https://doi.org/10.53360/2788-7995-2026-3(23)-86

МРНТИ: 67.15.31

А.Н. Сабитова, Б.Б. Баяхметова, Ж.Ш. Шәріпхан*, А.Б. Абдрахманова, А.С. Конакбаева
Шәкәрім университет,
071412, Республика Казахстан, г. Семей, ул. Глинки, 20 А
*e-mail: j.shariphan@shakarim.kz

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОТХОДОВ СВИНЦОВОГО ПРОИЗВОДСТВА В ТЕХНОЛОГИИ ПОРТЛАНДЦЕМЕНТА

Аннотация: *Рост объемов техногенных отходов металлургической промышленности создает необходимость разработки эффективных технологических решений, направленных на их переработку и повторное использование в производстве строительных материалов. Одним из перспективных направлений является применение отходов свинцового производства в технологии портландцемента в качестве минеральных и технологических добавок. В данной работе исследована возможность использования отходов свинцового производства ТОО «Standard Steel KZ» (г. Шымкент) при производстве цементных композиций.*

Для оценки свойств исследуемых материалов были использованы методы рентгенофлуоресцентного анализа (XRF), рентгенофазового анализа (XRD), а также физико-механические методы испытаний. Дополнительно изучено влияние отходов свинцового производства на процесс помола клинкера, формирование микроструктуры цементного камня, гидратационные процессы и прочностные характеристики цементов.

Установлено, что исследуемые отходы содержат минеральные компоненты, способные участвовать в процессах структурообразования цементной системы. Введение добавки способствовало увеличению удельной поверхности цемента и улучшению прочностных характеристик. Наиболее выраженный положительный эффект наблюдался при содержании добавки 10 %, при котором достигалось максимальное повышение прочности при сжатии.

Результаты радиологических исследований показали, что удельная эффективная активность естественных радионуклидов в исследуемых образцах не превышает нормативных значений. Полученные данные подтверждают перспективность использования отходов свинцового производства в технологии цемента как с экологической, так и с технологической точки зрения.

Ключевые слова: *техногенные отходы, отходы свинцового производства, портландцемент, цементный камень, XRD-анализ, XRF-анализ, гидратация, экологическая безопасность.*

Введение

Промышленное развитие сопровождается постоянным увеличением объемов техногенных отходов, значительная часть которых продолжает складироваться без дальнейшей переработки [1]. Особенно остро данная проблема проявляется в металлургической отрасли, где образование многотоннажных отходов является неизбежной частью производственного цикла. Накопление подобных материалов приводит не только к ухудшению экологической ситуации, но и к потере потенциально ценных минеральных ресурсов [2].

Среди различных видов металлургических отходов особый интерес представляют отходы свинцового производства. Их химический состав характеризуется наличием оксидов кальция, железа, кремния и алюминия, что позволяет рассматривать данные материалы не исключительно как экологически опасные отходы, а как потенциальное вторичное сырье для строительной индустрии [3-5].

В мировой практике все большее распространение получают технологии вовлечения техногенных материалов в производство цемента и композиционных строительных материалов. Такой подход позволяет одновременно решать несколько задач: снижать потребление природного сырья, уменьшать энергетические затраты и сокращать объемы промышленных отходов, подлежащих хранению [6].

©А.Н. Сабитова, Б.Б. Баяхметова, Ж.Ш. Шәріпхан, А.Б. Абдрахманова, А.С. Конакбаева, 2026

Несмотря на большое количество исследований, посвященных применению металлургических отходов в цементной промышленности, вопросы использования отходов свинцового производства изучены недостаточно [7]. В литературе ограниченно представлены данные о влиянии подобных отходов на процессы измельчения клинкера, гидратацию цемента и формирование структуры цементного камня. Кроме того, недостаточно исследованы вопросы радиационной безопасности и стабильности свойств цементных композиций при введении подобных добавок [8, 9].

В связи с этим целью настоящей работы являлось исследование возможности применения отходов свинцового производства в качестве технологической добавки при производстве портландцемента, а также оценка их влияния на физико-механические свойства цементных систем.

Методы исследования

В качестве основного объекта исследования использовали отходы свинцового производства ТОО «Standard Steel KZ» (г. Шымкент). Дополнительно применяли портландцементный клинкер, доменный гранулированный шлак и гипсовый камень [10, 11].

Перед проведением исследований отходы подвергались предварительной сушке при температуре 105 °С до достижения постоянной массы, после чего материал измельчали и просеивали для получения более однородной дисперсной системы [12].

Химический состав исследуемых материалов определяли методом рентгенофлуоресцентного анализа (XRF). Фазовый состав изучали методом рентгенофазового анализа (XRD) на дифрактометре Bruker D8 Advance с использованием CuKα-излучения [13, 14].

Микроструктурные особенности цементного камня исследовали методом сканирующей электронной микроскопии (SEM). Физико-механические испытания цементов выполняли согласно требованиям МЕМСТ 31108-2020 [15].

Удельную поверхность цементов определяли методом Блейна. Прочность при сжатии определяли через 28 суток нормального твердения [15].

Результаты исследований и их обсуждение

Химический состав исследуемых материалов

Результаты XRF-анализа показали, что исследуемые отходы содержат значительное количество оксидов кальция, кремния и железа, способных участвовать в процессах формирования структуры цементного камня (табл. 1) [14].

Таблица 1 – Химический состав клинкера

Компонент	Содержание, %
SiO_2	21,30
Al_2O_3	5,93
Fe_2O_3	4,30
CaO	66,15
MgO	0,55
Na_2O	0,35
K_2O	0,13

Высокое содержание оксида кальция свидетельствует о выраженной гидравлической активности системы. Одновременно наличие силикатных и алюмосиликатных компонентов указывает на возможность участия отходов в процессах вторичного структурообразования.

Рентгенофазовый анализ отходов свинцового производства

Результаты XRD-анализа показали, что исследуемый материал имеет сложный минеральный состав. На рисунке 1 дифрактограммах фиксировались пики кварца, кальцита и железосодержащих соединений.

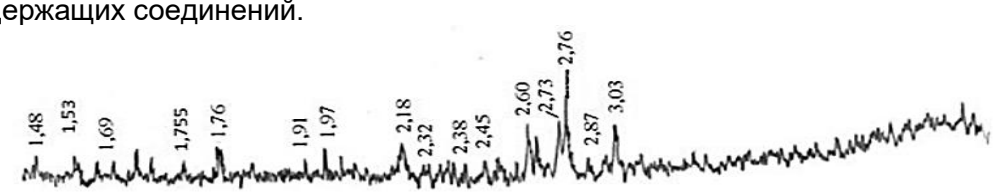


Рисунок 1 – Рентгенограмма отходов свинцового производства

Рентгенофазовый анализ клинкера показал наличие основных минералов портландцементного клинкера: алита, белита, алюмоферрита и алюмината. Дифракционные максимумы при d = 3,03; 2,60; 2,18; 1,97; 1,76; 1,53 и 1,48 Å соответствуют алиту (C_3S), который определяет ранний набор прочности цемента. Рефлексы при d = 2,87; 2,73 и 2,45 Å относятся к белиту (C_2S), влияющему на формирование прочности в более поздние сроки твердения. Пики при d = 2,76; 2,32 и 1,69 Å характерны для алюмоферритной фазы (C_4AF), а отражения при d = 2,38; 1,91 и 1,55 Å - для алюминатной фазы (C_3A). Полученные данные подтверждают типичный минералогический состав портландцементного клинкера и свидетельствуют о завершенности процессов клинкерообразования.

Наличие аморфной составляющей представляет особый интерес, поскольку именно аморфные фазы обладают повышенной реакционной способностью в цементных системах. Предположительно, это способствует более активному взаимодействию частиц отходов с продуктами гидратации цемента.

Влияние добавки на процесс помола клинкера

Одним из наиболее заметных эффектов введения отходов стало изменение процесса измельчения клинкера. При введении добавки наблюдалось увеличение удельной поверхности цемента (табл. 2) [16].

Таблица 2 – Удельная поверхность цементов

Содержание добавки, %	Удельная поверхность, см²/г
0	3100
5	3250
10	3380
15	3320

Максимальный эффект наблюдался при содержании добавки 10 %. Вероятно, присутствие тонкодисперсных частиц способствует снижению агломерации клинкерных зерен в процессе помола.

Дополнительно можно предположить, что отходы выполняют функцию своеобразного интенсификатора измельчения, изменяя характер межчастичного взаимодействия [16-18].

Формирование структуры цементного камня

SEM-анализ позволил выявить изменения микроструктуры цементного камня при введении отходов свинцового производства на рисунке 2.

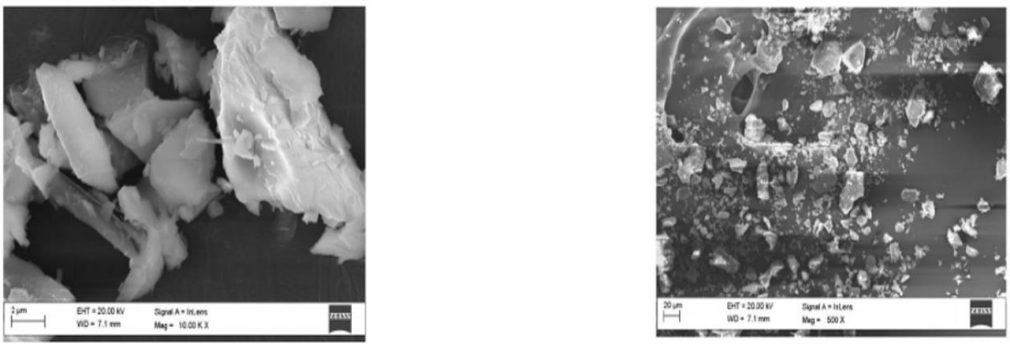


Рисунок 2 – Микроструктура цементного камня

Для образцов с добавкой характерно формирование более плотной и равномерной структуры. В структуре наблюдалось увеличение количества гидросиликатных новообразований и уменьшение количества крупных пор.

Подобные изменения могут быть связаны с дополнительными центрами кристаллизации, образующимися в присутствии мелкодисперсных минеральных частиц [19, 20, 21].

Прочностные характеристики цементов

Изменение прочности цементов представлено в таблице 3.

Рост прочности при введении 5-10 % добавки подтверждает положительное влияние отходов на процессы структурообразования цементной системы.

Таблица 3 – Прочность цементов при сжатии

Содержание добавки, %	Прочность, МПа
0	42,1
5	43,8
10	45,2
15	44,1

Снижение прочности при дальнейшем увеличении содержания добавки может быть связано с частичным разбавлением активной клинкерной составляющей [22, 23].

Радиационная безопасность цементов

Одним из важных этапов исследования являлась оценка радиационной безопасности полученных материалов (табл. 4).

Таблица 4 – Показатели радиоактивности цементов

Образец	Удельная активность, Бк/кг
Контрольный	185
5 % добавки	192
10 % добавки	198
15 % добавки	201

Полученные значения не превышают нормативных требований для строительных материалов. Это позволяет рассматривать исследуемые отходы как потенциально безопасное вторичное сырье для цементной промышленности [24-27].

Обсуждение научных результатов

Проведенные исследования показали, что отходы свинцового производства обладают комплексным минеральным составом и могут рассматриваться как потенциально активный компонент цементных систем. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа подтвердили наличие оксидов кальция, кремния, алюминия и железа, играющих важную роль в процессах формирования структуры цементного камня.

Существенный интерес представляет присутствие аморфной составляющей в исследуемом материале. Известно, что аморфные алюмосиликатные и силикатные фазы характеризуются повышенной реакционной способностью по сравнению с кристаллическими соединениями. Вероятно, именно наличие подобных фаз способствует более активному взаимодействию отходов с продуктами гидратации цемента и дополнительному образованию гидросиликатов кальция.

Результаты исследования процесса помола показали, что введение отходов свинцового производства способствует увеличению удельной поверхности цемента. Наиболее выраженный эффект наблюдался при содержании добавки 10 %. Полученные данные позволяют предположить, что мелкодисперсные частицы отходов оказывают влияние на характер межчастичного взаимодействия в процессе измельчения клинкера. Вероятно, присутствие тонкодисперсной минеральной фазы снижает степень агломерации цементных частиц и способствует более эффективному разрушению клинкерных зерен.

Дополнительным фактором может являться изменение условий распределения механической энергии в процессе помола. Частицы отходов способны выполнять роль своеобразных центров локальной концентрации напряжений, что приводит к повышению эффективности измельчения цементной системы.

Полученные результаты по прочности цементов свидетельствуют о положительном влиянии отходов свинцового производства на процессы структурообразования. Повышение прочности при введении 5-10 % добавки может быть связано с несколькими факторами.

Во-первых, увеличение удельной поверхности цемента способствует ускорению гидратационных процессов за счет повышения площади контакта между цементными зернами и водой. Во-вторых, наличие активных минеральных компонентов может приводить к дополнительному формированию гидратных фаз, обеспечивающих уплотнение структуры цементного камня.

SEM-анализ подтверждает данное предположение. Для образцов с добавкой характерна более плотная и однородная микроструктура с уменьшением количества крупных

пор и дефектов. Наблюдаемое увеличение количества игольчатых и пластинчатых гидросиликатных новообразований свидетельствует об активизации процессов гидратации в присутствии отходов свинцового производства.

Следует отметить, что при увеличении содержания добавки до 15 % наблюдалось незначительное снижение прочности по сравнению с образцом, содержащим 10 % отходов. Подобный эффект может быть обусловлен частичным уменьшением доли активной клинкерной составляющей в цементной системе. При избыточном количестве отходов возрастает содержание относительно инертных минеральных компонентов, что приводит к снижению общего количества гидратных новообразований.

Важным аспектом проведенных исследований являлась оценка радиационной безопасности материалов. Полученные результаты показали, что введение отходов свинцового производства не приводит к превышению нормативных значений удельной активности естественных радионуклидов. Это имеет принципиальное значение для практического применения подобных материалов в строительной индустрии.

С экологической точки зрения использование отходов свинцового производства в технологии портландцемента представляет значительный интерес. Предлагаемый подход позволяет одновременно решать две важные задачи: сокращение объемов техногенных отходов металлургической промышленности и снижение потребления природного минерального сырья.

Кроме того, применение подобных отходов способствует уменьшению площадей, занятых промышленными отвальными материалами, а также снижению потенциального риска загрязнения почв и подземных вод соединениями тяжелых металлов.

Полученные результаты согласуются с современными тенденциями развития ресурсо- и энергосберегающих технологий в строительной индустрии. Вовлечение техногенных отходов в производство строительных материалов рассматривается как одно из наиболее перспективных направлений формирования принципов циркулярной экономики и комплексной переработки промышленных отходов.

Заключение

Проведенные исследования показали, что отходы свинцового производства обладают значительным потенциалом для применения в технологии портландцемента.

Установлено, что исследуемый материал содержит активные минеральные компоненты, способные участвовать в процессах гидратации и формирования структуры цементного камня. Введение отходов в цементную систему приводит к интенсификации процесса помола и увеличению удельной поверхности цемента.

Наиболее эффективным оказалось содержание добавки на уровне 10 %, при котором наблюдалось максимальное увеличение прочности при сжатии и формирование более плотной микроструктуры цементного камня.

Полученные результаты позволяют рассматривать отходы свинцового производства не только как экологическую проблему, но и как перспективный источник вторичного минерального сырья для строительной отрасли. Использование подобных материалов способствует снижению объемов техногенных отходов и расширяет возможности ресурсосбережения в цементной промышленности.

Список литературы

1. Competitive Industrial Performance Index 2025. Kazakhstan. JRC Indicatorsxplorer.Сілтемеhttps://compositeindicators.jrc.ec.europa.eu/explorer indices/cipi/competitive-industrial performance-index.
2. Birbayeva A. Kazakhstan Accelerates Industrial Transformation With Focus on Manufacturing, Digitalization, and Energy Modernization / A. Birbayeva // The Astana Times.Сілтеме-https://astanatimes.com/2025/12/ kazakhstan-accelerates-industrial-transformation-with-focus-on-manufacturing-digitalization-and-energy modernization/utm_source 02.12.2025.
3. Акымбаев Е.М. Фундамент будущего: Цементная Отрасль Казахстана установила абсолютный исторический рекорд / Е.М. Акымбаев // Независимый строительный портал. https://www.facebook.com/qazcem. 19.01.2026.

4. Global database of cement production assets and upstream suppliers / N. Tkachenko et al // Scientific Data. – 2023. – Vol. 10. – P. 696-1-696-9.
5. Клинкер мен портландцемент алу үшін өнеркәсіп қалдықтарын қолдану мүмкіндігін зерттеу / А.Е. Қуандықова және т.б. // Заманауи құрылыс материалдары, технологиялары және конструкциялары: халық. ғыл.-тәжір. конф. жин. – Шымкент, 2025. – Б. 215-219.
6. Ермоленко Е.П. Вяжущие вещества из техногенного сырья / Е.П. Ермоленко, И.Г. Лугинина, И.С. Ахметов. – Рудный: РИИ. – 2002. – С. 250.
7. Particle size analysis by laser diffraction spectrometry / C.F. Ferraries et al // Application to Cementitious Powders, NISTIR 7097, National Institute of Standards and Technology.2004. March.
8. Классен В.К. Техногенные материалы в производстве цемента / В.К. Классен. – Белгород: Изд-во БГТУ, 2008 – С. 125.
9. Борисов И.Н. Техногенные материалы в производстве цемента / И.Н. Борисов, В.Е. Мануйлов. – Белгород: Изд-во БГТУ. 2008 – С. 125.
10. Шлакоотвал свинцового производства: отчет № А224-09 об оценке движимого имущества / сост. М.Ч. Бимурзаева. – Шымкент, 2017 – С.24.
11. Найманбаев М. История Чимкентского свинцового завода. https://titus.kz/index.php/component/users/load_theme/files/load_theme/files/load_theme/files/202 006190827565eec770c6cd0e.pdf?previ d=22988.%27&start=04. 2010 г.
12. Таймасов Б.Т. Синтез клинкеров из нестандартного сырья / Б.Т. Таймасов, Т.М. Худякова, А.Ж. Альжанова // Цемент и его применение. – 2014. – № 1 – С. 138-141.
13. Эрхард Х. Рентгено-Флуоресцентный анализ / Х. Эрхард, В.А. Федорович // Применение в заводских лабораториях. – Москва: «Металлургия». – 1985. – С. 8-12.
14. Рентгенофазовый анализ: методические указания к выполнению лаб. и научно-исследовательских работ для студентов спец. 250800 – Химическая технология тугоплавких неметалл, и силикатных матер. / БелГТАСМ. – Белгород, 2004. – С.48.
15. Таймасов Б.Т. Физико-химические методы анализа вяжущих материалов: практ. пос / Б.Т. Таймасов, Т.М. Худякова, М.С. Даулетияров. – М., 2024. – 144 с.
16. ГОСТ 30515-2013. Цементы. Технические условия. – Введен.2014-10-03. – М.: Стандартинформ, 2014.
17. ГОСТ 31108-2020. Цементы общестроительные. Технические условия. Введ. 2021-07-01. – Минск.
18. Технологический регламент ТОО «Производственная компания «Цементный завод Семей», 2026.
19. Dong B.S. The current situation and treatment countermeasure of industry solid wastes in China / B.S. Dong Chin // Environ. Prot. Industry. – 2021. – P. 20-21.
20. Рабочий проект «Реконструкция здания ТОО «Standard Steel KZ» под вспомогательные объекты со строительством установки вторичной переработки сырья по получению концентрата цветных металлов в г.Шымкенте», Шымкент. – 2022.
21. ГОСТ 5382-2019. Цементы и материалы цементного производства. Методы химического анализа. Введен 2020-06-01. – М.: Стандартинформ, 2019.
22. Михеев В.И. Рентгенометрический определитель минералов. – М.: Гос. Научно-техн. изд-во литературы по геологии и охране недр, 1957. – С. 870.
23. ГОСТ 30744-2001. Цементы. Методы испытаний с использованием полифракционного песка. – Введ. 2002-03-01. – М., 2002.
24. СТ РК 3184-2018. Клинкер портландцементный. Технические условия. – Введен 2020-01-01. – Астана: КТРМ. – С. 2-4.
25. ГОСТ 3476-2019. Шлаки доменные и электротермофосфорные гранулированные для производства цементов. – Введ. 2021-07-01. – Минск. – С. 2.
26. ГОСТ 25094-2015. Добавки активные минеральные для цементов. Метод определения активности. – Введ. 2017-07-01. – М., 2016. – С.1-4.
27. ГОСТ 30108-94. Материалы и изделия строительные. Определение удельной эффективной активности естественных радионуклеидов. – Введен 1995-01-01. – Москва. Госстрой России.

References

1. Competitive Industrial Performance Index 2025. Kazakhstan. JRC Indicatorsxplorer.Siltemehttps://compositeindicators.jrc.ec.europa.eu/explorer indices/cipi/competitive-industrial performance-index. (in English).
2. Birbayeva A. Kazakhstan Accelerates Industrial Transformation With Focus on Manufacturing, Digitalization, and Energy Modernization / A. Birbayeva // The Astana Times.Silteme-https://astanatimes.com/2025/12/ kazakhstan-accelerates-industrial-transformation-with-focus-on-manufacturing-digitalization-and-energy modernization/utm_source 02.12.2025. (in English).
3. Akymbaev E.M. Fundament budushchego: Tsementnaya Otrasl' Kazakhstana ustanovila absolyutnyi istoricheskii rekord / E.M. Akymbaev // Nezavisimyi stroitel'nyi portal. https://www.facebook.com/qazcem. 19.01.2026. (in Russian).
4. Global database of cement production assets and upstream suppliers / N. Tkachenko et al // Scientific Data. – 2023. – Vol. 10. – P. 696-1-696-9. (in English).
5. Klinker men portlandtsement alu үshin onerkasip kaldyktaryn koldanu mүmkindigin zertteu / A.E. Kuandykova zhane t.b. // Zamanaui kurylys materialdary, tekhnologiyalary zhane konstruktsiyalary: khalyk. gyl.-tazhir. konf. zhin. – Shymkent, 2025. – B. 215-219. (in Kazakh).
6. Ermolenko E.P. Vyazhushchie veshchestva iz tekhnogennogo syr'ya / E.P. Ermolenko, I.G. Luginina, I.S. Akhmetov. – Rudnyi: RII. – 2002. – S. 250. (in Russian).
7. Particle size analysis by laser diffraction spectrometry / C.F. Ferraries et al // Application to Cementitious Powders, NISTIR 7097, National Institute of Standards and Technology.2004. March. (in English).
8. Klassen V.K. Tekhnogennye materialy v proizvodstve tsementa / V.K. Klassen. – Belgorod: Izd-vo BGTU, 2008 – S. 125. (in Russian).
9. Borisov I.N. Tekhnogennye materialy v proizvodstve tsementa / I.N. Borisov, V.E. Manuilov. – Belgorod: Izd-vo BGTU. 2008 – S. 125. (in Russian).
10. Shlakootval svintsovogo proizvodstva: otchet № A224-09 ob otsenke dvizhimogo imushchestva / sost. M.Ch. Bimurzaeva. – Shymkent, 2017 – S.24. (in Russian).
11. Naimanbaev M. Istoriya Chimkentskogo svintsovogo zavoda. https://titus.kz/index.php/component/users/load_theme/files/load_theme/files/load_theme/files/202 006190827565eec770c6cd0e.pdf?previ d=22988.%27&start=04. 2010 g. (in Russian).
12. Taimasov B.T. Sintez klinkerov iz nestandartnogo syr'ya / B.T. Taimasov, T.M. Khudyakova, A.Zh. Al'zhanova // Tsement i ego primenenie. – 2014. – № 1 – S. 138-141. (in Russian).
13. Ehrkhard Kh. Rentgeno-Fluorestsentnyi analiz / Kh. Ehrkhard, V.A. Fedorovich // Primenenie v zavodskikh laboratoriyakh. – Moskva: «Metallurgiya». – 1985. – S. 8-12. (in Russian).
14. Rentgenofazovyi analiz: metodicheskie ukazaniya k vypolneniyu lab. i nauchno-issledovatel'skikh rabot dlya studentov spets. 250800 – Khimicheskaya tekhnologiya tugoplavkikh nemetall, i silikatnykh mater. / BelGTASM. – Belgorod, 2004. – S.48. (in Russian).
15. Taimasov B.T. Fiziko-khimicheskie metody analiza vyazhushchikh materialov: prakt. pos / B.T. Taimasov, T.M. Khudyakova, M.S. Dauletiyarov. – M., 2024. – 144 s. (in Russian).
16. GOST 30515-2013. Tsementy. Tekhnicheskie usloviya. – Vveden.2014-10-03. – M.: Standartinform, 2014. (in Russian).
17. GOST 31108-2020. Tsementy obshchestroitel'nye. Tekhnicheskie usloviya. Vved. 2021-07-01. – Minsk. (in Russian).
18. Tekhnologicheskii reglament TOO «Proizvodstvennaya kompaniya «Tsementnyi zavod Semei», 2026. (in Russian).
19. Dong B.S. The current situation and treatment countermeasure of industry solid wastes in China / B.S. Dong Chin // Environ. Prot. Industry. – 2021. – R. 20-21. (in English).
20. Rabochii proekt «Rekonstruktsiya zdaniya TOO «Standard Steel KZ» pod vspomogatel'nye ob''ekty so stroitel'stvom ustanovki vtorichnoi pererabotki syr'ya po polucheniyu kontsentrata tsvetnykh metallov v g.Shymkente», Shymkent. – 2022. (in Russian).
21. GOST 5382-2019. Tsementy i materialy tsementnogo proizvodstva. Metody khimicheskogo analiza. Vveden 2020-06-01. – M.: Standartinform, 2019. (in Russian).
22. Mikheev V.I. Rentgenometricheskii opredelitel' mineralov. – M.: Gos. Nauchno-tekhn. izd-vo literatury po geologii i okhrane nedr, 1957. – S. 870. (in Russian).

23. GOST 30744-2001. Tsementy. Metody ispytanii s ispol'zovaniem polifraktsionnogo peska. – Vved. 2002-03-01. – M., 2002. (in Russian).
24. ST RK 3184-2018. Klinker portlandtsementnyi. Tekhnicheskie usloviya. – Vveden 2020-01-01. – Astana: KTRM. – S. 2-4. (in Russian).
25. GOST 3476-2019. Shlaki domennye i ehlektrotermofosfornye granulirovannye dlya proizvodstva tsementov. – Vved. 2021-07-01. – Minsk. – S. 2. (in Russian).
26. GOST 25094-2015. Dobavki aktivnye mineral'nye dlya tsementov. Metod opredeleniya aktivnosti. – Vved. 2017-07-01. – M., 2016. – S.1-4. (in Russian).
27. GOST 30108-94. Materialy i izdeliya stroitel'nye. Opredelenie udel'noi ehffektivnoi aktivnosti estestvennykh radionukleidov. – Vveden 1995-01-01. – Moskva: Gosstroi Rossii. (in Russian).

Благодарность: *Работа проведена при финансовой помощи Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан, грант BR24993178 «Разработка инновационной технологии переработки вторичных ресурсов – отходов металлургических производств, побочных продуктов нефтепереработки и нефтедобычи».*

А.Н. Сабитова, Б.Б. Баяхметова, Ж.Ш. Шәріпхан*, А.Б. Абдрахманова, А.С. Конакбаева
Шәкәрім университеті,
071412, Қазақстан Республикасы, Семей қ., Глинки к-сі, 20 А
*e-mail: j.shariphan@shakarim.kz

ПОРТЛАНДЦЕМЕНТ ТЕХНОЛОГИЯСЫНДА ҚОРҒАСЫН ӨНДІРУ ҚАЛДЫҚТАРЫН ПАЙДАЛАНУДЫҢ ПЕРСПЕКТИВАЛАРЫ

Металлургия өнеркәсібіндегі техногендік қалдықтар көлемінің артуы құрылыс материалдарында оларды қайта пайдалануға бағытталған технологиялық шешімдерді іздеуді қажет етеді. Бұл зерттеу қорғасын өндірісі қалдықтарын портландцемент өндірісінде технологиялық қоспа ретінде пайдалану мүмкіндігін қарастырады. Зерттеу Standard Steel KZ (Шымкент) компаниясының қорғасын өндірісі қалдықтарына бағытталған. Материалдардың химиялық және фазалық құрамы XRF және XRD әдістерін қолдана отырып талданды. Қоспаның клинкерді ұнтақтауға, цемент тасының құрылымының қалыптасуына және цементтің беріктік қасиеттеріне әсері де зерттелді. Қалдықтардың құрамында цемент жүйесіндегі гидратация және құрылымның қалыптасу процестеріне қатыса алатын минералды компоненттер бар екені анықталды. Ең айқын оң әсер 10% қоспа қосқанда байқалды, бұл цементтің меншікті бетінің ауданының ұлғаюына және сығылу беріктігінің артуына әкелді. Алынған нәтижелер қорғасын өндірісі қалдықтарын цемент технологиясында экологиялық және технологиялық тұрғыдан пайдалану мүмкіндігін көрсетеді.

Түйін сөздер: *техногенді қалдықтар, қорғасын өндірісінің қалдықтары, портландцемент, цемент тасы, XRD-талдау, XRF-талдау, гидратация, экологиялық қауіпсіздік.*

A. Sabitova, B. Bayakhmetova, Zh. Sharipkhan*, A. Abdrakhmanova, A. Konakbaeva
Shakarim University,
071412, Republic of Kazakhstan, Semey, 20 A Glinka Street
*e-mail: j.shariphan@shakarim.kz

PROSPECTS FOR USING LEAD PRODUCTION WASTE IN PORTLAND CEMENT TECHNOLOGY

The increasing accumulation of technogenic waste generated by the metallurgical industry necessitates the development of effective approaches for its reuse in construction materials. This study investigates the feasibility of utilizing lead production waste as a technological additive in Portland cement manufacturing. Lead production waste obtained from Standard Steel KZ LLP (Shymkent, Kazakhstan) was used as the research material.

The chemical and phase compositions of the investigated materials were characterized using X-ray fluorescence (XRF) and X-ray diffraction (XRD) analyses. In addition, the effect of the additive on clinker grinding, cement stone microstructure formation, and the mechanical properties of cement was evaluated.

The results demonstrated that the investigated waste contains mineral components capable of participating in hydration and structure-forming processes within the cement system. The most significant positive effect was observed at a 10% additive content, which resulted in an increase in the specific surface area of the cement and improved compressive strength.

The findings indicate that lead production waste can be considered a promising secondary raw material for cement technology from both environmental and technological perspectives.

Key words: *technogenic waste, lead production waste, Portland cement, cement stone, XRD analysis, XRF analysis, hydration, environmental safety.*

Сведения об авторах

Альфира Нуржановна Сабитова – ассоциированный профессор, PhD, заведующий кафедры «Химия и экология», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: alfa-1983@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3360-7998.

Булбул Баяхметовна Баяхметова – кандидат химических наук, ассоциированный профессор кафедры «Химия и экология», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: bulbul.bayakhmetova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-5107.

Жанна Шәріпханқызы Шәріпхан* – докторант кафедры «Химия и экология», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: j.shariphan@shakarim.kz. ORCID: https://orcid.org/.0000-0002-2484-7287.

Ажар Бауыржановна Абдрахмановна – магистр химии, преподаватель кафедры «Химия и экология», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: zzzk2014@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1196-6081.

Арианна Сейсембаевна Конакбаева – магистрант кафедры «Химия и экология», Шәкәрім университеті, г. Семей, Республика Казахстан; e-mail: arikonakbaeva@gmail.com.

Авторлар туралы мәліметтер

Альфира Нуржановна Сабитова – қауымдастырылған профессор, PhD, химия және экология кафедрасының меңгерушісі, Шәкәрім университеті, Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: alfa-1983@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3360-7998.

Булбул Баяхметовна Баяхметова – химия ғылымдарының кандидаты, «Химия және экология» кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Шәкәрім университеті, Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: bulbul.bayakhmetova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-5107.

Жанна Шәріпханқызы Шәріпхан* – «Химия және экология» кафедрасының докторанты Шәкәрім университеті Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: j.shariphan@shakarim.kz. ORCID: https://orcid.org/.0000-0002-2484-7287.

Ажар Бауыржановна Абдрахманова – химия магистрі, «Химия және экология» кафедрасының оқытушысы, Шәкәрім университеті Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: zzzk2014@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1196-6081.

Арианна Сейсембаевна Конакбаева – «Химия және экология» кафедрасының магистранты Шәкәрім университеті Семей қ., Қазақстан Республикасы; e-mail: arikonakbaeva@gmail.com.

Information about the authors

Alfira Sabitova – Associate Professor, PhD, Head of the Department of Chemistry and Ecology, Shakarim Universiti, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: alfa-1983@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3360-7998.

Bulbul Bayakhmetova – Candidate of Chemical Sciences, Associate Professor of the Department of «Chemistry and Ecology», Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: bulbul.bayakhmetova@gmail.com. ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5663-5107.

Zhanna Sharipkhan* – Doctoral Student of the Department of «Chemistry and Ecology», Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: j.shariphan@shakarim.kz. ORCID: https://orcid.org/.0000-0002-2484-7287.

Azhar Abdrakhmanova – Master of Chemistry, Teacher of the Department of «Chemistry and Ecology», Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: zzzk2014@mail.ru. ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1196-6081.

Arianna Konakbaeva – Master's student of the Department of «Chemistry and Ecology», Shakarim University, Semey, Republic of Kazakhstan; e-mail: arikonakbaeva@gmail.com.

Поступила в редакцию 10.06.2026
Принята к публикации 24.06.2026