

АННОТАЦИЯ **диссертационной работы**

на тему «Малоэнергоемкая технология производства цементного клинкера с использованием отходов цинкового и свинцового производства»,
представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по
специальности 8D07190 – «Химическая технология тугоплавких
неметаллических и силикатных материалов»
ҚУАНДЫҚОВОЙ АҚНҰР ЕРХАНҚЫЗЫ

Актуальность темы. Производство цементного клинкера является одним из наиболее энергоёмких и экологически нагруженных процессов строительной индустрии. Высокие температуры обжига (около 1450 °С) приводят к значительным затратам топлива и выбросам CO₂. В современных условиях особую значимость приобретает разработка малоэнергоемких и ресурсосберегающих технологий. Использование отходов цинкового и свинцового производства и др. в качестве сырья способствует снижению энергозатрат, рациональному использованию ресурсов и экологически безопасной утилизации техногенных отходов.

Южный Казахстан является регионом с развитой металлургической отраслью и значительным потенциалом для применения таких технологий, поскольку здесь сосредоточены крупные предприятия по добыче и переработке цинковых и свинцовых руд, а также цементные заводы, заинтересованные в снижении себестоимости и повышении экологичности производства.

Разработка малоэнергоемкой технологии производства цементного клинкера с использованием клинкеров вельцевания цинковых руд и свинцовых шлаков позволяет не только повысить энергоэффективность и экологическую безопасность цементного производства, но и способствует устойчивому развитию региона в целом.

Таким образом, актуальность темы обусловлена острой необходимостью внедрения инновационных технологических решений, направленных на повышение энерго- и ресурсосбережения, экологическую безопасность и экономическую эффективность производства цементного клинкера с использованием промышленных отходов.

Портландцемент – энергоемкий продукт, поскольку основу цемента – клинкер - обжигают при высокой температуре 1450 °С. Обжиг клинкера является сложным многостадийным процессом. На выпуск 1 т цемента затрачивается примерно 5 т сырья, добавок, топлива, воды, воздуха, огнеупоров и т.д. Расход топлива на 1 т клинкера по мокрому способу составляют 220-240 кг, по сухому – 100-120 кг. В Казахстане 14 заводов выпускают клинкер по сухому и 3 завода – по мокрому способам. Поэтому вопросы процессов обжига клинкера, энергосбережения и экологии, остаются важными и актуальными.

Сегодня в Казахстане и других странах все больше внимания уделяется проблемам устойчивого развития, сокращению антропогенного воздействия на окружающую среду и климатическую систему, в том числе – снижению выбросов парниковых газов в ключевых отраслях промышленности. Производство цемента является чрезвычайно материалоемким и энергоемким процессом, связанным с выделением значительного количества диоксида углерода.

Производство цемента является одним из лидеров по выбросу парниковых газов в атмосферу. Ежегодно мировая цементная промышленность производит примерно от 6 % до 7 % глобальных выбросов CO_2 и от 5 до 7 % выбросов парниковых газов антропогенного происхождения. При этом при производстве цементного клинкера образуется большое количество парникового газа CO_2 , который выделяется при декарбонизации карбонатсодержащего сырья (технологические CO_2) и при сгорании топлива (энергетические CO_2). Доля расходов на топливно-энергетические ресурсы в цементной отрасли составляет около 40 % от стоимости произведенного продукта. Фактически при производстве 1 т клинкера в окружающую среду выбрасывается 840-900 кг CO_2 . Поэтому весьма актуальным является разработка малоэнергоемких ресурсосберегающих технологий, позволяющих снизить и потребление топлива на обжиг клинкера, и выбросы парникового газа CO_2 .

Цель исследования:

Разработка научно обоснованной, малоэнергоемкой и экологически безопасной технологии получения цементного клинкера с использованием отходов цинкового и свинцового производства и др., обеспечивающей снижение энергетических затрат, эффективную утилизацию техногенных материалов и получение клинкера с высокими эксплуатационными характеристиками, пригодного для производства портландцемента.

Задачи исследования:

Для достижения поставленной цели решаются следующие задачи:

1. Провести комплексный анализ химического и минералогического состава отходов цинкового и свинцового производств, других отходов с целью оценки их пригодности в качестве компонентов сырьевой шихты для производства цементного клинкера.
2. Разработать оптимальные составы сырьевых смесей с использованием отходов, обеспечивающие получение клинкера при пониженных температурах обжига без снижения качества конечного продукта.
3. Экспериментально определить оптимальные технологические параметры процесса обжига с целью минимизации энергозатрат и обеспечения необходимого качества клинкера.
4. Оценить физико-механические и физико-химические свойства полученного клинкера и цемента, тяжелых металлов и других вредных компонентов в минеральной структуре клинкера для обеспечения экологической безопасности продукта. Определить возможности

снижения выбросов углекислоты в атмосферу при внедрении разработанной технологии.

5. Разработать кадастр отходов, технологическую схему и технологический регламент получения клинкера и цемента на основе отходов промышленности.

Объект и методы исследования. Объектом исследования является процесс производства цементного клинкера с использованием отходов цветной металлургии, в частности клинкеров вельцевания цинковых руд Ачисайского металлургического завода, свинцовых шлаков и др.

Особое внимание уделяется химическому и минералогическому составу этих отходов, их влиянию на формирование клинкерных минералов, а также энергоёмкости процесса обжига и качеству получаемого цементного клинкера.

Основные положения, выносимые на защиту:

- разработанные ресурсосберегающие сырьевые смеси на основе природного и крупнотоннажного техногенного сырья для получения портландцементного клинкера обеспечивают снижение температуры обжига на 100 °С, уменьшение расхода топлива на 10–15 % и сокращение тепловых затрат на 150–200 кДж/кг.

- установлена возможность полной или частичной замены природного сырья техногенными отходами: ачисайским клинкером и гранулированными свинцовыми шлаками. На этой основе разработаны энергоэффективные и ресурсосберегающие шихты, позволяющие заменить природное сырьё на 30–90 % и снизить расход сырьевых материалов на 0,1–0,2 т на 1 т клинкера. Выполнен расчёт составов шихт для различных строительных и специальных цементов.

- выполнен расчёт выбросов CO₂ в атмосферу при использовании разработанных экологичных малоэнергоёмких технологий. При использовании Ачисайского клинкера в качестве корректирующей железистой добавки в сырьевой смеси для получения клинкера выбросы CO₂ в атмосферу снижаются на 64 кг (12,08%) на 1 тонну клинкера, при использовании свинцового шлака снижаются на 42 кг (7,9 %) на 1 тонну клинкера.

- в радиологической лаборатории выполнен дозиметрический контроль клинкера вельцевания цинковых руд Ачисайского металлургического завода. Измеренная мощность дозы пробы клинкера вельцевания цинковых руд составила 0,15 мкЗв/час, н/сек, что соответствует требованиям по нормам радиационной безопасности. Допустимая мощность дозы составляет 0,2+фон (мкЗв/час, н/сек).

- возможности улучшения основных показателей процессов обжига клинкера: количество жидкой фазы, индекс обжигоспособности (оптим. 2,5–3,5), теплокалориметрический модуль (оптим. 0,3–1,8), коэффициент спекания (оптим. 0,5–0,6), тепловой эффект образования клинкера, коэффициент прилипания к футеровке (оптим. 3,0–5,0) и др.

Основные результаты исследования:

Предметом исследования является влияние состава и свойств отходов цинкового, свинцового производства и др. на процессы формирования цементного клинкера, особенности протекания реакций при низкотемпературном обжиге сырьевых смесей с использованием этих отходов, а также их воздействие на энергетическую эффективность производства и качество получаемого портландцементного клинкера.

Обоснование новизны и важности полученных результатов:

1. Теоретически и экспериментально обоснованы малоэнергоёмкие, экологичные технологии производства цементного клинкера с использованием отходов цинкового и свинцового производства, другого техногенного сырья позволяющие снизить температуру обжига на 100–150 °С по сравнению с традиционными технологиями.

2. Установлены закономерности влияния химического и минералогического состава отходов цветной металлургии, примесных оксидов на формирование основных минералов цементного клинкера при пониженном температурном режиме обжига.

3. Установлены закономерности влияния химико-минералогического состава клинкера вельцевания цинковых руд Ачисайского металлургического завода, составов сырьевых шихт, модульных характеристик на удельный расход топлива при обжиге и величину выбросов углекислоты в атмосферу.

4. Разработаны оптимальные составы сырьевых смесей с частичной заменой традиционных компонентов отходами цинкового и свинцового производства, обеспечивающие получение клинкера с улучшенными эксплуатационными характеристиками.

5. Выявлены механизмы фиксации тяжёлых металлов и токсичных компонентов в структуре клинкера, что обеспечивает экологическую безопасность продукции и способствует утилизации опасных отходов.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении и углублении научных представлений о процессах формирования цементного клинкера при использовании отходов металлургической промышленности, в частности отходов цинкового и свинцового производств. Впервые получены системные данные о влиянии состава клинкера вельцевания, свинцовых шлаков и др. отходов на кинетику минералообразования и фазовый состав цементных клинкеров при пониженных температурах обжига.

Разработаны новые модели взаимодействия компонентов сырьевой смеси, учитывающие комплексный химический состав отходов и их активность, что позволило обосновать режимы малоэнергоёмкого обжига и повысить эффективность синтеза основных минералов портландцемента.

Полученные результаты способствуют развитию теории устойчивого ресурсопотребления и термохимии высокотемпературных процессов, расширяя знания в области экологически безопасного применения техногенных материалов в строительных технологиях.

Разработанная технология подтверждает её эффективность и высокую перспективность для промышленного внедрения на цементных заводах Южного Казахстана.

Таким образом, работа вносит существенный вклад в фундаментальные основы материаловедения и технологии производства цемента, а также в теорию утилизации промышленных отходов и снижения выбросов углекислоты в атмосферу.

Практическая значимость работы:

1. Внедрение малоэнергоёмкой технологии производства цементного клинкера с использованием отходов цинкового и свинцового производств, других отходов на цементных заводах Южного Казахстана позволит снизить температуру обжига клинкера на 50-100 °С, удельный расход топлива на обжиг на 10-15 %, повысить производительность печей на 10-12 %, увеличить выпуск продукции, улучшить экономическую эффективность предприятий.

2. Рациональное использование клинкера вельцевания, свинцовых и других шлаков будет способствовать решению глобальных экологических проблем: уменьшить выбросы углекислоты в производстве цемента, утилизировать многотоннажные отходы, устранить или уменьшить риски для природы и окружающей среды, связанные с накоплением опасных отходов металлургической промышленности и других отраслей.

3. При частичной замене природного сырья отходами производства снижаются выбросы парниковых газов и других загрязняющих веществ (NO_x , SO_3 , CO) за счёт снижения удельного расхода сырья на получение 1 т клинкера, уменьшения карбонатной составляющей сырьевой шихты, снижения температуры обжига клинкера и удельного расхода топлива на обжиг клинкера.

4. Разработаны нормативные документы и технологический регламент по процессу приготовления энергосберегающей сырьевой шихты и обжигу малоэнергоёмких, экологичных сырьевых смесей с применением отходов металлургической промышленности и др. в производстве цементного клинкера.

5. Повышается качество и долговечность цементных материалов за счёт формирования клинкера с улучшенными структурно-фазовыми характеристиками.

6. Результаты исследований используются в учебном процессе и подготовке кадров в области технологии цемента и ресурсосбережения.

Соответствие диссертации направлениям развития науки или государственным программам.

Диссертационная работа выполнена в рамках ПЦФ BR21882292-«Интегрированное развитие устойчивой строительной отрасли: инновационные технологии, оптимизация производства, эффективное использование ресурсов и создание технологического парка».

Личный вклад докторанта в подготовку каждого пункта состоит:

- выполнен анализ литературных источников аналогичных исследований;
- сформулированы цель и задачи диссертационных исследований;
- выбраны и обоснованы различные многотоннажные отходы промышленности для малоэнергоемкого и экологичного производства клинкера;
- изучен химико-минералогический состав отходов и обоснованы пути их использования в цементном производстве;
- исследованы процессы высокотемпературного синтеза клинкеров на основе многотоннажных отходов промышленности;
- обосновано низкотемпературное завершение процессов получения основных клинкерных минералов в шихтах с добавками отходов и минерализаторов;
- разработаны и обоснованы малоэнергоемкие сырьевые шихты и технологические схемы утилизации отходов для получения цементного клинкера;
- показана безвредность используемых промышленных отходов.
- сформулировано заключение по выполненной диссертационной работе.

По материалам диссертационной работы опубликовано 8 работ, из них 1 работа в журналах, входящих в международный информационный ресурс Scopus, а также 4 статьи в научных изданиях, рекомендуемых Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования Министерства науки и высшего образования РК и 2 докладов и тезисов докладов в трудах международных и зарубежных научных конференций. Получен 1 патент на изобретение РК:

1. Kuandykova, A., Taimasov, B., Potapova, E., Sarsenbayev, B., Kolesnikov, A., Begentayev, M., et al. Production of composite cement clinker based on industrial waste. *Journal of Composites Science*, 2024, vol. 8, July, pp. 257–275. DOI: 10.3390/jcs8070257. Q-2, процентиль -76.

2. Қуандықова А., Жаникулов Н., Таймасов Б., Жакипбаев Б. Ащысай металлургиялық зауытының клинкерін портландцемент клинкерін алуға реттеуші қоспа ретінде қолдануды зерттеу // ҚР ҰҒА баяндамалары. Химия ғылымдары сериясы. – 2023. – №3. – Алматы. – Б. 146–156. – DOI: 10.32014/2023.2518-1483.232.

3. Қуандықова А., Таймасов Б., Жаникулов Н., Потапова Е. Ащысай металлургиялық зауытының клинкерін белітті клинкер синтездеу үшін қолдану // ҚР ҰҒА хабаршысы. Химия және технология сериясы. – 2024. – №1. – Алматы. – Б. 83–93. – DOI: 10.32014/2024.2518-1491.209.

4. Қуандықова А., Таймасов Б., Потапова Е., Жакипбаев Б., Жаникулов Н. Металлургиялық шлактардан алынатын клинкерлердің микроқұрылымын зерттеу // ҚР ҰҒА баяндамалары. Химия ғылымдары сериясы. – 2025. – №2. – Алматы. – Б. 242–257. – DOI: 10.32014/2025.2518-1483.356.

5. Amiraliyev, B., Kuandykova A, Taimassov, B., Potapova, E., and Ainabekov, N. Modern trends in the development of cement production // *Bulletin*

of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Technical Science and Technology Series. – Astana, 2024. – No. 2 (151). – pp. 38–58.

6. Kuandykova A, Taimasov, B., Potapova, E., Dauletiarov, M., and Amiraliev, B. Investigation of chemical and mineralogical composition and technological properties of industrial waste for cement production // Proceedings of the X International Annual Conference «Industrial Technologies and Engineering» (ICITE – 2023). – South Kazakhstan Science Herald, vol. 2(30). – Shymkent, Kazakhstan, 2025. – pp. 180–184.

7. Қуандықова А.Е., Таймасов Б.Т., Абдуллин А.А., Амиралиев Б.Б. Клинкер мен портландцемент алу үшін өнеркәсіп қалдықтарын қолдану мүмкіндігін зерттеу // «Заманауи құрылыс материалдары, технологиялары және конструкциялары» атты халықаралық ғылыми-тәжірибелік конференция материалдары. – Оңтүстік Қазақстан ғылым жаршысы. – Шымкент: М. Әуезов атындағы ОҚУ, 2025. – Б. 215–219.

8. Таймасов Б.Т., Даулетияров М.С., Жаникулов Н.Н., Касимбеков Т.А., Қуандықова А.Е., Абдуллин А.А. и др. Сырьевая смесь для получения портландцементного клинкера: Патент на изобретение №36495. – 08.12.2023.

Структура и объем диссертации. Диссертационная работа изложена на 134 страницах машинописного текста, содержит 57 таблиц, 16 рисунков. Работа состоит из введения, пяти глав, заключения, списка использованных источников из 110 наименований и 4 приложений.