

Мясникова А.А., Кирсанова М.А.

РИСК-ОРИЕНТИРОВАННЫЙ ПОДХОД К ИСПОЛЬЗОВАНИЮ МЕХАНОАКТИВИРОВАННОГО ШЛАКА В ПРОИЗВОДСТВЕ БЕТОННЫХ ИЗДЕЛИЙ

Повышение активности сталеплавильного шлака методом сухого помола является актуальным направлением улучшения качества шлаковых материалов, используемых в строительстве и промышленности. Сталеплавильный шлак представляет собой побочный продукт металлургического производства, обладающий ценными свойствами, такими как прочность, долговечность и устойчивость к агрессивным средам. Однако, активность этих материалов часто недостаточна для их эффективного использования, особенно в бетонах и растворах.

Проблема использования вторичных ресурсов промышленного производства интересует учёных на протяжении длительного времени, а вопросы энерго-материалосбережения и освобождения ценных земель, занимаемых отвалами, как результат применения уже разработанных технологий утилизации или вторичного использования сырья, вполне можно отнести к целому ряду практически готовых решений ключевых проблем, стоящих перед современной высокотехнологичной экономикой.

Переработка и утилизация шлаков сталеплавильного производства на переплавном заводе в г. Златоусте является актуальной проблемой в связи с сложностью их состава и отсутствием достаточно простых и эффективных технологий их переработки.

Необходимо учесть, что, разработка технологий переработки такого сырья является ключевым компонентом, позволяющим достичь максимально эффективного результата функционирования российской экономики в целом, поскольку помимо явной экономической целесообразности, такой подход к организации промышленного производства позволяет решить экологические проблемы, создающиеся неизбежностью хранения отработанного сырья на больших территориях, дальнейшее использование которых возможно только после проведения полноценной рекультивации земель.

Рациональным вариантом утилизации шлаков является их использование в производстве строительных материалов. Эффективным методом повышения активности шлака является придание материалу структурной неустойчивости за счет механической, химической или термической обработки материала.

Таким образом, целью данной работы стало моделирование риск-ориентированного подхода к использованию механоактивированного сталеплавильного шлака, произведенного на металлургическом предприятии в г. Златоусте, в производстве бетонных строительных материалов.

Ключевые слова: вторичные ресурсы, отходы, шлак, строительные материалы, рециклинг, экология.

RISK-BASED APPROACH TO THE USE OF MECHANICALLY ACTIVATED SLAG IN THE PRODUCTION OF CONCRETE

Increasing the activity of steelmaking slag by dry grinding is an urgent area for improving the quality of slag materials used in construction and industry. Steelmaking slag is a by-product of metallurgical production with valuable properties such as strength, durability and resistance to aggressive environments. However, the activity of these materials is often insufficient for their effective use, especially in concretes and mortars.

The problem of using secondary resources of industrial production has been of interest to scientists for a long time, and the issues of energy, material conservation and the liberation of valuable land occupied by dumps, as a result of the use of already developed technologies for the utilization or recycling of raw materials, can be attributed to a number of almost ready-made solutions to key problems facing modern high-tech economy.

Processing and utilization of steel-making slags at the processing plant in Zlatoust is an urgent problem due to the complexity of their composition and the lack of sufficiently simple and effective technologies for their processing.

It should be noted that the development of technologies for processing such raw materials is a key component that allows achieving the most effective result of the functioning of the Russian economy as a whole, since in addition to the obvious economic feasibility, such an approach to the organization of industrial production makes it possible to solve the environmental problems created by the inevitability of storing spent raw materials in large areas, the further use of which is possible only after full land reclamation.

A rational option for the disposal of slags is their use in the production of building materials. An effective method of increasing slag activity is to render the material structurally unstable by mechanical, chemical or thermal treatment of the material.

Thus, the purpose of this work was to model a risk-based approach to the use of mechanically activated steelmaking slag produced at the metallurgical enterprise in Zlatoust in the production of concrete building materials.

Keywords: secondary resources, waste, slag, building materials, recycling, ecology.

Объем производства сталеплавильного шлака за время работы металлургического предприятия в г. Златоусте составляет более 5 млн. тонн, немагнитная составляющая которых отгружается в отвалы, что приводит к загрязнению окружающей среды, неэффективному использованию полезного пространства и пренебрежению потенциальной возможности применения шлака в качестве активной минеральной добавки в производстве строительных материалов [1,2].

Вынужденное применение дорогостоящих дренажных систем, противофильтрационных защит и изоляция поверхности складированных отходов достаточно серьезно снижают экономический эффект от дальнейшего использования отходов производства [2,3]. При этом, необходимо отметить, что специализированное оборудование таких мест складирования далеко не всегда решает проблему негативного влияния на экологию.

Таким образом, стоящая перед учеными задача сохранения природных ресурсов, повышения экономической эффективности использования вторичных материалов, в том числе с применением технологий рециклинга в производственных процессах, должна сопровождаться не только поиском технологий безотходного производства, но и выделением ключевых аспектов, которые могут быть расценены как техногенные риски в рециклинговых процессах. Поиск путей снижения таких рисков позволит найти максимально эффективный подход к управлению производственными ресурсами и снижения стоимости вынужденных потерь, увеличения экономического эффекта от использования факторов производства в целом [3,4].

Для выделения и классификации рисков, обладающих признаками повышенной техногенности, достаточно актуальным представляется провести сравнительный анализ

применяемого сырья в производстве продукции на промышленных предприятиях, которые используют в своих технологических процессах вторичные отходы собственного производства, или имеют на выходе достаточно объемный ресурс таких отходов, которые могли бы использоваться в производстве продукции в других отраслях национальной экономики [4-7].

Поскольку вторичное сырье является результатом технологической переработки первичного сырья или конечным невостребованным отходом, то как правило, обладает сравнительно более низким качеством. Соответственно использование такого вида сырья требует особенного внимания в изучении его состава и свойств, а также разработки эффективных технологий его применения [6,7].

Таким образом, риски, обладающие признаками техногенности, наиболее остро ощущаются во вторичном сырье и требуют специализированного подхода.

При использовании вторичных отходов в производстве строительных материалов необходимо учитывать наиболее распространенные причины возникновения рисков техногенного характера:

- конструктивные недостатки возводимых строительных объектов – нарушение устойчивости и функциональности строительных объектов, появление трещин и снижение прочностных характеристик при производстве которых были использованы железобетонные изделия и конструкции, произведенные с использованием вторичного сырья;

- износ и усталостность материалов, снижение их эксплуатационных характеристик и долговечности, особенно в условиях повышенных нагрузок и агрессивных сред [8-13].

На основе анализа жизненного цикла строительных материалов необходимо проводить оценку техногенных рисков при применении вторичных отходов в их производстве [14-18]. Для этого как правило используют следующие методы:

- метод анализа древа событий – предвидение последствий отрицательных явлений;

- метод Монте-Карло – позволяет предусмотреть наступление вероятных событий (например, оценка риска разрушения, возгорания и т.д.);

- методы физического и математического моделирования – позволяют получить необходимую информацию на основе экспериментально установленных закономерностей и механизмов;

- исследование токсикологической со-

ставляющей в характеристиках основных химических соединений, входящих в сырьевые материалы;

- изучение миграции химических веществ в водную и воздушную среды, оценка радиоактивности и органолептических свойств материалов;

- испытания материалов, изделий и конструкций на физико-механические характеристики в различных условиях и на пиковых значениях параметров, чтобы определить вероятное возникновение опасности при различных сценариях [12,13].

Исследование сталеплавильного шлака металлургического производства в г. Златоусте позволили выявить, что по химико-минералогическому составу они содержат полупродукты синтеза клинкера, такие как C_2S , CA , CS и многие другие. Кроме того данный шлак обладает слабой гидравлической и пуццолановой активностью. Однако, применение его ограничено вследствие высокой степени закристаллизованности составляющих продуктов и металлической составляющей, в том числе и немагнитной [2].

Эффективным методом повышения активности шлака является придание материалу определенной структурной нестабильности или активности. Существует несколько видов повышения активности шлака, рассмотрим метод механической активации подробнее. Метод механической активации заключается в измельчении материала и придании ему большей удельной поверхности и соответственно в данном случае повышении гидравлической и пуццолановой активности [11-13].

Основные этапы повышения активности шлака:

- Подготовка сырья. Перед началом процесса сухого помола необходимо правильно подготовить сырье. Для этого проводится предварительная магнитная сепарация и очистка шлака от примесей. Кроме того, сталеплавильный шлак проходит проверку на техногенную безопасность составляющих – спектрометрию на α , β , γ – излучение. Данные мероприятия позволяют повысить чистоту материала и снизить риск ухудшения его характеристик.

- Выбор оборудования. Для измельчения шлака используются различные диспергаторы, обеспечивающие оптимальный размер частиц. Наиболее распространенными типами являются шаровые мельницы, вибрационные, шнековые и акустические установки. Эти устройства позволяют получать частицы размером менее 80 мкм, что значи-

тельно улучшает химическую активность материала.

– Контроль параметров помола. Во время помола необходимо контролировать ряд ключевых параметров, включая скорость вращения барабана, температуру обработки и влажность материала. Оптимальные условия зависят от типа шлака и требуемого уровня помола.

– Анализ свойств полученного продукта. После завершения помола материал подвергается различным испытаниям, таким как определение удельной поверхности, гранулометрический состав, водостойкость и прочие характеристики. Этот этап необходим для оценки эффективности проведенного процесса и выбора оптимального режима дальнейшей переработки [2,11-13].

Преимущества метода сухого помола заключаются в повышении реакционной способности шлака, улучшению его физико-механических свойств, повышению устойчивости материала к воздействию влаги и кислот. Кроме того, применение активированного шлака в качестве активной минеральной добавки или составляющей вяжущего приведет к снижению затрат на производство бетона и строительных растворов [1].

Таким образом, применение методов сухого помола способствует эффективному использованию отходов металлургической отрасли, снижению нагрузки на окружающую среду и повышению конкурентоспособности отечественной продукции [1].

Измельчают материал, используя различного рода агрегаты. Все агрегаты можно разделить на механизмы периодического и непрерывного действия. Это могут быть роторно-лопастные, фильерно-ножевые, дисковые, планетарные, пульсационные и другие механизмы, а так же различные размольные машины и мельницы. По способу измельчения конструкции можно разделить на: раскалывающего, ударного, раздавливающего, истирающе-раздавливающего, ударно-истирающего и т. д. Исходя из физических свойств, выбирается оптимальный способ разрушения материала [1,3-5].

При довольно высокой концентрации энергии в размольной камере в результате взаимодействия мельящих тел с обрабатываемым веществом происходит изменение решетки вещества, сопровождающейся увеличением его потенциальной и поверхностной энергии и накопления энергии в деформируемом объеме [1,2,19-25].

В работе было использовано устройство роторного типа с ударно-кавитационным

измельчением для механической активации шлака [1], При размоле шлака в роторном диспергаторе, были приняты следующие характеристики: частота вращения – 4200 оборотов в минуту, диаметр отверстий на боковых поверхностях ротора и статора четыре миллиметра, и зазор между ротором и статором 0,4 мм. Результаты активации шлака на данном устройстве прошедшего однократную и двукратную активацию (таблица).

Размер частиц исходного материала и диспергированного определяли петрографическим методом. Средняя величина частиц исходного шлака 0,0327 мм, они имеют сложную форму и рваные края. После каждого помола шлака наблюдалось уменьшение размера его частиц, так после первого размолы средний размер зерна – 0,0158 мм, после второго – 0,0063 мм.

Немагнитная составляющая шлака сильно осложняла качество помола материала, при этом в последствии повлияла на прочностные характеристики бетонных образцов.

Под воздействием механических нагрузок разрушаются кристаллические решетки, возникают дефекты и микротрещины, что увеличивает химическую активность шлака. Из-за нарушения структуры шлака происходит формирование дополнительных активных центров, способных взаимодействовать с компонентами цемента, образуя новые соединения, улучшающие свойства бетона.

Для оценки активности шлака проводили испытания прочности образцов модифицированного бетона. Испытания проводили с использованием шлака двукратного помола на цементе типа ЦЕМ I 32.5Н производства ОАО «Катавский цемент». Песок Мк 2,5 производства Хлебороб (Челябинская обл.), ГОСТ 8736-2014. Испытание бетона проводили стандартными методами в соответствии с нормативными требованиями. Физико-механические испытания кубиков размером 70×70×70 мм, изготовленных на стандартном растворе, согласно ГОСТ 310.1 с использованием смеси цемента и шлака, в соотношении 50×50 (для оценки шлака в качестве составляющей цемента) и дозировке 6% для оценки его в качестве АМД, результаты представлены в табл. 1 [13]. Сжатие и изгиб бетона определяли в возрасте 28 суток.

Из результатов определения физико-механических характеристик модифицированного бетона можно сделать вывод, что введение активированного шлака в дозировке 6% несколько замедляет начало и конец схватывания и немного снижает подвижность смеси, за счет повышения водопоглощения сме-

Таблица 1

№ п/п	Тонкость помола, остаток на сите 008, %	Нормальная густота	Сроки схватывания, ч/мин		Расплыв конуса, мм	Предел прочности, МПа	
			начало	конец		Изгиб	Сжатие
ЦЕМ I 32,5Н	18,9	27,0	2-40	3-50	104	5,8	39,3
С использованием шлака двукратного помола (6% масс.вяж.)							
1	18,8	27,5	2-55	5-30	105	9,0	45,5
2	18,5	28,0	3-30	5-50	106	9,5	44,6
3	18,5	28,0	3-20	5-50	106	9,5	46,0

си. При этом прочность бетона при сжатии повысилась на 60%, на изгиб около 16%, что обусловлено изменением фазообразования в присутствии добавки.

Закключение

Проведённые исследования показывают целесообразность комплексного риск-ориентированного подхода к переработки шлаков,

применяемых в производстве строительных материалов на основе бетона. Необходимо учитывать ряд требований для получения качественной продукции. Однако данное направление остается актуальным в связи с существующей проблематикой в экологической и экономической сферах страны.

Литература

1. Патент № 91681 Российская Федерация, МПК В02С 13/14 (2006.01). Устройство для активации цемента: № 2009114586/22: заявл. 20.04.2009: опубл. 27.02.2010 / Алексеев В.А., Чуманов В.И., Трофимов Е.А., Гарифулин Р.Р., Чуманов И.В., Кирсанова А.А.; заявитель ЮУрГУ. 13 с. : ил. // Yandex.ru : патенты. URL: <https://yandex.ru/patents/doc> (дата обращения: 11.09.2025).
2. Дильдин, А.Н. Утилизация шлаков сталеплавильного производства / А.Н. Дильдин, В.И. Чуманов, Т.А. Бендера // Вестник ЮУрГУ – 2007. – № 13 (85). – С.15–16.
3. Комплексная переработка и использование металлургических шлаков в строительстве [Текст] / В.С. Горшков, С.Е. Александров, С.И. Иващенко, И.В. Горшкова. – М.: Стройиздат, 1985. – 272с.
4. Волженский, А.В. Минеральные вяжущие вещества [Текст] / А.В. Волженский. – М.: Стройиздат, 1979. – 476с.
5. Сулименко, Л.М. Механохимическая активация вяжущих композиций [Текст] / Л.М. Сулименко, Н.И. Шалуненко, Л.А. Урханова // Изв. вузов. Строительство. –1995. – № 11. – С. 63 – 68.
6. Данилов, Е.В. Современная технология утилизации сталеплавильных шлаков [Текст] / Е.В. Данилов // Металлург. – 2004. – №6. – С.38–39.
7. Демин, Б.Л. Техногенные образования из металлургических шлаков как объект комплексной переработки [Текст] / Б.Л. Демин, Ю.В. Сорокин, А.И. Зимин // Сталь. – 2001. – №11. – С. 99–102.
8. Гамей, А.И. Схемы переработки металлургических шлаков [Текст] / А.И. Гамей, В.В. Наумкин, Н.В. Сухинова // Сталь. – 2007. – № 2. – С.144–145.
9. Строительные материалы [Текст] / под общей ред. В.Г. Миккульского и В.В. Козлова. – М.: АСВ. – 2004. – 536 с.
10. Аврашков, Л.Я. Экономическая эффективность переработки и использования вторичных черных металлов [Текст] / Л.Я. Аврашков, В.И. Метушевская, Л.Н. Шевелев. – М.: Металлургия, 1992. – 112с.
11. Добровольский, И.П. Переработка и утилизация промышленных отходов Челябинской области [Текст] / И.П. Добровольский, И.Я. Чернявский, А.Н. Абызов, Ю.Е. Козлов. – Челябинск: изд. «ЗАО Челябинская межрайонная типография», 2003. – 256 с.

12. Панфилов, М.И. Переработка шлаков и безотходная технология в металлургии [Текст] / М.И. Панфилов, Я.Ш. Школьник, Н.В. Орининский, В.А. Коломиец, Ю.В. Сорокин, А.А. Грабеклис – М.: Металлургия, 1987. – 238 с.
13. Романова, И.П. Использование отходов металлургической промышленности в строительной индустрии как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / И.П. Романова, О.Б. Бегунов / Территория науки. – М., 2016. – № 2. – С. 94-99.
14. ГОСТ 24640 Добавки для цемента. Классификация [Текст]. – Введ. 1991-07-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2010. – 3с.
15. Кузнецова, Т.В. Активные минеральные добавки и их применение [Текст] / Т.В. Кузнецова, З.Б. Энтин, Б.С. Альбец, Л.Я. Гольдштейн, Н.В. Соколова, Е.Т. Яшина. – М.: Цемент, 1981. – №10. – С. 6-8.
16. Swamy, R. N. Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction / R. N. Swamy // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd, 1992. – PP. 144 - 170.
17. Горшков, В.С. Вяжущие, керамика и стеклокристаллические материалы: Структура и свойства: Справ. Пособие [Текст] / В.С. Горшков, В.Г. Савельев, А.В. Абакумов. – М.: Стройиздат, 1994. – 584 с.
18. Дворкин, Л. И. Строительные материалы из отходов промышленности [Текст] / Л.И. Дворкин, О.Л. Дворкин. – М.: Феникс, 2007. – 368с.
19. М.И. Абу Махади Применение шлакощелочных вяжущих в строительстве [Текст] / М.И. Абу Махади, А.В. Безбородов. –М.: Вестник РУДН: Инженерные исследования. – Т.18. – №2, 2017. – С. 212-218.
20. Постникова, О. В. Модель эколого-экономической оценки эффективности комплексного освоения техногенных минеральных образований [Текст]/ Вестник ЗабГУ. – № 03 (94), 2013. – С.15-23.
21. ГОСТ Р 56828.26-2017 Наилучшие доступные технологии. Ресурсосбережение. Аспекты эффективного обращения с отходами в цементной промышленности [Текст]. – Введ. 2017-12-01. – М.: Госстандарт России: Изд-во стандартов, 2017. – 32с.
22. Романов, П.С. Рециклинг отходов металлургической промышленности как способ сбережения природных ресурсов и снижения экологической напряженности [Текст] / П.С. Романов, И.П. Романов. – М.: Синергия, 2016. –№ 2. – С. 94–99.
23. Михайлов Н.В., Ребиндер П. А. О структурно-механических свойствах дисперсных и высокомолекулярных систем [Текст] // Коллоидный журнал, 1955. – Т.17. – С.107
24. Кузнецова, Т.В. Физическая химия вяжущих материалов [Текст] / Т.В. Кузнецова, И.В. Кудряшов, В.В. Тимашев. – М.: Высшая школа, 1989. – 383с.
25. Майков В.П., О роли добавок в твердении шлакопортландцемента и шлаковых минералов [Текст] / В.П. Майков, Б.В. Гусев, В.Б. Ратинов/ Журнал прикладной химии. – 1976.Т.49, № 3. – С. 470-475.

References

1. Patent № 91681 Russian Federation, IPCB02C13/14 (2006.01). Device for activating cement: № 2009114586/22: application 20.04.2009: published 27.02.2010/Alekseev V.A., Chumanov V.I., Trofimov E.A., Garifulin R.R., Chumanov I.V., Kirsanova A.A.; applicant SUSU. 13p. : ill. // Yandex.ru: patents. URL: [https://yandex.ru/patents/doc\(date of request:09/11/2025\)](https://yandex.ru/patents/doc(date of request:09/11/2025)).
2. Dildin, A.N. Disposal of steel slags /A.N. Dildin, V.I. Chumanov, T.A. Bender//Bulletin of SUSU - 2007. – № 13(85). – PP. 15-16.
3. Complex processing and use of metallurgical slags in construction [Text] /V.S. Gorshkov, S.E. Alexandrov, S.I. Ivashchenko, I.V. Gorshkova. - M.: Stroyizdat, 1985. – 272 p.
4. Volzhensky, A.V. Mineral binders [Text] /A.V. Volzhensky. - M.: Stroyizdat, 1979. – 476 p.
5. Sulimenko, L.M. Mechanochemical activation of binding compositions [Text]/L.M. Sulimenko, N.I. Shalunenko, L.A. Urkhanova//Izv. universities. Construction. –1995. – № 11. – P. 63 – 68.
6. Danilov, E.V. Modern technology for the disposal of steelmaking slags [Text]/E.V. Danilov//Metallurg. – 2004. – №6. – PP. 38-39.

7. Demin, B.L. Technogenic formations from metallurgical slags as an object of complex processing [Text] /B.L. Demin, Yu.V. Sorokin, A.I. Zimin//Steel. – 2001. – №11. – PP. 99-102.
8. Gamei, A.I. Metallurgical slag processing schemes [Text] /A.I. Gamei, V.V. Naumkin, N.V. Sukhinova//Steel. – 2007. – № 2. – PP. 144-145.
9. Construction materials [Text] /under the general revision of V.G. Mikulsky and
10. V.V. Kozlov. - M.: DIA. – 2004. – 536 p.
11. Avrashkov, L. Ya. Economic efficiency of processing and use of secondary ferrous metals [Text] / L.Ya. Avrashkov, V.I. Metushevskaya, L.N. Shevelev. - M.: Metallurgy, 1992. – 112p.
12. Dobrovolsky, I.P. Processing and utilization of industrial waste in the Chelyabinsk region [Text] / I.P. Dobrovolsky, I. Ya. Chernyavkiy, A.N. Abyzov, Yu.E. Kozlov. – Chelyabinsk: ed. “ZAO Chelyabinsk Interdistrict Printing House”, 2003. – 256 p. Panfilov, M.I. Slag processing and waste-free technology in metallurgy [Text]/ M.I. Panfilov, Ya.Sh. Shkolnik, N.V. Orininsky, V.A. Kolomiets, Yu.V. Sorokin, A.A. Grabeklis - Moscow: Metallurgy, 1987. – 238 p.
13. Romanova, I.P. The use of metallurgical waste in the construction industry as a way to save natural resources and reduce environmental stress [Text] / I.P. Romanova, O.B. Runners / Territory of Science. – M., 2016. – № 2. – PP. 94-99.
14. GOST 24640 Additives for cements. Classification [Text]. – Introduction. 1991-07-01. – M.: Gosstandart of Russia: Publishing house of standards, 2010. – 3p.
15. Kuznetsova, T.V. Active mineral additives and their application [Text] / T.V. Kuznetsova, Z.B. Entin, B.S. Albets, L. Ya. Goldstein, N.V. So-Kolova, E.T. Yashin. – M.: Cement, 1981. – №. 10. – PP. 6-8.
16. Swamy, R. N. Role and effectiveness of mineral admixtures in relation to alkali-silica reaction / R. N. Swamy // The alkali-silica reaction in concrete. Glasgow and London: Blackie and Son Ltd, 1992. – PP. 144 - 170.
17. Gorshkov, V.S. Binders, ceramics and glass-crystalline materials: Structure and properties: Ref. Manual [Text] / V.S. Gorshkov, V.G. Savelyev, A.V. Abakumov. -- M.: Stroyizdat, 1994. – 584 p.
18. Dvorkin, LI Construction materials from industrial waste [Text] / LI Dvorkin, O. L. Dvorkin. – M.: Phoenix, 2007 – 368p.
19. M.I. Abu Makhadi Primeneniye shlakoshchelochnykh vyazhushchikh v stroi-tel'stve [Tekst] / M.I. Abu Makhadi, A.V. Bezborodov. –M.: Vestnik RUDN: Inzhenernyye issledovaniya. – T.18. – №2, 2017. – S. 212-218.
20. Postnikova, OV Model of ecological and economic assessment of the effectiveness of the integrated development of technogenic mineral formations [Text]/ Bulletin of ZabGU. – № 03 (94), 2013. – PP.15-23.
21. GOST R 56828.26-2017 Best Available Techniques. Resource saving. Aspects of effective waste management in the cement industry [Text]. – Introduction. 2017-12-01. – M.: Gosstandart of Russia: Publishing house of standards, 2017. – 32p.
22. Romanov, P.S. Waste recycling of the metallurgical industry as a way of saving natural resources and reducing environmental stress [Text] / PS. Romanov, I.P. Romanov. –M.: Synergy, 2016. – № 2. – PP. 94-99.
23. Mikhailov N.V., Rebinder P.A. On the structural and mechanical properties of dispersed and high-molecular systems [Text] //Colloid Journal, 1955. – T.17. – PP. 107
24. Kuznetsova, T.V. Physical chemistry of binding materials [Text] / T.V. Kuznetsova, I.V. Kudryashov, V.V. Timashev. - M.: Higher School, 1989. – 383 p.
25. Maykov V.P., On the role of additives in the hardening of slag portland cement and slag minerals [Text] / V.P. Maykov, B.V. Gusev, V.B. Ratinov / Journal of Applied Chemistry. – 1976. T.49, N. 3. – PP. 470-475.

Мясникова Алена Андреевна

К.т.н., доцент кафедры Архитектура, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия. E-mail: aakirsanova@susu.ru

Myasnikova Alena Andreevna

Ph.D., as. professor of the Department of Architecture, South Urals State University, Chelyabinsk, Russia. E-mail: aakirsanova@susu.ru

Кирсанова Мария Александровна

Заместитель начальника отдела научной аттестации и подготовки кадров высшей квалификации, старший преподаватель кафедры Экономики и менеджмента, ФГБОУ ВО ВолгГМУ Минздрава России, г.Волгоград, Россия. E-mail: mari_k.09@mail.ru

Kirsanova Maria Alexandrovna

Deputy Head of the Department of Scientific Certification and Training of Highly Qualified Personnel, lecturer, Department of Economics and Management, FSBEI HE Volgograd State Medical University, Volgograd, Russia. E-mail: mari_k.09@mail.ru

Поступила в редакцию 22.08.2025