

ВВЕДЕНИЕ

Традиционным решением для строительной индустрии является использование вторичного сырья при производстве строительных материалов. В строительном материаловедении успешно применяется техногенное сырье при получении материалов общестроительного и специального назначения, а также дорожно-строительных материалов, в том числе и асфальтобетонов [1...8]. Переработка отходов в сырье для производства асфальтобетонов обосновано не только решением экологического вопроса утилизации, но и технико-экономическими преимуществами за счет удешевления сырья или увеличения сроков службы изделия, в частности, дорожного полотна из асфальтобетона.

Ежегодно в России образуется более 17 миллионов тонн отходов строительного производства (бой бетона на основе портландцемента) [9], большая часть которых складывается на полигонах и свалках. Зарубежный опыт применения отходов строительного производства указывает на возможность применения щебня, получаемого после ресайклинга, в качестве крупного заполнителя в составах асфальтобетонных смесей [10-15]. Полиминеральность мелкодисперсных частиц, основная часть которых представляет собой смесь цементного камня с кварцевым мелким заполнителем, определяет сложность его применения в составе асфальтобетонов.

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ ДЛЯ АСФАЛЬТОБЕТОНА НА ОСНОВЕ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ

В государственном стандарте ГОСТ 52129-2003 отсутствует информация относительно применения цементосодержащих материалов в составе асфальтобетона, а так же устанавливают ограничения на содержание оксидов Са, Mg, Al, и Fe в наполнителе. Портландцемент представляет собой вещество, состоящее из силикатов, алюминатов и алюмоферритов кальция, при гидратации которого образуются гидросиликаты и гидроалюминаты кальция. Установлено, что минеральный порошок с 20...40% содержанием оксида кальция замедляется интенсивность старения битума в асфальтобетоне. Это способствует повышению его долговечности [16]. Кроме того, установлено, что оксиды железа в минеральном порошке повышают коррозионную устойчивость асфальтобетона и снижают интенсивность

старения битума [17]. Эти данные являются начальными предпосылками для обоснования получения эффективного наполнителя из отходов строительного производства.

С целью выявления управляющих факторов, определяющих особенности взаимодействия наполнителей из цементного камня с битумом, проведение исследований рационально осуществлять на бинарной системе «битум – цементный камень». Причем цементный камень должен быть получен из портландцемента с различным добавлением воды. В работе использовали бездобавочный цемент ПЦ-500 (производство ПК «Русеан»), водоцементное отношение В/Ц = 0,1; 0,2 и 0,4. После твердения в нормальных условиях из цементного камня путем его помола изготавливались минеральные наполнители для асфальтобетона.

Очевидно, что увеличение В/Ц будет приводить к увеличению количества образующихся продуктов реакции гидратации, содержание которых, в свою очередь, будет оказывать влияние на свойства минерального порошка (Таблица 1).

Закономерно предположить, что изменение как химического состава, так и структуры внутрипорового пространства и шероховатости поверхности зерен рассматриваемых минеральных порошков, будет оказывать влияние на особенности их взаимодействия с расплавом битума. Кроме того, в связи с тем, что приготовление горячих асфальтобетонных смесей в соответствии с нормативными требованиями осуществляется при температуре от 120 до 160 °С, то важно учитывать влияние этих технологических особенностей на основные физико-химические свойства минеральных порошков из отходов строительного производства (Таблица 2).

Увеличение количества воды затворения приводит к снижению истинной плотности получаемых порошков и увеличению их пористости. Общая пористость при этом увеличивается незначительно, а объем микро- и мезопор увеличивается в 3,5 раза. Вероятно, это связано с тем, что гидросиликаты кальция, обладающие игольчатой мелкодисперсной структурой, способствуют увеличению шероховатости. Последнее подтверждается увеличением площади удельной поверхности зерен наполнителя: например, для Ц₃ – в 2,8 раз. Наблюдаемые изменения морфологии поверхности зерен наполнителя закономерно способствует уменьшению показателя битумоемкости.

Таблица 1
ФАЗОВЫЙ СОСТАВ ПОЛУЧАЕМЫХ ПОРОШКОВ

Об- ра- зец	Содержание, %									
	Фазы клинкера				Гидратные фазы		Амор- фная фаза	Сульфатные минералы		CaCO ₃
	C ₃ S	β-C ₂ S	C ₃ A	C ₄ AF	Этtringит	Ca(OH) ₂		Гипс	Полу- гидрат	
Ц	56,4	18,2	4,6	16,3	---	0,5	---	1,5	2,5	---
Ц ₁	41,9	17,9	2,6	15,3	3	4,3	15	---	---	---
Ц ₂	27,3	16,5	---	15	2,5	12,2	25	---	---	1,5
Ц ₃	13,7	14,7	---	12,3	2,9	22,8	30	---	---	3,6

Примечания: * – Ц – цемент; Ц₁ – порошок из цементного камня (В/Ц=0,1); Ц₂ – порошок из цементного камня (В/Ц=0,2); Ц₃ – порошок из цементного камня (В/Ц=0,4).

Таблица 2
ПОКАЗАТЕЛИ СВОЙСТВ МИНЕРАЛЬНЫХ ПОРОШКОВ

Наименование показателя	Требования ГОСТ для МП-2	Фактические значения*				
		Ц	Ц ₁	Ц ₂	Ц ₃	МП-1
Зерновой состав, % по массе: мельче 1,25 мм мельче 0,315 мм мельче 0,071 мм	не менее 95 от 80 до 95 не менее 60	100	100	100	100	100
		94	91	93	92	99,3
		80	77	75	76	75,5
Истинная плотность, г/см ³	–	<u>3,03</u> 3,08	<u>2,65</u> 2,75	<u>2,41</u> 2,68	<u>2,27</u> 2,55	2,79
Средняя плотность, г/см ³	–	<u>1,76</u> 1,76	<u>1,58</u> 1,57	<u>1,53</u> 1,48	<u>1,65</u> 1,44	1,91
Пористость, %	не более 40	<u>42</u> 43	<u>40</u> 43	<u>37</u> 45	<u>27</u> 44	32
Показатель битумоемко- сти, г	не более 80	<u>97</u> 98	<u>149</u> 151	<u>118</u> 122	<u>86</u> 102	90
Площадь удельной по- верхности (метод БЭТ), м ² /г	–	9,5	14,9	19,8	27,2	26,2
Объем микро и мезопор, см ³ /г	–	0,012	0,021	0,025	0,042	0,035
Потеря массы после про- грева, %	–	2,7	6,5	11,2	15,9	–

Примечание. * – в числителе указаны значения для исходных порошков; в знаменателе – для порошков после термостатирования при температуре 160 °С до постоянной массы.

В процессе исследований установлено, что в результате температурного воздействия (160°C), возникающего при изготовлении асфальтобетонной смеси, свойства исследуемых минеральных порошков закономерно изменяются. При термообработке наполнителей наблюдается увеличение их истинной плотности и пористости, что естественно приводит к увеличению показателя битумоемкости. Большее изменение показателя битумоемкости (на 18,5 %) наблюдается у минерального порошка из цементного камня, приготовленного с $B/C=0,4$, что обуславливается процессами термодеструкции (Рисунок 1).

При температуре до 100°C наблюдается высвобождение несвязанной воды, а при температуре от 100 до 200°C происходит потеря кристаллизационной воды, которая характерна для соединений: $\text{C}_3\text{A}\cdot\text{CaSO}_4\cdot 12\text{H}_2\text{O}$ (при $110\text{--}130^{\circ}\text{C}$), $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot 3\text{CaSO}_4\cdot 31\text{H}_2\text{O}$ (при $140\text{--}170^{\circ}\text{C}$), $\text{C}_3\text{A}\cdot\text{CaCO}_3\cdot 11\text{H}_2\text{O}$ (при $150\text{--}500^{\circ}\text{C}$), $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$ (при $140\text{--}170^{\circ}\text{C}$). Интенсивность протекающих процессов прямо пропорционально водоцементному отношению.

Для установления особенностей взаимодействия минеральных порошков из цементного камня с различной степенью гидратации с битумом проведены исследования с применением ИК-спектроскопии (Рисунок 2).

Анализ полученных спектров показывает, что взаимодействие всех рассматриваемых

минеральных порошков с битумом является физико-химическим процессом, приводящим к образованию на границе раздела фаз новых соединений. Об этом свидетельствуют смещения пиков на спектрограммах: в смеси битума с минеральным порошком наблюдается смещение пика 1419 см^{-1} в область с большим волновым числом 1430 см^{-1} ; для порошка Ц_3 наблюдается смещение пика с 809 см^{-1} до 820 см^{-1} ; для порошков Ц_1 и Ц_2 характерно смещение пиков: с 908 до 944 см^{-1} и с 935 до 947 см^{-1} , соответственно. Это позволяет предположить, что битумно-минеральные вяжущие с применением порошков из цементного камня будут обладать высокой термо- и водостойкостью.

В работе проведено исследование также влияние состава комплексного минерального наполнителя из минерального порошка МП-1 и порошков из цементного камня на свойства асфальтового вяжущего, получаемого на его основе. Для этого были спроектированы смеси асфальтового вяжущего с различным содержанием рассматриваемых минеральных порошков и битума (БНД 60/90), необходимым для получения плотной структуры образцов; принято, что водонасыщение образцов должно быть от 4 до 5 %. Основными показателями свойств асфальтового вяжущего, к которым предъявляются требования в соответствии с ГОСТ 52129, являются набухание и водостойкость (Рисунок 3).

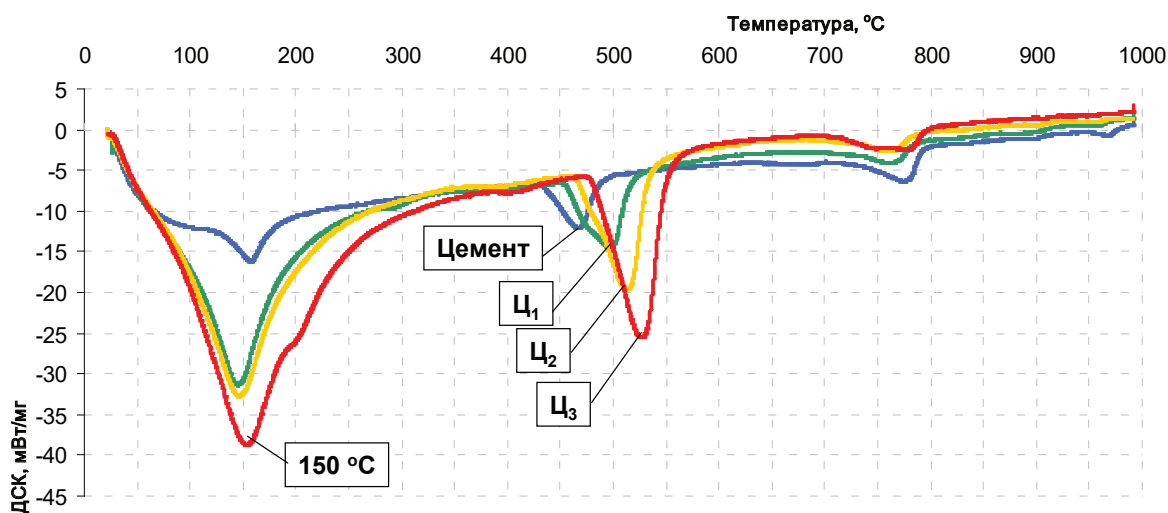


Рисунок 1 – Кривая ДСК минеральных порошков

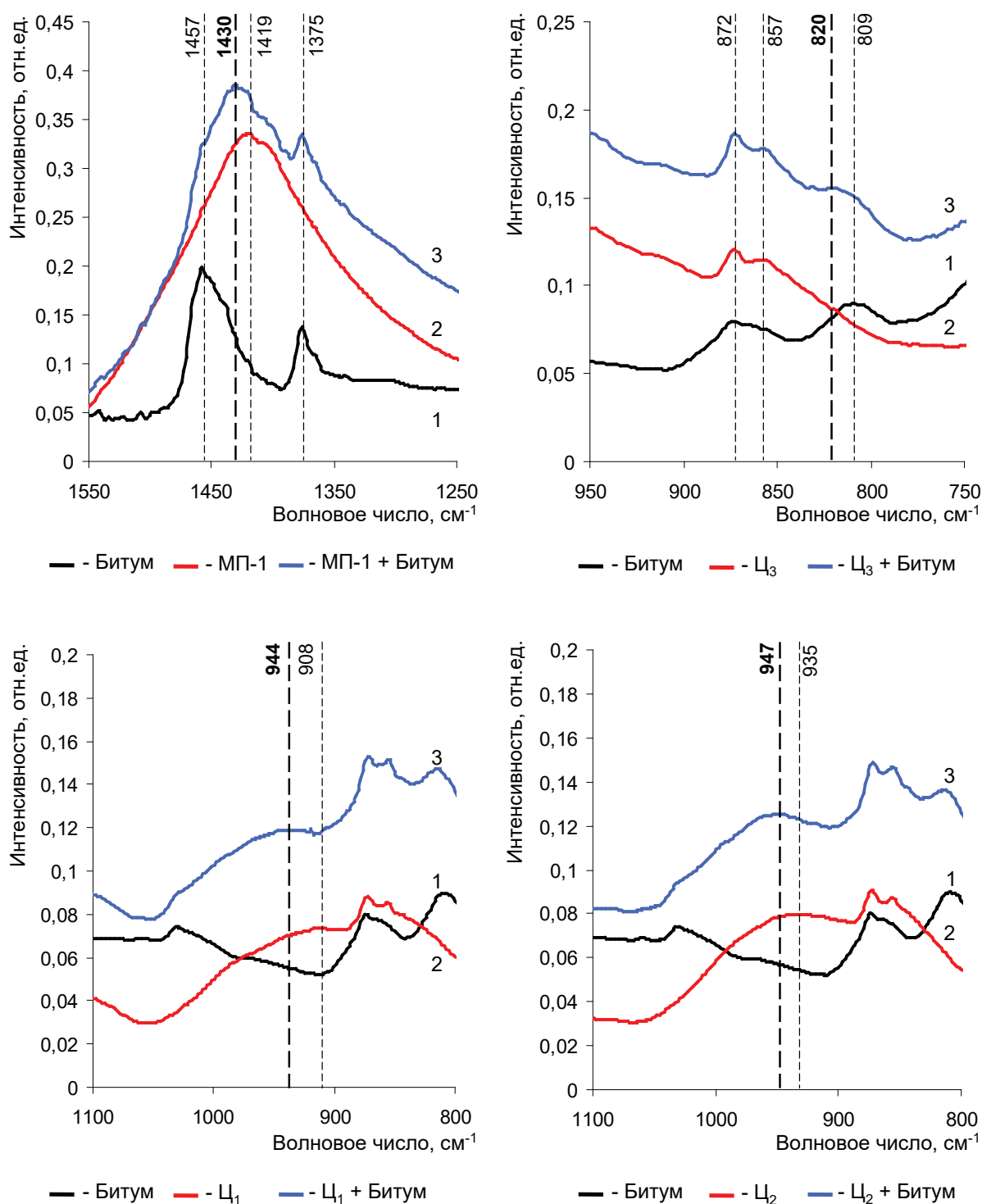


Рисунок 2 – ИК-спектры минеральных порошков, битума и смесей минеральных порошков с битумом

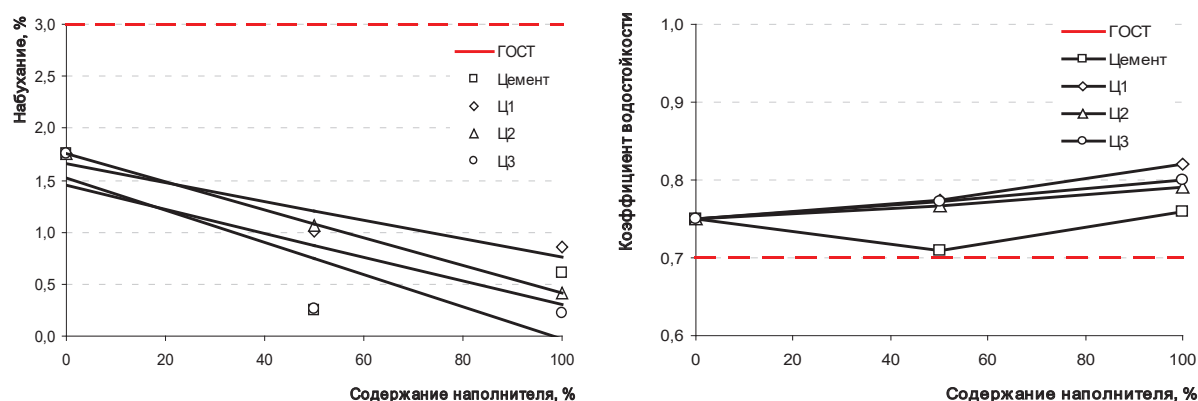


Рисунок 3 – Зависимость показателей набухания (а) и водостойкости (б) образцов из смеси порошка с битумом от содержания наполнителя из отходов строительного производства

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Анализ результатов показывает, что применение минеральных порошков из цементного камня улучшают исследуемые свойства асфальтового вяжущего, так как наблюдается снижение показателя набухания образцов асфальтового вяжущего и возрастание водостойкости таких образцов до 15 %. Это объясняется высокой шероховатостью поверхности и объемом внутрипортового пространства зерен порошка, которые, вероятно, вследствие физико-химических процессов способствуют образованию на поверхности зерен наполнителя прочных прослоек битума. Таким образом, использование минеральных порошков из цементного камня позволяет получать асфальтовяжущее вещество с высокой стойкостью к воздействию воды.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Васильевская Г.В. Применение отходов промышленности в качестве минерального порошка в асфальтобетоне / Г.В. Васильевская, Д.Р. Назиров // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2013. – № 10 (81). – С. 153-157.
2. Подольский В.П. Армированный асфальтобетон с применением активных минеральных отходов и побочных продуктов промышленности / В.П. Подольский, Г.А. Расстегаев, Л.Н. Расстегаева // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. – 2000. – № 9. – 10 с.
3. Королёв С.А. Исследование влияния модификаторов на физико-механические ха-

рактеристики литых асфальтобетонных смесей при использовании отходов производства поликапроамидов / С.А. Королёв, А.А. Котляревский, В.В. Вовко // Сборник трудов всероссийской научно-технической конференции Социально-экономические и технологические проблемы развития строительного комплекса и жилищно-коммунального хозяйства региона. – 2006. – С. 100-104.

4. Ядыкина В.В. Влияние активных поверхностных центров кремнеземсодержащих минеральных компонентов на взаимодействие с битумом // Известия вузов строительства. – 2003. – №9. – С. 75-79.
5. Иноземцев С.С. Выбор минерального носителя наноразмерной добавки для асфальтобетона / С.С. Иноземцев, Е.В. Королёв // Вестник МГСУ. – 2014. – № 3. – С. 158-167.
6. Иноземцев С.С. Эксплуатационные свойства наномодифицированных щебеночно-мастичных асфальтобетонов / С.С. Иноземцев, Е.В. Королёв // Вестник МГСУ. – 2015. – № 3. – с. 29-39.

7. Высоцкая М.А. Тенденции развития наномодификации композитов на органических вяжущих в дорожно-строительной отрасли / М.А. Высоцкая, Д.А. Кузнецов, С.Ю. Русина, Е.В. Чевтаева // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. – 2013. – № 6. – С. 17-20.
8. Высоцкая М.А. Пористые дисперсные наполнители в бинарных композициях / М.А. Высоцкая, С.Ю. Русина, А. Резников, И. Хлевной // Сборник трудов научно-практической конференции Эффективные строительные композиты. – Белгород, 2015 – с. 95-99.
9. Государственный доклад «О состоянии

и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2015 году». – М.: Минприроды России; НИА-Природа. – 2016. – 639 с.

10. Cheng-Hsiao Leea, Jia-Chong Dub, Der-Hsien Shena. Evaluation of pre-coated recycled concrete aggregate for hot mix asphalt, *Construction and Building Materials*, 2012, Vol. 28, Issue 1, pp. 66-71.

11. Mohammad Saeed Pourtahmasb, and Mohamed Rehan Karim, Utilization of Recycled Concrete Aggregates in Stone Mastic Asphalt Mixtures, *Advances in Materials Science and Engineering*, 2014, vol. 2014, pp. 1–9

12. Sumeda Paranavithana, Abbas Mohajerani, Effects of recycled concrete aggregates on properties of asphalt concrete, *Resources, Conservation and Recycling*, Volume 48, Issue 1, 2006, pp. 1–12.

13. Yiik Diew Wong, Darren Delai Sun, Dickson Lai, Value-added utilisation of recycled concrete in hot-mix asphalt, *Waste Management*, Volume 27, Issue 2, 2007, pp. 294–301.

14. Mills-Beale and Z. You, The mechanical

properties of asphalt mixtures with recycled concrete aggregates, *Construction and Building Materials*, vol. 24, no. 3, pp. 230–235, 2010.

15. Bayomy, F.M., Development and Analysis of Cement-Coated Aggregates for Asphalt Mixtures, ASTM Special Technical Publication, Issue 1147, 1992, pp. 19-34.

16. Гридчин А.М. Влияние известьсодержащего минерального порошка на коррозионную устойчивость асфальтобетона / А.М. Гридчин, В.В. Ядыкина, М.А. Высоцкая, В.С. Лесовик // Потенциал науки – развитию промышленности, экономики, культуры, личности: Материалы Международной научно-технической конференции. – Минск, 2002 – Т. 2. – с. 70-74.

17. Использование отходов мокрой магнитной сепарации железистых кварцитов в качестве минерального порошка асфальтобетонной смеси / А.В. Высоцкий // Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии: Материалы Международного конгресса. – БГТУ. – Белгород, 2003. – 4.1. – с. 243-245.

EVALUATION OF THE INFLUENCE OF THE DEGREE OF HYDRATION OF CEMENT ON THE PROPERTIES OF THE MINERAL FILLER FOR ASPHALT CONCRETE

S.S. Inozemtsev, E.V. Korolev

REFERENCES

1. Vasilovskaya G.V., Nazirov D.R. Prime-neniye otkhodov promyshlennosti v kachestve mineral'nogo poroshka v asfal'tobetone [The use of industrial waste as a mineral powder in asphalt concrete] *Vestnik Irkutskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, № 10 (81), pp. 153-157.

2. Podol'skiy V.P., Rasstegayev G.A., Rasstegayeva L.N. Armirovanny asfal'tobeton s primeneniyyem aktivnykh mineral'nykh otkhodov i pobochnykh produktov promyshlennosti [Reinforced asphalt concrete with the use of active mineral waste and by-products of industry] *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka*, 2000, № 9, 10 p.

3. Korolev S.A., Kotlyarevskiy A.A., Vovko V.V. Issledovaniye vliyaniya modifikatorov na fiziko-mekhanicheskiye kharakteristiki litykh asfal'tobetonnykh smesey pri ispol'zovanii otkhodov proizvodstva polikaproamidov [Investigation of the influence of modifiers on the physical and mechanical characteristics of cast asphalt-concrete

mixtures using waste products of polycapraamides] *Collected Works of the All-Russian Scientific and Technical Conference Socio-economic and technological problems of development of the construction complex and housing and communal services of the region*, 2006, pp 100-104.

4. Yadykina V.V. Vliyaniye aktivnykh pov-erkhnostnykh tsentrov kremnezemsoderzhash-chikh mineral'nykh komponentov na vzaimod-eystviye s bitumom [Influence of active surface centers of silica-containing mineral components on interaction with bitumen] *Izvestiya vuzov stroitel'stva*, 2003, – №9, C. 75-79.

5. Inozemtsev S.S., Korolev E.V. Vybora mineral'nogo nositelya nanorazmernoy dobavki dlya asfal'tobetona [The choice of a mineral carrier of a nanosized additive for asphalt concrete] *Vestnik MGSU*, 2014, № 3, pp. 158-167.

6. Inozemtsev S.S., Korolev Ye.V. Ekspluatatsionnyye svoystva nanomodifitsirovannykh shchebenochno-mastichnykh asfal'tobetonov [Operational properties of nanomodified crushed stone and mastic asphalt concretes] *Vestnik MGSU*, 2015, № 3, pp. 29-39.

