица 4

**Количественное содержание СБС-полимера в вяжущем, экстрагированном с разных эксплуатируемых участков (прочерк указывает на отсутствие полимера в составе или его содержание менее 1 %)**

№ п/п	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	Номер образца	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
2	Содержание СБС, %	3,3	3,6	2,8	3,1	-	1,0	-	-	-	-

Однако крайне низкое содержание полимера для образца под номером 6 (порядка 1 %) не дает основание полагать, что при устройстве покрытия был применен асфальтобетон на основе ПБВ, соответствующего ГОСТ Р 52056-2003, поскольку данный образец предположительно является слабо модифицированным битумным вяжущим. При этом важно отметить, что для образцов 5, 7, 8, 9 и 10 отмечено отсутствие характеристических пиков поглощения и они предположительно, изначально не содержали в своем составе СБС-полимеров (табл. 4), что может указывать на нарушение требований нормативно-технической документации при проведении дорожно-строительных работ, если предписывалось обязательное применение ПБВ.

Таким образом подтверждена возможность оценки качества извлеченных из асфальтобетона вяжущих методом ИК-спектроскопии на продолжительном интервале времени эксплуатации автомобильных дорог.

**Заключение**

Обеспечение транспортной доступности регионов Российской Федерации было и остается крайне важной задачей. Современное дорожное материаловедение направлено на поиск сырья и материалов для обеспечения продолжительной надежной эксплуатации автомобильных дорог в сложных климатических условиях эксплуатации [11, 15, 20]. Рассмотренный в работе вариант оценки содержания в составе дорожных вяжущих СБС-полимеров, улучшающих эксплуатационные показатели вследствие повышения эластических свойств дорожных вяжущих показал, что применение метода определения количества СБС позволяет определить содержание СБС-полимера в составе исходного, лабораторно состаренного и извлеченного из покрытия вяжущего даже по прошествии многих лет эксплуатации. Подтверждена достоверность лабораторного определения количества СБС-полимера для более чем десяти битумных вяжущих различного состава, полученных с реальных дорожных объектов.

В рамках представленной работы были показаны, отличительные особенности ИК-спектров исходных дорожных битумов, СБС-полимера и ПБВ.

Отмеченные особенности позволили разработать методику количественного определения СБС полимера в ПБВ, которая основана на относительной разности высот пиков интенсивности поглощения, характерных для компонентов из состава ПБВ.

В ходе работ получено экспериментальное подтверждение возможности применения методики по ПНСТ 860 для определения количества СБС полимеров в извлеченных их асфальтобетона битумных вяжущих.

Также в работе показано, что количество СБС остается стабильным в процессе эксплуатации вяжущего и окислительное старение не оказывает существенного влияния на характеристические пики, что позволяет корректно определять количество СБС полимера в битумном вяжущем на всем сроке его эксплуатации.

Данные экспериментальные исследования проведены впервые и их результаты могут послужить ориентиром при совершенствовании систем оценки качества и контроля применения различных материалов, применяемых в дорожном хозяйстве.

#### Список литературы

1. Адоньева А.А. Взаимосвязь качественных показателей пластификаторов и свойств полимерно-битумных вяжущих / А.А. Адоньева, П.А. Лукьянец, Н.А. Лушников, А.С. Покатаев, Н.И. Савенкова, В.Е. Николаевский, Д.Ю. Небрatenko // Инженерно-строительный вестник Прикаспия, 2022. № 3 (41). С. 51–56. DOI: 10.52684/2312-3702-2022-41-3-51-56
2. Адоньева А.А. Методика оценки агрегатного состояния после промораживания пластификаторов для полимерно-битумных вяжущих / А.А. Адоньева, И.А. Ефремов, А.С. Покатаев, Н.И. Савенкова, Д.Ю. Небрatenko // Инженерно-строительный вестник Прикаспия, 2022. № 1 (39). С. 41–47. DOI: 10.52684/2312-3702-2022-39-1-41-47
3. Аюпов Д.А. Исследование особенностей взаимодействия битумов с полимерами / Д.А. Аюпов, Л.И. Потапова, А.В. Мурафа, В.Х. Фахрутдинова, Ю.Н. Хакимуллин, В.Г. Хозин // Известия КазГАСУ, 2011, № 1 (15), С. 140–146
4. Высоккий М.М. Модификация окисленного битума термопластичными эластомерами различной топологии / М.М. Высоккий, А.С. Рыбина, В.В. Савицкий Д.Ю. Небрatenko // Известия КГАСУ, 2024, № 1(67), С. 14–22, DOI: 10.48612/NewsKSUAE/67.2, EDN: AGMZLQ
5. Гордеева И.В., Мельников Д.А., Горбатова В.Н., Резниченко Д.С., Наумова Ю.А. Исследование влияния процесса модификации на групповой состав битума и модификаторов методом Фурье-ИК-спектроскопии. Тонкие химические технологии. 2020;15(2):56–66. DOI: 10.32362/2410-6593-2020-15-2-56-66
6. Гордеева И.В. Наумова Ю.А., Никольский В.Г., Красоткина И.А., Дударева Т.В. Исследование процесса старения битумных вяжущих методом ИК-Фурье-спектроскопии // Клеи. Герметики. Технологии. 2020. №1. С. 23–30. DOI: 10.31044/1813-7008-2020-0-1-23-30
7. Карстен О.И., Ежевская Т.Б. Анализ полимерно-битумных вяжущих методом нарушенного полного внутреннего отражения на ИК-Фурье-спектрометре «СИМЕКС» ФТ -801 // Лаборатория и производство. 2021. №4(18) С. 48–51. DOI: 10.32757/2619-0923.2021.3-4.18.48в.51
8. Макаров Д.Б., Ягунд Э.М., Аюпов Д.А., Мурафа А.В., Фасхутдинов К.А., Хозин В.Г., Яхин Р.Г. Изучение битумно-полимерных вяжущих, модифицированных смесевыми термоэластопластами, методом ИК-спектроскопии // Известия КазГАСУ. 2015. №4 (34). С. 280–286
9. Мурзин В.С. Дивинил-стирольные термоэластопласты как основа композиций / В.С. Мурзин, Е.В. Нечипоренко, С.В. Котова и др. // Каучук и резина. 2021. Т. 80. № 1. С. 16–19. DOI: 10.47664/0022-9466-2021-80-1-16-19.
10. Небрatenko Д.Ю. Исследование свойств крупнотоннажных продуктов лесохимии - пластификаторов дорожных битумов / Д.Ю. Небрatenko, А.Н. Жемерикин, Д.И. Лямкин // Вестник МГСУ. 2025. Т. 20. Вып. 1. С. 73–83. DOI:10.22227/1997-0935.2025.1.73-83
11. Рожков И.М. Метод ABCD для определения низкотемпературных свойств ординарных и модифицированных вяжущих / И.М. Рожков, А. В. Харпаев, Д.Ю. Небрatenko, В.А. Кретов // Вестник СибАДИ – 2024. Т. 21, № 2. С. 324–340. DOI: 10.26518/2071-7296-2024-21-2-324-340
12. Рожков И.М., Симчук Е.Н. Современные подходы при прогнозировании температурных условий эксплуатации асфальтобетонных конструктивных слоев дорожных одежд // Дороги России, вып. 3, 2020, с. 54–72
13. Рожков И.М. Современные подходы к моделированию старения битумных вяжущих материалов в лабораторных условиях / И.М. Рожков, Е.Н. Симчук, А. В. Харпаев // Дороги и мосты - 2023, вып.48, С. 274–305
14. Ситникова, В. Е. Практикум по колебательной спектроскопии: Учебное пособие / Т.Н. Носенко, В.Е. Ситникова, И.Е. Стрельникова, М.И. Фокина– СПб: Университет ИТМО, 2021. – 173 с.
15. Alekseenko V.; Verkhoturva E.; Zhitov R., Nebratenko D. Rheology properties of bitumen binders with various fillers. Vojnotehnicki glasnik, 2024, vol. 72 (2), pp. 695–707, DOI: 10.5937/vojtehg72-48380
16. ALPHA II - user's guide to the author's OPUS / for measurement and analysis. BRUKER OPTIK GmbH, 2017, 283 p.
17. Boksha M.Yu. Research properties of polymer solutions and materials received from them / M.Yu. Boksha, Yu.N. Filatov, Yu.A. Naumova, L.R. Lusova, D.Yu. Nebratenko, A.G. Boksha // Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies.2010.Vol. 4(1). pp.440–453.
18. Nebratenko D.Yu. Ensuring the confection strength of adhesives based on SBS copolymers of various topologies // Aeronautics and Aerospace Open Access Journal. 2023;7(4): pp. 110–113. DOI: 10.15406/aaaj.2023.07.00178
19. Ratajczak, M.; Wilmański, A. Evaluation of Laboratory Methods of Determination of SBS Content in Polymer-Modified Bitumens. Materials 2020, 13, 5237. <https://doi.org/10.3390/ma13225237>
20. Sreeram, A., Leng, Z., Zhang, Y., Padhan, R.K., 2018. Evaluation of RAP binder mobilisation and blending efficiency in bituminous mixtures: An approach using ATR-FTIR and artificial aggregate. Construction and Building Materials 179, 245–253.
21. Yan, C., Huang, W., Ma, J., Xu, J., Lv, Q., Lin, P., Characterizing the SBS polymer degradation within high content polymer modified asphalt using ATR-FTIR. 2020. Construction and Building Materials 233, 117708.
22. Yan, C., Xiao, F., Huang, W., Lv, Q., 2018. Critical matters in using Attenuated Total Reflectance Fourier Transform Infrared to characterize the polymer degradation in Styrene–Butadiene–Styrene-modified asphalt binders. Polymer Testing 70, 289–296.

23. Zuzhong Li , Huijie Liu , Weixi Chen , Yanping Yin , Mengyuan Li , Yuan Li , Zepeng Zhao Influence of residual SB di-block in SBS on the thermo-oxidative aging behaviors of SBS and SBS modified asphalt Materials and Structures (IF 3.8) Pub Date: 2022-01-15, DOI:10.1617/s11527-022-01882-3

#### References

1. Adonyeva A.A., Lukyanets P.A., Lushnikov N.A., Pokataev A.S., Savenkova N.I., Nikolaevsky V.E., Nebratenko D.Yu. Vzaimosvyaz kachestvennikh pokazatelei plastifikatorov i svoystv polimerno-bitumnikh vyazhushchikh [Interrelation of qualitative indicators of plasticizers and properties of polymer-bitumen binders]. *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]*. 2022. No. 3 (41). pp. 51-56. DOI: 10.52684.2312-3702-2022-41-3-51-56.
2. Adonyeva A.A., Efremov I.A., Pokataev A.S., Savenkova N.I., Nebratenko D.Yu. Metodika otsenki agregatnogo sostoyaniya posle promorazhivaniya plastifikatorov dlya polimerno-bitumnikh vyazhushchikh [Methodology for assessing the aggregate state after freezing plasticizers for polymer-bitumen binders] *Inzhenerno-stroitel'nyi vestnik Prikaspiya [Engineering and Construction Bulletin of the Caspian Region]*. 2022. No. 1 (39). pp. 41-47. DOI: 10.52684.2312-3702-2022-39-1-41-47.
3. Ayupov D.A., L.I. Potapova, A.V. Murafa, V.Kh. Fakhrutdinova, Yu.N. Khakimullin, V.G. Khozin, Investigation of the interaction of bitumen with polymers [Investigation of the interaction of bitumen with polymers]. *Izvestiya KazGASU*, 2011, No. 1 (15). pp. 140-146.
4. Vysotsky M.M., Rybina A.S., Savitsky V.V., Nebratenko D.Y. Modifikatsiya oksislennogo bituma termoplastichnimi elastomerami razlichnoi topologii [Modification of oxidized bitumen by thermoplastic elastomers of various topologies]. *Izvestiya KGASU*. 2024/ No. 1(67), pp. 14-22, Doi: 10.48612/NewsKSUAE/67.2, published by: AGMZLQ.
5. Gordeeva I.V., Melnikov D.A., Gorbatova V.N., Reznichenko D.S., Naumova Yu.A. Issledovanie vliyaniya protsessy modifikatsii na gruppovoi sostav bituma i modifikatorov metodom Fure-IK-spektroskopii [Investigation of the effect of the modification process on the group composition of bitumen and modifiers by the Fourier method-IR spectroscopy]. *Tonkie khimicheskie tekhnologii. [Fine chemical technologies]*. 2020. 15(2):56-66. DOI: 10.32362.2410-6593-2020-15-2-56-66.
6. Gordeeva I.V. Naumova Yu.A., Nikolsky V.G., Krasotkina I.A., Dudareva T.V. Izuchenie bitumno-polimernikh vyazhushchikh, modifitsirovannikh smesevimi termoelastoplastami, metodom IK-spektroskopii [Investigation of the aging process of bitumen binders by IR Fourier spectroscopy]. *Klei. Germetiki. Tekhnologii. [Glues. Sealants. Technologies]*. 2020. No. 1. pp. 23-30.
7. Karsten O.I., Yezhevskaya T.B. Analiz polimerno-bitumnikh vyazhushchikh metodom narushennogo polnogo vnutrennego otrazheniya na IK-Fure-spektrometre «SIMEKS» FT -801 [Analysis of polymer-bitumen binders by the method of disturbed total internal reflection on the SIMEX FT -801 FTIR Fourier spectrometer]. *Laboratoriya i proizvodstvo. [Laboratory and production]*. 2021. No.4(18) pp. 48-51. DOI: 10.32757.2619-0923.2021.3-4.18.48 51.
8. Makarov D.B., Yagund E.M., Ayupov D.A., Murafa A.V., Faskhutdinov K.A., Khozin V.G., Yakhin R.G. Izuchenie bitumno-polimernikh vyazhushchikh, modifitsirovannikh smesevimi termoelastoplastami, metodom IK-spektroskopii [The study of bitumen polymer binders modified with mixed thermoplastics by IR spectroscopy]. *Izvestiya KazGASU*. 2015. No. 4 (34). pp. 280-286.
9. Murzin V.S., Nechiporenko E.V., Kotov S.V. Divinil-stirolnie termoelastoplasti kak osnova kompozitsii [Dignil-styrene thermostabilizers as a basic component] *Kauchuk i rezina. [Rubber and Republic]*. 2021. Vol. 80. No. 1. pp. 16-19. DOI: 10.47664.0022-9466-2021-80-1-16-19.
10. Nebratenko D.Yu., Zhemerikin A.N., Lyamkin D.I. Issledovanie svoystv krupnotonnazhnikh produktov lesokhimii - plastifikatorov dorozhnikh bitumov [Investigation of the properties of large-tonnage products of forestry chemistry - plasticizers of road bitumen] *Bulletin of MGSU*. 2025. Vol. 20. Issue 1. pp. 73-83. DOI:10.22227.1997-0935.2025.1.73-83.
11. Rozhkov I.M., Kharpaev A.V., Nebratenko D.Yu., Kretov V.A. Metod ABCD dlya opredeleniya nizkotemperaturnikh svoystv ordinarnikh i modifitsirovannikh vyazhushchikh [The ABCD method for determining the low-temperature properties of ordinary and modified binders]. *Vestnik SibADI [Bulletin of SibADI]*. 2024. Vol. 21, No. 2. pp. 324-340. DOI: 10.26518.2071-7296-2024-21-2-324-340.
12. Rozhkov I.M., Simchuk E.N. Sovremennye podkhodi pri prognozirovanii temperaturnikh uslovii ekspluatatsii asfaltobetonnikh konstruktivnykh sloev dorozhnikh odezhd [Modern approaches in predicting the temperature conditions of operation of asphalt-concrete structural layers of road clothing]. *Dorogi Rossii [Roads of Russia]*. vol. 3, 2020, pp. 54-72
13. Rozhkov I.M., Simchuk E.N., A.V. Kharpaev Sovremennye podkhodi k modelirovaniyu stareniya bitumnikh vyazhushchikh materialov v laboratornykh usloviyakh [Modern approaches to modeling the aging of bitumen binders in laboratory conditions] *Dorogi i mosti [Roads and Bridges]*. 2023, issue 48, pp. 274-305
14. Sitnikova, V. E., Nosenko T.N., Strelnikova I.E., Fokina M.I. Praktikum po kolebatelnoi spektroskopii: Uchebnoe posobie [Practicum on vibrational spectroscopy: A textbook]. – St. Petersburg: ITMO University, 2021. – 173 p.
15. Alekseev V., Verkhoturova E., Zhitov R., Nebratenko D. Rheological properties of bitumen binders with various fillers. *Technical Bulletin*, 2024, volume 72 (2), articles 695-707, DOI: 10. 5937.vojtehg72-48380
16. ALPHA II - user's guide to the author's OPUS / for measurement and analysis. BRUKER OPTIK GmbH, 2017, 283 p.
17. Boksha M.Yu. Investigation of the properties of polymer solutions and materials obtained from them / M.Yu. Boksha, Yu.N. Filatov, Yu.A. Naumova, L.R. Lusova, D.Yu. Nebratenko, A.G. Boksha *Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies*. 2010. Volume 4(1). pp.440-453.
18. Nebratenko D.Yu. Ensuring the confection strength of adhesives based on SBS copolymers of various topologies. *Aeronautics and Aerospace Open Access Journal*. 2023;7(4): pp. 110–113. DOI: 10. 15406.aaaj.2023.07.00178
19. Ratajczak, M.; Wilmanski, A. Evaluation of Laboratory Methods of Determination of SBS Content in Polymer-Modified Bitumens. *Materials [Evaluation of laboratory methods for determining the SBS content in polymer-modified bitumen. Materials]*. 2020, 13, 5237. <https://doi.org/10.3390/ma13225237>
20. Sriram A., Leng Z., Zhang Yu., Padhan R.K., 2018. Evaluation of RAP binder mobilization and mixing efficiency in bituminous mixtures: an approach using ATR-FTIR and artificial filler. *Construction and Building materials* 179, 245-253.
21. Yan K., Huang W., Ma J., Xu J., L.V., K.K., Lin P. Characterization of SBS polymer degradation in asphalt modified with high-content polymers using ATR-FTIR. *Construction and building materials*. 2020. 233, 117708.
22. Yan K., Xiao F., Huang W., L.V., Q., 2018. The use of infrared Fourier transform with a reduced total reflection coefficient is crucial to characterize the degradation of polymers in styrene-butadiene-styrene modified asphalt binders. *Tests of polymers* 70, 289-296.

23. Zuzhong Li, Huijie Liu, Weixi Chen, Yanping Yin, Mengyuan Li, Yuan Li, Zepeng Zhao, the effect of the residual SB di-block in SBS on the characteristics of thermal oxidative aging of SBS and modified SBS asphalt concrete materials and structures (IF 3.8) Publication date: 2022-01-15. DOI: 10.1617.s11527-022-01882-3

© И. М. Рожков

**Ссылка для цитирования:**

Рожков И. М. Метод оценки содержания сбс-полимеров в дорожных битумных вяжущих // Инженерно-строительный вестник Прикаспия : научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГБОУ АО ВО «АГАСУ», 2026. № 2 (56). С. 61–69.

УДК 625.089  
DOI 10.52684/2312-3702-2026-56-2-69-74

**ЭКОЛОГИЧЕСКИ БЕЗОПАСНАЯ МОДЕЛЬ ТРАНСПОРТНО-ПЕРЕСАДОЧНОГО УЗЛА В МАЛОМ ГОРОДЕ  
(НА ПРИМЕРЕ Г. УГЛИЧ ЯРОСЛАВСКОЙ ОБЛАСТИ)**

*А. В. Сорокина, О. В. Ладыгина, А. А. Фатеева (Ладыгина)*

**Сорокина Алена Владимировна**, магистрант, Ярославский государственный политехнический университет, г. Ярославль, Российская Федерация; тел.: + 7 (953) 651-90-29; e-mail: anikiforovp@bk.ru;

**Ладыгина Ольга Викторовна**, кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Инфраструктура и транспорт», Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (910) 977-58-30; e-mail: o\_ladigina@mail.ru;

**Фатеева Анастасия Андреевна**, ассистент, Ярославский государственный технический университет, г. Ярославль, Российская Федерация, тел.: + 7 (901) 173-45-08; e-mail: ladiginaaaa@ystu.ru

Статья посвящена разработке экологически безопасной модели транспортно-пересадочного узла (ТПУ) для малого исторического города Углича, расположенного на берегу Волги. В работе проанализированы факторы, влияющие на качество городской среды, выявлены экологические риски, связанные с функционированием транспорта, и предложена концепция реорганизации набережной как ключевого элемента ТПУ. С использованием геоинформационных технологий проведено функциональное зонирование территории, разработаны мероприятия по снижению негативного воздействия на водную среду, повышению безопасности и комфорта для жителей и туристов. Предложенные решения увязаны с задачами повышения индекса качества городской среды. Результаты могут быть применены при планировании развития малых туристических городов.

**Ключевые слова:** транспортно-пересадочный узел, экологическая безопасность, водная среда, индекс качества городской среды, ГИС, устойчивое развитие.

**AN ENVIRONMENTALLY FRIENDLY MODEL OF A TRANSPORT AND TRANSFER HUB IN A SMALL CITY  
(USING THE EXAMPLE OF UGLICH, YAROSLAVL REGION)**

*A. V. Sorokina, O. V. Ladygina, A. A. Fateeva (Ladygina)*

**Sorokina Alena Vladimirovna**, undergraduate student, Yaroslavl State Polytechnical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (953) 651-90-29; e-mail: anikiforovp@bk.ru;

**Ladygina Olga Viktorovna**, Candidate of Technical Sciences, Head of the Department of Infrastructure and Transport, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (910) 977-58-30; e-mail: o\_ladigina@mail.ru;

**Fateyeva Anastasiya Andreyevna**, Assistant, Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russian Federation, phone: + 7 (901) 173-45-08; e-mail: ladiginaaaa@ystu.ru

The article is devoted to the development of an environmentally friendly model of a transport and transfer hub for the small historical city of Uglich, located on the banks of the Volga River. The paper analyzes the factors affecting the quality of the urban environment, identifies the environmental risks associated with the functioning of transport, and proposes a concept for the reorganization of the embankment as a key element of the TPU. Using geoinformation technologies, the territory was functionally zoned, and measures were developed to reduce the negative impact on the aquatic environment and improve the safety and comfort for residents and tourists. The proposed solutions are linked to the tasks of improving the urban environment quality index. The results can be applied in the planning of the development of small tourist cities.

**Keywords:** transport and transfer hub, environmental safety, aquatic environment, urban environment quality index, GIS, sustainable development.

**Введение**

Малые города России обладают уникальным историко-культурным наследием и высоким туристско-рекреационным потенциалом. Однако их развитие часто сдерживается несовершенством транспортной инфраструктуры, экологическими проблемами и недостаточным уровнем комфорта городской среды [2, 3, 6, 9, 28, 31]. Одним из перспективных направлений повышения качества

жизни и туристической привлекательности является создание современных транспортно-пересадочных узлов (ТПУ), интегрирующих различные виды транспорта и обеспечивающих удобную пересадку пассажиров при минимизации воздействия на окружающую среду [7, 15, 20, 25, 27, 30].

Город Углич, входящий в «Золотое кольцо России», ежегодно посещают тысячи туристов. Однако его набережная, исторически важное общественное