

УДК 665.775.4

**Ю. А. Степанович, Е. А. Твердова, А. О. Шрубок**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ПРИМЕНЕНИЕ НЕФТЕПОЛИМЕРНОЙ СМОЛЫ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ СБС-МОДИФИЦИРОВАННЫХ БИТУМОВ**

На основе анализа научно-технической информации показано, что одним из способов повышения качественных показателей полимерно-битумных вяжущих является введение в их состав нефтеполимерных смол. Хорошая совместимость нефтеполимерных смол с компонентами нефтяного битума и эластомерами представляет интерес для разработки новых составов полимерно-битумных вяжущих на основе синтетических каучуков и нефтеполимерных смол. Цель работы заключалась в изучении влияния добавок нефтеполимерной смолы на прочностные свойства СБС-модифицированных битумов. Для оценки прочностных свойств полимерно-битумных вяжущих использовали совокупность следующих показателей: температурные зависимости пенетрации, температура размягчения, температуры  $T_{31}$  и  $T_{800}$ , индекс пенетрации. В статье приведены результаты исследования влияния нефтеполимерной смолы на эксплуатационные и прочностные характеристики битумных и СБС-модифицированных вяжущих. Установлено, что нефтеполимерная смола оказывает структурирующее действие на битумные и полимерно-битумные вяжущие, повышает их теплостойкость и снижает пенетрацию. Применение нефтеполимерной смолы при получении полимерно-битумных вяжущих усиливает действие полимерного компонента и позволяет регулировать прочностные характеристики вяжущих, а следовательно, и влиять на прочность, сдвигоустойчивость и колееобразование асфальтобетонных покрытий.

**Ключевые слова:** нефтяной битум, полимерно-битумное вяжущее, нефтеполимерная смола, термоэластопласт, пенетрация, температура размягчения, прочностные характеристики.

**Для цитирования:** Степанович Ю. А., Твердова Е. А., Шрубок А. О. Применение нефтеполимерной смолы для регулирования прочностных свойств СБС-модифицированных битумов // Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология. 2021. № 2 (247). С. 138–143.

**Yu. A. Stepanovich, E. A. Tverdova, A. O. Shrubok**  
Belarusian State Technological University

### **THE USE OF PETROLEUM POLYMER RESIN FOR REGULATION OF STRENGTH PROPERTIES OF SBS-MODIFIED BITUMENS**

The analysis of scientific and technical information has been carried out. The addition of petroleum polymer resin into bitumen is one of the ways to improve the quality indicators of polymer-bitumen binders. Good compatibility of petroleum polymer resin with bitumen components and elastomers formed the basis for the development of new compositions of polymer-bitumen binders based on synthetic rubbers and petroleum resins. The purpose of the work was to study the effect of petroleum polymer resin additives on the strength properties of SBS-modified bitumen. To assess the strength properties of polymer-bitumen binders, the following indicators were used: temperature dependences of penetration, softening temperature, temperatures  $T_{31}$  and  $T_{800}$ , penetration index. The article presents the research results of the petroleum polymer resin effect on the operational and strength characteristics of bitumen and SBS-modified binders. It was found that petroleum polymer resins have a structuring effect on bitumen and polymer-bitumen binders, increase their heat resistance and reduce penetration. The use of petroleum resin in the production of polymer-bitumen binders enhances the effect of the polymer component and allows you to regulate the strength characteristics of binders and consequently to influence the strength, shear resistance and rutting of asphalt concrete pavements.

**Key words:** petroleum bitumen, polymer-bitumen binder, petroleum polymer resins, thermoplastic elastomer, penetration, softening temperature, strength characteristics.

**For citation:** Stepanovich Yu. A., Tverdova E. A., Shrubok A. O. The use of petroleum polymer resin for regulation of strength properties of SBS-modified bitumens. *Proceedings of BSTU, issue 2, Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology*, 2021, no. 2 (247), pp. 138–143 (In Russian).

**Введение.** Битумное вяжущее является основным структурообразующим компонентом асфальтобетона и его свойства определяют

пластичность, долговечность и деформационную устойчивость дорожного покрытия. Использование низкокачественного вяжущего в составе

асфальтобетонной смеси приводит к снижению прочности и устойчивости дорожного полотна, образованию колеи и других дефектов (трещин, просадок, полос выпотевания битума и т. д.) [1]. Наиболее прогрессивным способом повышения качественных показателей битумных вяжущих является их модификация высокомолекулярными компонентами [2, 3]. Добавка полимеров в битум позволяет значительно расширить интервал работоспособности вяжущего, увеличить его физико-механические и эксплуатационные характеристики, повысить водостойкость. Многолетние наблюдения за дорожными покрытиями с использованием полимерно-битумных вяжущих показывают, что такие покрытия характеризуются удлинением сроком службы [4–6]. Возможность получения различных видов полимерно-битумных вяжущих с широким интервалом физико-механических, конструктивных и эксплуатационных свойств приводит к постепенному повышению спроса на такие материалы в общем объеме битумного рынка.

В Республике Беларусь наиболее часто в качестве модификаторов нефтяных битумов применяют термопластичные эластомеры на основе блоксополимеров стирол-бутадиен-стирола (СБС) ввиду их хорошей растворимости в битуме и способности повышать прочность и эластичность битумных материалов, однако такие модификаторы являются весьма дорогостоящими компонентами и введение их в нефтяной битум приводит к удорожанию вяжущего почти в 2 раза [1, 7]. В связи с этим снижение доли дорогостоящего полимерного компонента в составе полимерно-битумной композиции при сохранении требуемых физико-механических и эксплуатационных характеристик является важной задачей. Одним из способов ее решения можно назвать разработку многокомпонентных модификаторов, включающих как полимерный, так и структурирующий компоненты.

В качестве последнего может выступать нефтеполимерная смола, представляющая собой низкомолекулярные синтетические смолы невысокой стоимости. Нефтеполимерные смолы растворимы в парафиновых, нафтеновых и ароматических углеводородах, термостабильны, совместимы со многими природными и синтетическими смолами, что обуславливает эффективность их применения в качестве мягчителей в резиновых смесях и как структурообразующие добавки к маловязким битумам [8, 9]. Хорошая совместимость нефтеполимерных смол с компонентами нефтяного битума и эластомерами представляет интерес для разработки новых составов полимерно-битумных вяжущих на основе синтетических каучуков и нефтеполимерных смол.

**Основная часть.** Цель работы заключалась в изучении влияния добавок нефтеполимерной смолы на прочностные свойства СБС-модифицированных битумов.

В качестве компонентов модифицированного вяжущего использовали нефтяной битум марки БНД 70/100, а также термоэластопласт (СБС) марки СН1301-1НЕ в количестве 1–6 мас. % и нефтеполимерную смолу – 1–20 мас. %. Указанные концентрационные интервалы компонентов были определены на основе анализа литературных данных и обусловлены экономической и технологической целесообразностью их применения для битумов. Характеристика исходного нефтяного битума и СБС марки СН1301-1НЕ указаны в табл. 1 и 2 соответственно.

Таблица 1  
Физико-химические характеристики  
исходного битума

Показатель	Значение
Глубина проникания иглы при 25°C, ×0,1 мм	95
Температура размягчения по методу кольца и шара (КиШ), °C	44
Температура хрупкости, °C	–16
Температура вспышки, °C, не ниже	200
Устойчивость к термоокислительному старению:	
– изменение массы, г	2,5
– изменение температуры размягчения после прогрева, °C	11
– остаточная пенетрация, %	33,68
Индекс пенетрации	–1,27
Групповой состав, мас. %:	
– асфальтены	9,8
– масла	74,16
– смолы	16,04

Таблица 2  
Характеристика термоэластопласта  
СБС СН1301-1НЕ

Показатель	Значение
Содержание стирола, мас. %	31,0
Молекулярная структура	Линейная
Зольность, мас. %	0,2
Твердость (Шор А), 5 с	68
Прочность при растяжении, МПа	14
Модуль упругости при 300%, МПа	2
Показатель текучести расплава (200°C, нагрузка 5 кг), г/10 мин	0,5

Нефтеполимерная смола (температура размягчения по методу кольца и шара (КиШ) – 96°C, йодное число – 33,2 г I<sub>2</sub>/100 г) была

получена на кафедре нефтегазопереработки и нефтехимии БГТУ термической полимеризацией тяжелой пиролизной смолы, выпускаемой на заводе «Полимир» ОАО «Нафтан». В ИК-спектре нефтеполимерной смолы (рис. 1) присутствуют полосы, характерные для скелетных колебаний ароматического кольца (полосы 3020, 1600, 1490  $\text{см}^{-1}$ ), наблюдаемые интенсивные полосы поглощения в области 700–800  $\text{см}^{-1}$  свидетельствуют о содержании в смоле моно-, ди- и триалкилзамещенных ароматических соединений, полосы поглощения при 2930 и 1450  $\text{см}^{-1}$  характерны для колебаний  $=\text{CH}_2$ - группы, а при 1370  $\text{см}^{-1}$  – для колебаний метильных групп. Таким образом, основная часть смолы представлена моно-, ди- и тризамещенными ароматическими углеводородами.

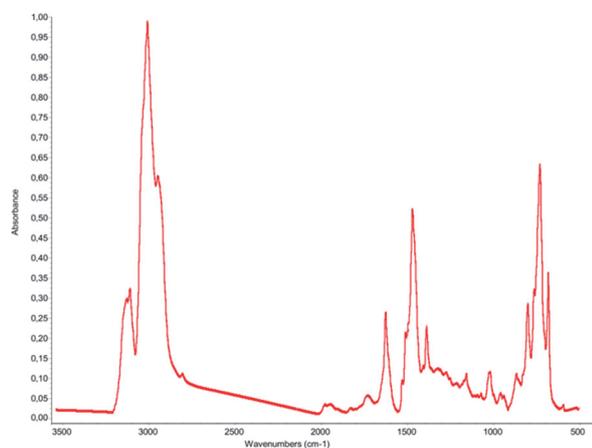


Рис. 1. ИК-спектр нефтеполимерной смолы

Приготовление полимерно-битумного вяжущего осуществляли по следующей схеме: в предварительно нагретый до 100°C нефтяной битум вводили нефтеполимерную смолу при интенсивном перемешивании, затем температуру увеличивали до 160–180°C и добавляли полимерный компонент, перемешивание полученной смеси осуществляли на протяжении 2 ч. Для подбора оптимальных составов полимерно-битумных вяжущих был разработан симплекс-решетчатый план эксперимента (план Шеффе) [10], в качестве выходных параметров откликов были приняты качественные показатели битумов.

Прочность асфальтобетонного покрытия определяется прочностью используемого вяжущего. Характеристикой прочности модифицированных битумов является когезия. В зарубежной литературе описаны различные способы определения прочности СБС-модифицированных битумов [11, 12]. Представляет интерес микроскопический способ определения прочности модифицированного битума, заключающийся в определении областей когезионного и адгезионного разрушения контактных поверхностей

битум-минерального наполнителя методом микроскопии [11], однако для измерения когезионной прочности битумов необходимо использование системы дорогостоящего оборудования и программного обеспечения.

С одной стороны, существующие методы определения когезионной прочности битумов требуют применения дорогостоящего оборудования, получаемые значения энергии когезии для различных марок вяжущих близки и мало применимы для сравнения [13]. С другой стороны, существующие исследования [14, 15] свидетельствуют о возможности нормирования показателя когезии вяжущих в зависимости от температуры размягчения и пенетрации. Например, в работах В. А. Золотарева показано, что когезионно-пенетрационные зависимости имеют нелинейный характер, но при температуре ( $T_{31}$ ), отвечающей пенетрации 31×0,1 мм, когезия битумов различного состава практически равна, максимальна и составляет около 2,1 МПа.

Основными показателями, характеризующими эксплуатационные свойства битумов, являются пенетрация и температура размягчения. Пенетрация вяжущего отражает его твердость, теплоустойкость. Температура размягчения – важнейший показатель дорожных вяжущих, характеризующий фазовый переход из связнодисперсного в свободнодисперсное состояние. Традиционно температуру размягчения используют для прогнозирования сдвигоустойчивости асфальтобетона, но этот показатель может быть использован для оценки устойчивости к пластичным деформациям только в случае, если это температура ( $T_{800}$ ), при которой пенетрация равна 800×0,1 мм [1]. Стоит учитывать, что при расчете температурной чувствительности, в особенности окисленных и модифицированных битумов, рекомендуется использовать не температуру размягчения по КиШ, а  $T_{800}$ .

Для характеристики термической чувствительности вяжущих рассчитывали индекс пенетрации по следующей формуле:

$$I_p = \frac{20 \cdot t_p + 500 \cdot \lg P - 1952}{t_p - 50 \cdot \lg P + 120},$$

где  $t_p$  – температура размягчения ( $T_{800}$ ), °C;  $P$  – пенетрация, ×0,1 мм.

Совокупность таких показателей, как пенетрация, температура размягчения, индекс пенетрации и когезия, позволяет прогнозировать прочность, сдвигоустойчивость и колеобразование асфальтобетонных покрытий.

Для определения значений  $T_{31}$  и  $T_{800}$  были получены экспериментальные температурные зависимости пенетрации вяжущих от температуры определения показателя пенетрации.

Для установления влияния нефтеполимерной смолы на прочностные свойства модифицированных битумов необходимо было определить ее воздействие на качественные показатели чистых нефтяных битумов.

При введении нефтеполимерной смолы (НПС) в нефтяной битум (рис. 2) наблюдается увеличение температуры размягчения и снижение пенетрации с возрастанием ее содержания в битуме, т. е. снижение температурной чувствительности материала.

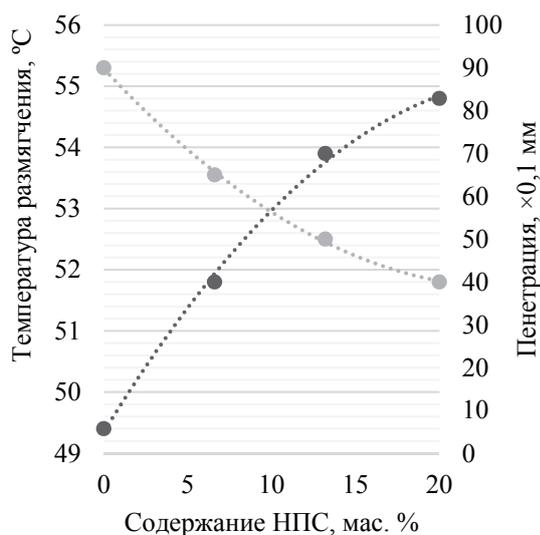


Рис. 2. Зависимости температуры размягчения и пенетрации от содержания нефтеполимерной смолы в битуме

Влияние нефтеполимерной смолы на прочностные характеристики битумных и полимерно-битумных вяжущих отражено в табл. 3.

Введение малых количеств полимерной добавки (образец Б2) приводит к незначительному изменению свойств вяжущего (температура размягчения возрастает на 4°С, пенетрация уменьшается на 4×0,1 мм), при этом температура

размягчения и  $T_{800}$  близки, наблюдаемая разница значений – в пределах погрешности определения. Увеличение количества полимера в битуме (образец Б3) до 6 мас. % приводит к возрастанию температуры размягчения на 26,1°С, снижению пенетрации на 29×0,1 мм. Введение полимера приводит к возникновению существенной разницы между температурой размягчения и  $T_{800}$ , которая составляет для образца Б3 5,7°С.

В случае использования нефтеполимерной смолы в качестве добавки наблюдается в большей мере изменение пенетрации (снижение ее на 25–50×0,1 мм при содержании НПС 6,6–20 мас. %), чем изменение температуры размягчения (возрастание температуры размягчения на 2,4–5,2°С при содержании НПС 6,6–20 мас. %). С увеличением количества введенной НПС разница температуры размягчения и  $T_{800}$  битумных вяжущих возрастает на 9,2–12,8°С, что необходимо учитывать при оценке их теплостойкости. В случае введения НПС совместно с полимерным модификатором наблюдается синергетический эффект: значительно возрастает температура размягчения по сравнению с раздельным вводом компонентов. Присутствие НПС в нефтяном битуме оказывает превалирующее влияние на пенетрацию и теплостойкость вяжущего, чем введение СБС.

Температура  $T_{31}$  характеризует максимум энергии когезии и позволяет оценить температуру, при которой наблюдается максимальная прочность вяжущего, а следовательно, и асфальтобетонного покрытия. Введение НПС в битум и полимерно-битумное вяжущее приводит к возрастанию  $T_{31}$ , что свидетельствует о повышении прочности в рабочих условиях приготвления вяжущего.

**Заключение.** В публикации показано, что нефтеполимерная смола оказывает структурирующее действие на битумные и полимерно-битумные вяжущие, ее введение в битум приводит к снижению пенетрации и возрастанию теплостойкости.

Таблица 3

#### Характеристика полимерно-битумных вяжущих

Показатель	Модифицированный битум					
	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6
Номер образца	Б1	Б2	Б3	Б4	Б5	Б6
Содержание полимера, мас. %	0	2	6	0	0	2
Содержание НПС, мас. %	0	0	0	6,6	20	6,6
Температура размягчения по КиШ, °С	49,4	53,6	75,5	51,8	54,6	54,6
Пенетрация при 25°С, ×0,1 мм	90	86	61	65	40	67
Пенетрация при 0°С, ×0,1 мм	–	12	16	10	7	10
$T_{31}$ , °С	–	11,4	12,2	15,5	20,8	14,1
$T_{800}$ , °С	–	52,6	69,8	61,2	67,4	57,7
Индекс пенетрации (рассчитан по значению $T_{800}$ )	0,2	0,9	3,3	2,0	1,8	1,3

В случае использования нефтеполимерной смолы совместно с полимерным модификатором наблюдается неаддитивное возрастание температуры размягчения, прочностных характеристик готового материала. Направленное регулирование пенетрации нефтяных и

полимерно-битумных вяжущих введением нефтеполимерной смолы позволяет изменять их прочностные свойства и, как результат, влиять на прочность, сдвигоустойчивость и колееобразование асфальтобетонных покрытий.

### Список литературы

1. Гуреев А. А. Нефтяные вяжущие материалы. М.: Недра, 2018. 239 с.
2. Гохман Л. М. Битумы, полимерно-битумные вяжущие, асфальтобетон, полимерасфальтобетон. М.: ЭКОН, 2008. 118 с.
3. Шрубок А. О., Хаппи Вако Б. Д., Степанович Ю. А. Регулирование свойств битумных вяжущих материалов полимерными добавками // НЕФТЕХИМИЯ – 2018: материалы I Междунар. науч.-техн. форума по хим. технологиям и по нефтегазопереработке, Минск, 27–30 нояб. 2018 г. Минск, 2018. С. 27–29.
4. Kalgin Yu., Strokin A. The fatigue durability of the modified asphalt concrete under the effect of intensive traffic loads // *Transport Problems*. 2016. Т. 11, № 2. P. 51–59.
5. Chen J.-S., Wang T. J., Lee C.-T. Evaluation of a highly-modified asphalt binder for field performance // *Construction and Building Materials*. 2018. No. 171. P. 539–545. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.188.
6. Weathering aging of modified asphalt binders / De Sá Araujo [et al.] // *Fuel Processing Technology*. 2013. No. 115. P. 19–25. DOI: 10.1016/j.fuproc.2013.03.029.
7. Варенько В. А. Опыт применения модифицированных битумов и асфальтобетонов в Республике Беларусь // *Вестник ХНАДУ*. 2017. Вып. 79. С. 80–88.
8. Думский Ю. В., Но Б. И., Бутов Г. М. Химия и технология нефтеполимерных смол. М.: Химия, 1999. 312 с.
9. Исследование влияния нефтеполимерных смол на свойства ненаполненных эластомерных композиций / С. А. Перфильева [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 2, Химические технологии, биотехнологии, геоэкология*, 2018. № 1 (205). С. 92–98.
10. Степанович Ю. А., Шрубок А. О., Юсевич А. И. Оптимизация состава полимерных битумных вяжущих с использованием методов планирования эксперимента // *Технология органических веществ: материалы 85-й науч.-техн. конф. профессорско-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 129–130.*
11. Zheng Xu Y., Feng C., Guo X. Y. Low-temperature cohesive and adhesive strength testing of contact surface between bitumen and mineral aggregates by image analysis // *Construction and Building Materials*. 2018. No. 183. P. 95–101. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.169.
12. Ahmed T. A., Lee H. D., Williams R. C. Using a modified asphalt bond strength test to investigate the properties of asphalt binders with poly ethylene wax-based warm mix asphalt additive // *International Journal of Pavement Research and Technology*. 2018. No. 11. P. 28–37. DOI:10.1016/j.ijprt.2017.08.004.
13. Пыриг Я. И., Золотарёв В. А. Методы оценки качества дорожных битумов: возникновение, развитие и современные возможности использования. Харьков: Форт, 2013. 64 с.
14. Пыриг Я. И., Галкин А. В., Золотарёв В. А. Связь когезии со стандартными показателями качества битумных вяжущих // *Вестник ХНАДУ*. 2017. Вып. 79. С. 52–56.
15. Maliar V. Cohesion Properties of Bitumen of Different Structures // *Procedia Engineering*. 2016. No. 134. P. 121–127.

### References

1. Gureev A. A. *Neftyanyye vyazhushchiye materialy* [Petroleum binders]. Moscow, Nedra Publ., 2018. 239 p.
2. Gokhman L. M. *Bitumy, polimerno-bitumnyye vyazhushchiye, asfal'tobeton, polimerasfal'tobeton* [Bitumen, polymer-bitumen binders, asphalt concrete, polymer asphalt concrete]. Moscow, EKON Publ., 2008. 118 p.
3. Shrubok A. O., Khappi Vako B. D., Stepanovich Yu. A. Regulation of the properties of bituminous binders with polymer additives. *Materialy I Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i po neftegazopererabotke "NEFTEKHIMIYA – 2018"* [Materials of the I International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing "Petrochemistry – 2018"]. Minsk, 2018, pp. 27–29 (In Russian).

4. Kalgin Yu., Strokin A. The fatigue durability of the modified asphalt concrete under the effect of intensive traffic loads. *Transport Problems*, 2016, vol. 11, no. 2, pp. 51–59.
5. Chen J.-S., Wang T. J., Lee C.-T. Evaluation of a highly-modified asphalt binder for field performance. *Construction and Building Materials*, 2018, no. 171, pp. 539–545. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.03.188.
6. De Sá Araujo M. F. A., Lins V. de F. C., Pasa V. M. D., Leite L. F. M. Weathering aging of modified asphalt binders. *Fuel Processing Technology*, 2013, no. 115, pp. 19–25. DOI: 10.1016/j.fuproc.2013.03.029.
7. Varen'ko V. A. Experience of using modified bitumen and asphalt concrete in the Republic of Belarus. *Vestnik KhNADU* [Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University], 2017, issue 79, pp. 80–88 (In Russian).
8. Dumskiy Yu. V., No B. I., Butov G. M. *Khimiya i tekhnologiya neftepolimernykh smol* [Chemistry and technology of petroleum resins]. Moscow, Khimiya, 1999. 312 p.
9. Perfil'eva S. A., Shashok Zh. S., Uss E. P., Yusevich A. I., Trusov K. I. Research of the effect of petroleum resins on the properties of unfilled elastomeric compositions. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 2: Chemical Engineering, Biotechnologies, Geoecology, 2018, no. 1 (205), pp. 92–98 (In Russian).
10. Stepanovich Yu. A., Shrubok A. O., Yusevich A. I. Optimization of the composition of polymer bitumen binders using experimental design methods. *Materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiem) "Tekhnologiya organicheskikh veshchestv"* [Materials of the 85th scientific and technical conferences of faculty, researchers and graduate students (with international participation) "Technology of organic substances"], Minsk, 2021, pp. 129–130 (In Russian).
11. Zheng Xu Y., Feng C., Guo X. Y. Low-temperature cohesive and adhesive strength testing of contact surface between bitumen and mineral aggregates by image analysis. *Construction and Building Materials*, 2018. No. 183, PP. 95–101. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.06.169.
12. Ahmed T. A., Lee H. D., Williams R. C. Using a modified asphalt bond strength test to investigate the properties of asphalt binders with poly ethylene wax-based warm mix asphalt additive. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 2018, No. 11, PP. 28–37. DOI: 10.1016/j.ijprt.2017.08.004.
13. Pyrig Ya. I., Zolotarev V. A. *Metody otsenki kachestva dorozhnykh bitumov: vozniknoveniye, razvitiye i sovremennyye vozmozhnosti ispol'zovaniya* [Methods for assessing the quality of road bitumen: origin, development and modern possibilities of use]. Kharkiv, Fort Publ., 2013. 64 p.
14. Pyrig Ya. I., Galkin A. V., Zolotarev V. A. Relationship of cohesion with standard quality indicators of bituminous binders. *Vestnik KhNADU* [Bulletin of the Kharkiv National Automobile and Highway University], 2017, no. 79, pp. 52–56 (In Russian).
15. Maliar V. Cohesion Properties of Bitumen of Different Structures. *Procedia Engineering*, 2016, no. 134, pp. 121–127.

### Информация об авторах

**Степанович Юрий Алексеевич** – аспирант. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: yurystepanovich@belstu.by

**Твердова Екатерина Андреевна** – студент. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: katch\_ka@mail.ru

**Шрубок Александра Олеговна** – кандидат технических наук, доцент кафедры нефтегазопереработки и нефтехимии. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: shrubok@belstu.by

### Information about the authors

**Stepanovich Yuriy Alekseevich** – PhD student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yurystepanovich@belstu.by

**Tverdova Ekaterina Andreevna** – student. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katch\_ka@mail.ru

**Shrubok Aleksandra Olegovna** – PhD (Engineering), Senior Lecturer, the Department of Oil and Gas Processing and Petroleum Chemistry. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shrubok@belstu.by

Поступила 23.05.2021