

С.В. СОКОЛОВА¹, М.Н. БАРАНОВА², Д.И. ВАСИЛЬЕВА², Ю.А. ХОЛОПОВ¹¹ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия²ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ ОТХОДОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ДОЛГОВЕЧНОСТИ И ОГНЕУПОРНОСТИ ЖАРСТОЙКИХ БЕТОНОВ

***Аннотация.** В статье проанализированы вопросы вторичного использования промышленных отходов. Основным направлением развития строительного производства является применение новых материалов, снижение материалоемкости, обеспечение механизации и индустриализации строительства, увеличение эксплуатационных характеристик изделий и конструкций, внедрение безотходных технологий в производстве строительных материалов за счет использования отходов промышленных производств и уменьшения загрязнения. Важным является изготовление бетонов и растворов с повышенными физико-термическими свойствами для футеровок тепловых агрегатов, работающих в сложных эксплуатационных условиях (повышенная температура, агрессивная среда, контакт материала футеровки с газами, расплавами металлов и флюсов). Жаростойкие бетоны применяются в черной и цветной металлургии, химической и нефтеперерабатывающей, нефтехимической, энергетической, машиностроительной и целлюлозно-бумажной промышленности, в производстве строительных материалов. Внедрение жаростойкого бетона осуществляется путем применения новых конструктивных элементов для тепловых агрегатов, наиболее целесообразных с теплотехнической и с технологической сторон, что неосуществимо при использовании штучных керамических огнеупоров. Компоненты жаростойких бетонов – тонкомолотые добавки и заполнители обычно изготавливают из дорогостоящих материалов (шамота, муллита, хромита, магнезита, циркона и т.д.). Для изготовления добавок требуются энергозатратные операции по помолу и расसेву, усложняющие и удорожающие технологию производства заполнителей. Замена дефицитных и дорогих компонентов местными материалами и разработка технологии получения жаростойких бетонов на химических связующих с использованием недефицитных материалов, особенно отходов промышленности является важной задачей. Рассмотрены перспективы применения глиноземсодержащих отходов в качестве добавок в жаростойкие бетоны, что позволяет повысить долговечность и огнеупорность строительных материалов. Изучен отработанный тонкодисперсный катализатор ИМ-2201, который используется в нефтехимии и является алюмохромистым отходом. Изучены состав и свойства данного отхода и изменение свойств бетона при внесении добавок. Показано, что свойства бетонов меняются после введения в состав алюмохромистого отхода в заданном количестве (5, 10 и 15%). Повышается их средняя плотность, термическая прочность и другие свойства. Улучшение физико-термических характеристик зависит от структуры и новообразований в полученных образцах. Образцы бетона проанализированы при помощи петрографического метода и показано, что добавка алюмохромистого отхода способствует уплотнению структуры за счет заполнения порового пространства стекломассой и кристаллами новообразований в цементирующей массе.*

***Ключевые слова:** жаростойкие бетоны, промышленные отходы, вторичное использование отходов, алюмохромистые отходы.*

S.V. SOKOLOVA¹, M.N. BARANOVA², D.I. VASILIEVA², Y.A. KHOLOPOV¹¹Samara State Transport University, Samara, Russia²Samara State Technical University, Samara, Russia

POSSIBILITIES OF USING INDUSTRIAL WASTE TO IMPROVE HEAT RESISTANT CONCRETE DURABILITY AND REFRACTORINESS

© Соколова С.В., Баранова М.Н., Васильева Д.И., Холопов Ю.А., 2023

Abstract. The article analyzes recycling of industrial waste. The main direction of construction production development is the use of new materials, reduction of material intensity, providing mechanization and industrialization of construction, increasing the operational characteristics of products and structures, the implementation of wasteless technologies in building materials at the expense of industrial waste and pollution reduction. It is important to produce concretes and mortars with enhanced physical and thermal properties for linings of thermal units operating in difficult operating conditions (high temperature, aggressive environment, contact of lining material with gases, metal melts and fluxes). Heat-resistant concretes are used in ferrous and non-ferrous metallurgy, chemical and oil refining, petrochemical, power, machine building, pulp and paper industry, in building materials. The introduction of heat-resistant concrete by using new structural elements for thermal units, the most appropriate from the thermal and technological side, which is not feasible when using piece ceramic refractories. Components of heat-resistant concretes - fine grind additives and aggregates are usually made of expensive materials (chamotte, mullite, chromite, magnesite, zircon, etc.). The production of additives requires energy-intensive milling and sieving operations, which complicate and increase the cost of aggregate production technology. The replacement of scarce and expensive components by local materials and the development of technology for obtaining heat-resistant concrete on chemical binders using non-deficient materials, especially industrial waste is an important task. The prospects of using alumina-containing wastes as additives in heat-resistant concretes, which allows increasing durability and refractoriness of construction materials. The used fine-dispersed catalyst IM-2201, which is used in petrochemistry and is an alumina-chromium waste, was studied. The composition and properties of this waste and the change in the properties of concrete with the introduction of additives have been studied. It was shown that the properties of concrete change after the introduction of alumina-chromium waste in a given amount (5, 10 and 15%). Their average density, thermal strength and other properties are increased. The improvement of physical and thermal characteristics depends on the structure and new formation in the obtained samples. Concrete samples were analyzed using petrographic method and it was shown that the addition of aluminochrome waste contributes to densification of the structure due to filling the pore space with glassy mass and newly formed crystals in the cementitious mass.

Keywords: heat-resistant concrete, industrial waste, waste recycling, aluminous chloride waste.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ali Allahverdi, Mostafa Mahinroosta, Recycling Aluminosilicate Industrial Wastes Into Geopolymer: A Review, Editor(s): Saleem Hashmi, Imtiaz Ahmed Choudhury, *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*. Elsevier. 2020. Pp. 490-507. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11475-4>.
2. Mahfooz Soomro, Vivian W.Y. Tam, Ana Catarina Jorge Evangelista, 3 - Industrial and agro-waste materials for use in recycled concrete, Editor(s): Vivian W.Y. Tam, Mahfooz Soomro, Ana Catarina Jorge Evangelista, *In Woodhead Publishing Series in Civil and Structural Engineering Recycled Concrete*. Woodhead Publishing. 2023. Pp. 47-117. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85210-4.00009-6>.
3. Yue Liu, Yan Zhuge, Wei Fan, Weiwei Duan, Lei Wang, Recycling industrial wastes into self-healing concrete: A review, *Environmental Research*, 2022. Vol. 214. Part 4. 113975. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113975>.
4. Changzai Ren, Shuang Wu, Wenlong Wang, Lei Chen, Yonghui Bai, Tingting Zhang, Huan Li, Yuxiao Zhao, Recycling of hazardous and industrial solid waste as raw materials for preparing novel high-temperature-resistant sulfoaluminate-magnesia aluminum spinel cement, *Journal of Building Engineering*, 2023. Vol. 64. 105550. <https://doi.org/10.1016/j.jobeb.2022.105550>.
5. Runfeng Li, Yang Zhou, Cuiwei Li, Shibo Li, Zhenying Huang, Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity, *Construction and Building Materials*, 2019. Vol. 213. Pp. 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.040>.
6. Chang Sun, Lulu Chen, Jianzhuang Xiao, Amardeep Singh, Jiahao Zeng, Compound utilization of construction and industrial waste as cementitious recycled powder in mortar, *Resources, Conservation and Recycling*, 2021. Vol. 170. 105561. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105561>.
7. О состоянии и об охране окружающей среды Российской Федерации в 2021 году. Государственный доклад. М.: Минприроды России; МГУ имени М.В.Ломоносова, 2022. 684 с.
8. Доклад об экологической ситуации в Самарской области за 2021 год. Выпуск 32. Самара, 2022. 162 с.
9. Гальцева Н.А., Попов П.В., Котов Д.А., Голотенко Д.С. Вторичное использование отходов промышленности // Инженерный вестник Дона. 2022. № 5(89). С. 572-581.

10. Безденежных М.А., Муниева Э.Ю., Жуков А.Д. Строительные материалы и экология // Перспективы науки. Тамбов. 2017. № 11 (98). С. 39-42.
11. Иванова Т.А., Колесникова Л.Г. Оценка эффективности применения бетонного лома в качестве крупного заполнителя для бетона // Инженерный вестник Дона. 2022. № 3 URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530.
12. Киянец А.В. Эффективность применения продуктов вторичной переработки полиэтилентерефталата в бетонах // Инженерный вестник Дона. 2022. № 2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487.
13. Перфилов В.А., Вольская О.Н. Утилизация промышленных отходов для повышения экологической безопасности окружающей среды // Юг России: экология, развитие. 2016. Т. 11. № 2. С. 205-212.
14. Хлыстов А.И., Соколова С.В., Баранова М.Н. [и др.] Перспективы использования глиноземсодержащих отходов промышленности в производстве жаростойких бетонов // Экология и промышленность России. 2021. Т. 25. № 7. С. 13-19. doi:10.18412/1816-0395-2021-7-13-19.
15. Васильева Д.И., Воронин В.В., Власов А.Г. Экологическое состояние окружающей среды как важнейший фактор развития территории // Здоровая окружающая среда - основа безопасности регионов: Материалы первого международного экологического форума в Рязани. Том II. Рязань: Рязанский государственный агротехнологический университет им. П.А. Костычева, 2017. С. 33-36.
16. Васильева Д.И., Власов А.Г. Динамика земельного фонда Самарской области / Д. И. Васильева, // Биоэкологическое краеведение: мировые, российские и региональные проблемы : Материалы 5-й международной научно-практической конференции. / Отв. ред. С.И. Павлов. Самара: СГСПУ, 2016. С. 166-169.
17. Баженов Ю.М. Технология бетона. М., 2002. 500 с.
18. Арбузова Т.Б. Утилизация глиноземсодержащих осадков промстоков. Самара, 1991. 136 с.
19. Хлыстов А.И., Божко А.В., Соколова С.В., Рязов Р.Т. Получение прогрессивных и эффективных огнеупорных футеровочных материалов // First International Scientific-Technical Conference "Ecology and life protection of industrial-transport complexes». Сборник трудов. Тольятти, 2003. С. 186-189.
20. Соколова С.В. Исследование процессов структурной модификации жаростойких композитов растворами фосфатов/ Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Самара. 2006. 198 с.
21. Соколова С.В. Структурно-химическая модификация жаростойких композитов // Композиционные материалы: разработка и применение: монография / под ред. М.Ю. Звездиной. Новосибирск: Изд.АНС «СибАК». 2017. 180 с.
22. Хлыстов А.И. Жаростойкие бетоны на основе отходов промышленности Самарской области; монография. Самара: АСА СамГТУ, 2017. 171 с.

REFERENCES

1. Ali Allahverdi, Mostafa Mahinroosta, Recycling Aluminosilicate Industrial Wastes Into Geopolymer: A Review, Editor(s): Saleem Hashmi, Imtiaz Ahmed Choudhury, *Encyclopedia of Renewable and Sustainable Materials*, Elsevier, 2020. Pp. 490-507. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.11475-4>.
2. Mahfooz Soomro, Vivian W.Y. Tam, Ana Catarina Jorge Evangelista, 3 - Industrial and agro-waste materials for use in recycled concrete, Editor(s): Vivian W.Y. Tam, Mahfooz Soomro, Ana Catarina Jorge Evangelista, In Woodhead Publishing *Series in Civil and Structural Engineering Recycled Concrete*, Woodhead Publishing, 2023. Pp. 47-117. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-85210-4.00009-6>.
3. Yue Liu, Yan Zhuge, Wei Fan, Weiwei Duan, Lei Wang, Recycling industrial wastes into self-healing concrete: A review, *Environmental Research*, 2022. Vol. 214. Part 4. 113975. <https://doi.org/10.1016/j.envres.2022.113975>.
4. Changzai Ren, Shuang Wu, Wenlong Wang, Lei Chen, Yonghui Bai, Tingting Zhang, Huan Li, Yuxiao Zhao, Recycling of hazardous and industrial solid waste as raw materials for preparing novel high-temperature-resistant sulfoaluminate-magnesia aluminum spinel cement, *Journal of Building Engineering*. 2023. Vol. 64. 105550. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2022.105550>.
5. Runfeng Li, Yang Zhou, Cuiwei Li, Shibo Li, Zhenying Huang, Recycling of industrial waste iron tailings in porous bricks with low thermal conductivity, *Construction and Building Materials*, 2019. Vol. 213. Pp. 43-50. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.04.040>.
6. Chang Sun, Lulu Chen, Jianzhuang Xiao, Amardeep Singh, Jiahao Zeng, Compound utilization of construction and industrial waste as cementitious recycled powder in mortar, *Resources, Conservation and Recycling*, 2021. Vol. 170. 105561. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2021.105561>.
7. On the State and Protection of the Environment of the Russian Federation in 2021. State Report. Moscow: Ministry of Natural Resources of Russia; Lomonosov Moscow State University, 2022. 684 p. (rus)

8. Report on the ecological situation in the Samara region for the year 2021. Issue 32. Samara, 2022. 162 p. (rus)
9. Galtseva N.A., Popov P.V., Kotov D.A., Golotenko D.S. Secondary use of industrial waste. *Engineering Herald of the Don*. 2022. No. 5(89). Pp. 572-581. (rus)
10. Bezdenezhnykh M.A., Munieva E.Y., Zhukov A.D. Construction materials and ecology. *Perspectives of Science*. Tambov. 2017. No. 11 (98). Pp. 39-42. (rus)
11. Ivanova T.A., Kolesnikova L.G. Evaluation of the effectiveness of concrete scrap as a coarse aggregate for concrete. *Engineering Herald of the Don*, 2022. No. 3. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2022/7530. (rus)
12. Kiyants A.V. Effectiveness of polyethylene terephthalate recycled products application in concrete. *Engineering Herald of Don*, 2022. No. 2. URL:ivdon.ru/ru/magazine/archive/n2y2022/7487. (rus)
13. Perfilov V.A., Volskaya O.N. Utilization of industrial waste to improve environmental safety. *South of Russia: Ecology, Development*. 2016. T. 11. No. 2. Pp. 205-212. (rus)
14. Khlystov A.I., Sokolova S.V., Baranova M.N. [et al.] Prospects of using alumina-containing industrial wastes in production of heat-resistant concretes. *Ecology and Industry of Russia*. 2021. T. 25. No. 7. Pp. 13-19. doi:10.18412/1816-0395-2021-7-13-19. (rus)
15. Vasilyeva D.I., Voronin V.V., Vlasov A.G. Ecological condition of environment as the major factor of territory development // Healthy environment - the basis of regional security: Materials of the First International Ecological Forum in Ryazan. Volume II. Ryazan: Ryazan State Agrotechnological University. P.A. Kostychev, 2017. Pp. 33-36. (rus)
16. Vasilyeva D.I., Vlasov A.G. Dynamics of the land fund of Samara region. Bio-ecological regionalism: world, Russian and regional problems : Materials of the 5th international scientific and practical conference. Ed. by S.I. Pavlov. Samara: SGSPU, 2016. Pp. 166-169. (rus)
17. Bazhenov Y.M. Concrete Technology. M. 2002. 500 p. (rus)
18. Arbuzova T.B. Utilization of alumina-containing industrial waste sludge. Samara, 1991. 136 p. (rus)
19. Khlystov A.I., Bozhko A.V., Sokolova S.V., Riyazov R.T. Preparation of progressive and effective refractory lining materials/ First International Scientific-Technical Conference "Ecology and life protection of industrial-transport complexes". Coll. of Papers, Pp. 186-189. Togliatti, 2003. (rus)
20. Sokolova S.V. Research of processes of structural modification of heat-resistant composites by the phosphate solutions (in Russian). Dissertation for the degree of Candidate of Technical Sciences. Samara. 2006. 198 p. (rus)
21. Sokolova S.V. Structural and chemical modification of heat-resistant composites // Composite materials: development and application: monograph. Edited by M.Yu. Novosibirsk: Publishing house ANS "SibAK". 2017. 180 p. (rus)
22. Khlystov A.I. Heat-resistant concretes based on industrial wastes of Samara region; monograph. Samara: ASA SamGTU, 2017. 171 p. (rus)

Информация об авторах:

Соколова Светлана Владимировна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия,
кандидат технических наук, доцент кафедры Железнодорожный путь и строительство.
E-mail: sokolova9967@mail.ru

Баранова Маргарита Николаевна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов.
E-mail: mnbaranova@yandex.ru

Васильева Дарья Игоревна

ФГБОУ ВО «Самарский государственный технический университет», г. Самара, Россия,
кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры строительной механики, инженерной геологии, оснований и фундаментов.
E-mail: vasilievadi@mail.ru

Холопов Юрий Александрович

ФГБОУ ВО «Самарский государственный университет путей сообщения», г. Самара, Россия,
кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой «Безопасность жизнедеятельности и экология».
E-mail: kholopov@bk.ru

Information about authors:

Sokolova Svetlana VI.

Samara State Transport University, Samara, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of Railway track and construction Department.
E-mail: sokolova9967@mail.ru

Baranova Margarita N.

Samara State Technical University, Samara, Russia,
candidate of technical sciences, associate professor of structural mechanics, engineering geology, bases and foundations department.
E-mail: mnbaranova@yandex.ru

Vasilieva Daria Ig.

Samara State Technical University, Samara, Russia,
candidate of biological sciences, associate professor of structural mechanics, engineering geology, bases and foundations department.
E-mail: vasilievadi@mail.ru

Kholopov Yuriy Al.

Samara State Transport University, Samara, Russia,
candidate of agricultural sciences, associate professor, Head of the Department "Life Safety and Ecology".
E-mail: kholopov@bk.ru