

А.А. ИГНАТЬЕВ<sup>1,2</sup>, П.Б. РАЗГОВОРОВ<sup>1</sup>, В.М. ГОТОВЦЕВ<sup>1</sup><sup>1</sup>ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия<sup>2</sup>ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия

## СТРУКТУРООБРАЗОВАНИЕ И ПОТРЕБИТЕЛЬСКИЕ СВОЙСТВА ГРАНУЛИРОВАННЫХ АСФАЛЬТОБЕТОННЫХ СМЕСЕЙ С ВКЛЮЧЕНИЕМ ФОСФОГИПСА И ВТОРИЧНОГО ПОЛИЭТИЛЕНТЕРЕФТАЛАТА

**Аннотация.** Рассмотрены эффекты структурообразования в дисперсных системах, получаемых путем гранулирования окатыванием при изготовлении асфальтобетонных смесей с включением до 30% фосфогипса. При изучении физико-химических и потребительских свойств битума с добавкой полиэтилентерефталата использован метод измерения краевого угла смачивания. Микрофотографии модифицированного вяжущего позволяют судить об изменении состояния поверхности битума. Зарегистрированы тепловые эффекты как результат модифицирования свойств таких материалов. Установлено, что получение асфальтобетонной смеси методом гранулирования окатыванием обеспечивает высокие показатели прочности на сжатие отвержденного материала. Выявлен рост водоустойчивости асфальтобетона при одновременном введении в дисперсную систему полиэтилентерефталата и порошка промышленного отхода – фосфогипса. Обнаружено синергетическое влияние указанных добавок на достижение положительного эффекта структурообразования в асфальтовяжущих материалах, что выявляет новые перспективы их использования в производстве строительных работ.

**Ключевые слова:** композиционные материалы, асфальтобетонные смеси, модификация вяжущего, фосфогипс, полиэтилентерефталат, гранулирование окатыванием.

А.А. IGNATYEV<sup>1,2</sup>, P.B. RAZGOVOROV<sup>1</sup>, V.M. GOTOVTSSEV<sup>1</sup>,<sup>1</sup>Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia<sup>2</sup>FAI "ROSDORNII", Moscow, Russia

## STRUCTURE FORMATION AND CONSUMER PROPERTIES OF GRANULAR ASPHALT-CONCRETE MIXTURES WITH PHOSPHOGYPSUM INCLUSION AND SECONDARY POLYETHYLENE TEREPHTHALATE

**Abstract.** The effects of structure formation in disperse systems obtained by pelletizing in the manufacture of asphalt concrete mixtures with the inclusion of up to 30% phosphogypsum have been considered. In studying the physical-chemical and consumer properties of bitumen with polyethylene terephthalate additive they used the method of measuring the wetting edge angle. Microphotographs of modified binder make it possible to judge about the change of bitumen surface state. Thermal effects occurring as a result of modifying properties of such materials were registered. It was found that production of asphalt-concrete mixture by pelletizing provides high indicators of compressive strength of the hardened material. We found an increase in asphalt concrete water resistance at simultaneous introduction of polyethylene terephthalate and industrial waste phosphogypsum powder into the disperse system. Synergetic effect of the above additives on the achievement of positive effect of structure formation in asphalt-binding materials has been revealed, which reveals new prospects for their use in the production of construction works.

**Keywords:** composite materials, asphalt-concrete mixtures, binder modification, phosphogypsum, polyethylene terephthalate, pelletizing.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Прокофьев В.Ю., Разговоров П.Б., Ильин А.А. Основы физико-химической механики экструдированных катализаторов и сорбентов. М.: КРАСАНД. 2012. 314 с.
2. Тадмор З. и Гогос К. Теоретические основы переработки полимеров. М.: Химия. 1984. 632 с.
3. Ignat'yev A.A., Gotovtsev V.M., Gersimov D.V., Razgovorov P.B. The Modeling of Interfacial Contacts in Composites Using the Sitting Drop - Solid Body System as an Example. *New Polymer Composite Materials II Selected peer-reviewed full text papers from XVI International Scientific and Practical Conference "New Polymer Composite Materials"*. Key Engineering Materials Submitted: 2020-04-12 ISSN: 1662-9795. Vol. 869. Pp. 400-407. Accepted: 2020-05-07 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.869.400 Online: 2020-10-27 © 2020 Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.
4. Ребиндер П.А. Избранные труды. Поверхностные явления в дисперсных системах. Ч. Физико-химическая механика. М.: Наука. 1979. 469 с.
5. Румянцев А.Н., Наненков А.А., Ломов А.А., Готовцев В.М., Сухов В.Д. Структурированный асфальтобетон – новое дорожное покрытие // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. Воронеж: Воронеж. гос. лесотехн. ун-т. 2013. С. 23-25.
6. Патент РФ № 2182136. Способ получения асфальтобетонной смеси. 10.05.2002 г.
7. Патент РФ № 2701007. Способ получения гранулированного асфальтовяжущего на основе фосфогипса. 24.09.2019 г.
8. Al-Mulla J., Makky S. Preparation of sustainable asphalt pavements using polyethylene terephthalate waste as a modifier // *Zast. Mater.* 2017. Vol. 58. No. 3. Pp. 394-399.
9. Khan I. M., Kabir S., Alhussain M.A., Almansoor F.F. Asphalt Design Using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction // *Procedia Eng.* 2016. Vol. 145. Pp. 1557-1564.
10. Hassani A., Ganjidoust H., Maghanaki A.A. Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement // *Waste Manag. Res.* 2005. Vol. 23. No. 4. Pp. 322-327.
11. Modarres A., Hamed H. Developing laboratory fatigue and resilient modulus models for modified asphalt mixes with waste plastic bottles (PET) // *Constr. Build. Mater.* 2014. Vol. 68. Pp. 259-267.
12. Leng Z., Padhan R. K., Sreeram A. Production of a sustainable paving material through chemical recycling of waste PET into crumb rubber modified asphalt // *J. Clean. Prod.* 2018. Vol. 180. Pp. 682–688.
13. Худякова Т.С., Масюк А.Ф., Калинин В.Н. Особенности структуры и свойств битумов, модифицированных полимерами // *Дорожная техника и технологии*. 2003. № 4. С. 174-181.
14. Герасимов Д.В., Игнатьев А.А., Готовцев В.М., Голиков И.В. Перспективы использования фосфогипса в производстве асфальтобетона // *Дороги и мосты*. 2018. № 40. С. 304-315.
15. Тагер А.А. Физико-химия полимеров. М.: Научный мир, 2007. 576 с.
16. Кочнев А.М. Физикохимия полимеров. Казань: Изд. "ФЭН". 2003. 512 с.
17. Gotovtsev V.M., Ignat'yev A.A. The effect of structuring composite building materials. *IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng.* V. 666 (1). (2019). doi:10.1088/1757-899X/666/1/012079 Retrieved from [www.scopus.com](http://www.scopus.com). 2019.
18. Разговоров П.Б., Игнатьев А.А., Абрамов М.А., Нагорнов Р.С. Переработка алюмосиликатного сырья и отвалов строительства метрополитена в композиционные сорбенты для очистки водных и маслосодержащих сред // *Умные композиты в строительстве*. 2020. Т. 1. Вып. 1. С. 10-26. [http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1\\_2020](http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020).
19. Котенко Н.П., Щерба Ю.С., Евфорицкий А.С.. Влияние полимерных и функциональных добавок на свойства битума и асфальтобетона // *Пластические массы*. 2019. № 11-12. С.47-49.
20. Беляев К.В., Чулкова И.Л. Модификация битума техническим углеродом. *Вестник СибАДИ / Строительство и архитектура*. 2019. Т. 16. № 4. С. 472-484.

REFERENCES

1. Prokofiev V.Yu., Razgovorov P.B., Iliyn A.A. *Osnovy fiziko-khimicheskoi mekhaniki ekstrudirovannykh katalizatorov i sorbentov*. [Basics of physical and chemical mechanics of extruded catalysts and sorbents.] Moscow: KRASAND. (2012). 314 p. (in Russian).
2. Tadmor Z, Gogos C.G. *Teoreticheskie osnovy pererabotki polimerov*. [Principles of Polymer Processing.] Moscow: Khimiya. (1984). 632 p. (in Russian).
3. Ignat'yev A.A., Gotovtsev V.M., Gersimov D.V. and Razgovorov P.B. The Modeling of Interfacial Contacts in Composites Using the Sitting Drop - Solid Body System as an Example. *New Polymer Composite Materials II Selected peer-reviewed full text papers from XVI International Scientific and Practical Conference "New Polymer Composite Materials"*. Key Engineering Materials Submitted: 2020-04-12 ISSN: 1662-9795. Vol. 869. Pp. 400-407/ Accepted: 2020-05-07 doi:10.4028/www.scientific.net/KEM.869.400 Online: 2020-10-27 © (2020) Trans Tech Publications Ltd, Switzerland.

4. Rebinder P.A. Izbrannye trudy. Poverkhnostnye yavleniya v dispersnykh sistemakh. Fiziko-khimicheskaya mekhanika. [Selected Works. Surface Phenomena in Disperse Systems. Physical and Chemical Mechanics.] Moscow: Nauka. 1979. 469 p. (in Russian).
5. Rumyantsev A.N., Nanenkov A.A., Lomov A.A., Gotovtsev V.M., Sukhov V.D. Strukturirovannyi asfal'tobeton — novoe dorozhnoe pokrytie [Structured Asphalt Concrete — the New Road Surface]. // Aktual'nye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika. [Recent research trends of the XXI century: Theory and Practice]. Voronezh: Voronezh State University of Forestry and Technologies. 2013. Pp. 23-25. (in Russian).
6. Patent RU2182136C2. Method of asphalt concrete mixture producing. 10.05.2002.
7. Patent RU2701007C1. Method of producing granulated asphalt-binding based on phosphogypsum 24.09.2019.
8. Al-Mulla J., Makky S. Preparation of sustainable asphalt pavements using polyethylene terephthalate waste as a modifier // Zast. Mater. 2017. Vol. 58. No. 3. Pp. 394-399.
9. Khan I. M., Kabir S., Alhussain M.A., Almansoor F.F. Asphalt Design Using Recycled Plastic and Crumb-rubber Waste for Sustainable Pavement Construction // Procedia Eng. 2016. Vol. 145. Pp. 1557-1564.
10. Hassani A., Ganjidoust H., Maghanaki A.A. Use of plastic waste (poly-ethylene terephthalate) in asphalt concrete mixture as aggregate replacement // Waste Manag. Res. 2005. Vol. 23. No. 4. Pp. 322-327.
11. Modarres A., Hamed H. Developing laboratory fatigue and resilient modulus models for modified asphalt mixes with waste plastic bottles (PET) // Constr. Build. Mater. 2014. Vol. 68. Pp. 259-267.
12. Leng Z., Padhan R. K., Sreeram A. Production of a sustainable paving material through chemical recycling of waste PET into crumb rubber modified asphalt // J. Clean. Prod. 2018. Vol. 180. Pp. 682–688.
13. Khudyakova T.S., Masyuk A.F., Kalinin V.N. Osobennosti struktury i svoystv bitumov, modifitsirovannykh polimerami [Features of the structure and properties of bitumens modified by polymers]. Road Engineering and Technology. 2003. No. 4. Pp. 174-181. (in Russian).
14. Gerasimov D.V., Ignat'yev A.A., Gotovtsev V.M., Golikov I.V. Perspektivy ispol'zovaniya fosfogipsa v proizvodstve asfal'tobetona [Prospects for using phosphogypsum in asphalt concrete production]. Dorogi i mosty [Roads and Bridges]. 2018. No. 40. Pp. 304-315.
15. Tager A.A. Fiziko-khimiya polimerov [Physics and chemistry of polymers]. Moscow: Nauchny mir, 2007. 576 p. (in Russian).
16. Kochnev A.M. Fizikokhimiya polimerov [Physics and chemistry of polymers]. Kazan: "FEN" Publ. House. 2003. 512 p. (in Russian)
17. Gotovtsev V.M., Ignat'yev A.A. The effect of structuring composite building materials. IOP Conf. Ser.: Mat. Sci. Eng. V. 666 (1). (2019). doi:10.1088/1757-899X/666/1/012079 Retrieved from www.scopus.com. 2019.
18. Razgovorov P.B., Ignatyev A.A., Abramov M.A., Nagornov R.S. Processing of raw aluminosilicates and subway construction dumps into composite sorbents for purification of water and oil-containing media. Smart Composite in Construction, 2020. Vol. 1. No. 1. Pp. 10-26. [http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1\\_2020](http://comincon.ru/index.php/tor/V1N1_2020) (in Russian).
19. Kotenko N.P., Shcherba Y.S., Evforitsky A.S. Vliyanie polimernykh i funktsional'nykh dobavok na svoystva bituma i asfal'tobetona [Influence of polymeric and functional additives on the properties of bitumen and asphalt concrete]. Plastic masses, 2019. No. 11-12. Pp. 47-49. (in Russian).
20. Belyaev K.V., Chulkova I.L. Modifikatsiya bituma tekhnicheskimi uglerodami [Modification of bitumen with technical carbon]. Vestnik SibADI // Construction and Architecture. 2019. Vol. 16. No. 4. Pp. 472-484. (in Russian).

**Информация об авторах:**

**Игнат'ев Алексей Александрович**

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия,  
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры гидротехнического и дорожного строительства.  
Управление развития отраслевого образования, ФАУ «РОСДОРНИИ», г. Москва, Россия,  
начальник управления развития отраслевого образования.  
E-mail: [ignatyevaa@ystu.ru](mailto:ignatyevaa@ystu.ru)

**Разговоров Павел Борисович**

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия,  
зам. ректора по научной работе ЯГТУ, начальник Управления организации научно-исследовательской и интеллектуальной деятельности, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры технологий строительного производства.  
E-mail: [razgovorovpb@ystu.ru](mailto:razgovorovpb@ystu.ru)

**Готовцев Валерий Михайлович**

ФГБОУ ВО «Ярославский государственный технический университет», г. Ярославль, Россия,  
доктор технических наук, профессор, профессор кафедры управления предприятием.  
E-mail: [gotovtsev\\_vm@ystu.ru](mailto:gotovtsev_vm@ystu.ru)

**Information about authors:****Ignatyev Alexey AI.**

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,  
candidate of technical sciences, associate professor, associate professor department of Hydrotechnical and Road  
Construction.

Department of Industry Education Development, FAI «ROSDORNII», Moscow, Russian,  
head of the department of Industry Education Development.

E-mail: [ignatyevaa@ystu.ru](mailto:ignatyevaa@ystu.ru)

**Razgovorov Pavel B.**

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,  
head of the department of Organization of Research and Intellectual Activity, doctor of technical sciences, professor  
department of Construction Production Technologies.

E-mail: [razgovorovpb@ystu.ru](mailto:razgovorovpb@ystu.ru)

**Gotovtsev Valery M.**

Yaroslavl State Technical University, Yaroslavl, Russia,  
doctor of technical sciences, professor Enterprise Management Department.

E-mail: [gotovtsev\\_vm@ystu.ru](mailto:gotovtsev_vm@ystu.ru)