

**МИНИСТЕРСТВО ВЫСШЕГО И СРЕДНЕГО СПЕЦИАЛЬНОГО
ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ УЗБЕКИСТАН**

ТАШКЕНТСКИЙ ХИМИКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

УДК 666. 9. 015. 621. 745.

БАБАЕВ НАҚИБУЛЛО ҲАБИБУЛЛАЕВИЧ

**НАУЧНЫЕ И ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ОПТИМИЗАЦИИ ОБЖИГА ЦЕМЕНТНОГО КЛИНКЕРА ВО
ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ**

05.17.11. – Технология силикатных
и тугоплавких неметаллических материалов

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук.

Ташкент – 2009

Работа выполнена на кафедре "Технологии силикатных материалов"
Ташкентского химико-технологического института

Научный консультант Доктор технических наук, профессор
Нудельман Борис Израилевич

Официальные оппоненты: Заслуженный деятель науки Российской Федерации,
Доктор технических наук, профессор
Корнеев Валентин Исаакович

Доктор технических наук, профессор
Атакузиев Темуржан Азим - углы

Доктор технических наук
Талипов Нигматулло Хамидович

Ведущая организация Институт общей и неорганической химии АН РУз

Защита диссертации состоится "16" мая 2009 г. в 10-00 часов на заседании специализированного Совета Д 067.24.01 при Ташкентском химико-технологическом институте по адресу: 100007 г. Ташкент, ул. М. Улуғбек, дом № 41, ТашХТИ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Ташкентского химико-технологического института по адресу: 100011, г. Ташкент, улица А. Навоий, дом № 32.

Отзывы и замечания в одном экземпляре, заверенные круглой (или гербовой) печатью, просим направлять по адресу: 100007 г. Ташкент, ул. М. Улуғбек, дом № 41, ТашХТИ.

Автореферат разослан " 03" апреля 2009 г

Ученый секретарь
Специализированного совета
Д 067.24.01, к.т.н., доцент

Г.А. Тохтахунова

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ.

Актуальность работы. Портландцемент является основным строительным материалом современности, не имеющим альтернативы, как по составу, так и, в обозримом будущем, по способу синтеза: высокотемпературному спеканию во вращающихся печах.

Проблема оптимизации процесса синтеза портландцементного клинкера является актуальной для мировой промышленности, прежде всего, с позиций снижения расходов органического топлива на обжиг клинкера в промышленных печах.

В мировой практике с позиций снижения энергозатрат развиваются два направления решения проблемы совершенствования обжига клинкера во вращающихся печах. Первое направление является радикальным и включает перевод промышленности на так называемый «сухой способ» производства, при котором снижение затрат на обжиг клинкера достигается использованием современных печей, оборудованных запечным теплообменным устройством и реакторами декарбонизаторами. Это направление является, безусловно, приоритетным, как при строительстве новых, так и реконструкции действующих предприятий. Однако, такой подход к модернизации обжига клинкера связан с огромными затратами на реконструкцию заводов и фактически сводится к демонтажу старого предприятия и строительству нового. Выделение средств, для такого решения в ряде стран ограничены и определенное время новая технологическая линия «сухого способа» будет соседствовать с действующим предприятием «мокрого способа» производства. Второе направление необходимость перевода действующих предприятий «мокрого способа» производства цемента на интенсивный путь развития при радикальном улучшении использования топливно-энергетических ресурсов. Решение данной проблемы в цементном производстве следует осуществлять путём оптимизации и совершенствования наиболее энергоёмкого предела – обжига клинкера. Сложность поставленной задачи заключается в необходимости комплексного исследования взаимовлияющих химических, физических, тепловых и аэродинамических процессов, одновременно протекающих в печном агрегате.

Традиционно изучение обжига клинкера проводилась в двух несколько обособленных направлениях – исследование физико-химических процессов обжига клинкера и изучение теплотехнических закономерностей работы печей. Проведенные исследования не исчерпывают всего многообразия взаимообусловленных явлений, протекающих в тепловых агрегатах, особенно в условиях высокой мощности и с учетом влияния теплотехнологических факторов процесса.

С прикладной точки зрения изучение вопросов связанных с оптимизацией и совершенствованием технологии производства клинкера является весьма актуальным.

Степень изученности проблемы. Вопросы взаимозависимости физико-химических процессов протекающих при обжиге цементного клинкера и теплотехнических закономерностей работы вращающихся печей в определенной степени изучены Юнгом В.Н., Ансельмом В., Ходоровым Е.И., Гиги Г., Эйгеном Г., Буттом Ю.М., Мазуровым Д.Я., Тимашевым В.В., Вальбергом Г.С., Воробевым Х.С., Шубиным В.И., Классенном В.К., Нудельманом Б.И., Корнеевым В.И., Осокиным А.П., Отакузиевым Т.А., Кичкиной Е.С., Сулименко Л.М., Коленовой К.Г., Судакасом Л.Г., Коугия М.В., Никифоровым Ю.В., Барбанягрэ В.Д., Искандаровой М., Коноваловым В.М., Талиповым Н.Х. и другими.

Проведенные исследования не исчерпывают всего многообразия взимообусловленных явлений, протекающих в тепловых агрегатах большой мощности и влияния ряда теплотехнологических факторов.

Опыт эксплуатации вращающихся печей мокрого способа показывает, что основными факторами, определяющими уровень производительности этих агрегатов, являются не их теплотехнические параметры (тепловая мощность и предельно допустимое тепловое напряжение зоны горения), а пропускная способность и газодинамические и тепломассообменные процессы, происходящие в печи. Однако еще нельзя утверждать, что у действующих печей, разного типоразмера отсутствует диспропорция и достигнуто полное соответствие между теплотехническими и технологическими параметрами собственно печей и колосниковых холодильников. Поэтому для совершенствования существующей, разработки новых положений и оптимизации теплотехнологических параметров обжига цементного клинкера в условиях цементной промышленности Узбекистана, использующие сырьевые компоненты довольно пестрого состава и работающих на газообразном топливе, необходимо дальнейшее развитие работ по взаимному влиянию физико-химических и теплотехнологических процессов клинкерообразования.

Оптимальный режим процесса обжига клинкера для каждой печи устанавливается экспериментальным путем, его нельзя устанавливать произвольно. При назначении режима следует не только считаться с поведением материала при обжиге, но и учитывать различные теплотехнологические факторы, оказывающие влияние на процесс обжига клинкера. Наиболее выгодным и часто применяемым методом для определения оптимального режима обжига клинкера является совокупность результатов комплексных лабораторных, физико-химических исследований, физико-механических испытаний клинкера и результатов исследовательских обжигов в промышленных или полупромышленных установках, в моделях с условиями, подобных к условиям действительного оборудования, для которого устанавливается оптимальный режим.

Необходимость всемерного снижения удельного расхода тепла приводит к сокращению до минимума продолжительности тепловой обработки, необходимой для процесса обжига клинкера. Классические принципы работы

печей для обжига клинкера не позволяют, как правило, сокращать это время и поэтому необходимо искать решения, допускающие работу на существующем оборудовании с интенсификацией процессов сжигания топлива и теплообмена.

Учитывая, что на конечной стадии обжига цементного клинкера преимущественно применяются, вращающиеся печи мокрого способа производства (55 % парка печей Республики), основные исследования автора данной работы, сосредоточены на выявлении закономерностей, проявляющихся в высокотемпературных зонах агрегата на основе широкого применения в практике цементного производства теории Эйгена-Классена и анализа теплотехнологических параметров процесса обжига цементного клинкера, а также разработке прикладных способов оптимизации теплотехнологических параметров процесса обжига цементного клинкера при расчетной производительности печи.

Связь диссертационной работы с тематическими планами НИР. Работа выполнялась в соответствии с комплексной целевой программой МПСМ "Топливо" на 1986 – 91 годы (проблема 01.01.), хозяйственных договоров НПФ "САМОЙИНУР" заключенных в период с 1999 по 2007 годы за № 17 / 03-99, № 2001-1270 сн, 01-01 / 07-07, 02-01/09-07 и индивидуальным календарным планом выполнения диссертационной работы на кафедре ТСМ ТашХТИ.

Цель исследования. Диссертация посвящена созданию целостной единой системы (методологии) физико-химического (теоретические основы) синтеза портландцементного клинкера с теплотехническими и технологическими параметрами такого синтеза, заключающиеся в снижении материальных и энергетических затрат, а также повышение активности клинкера и КПД колосникового холодильника. Такая методология строится на основе анализа установленных закономерностей и выявления особенностей протекания физико-химических и теплотехнологических процессов.

Достижение этой цели связано с выполнением следующих этапов исследования:

Основным требованием при проектировании теплового оборудования является наиболее полное соответствие конструкции печи технологическим требованиям термической обработки материала, а не приспособление материала к технологическим возможностям оборудования, так как режим тепловой обработки материала должен быть оптимальным.

Оптимальный режим тепловой обработки определяется не только составом обжигаемой смеси, он зависит и от способа питания печи, от вида и типа используемых цепных теплообменников, вида, состава и качества топлива, типа горелочных устройств, режима охлаждения, мощности и производительности тягодутьевых устройств, и др.

В практической деятельности работать в оптимальном режиме можно только в исключительных случаях. Наиболее часто этому препятствует то

обстоятельство, что-либо поддержание этого режима невозможно из-за конструктивных решений печи, либо тягодутьевых устройств, либо холодильников, либо газогорелочных устройств, либо состава обжигаемой смеси. Действительный эксплуатационный режим является компромиссным, но его нельзя реализовывать, не обладая знаниями об оптимальных режимах тепловой обработки клинкера зависящих от различных теплотехнологических факторов. Для термической обработки клинкера наивысшего качества, для которых требования к оптимальному режиму различаются, лучше вместо компромиссного режима принимать технически более пригодный способ обжига, который состоит в разделении операций, проводимых в печи; оптимизация состава обжигаемой смеси, оптимизация питания печи шламом, оптимизация тепломассообменных процессов материала происходящих в цепных теплообменниках устройствах, оптимизация режима декарбонизации материала в зоне подготовке, оптимизация охлаждения клинкера с целью получения клинкера наилучшего минералогического состава и получения высокой температуры вторичного воздуха, оптимизация сжигания топлива с использованием эффективных горелочных устройств, оптимальной производительности печи, высокой стойкости футеровки, минимального пылевыноса из печи, оптимального удельного расхода тепла, что позволяет работать в режиме близком к оптимальному.

Задачи исследования. Необходимость всемерного снижения удельного расхода тепла приводит к сокращению до минимума продолжительности тепловой обработки, необходимой для процесса обжига клинкера. Классические принципы работы печей для обжига клинкера не позволяют, как правило, сокращать это время и поэтому необходимо искать решения, допускающие работу на существующем оборудовании с интенсификацией процессов сжигания топлива и интенсификацией теплообмена.

Интенсификация процесса обжига портландцементного клинкера в современных вращающихся печах, при оптимальной производительности, сводится к решению следующих основных задач:

- улучшение качества;
- повышение стойкости футеровки;
- снижение удельного расхода тепла (топлива);
- уменьшение пылевыноса из печи.

Снижение удельного расхода тепла является важнейшим, т.к. при этом одновременно обеспечиваются увеличение условной производительности печи, стойкости футеровки, а также вследствие снижения скорости газового потока, значительно уменьшается пылевынос из печи.

Объект и предмет исследований. Вращающаяся цементобжигательная печь мокрого способа производства, оборудованная различными видами холодильных установок, внутри печных теплообменных устройств,

газогорелочными и питающими устройствами. Сырьевые смеси различного химического и вещественного состава изготовленные на основе заводских сырьевых компонентов в соответствии имеющихся и утвержденного технологического регламента производства цемента на заводах.

Изучение взаимозависимости одновременно протекающих и друг на друга накладывающихся химических, физических процессов протекающих при термической обработке сырьевых материалов и термохимических процессов протекающих при сжигании топлива.

Методы исследований. Основой для создания целостной единой системы (методологии) физико-химического (теоретические основы) синтеза портландцементного клинкера с теплотехническими и технологическими параметрами такого синтеза, является проведение исследований на основе анализа установленных закономерностей и выявления особенностей протекания физико-химических и теплотехнологических процессов обжига цементного клинкера с применением комплекса современных методов физико-химического анализа, принятых при исследовательских работах в области портландцемента, вплоть до самых современных: методов РФА, инфракрасной спектроскопии (ИК), петрографического анализа, химического анализа, метода меченных радиоактивных изотопов и др.

В работе наряду со стандартными методами физико-химического анализа и проведения технологических испытаний в промышленных условиях применялись специальные установки и методы. Для изучения газодинамических и тепло-массообменных процессов, пропускной способности печей, для исследования процессов сжигания топлива, удельной тепловой мощности и удельного теплонапряжения поперечного сечения печи зоны горения в свету в лабораторных условиях, была разработана и изготовлена специальная лабораторная вращающаяся печь, которая по линейным размерам являлся как бы моделью зоны горения вращающейся печи 4.5X170 м с коэффициентом моделирования около 10.6 и печи 3.6 X150 м с коэффициентом моделирования около 8.3. и стендовые установки.

Для определения скорости и структуры материального и газового потока, аэрогазодинамических процессов, протекающих во вращающейся печи № 4 размером 4.5X170м АО Ахангаранцемент, проводили специальные исследования при сжигании газообразного топлива, с применением метода меченных радиоактивных изотопов (РАИ) – трассеров.

Прочностные характеристики цементов, изучение физико-механических свойств цементов проводили в соответствии с известными методиками и требованиями ГОСТов (ЗЮ.І-310.4 - 81 и ГОСТу 10178-85).

Основой для создания алгоритма регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера является функциональный анализ, теория дифференциальных уравнений, метод группового учёта аргументов (МГУА) и метод математического моделирования переходных режимов химико-

технологического процесса обжига цементного клинкера описанных дифференциальными уравнениями.

Основные положения, выносимые на защиту. Автор защищает - предложенный научно обоснованный механизм регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера во вращающейся печи с учетом теплотехнологических особенностей процесса обжига клинкера при минимальных энергетических затратах: в зависимости от производительности печи; от теплотехнологических характеристик работы печи; способов питания печи шламом; скорости движения материального и газовых потоков; методов сжигания топлива и регулирования длины факела температуры газового потока, и др.

Научная новизна. На основе анализа результатов многочисленных научных исследований и промышленных испытаний проведенных в процессе обжига цементного клинкера и изучению взаимозависимости одновременно протекающих и друг на друга накладывающихся химических, физических и термохимических процессов при сжигании топлива и термической обработке сырьевых материалов создана не существовавшая ранее единая целостная система (методология) физико-химического (теоретические основы) синтеза портландцементного клинкера с теплотехническими и технологическими параметрами такого синтеза, заключающиеся в снижении материальных и энергетических затрат, а также повышение активности клинкера и КПД колосникового холодильника.

Обсуждаются варианты реализации каждого этапа разработанной методологии, как известные, так и новые и особенности их выбора в зависимости от решаемой задачи управления процессом обжига цементного клинкера. В качестве примеров на основе данной методологии разработано ряд новых методов регулирования и управления процессом обжига клинкера:

Выведены математические зависимости для расчета теплонапряжения сечения зоны спекания печи и ее тепловой мощности, получена зависимость производительности печи от ее диаметра. Внесены уточнения в формулу определения тепловой мощности и удельного теплового напряжения зоны спекания печи в свету.

Установлены и теоретически обоснованы количественные зависимости между затратами энергии различного температурного уровня и расходом тепла на синтез клинкера.

Экспериментально подтверждено исключительное значение, важной теплотехнической закономерности, как снижение затрат тепла в горячей части печи Δq и их влияние на общий расход тепла ΔQ , которое будет несколько раз больше, т.е. $\Delta Q = m \cdot \Delta q$, где теоретически $m = 6-12$, практически достигнуто $m = 3.5-7.5$

На основе исследований газодинамических процессов протекающих во вращающейся печи, проведенного с применением метода меченных радиоактивных изотопов (РАИ), впервые предложен метод расчета

температуры газовой фазы по изменению скорости газового потока по длине вращающейся печи при сжигании газообразного топлива.

Экспериментально подтверждено исключительное значение, важных теплотехнических величин, как эффективной степени черноты газового факела и обжигаемого материала, на тепловое излучение газового потока и структуру факела. На основе результатов исследований разработана эффективная конструкция газовой водоаэрозольной вихревой горелки с высоким пирометрическим коэффициентом, на которую получен патент РУ на изобретение полезной модели (FAP № 00184).

На основе разработки математической и физической модели процесса питания печи шламом выявлено эффективность объемного дозирования печи шламом. Разработаны ряд конструкций эффективных дозаторов шлама объемного дозирования в место щелевого дозирования, на которые получены 3 патента РУ на изобретение полезной модели (FAP №№ 00185, 00186 и 00187). Конструкция дозатора по патенту FAP № 00186 внедрена на печах ОАО "Бекабадцемент".

Уточнен механизм агрегирования материала при спекании, кольцеобразования и движения газового и материального потоков в печи, особенности совместного горения различных видов топлива.

На основе разработанных в диссертации общих принципов созданы новые методы решения классических и неклассических задач химической технологии производства цемента:

-на основе анализа состава отходящих газов разработан метод прогнозирования о состоянии материала в зоне декарбонизации и управления работой печи;

-на основе создания математической модели процесса обжига цементного клинкера, разработан способ комплексного автоматического регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера во вращающейся печи, на который получен патент IAP № 03520 РУ на изобретение по заявке на изобретение (IAP 2004 0065) от 26.02.2004 г.

Научная и практическая значимость результатов исследования. Полученные автором решения задач теории расчета и моделирования процесса обжига цементного клинкера позволяют существенно сократить объем экспериментальных исследований или полностью их исключить, что дает возможность значительно снизить затраты материальных ресурсов (компонентов сырьевой смеси и топлива), денежных средств и времени на обжиг цементного клинкера. Кроме этого, отдельные теоретические результаты исследований автора являются определенным вкладом в общую теорию развития таких наук, как технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов, а в частности химической технологии производства вяжущих материалов (цемента).

Разработанные в диссертационной работе уточненные формулы определения тепловой мощности вращающейся печи, удельного теплового

напряжения сечения в зоне спекания печи и производительности печи позволяют развить теорию проектирования, поиска новых конструктивных решений при проектировании новых и модернизации существующих цементных заводов, а также повысить эффективность проведения НИР и ОКР.

Разработанные и запатентованные конструкции дозаторов объемного дозирования шлама, газовой горелки и способа комплексной автоматического регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера позволяют поднять качественные показатели обжигаемого клинкера по активности и агрегированию, снизить удельный расход условного топлива, повысить тепловой КПД колосникового холодильника. Идеи оригинального устройства газовой горелки и способа комплексной автоматического регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера могут быть использованы при проектировании новых цементных заводов (не зависимо от способа производства).

Результаты экспериментальных исследований «Научные и теплотехнологические основы оптимизации обжига цементного клинкера во вращающейся печи» представляют практический интерес для разработки проекта модернизации существующих и строительства новых цементных заводов, позволяют уточнить представления о механизме синтеза процессов клинкерообразования.

Отдельные положения диссертационной работы могут быть использованы в учебном процессе при подготовке бакалавров магистров по специальности технология силикатных и тугоплавких не металлических материалов и специализациям технология вяжущих и композиционных материалов.

Реализация результатов. Результаты исследований и разработок по диссертационной работе внедрены на НПФ САМОЙИНУР Со Лтд, ОАО Бекабадцемент, ТОО Цементный завод СЕМЕЙ, ОАО Сас-Тобецемент, и других цементных заводах. При этом достигнуто снижение удельного расхода тепла на обжиг клинкера - 10-15%, повышение теплового КПД (η) колосникового холодильника выше 0.8, и активности клинкера на - 10 -15 %.

Экономический эффект от внедрения разработок подтвержденных актами внедрений только на ОАО Бекабадцемент составляет более 60 млн. сум./год, на ТОО Цементный завод Семей (Р. Казахстан) более 492 тысяча долларов США и более 200 млн сум в НПФ САМОЙИНУР Со Лтд.

Апробация работы. Основные результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на следующих научных форумах:

- международной конференции ” Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении ”, г. Белгород, 1989 г.
- международной научно-практической конференции ” передовые технологии в ПСМ ” (г. Белгород, 1989, 1998, 2000).
- III- IV международных научно-практических конференциях школа – семинарах молодых ученых, аспирантов и докторантов ” Современные проблемы строительного материаловедения ”, (г. Белгород, 2001, 2003 г).

- международном конгрессе ” Современные технологии в промышленности строительных материалов и стройиндустрии ”, посвященного 150 - летию акад. В.Г. Шухова, г. Белгород, 2003 г.

- секциях научно - технических совета НПФ ” САМОЙИНУР ”, г. Бекабад, 1996 – 2005 г.г.

- научно - технических совещаниях кафедр ” ХТК и О ”, ”ХТВ и КМ ” и ” ХТС ” ТашХТИ, г. Ташкент, 2003 – 2005 г.

- научно-технической конференции ТашХТИ ” Умидли кимёгарлар 2008”, г. Ташкент, 8 – 11 апреля 2008 года.

Опубликованность результатов. По результатам исследований по теме диссертации опубликовано всего 29 работ: в том числе, получено одно авторское свидетельство СССР на изобретение, 5 патентов Республики Узбекистан на изобретение полезной модели и способа регулирования и управления процессом обжига.

Объем и структура диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, выводов, списка использованной литературы и приложений. Работа изложена на 249 страницах компьютерной верстки шрифтом № 14 Times New Roman, содержит 44 рисунков, 25 таблиц, список использованной литературы содержит 257 источников и приложений, включающих 24 наименований расчетных материалов, таблиц, актов лабораторных и промышленных испытаний, справок и актов внедрений.

В заключении автор выражает слова искренней благодарности своему первому наставнику, академику РАЕН, заслуженному работнику высшей школы РФ, зав. кафедрой БГТУ им. В.Г.Шухова, д.т.н., профессору Классену В.К. – за оказанные научные консультации при выполнении настоящей диссертационной работы по вопросам планирования и проведения экспериментов в промышленных условиях, а также по вопросам протекания теплотехнических процессов и научному руководителю по кандидатской диссертации, д.х.н., профессору Исматову А.А., - за оказанные консультации при выполнении настоящей диссертационной работы по вопросам протекания химических процессов.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ.

Во введении обоснована актуальность диссертации, определён предмет и цели исследований, а также кратко описано содержание диссертации по главам.

В первой главе диссертации приведены сведения из обзора научно-технической и патентной литературы, систематизированы основные процессы, протекающие при обжиге цементного клинкера. Обзором выявлено, что комплекс процессов, происходящих в печах, весьма обширен и сложен. Условия их протекания существенно изменяются в пространстве и времени. Современное состояние теории не позволяет выразить закономерности этого комплекса строго аналитически. Те или иные зависимости приходится устанавливать опытным путем. Между тем экспериментальное исследование работы печей связано со значительными трудностями, и количество имеющихся опытных данных пока ограничено.

Изучение процессов обжига клинкера во вращающихся печах за 100-летний период их эксплуатации проведено многими исследователями. При этом работы в основном подразделяются на два относительно обособленных и самостоятельных направления: исследование физико-химических процессов клинкерообразования со значительным химическим уклоном и изучение теплотехнических закономерностей во вращающейся печи.

Независимо от способа производства, завершающая стадия процесса обжига клинкера осуществляется преимущественно во вращающихся печах. Попытки осуществления спекания клинкера в других агрегатах-реакторах пока не получили широкого промышленного внедрения. Особенностью работы вращающейся печи является то, что в одном агрегате одновременно протекают взаимообусловленные химические и физические превращения вещества, термохимические, тепло-массообменные, газодинамические процессы, осуществляется факельное сжигание топлива, происходит перенос возогнанных и конденсированных фаз из материального потока в газовый и обратно. Каждый из приведенных отдельных процессов сам по себе достаточно сложен. При управлении же всей системой в целом возникают дополнительные трудности, обусловленные взаимным влиянием указанных процессов, накладывающихся друг на друга.

Поэтому для совершенствования существующей, разработки новых положений и оптимизации теплотехнологических параметров обжига цементного клинкера в условиях цементной промышленности Узбекистана и всего постсоветского пространства, использующие сырьевые компоненты довольно пестрого состава и работающих на газообразном топливе, необходимо дальнейшее развитие работ по взаимному влиянию физико-химических и теплотехнологических процессов клинкерообразования.

Во второй главе диссертации приведены краткие сведения о методах проведения анализа и исследований, а также характеристики основных компонентов применяемых для приготовления сырьевых смесей.

В работе для анализа и исследования изучаемых образцов (проб) клинкера использовали комплекс современных методов физико-химического анализа, в т. ч. ядерной гамма-резонансной (ЯГР), электронно-парамагнитной (ЭПР) - и инфракрасной (ИК) -спектроскопии, электронной микроскопии, рентгенофазового анализа, дифференциально-термического анализа, вискозиметрический, спектрофото-метрический, петрографический и др.

В работе наряду со стандартными методами физико-химического анализа и проведения технологических испытаний в промышленных условиях, для изучения газодинамических и тепло-массообменных процессов, пропускной способности печей, для исследования процессов сжигания топлива, удельной тепловой мощности и удельного теплонпряжения поперечного сечения печи зоны горения в свету в лабораторных условиях применялись специально разработанные лабораторные установки. Для исследования процессов спекания протекающих при обжиге клинкера, была разработана и изготовлена специальная лабораторная вращающаяся печь, которая по линейным размерам являлся как бы моделью зоны горения вращающейся печи 4.5X170 м с коэффициентом моделирования около 10.6 и печи 3.6 X150 м с коэффициентом моделирования около 8.3. и стендовые установки.

Для определения скорости и структуры материального и газового потока, аэрогазодинамических процессов, протекающих во вращающейся печи № 4 размером 4.5X170м АО Ахангаранцемент, проводили специальные исследования при сжигании газообразного топлива, с применением метода меченных радиоактивных изотопов (РАИ) – трассеров.

Прочностные характеристики цементов, изучение физико-механических характеристик клинкеров проводили в соответствии с известными методиками и требованиями действующих ГОСТов (ЗИО.І-310.4 - 81 и ГОСТу 10178-85).

Сырьевые смеси для обжига клинкера и синтеза клинкерных минералов готовили как на основе химически чистых реактивов, так и на основе природных материалов: известняков Бекабадского, Карахтайского, Сас-Тюбинского, Джизакского месторождения, лессовых глин Бекабадского и Ахангаранского месторождения, Ангреной каолиновой глины, фторсодержащих вскрышных пород Красногорского ГОКа Алмалыкского ГМК (АГМК), шлаков АГМК и Узбекского меткомбината и шлаки (ЭТФП) Джамбульского фосфорного завода.

Разработана программа для расчета и подбора оптимального химического и вещественного состава цементной сырьевой смеси на ЭВМ. Рекомендованы оптимальные составы сырьевых смесей, которые обеспечивают необходимые технологические свойства обжигаемому материалу (клинкеру): высокую активность клинкера, при оптимальной производительности печи и

минимальным удельным расходом тепла, а также создавать на огнеупорной футеровке в зоне спекания, равномерный и прочный слой защитной обмазки.

Третья глава диссертации посвящена изучению теплотехнических зависимостей процесса обжига цементного клинкера во вращающихся печах.

В первом параграфе данной главы приведены результаты исследований зависимости тепловой мощности, удельного теплового напряжения сечения диаметра в свету зоны спекания, производительности цементных вращающихся печей и удельного расхода топлива. Многообразие конструкций вращающихся печей, способов обжига и влияющих факторов затрудняет разработку формул для расчета производительности. Для практических целей при выборе типоразмеров вращающихся печей используют статистические данные по производительности аналогичных установок. Формулы для расчета производительности печей имеют ограниченное применение, так как в них учитывается только часть факторов, влияющих на производительность, они базируются, прежде всего, на геометрических размерах печей.

Тепловая мощность печи – конструктивно важная характеристика, определяющая ее производительность.

На основе статистической обработки результатов исследований проведенных на лабораторных и стендовых установках, а также промышленных испытаний вращающихся печей различных типов и размеров, по известной величине скорости газа и газового потока в печи, температуры корпуса, с учетом коэффициента теплопроводности и толщины стального корпуса печи и огнеупорной футеровки рассчитывали температуру внутренней поверхности футеровки рассматриваемого сечения печи. По рассчитанной величине температуры внутренней поверхности футеровки и газовой фазы, а также диаметра корпуса печи в свету и производительности печи рассчитывали тепловую мощность печи и удельное тепловое напряжение поперечного сечения зоны спекания печи в свету. Выведены уточненные формулы для расчета удельного теплового напряжения поперечного сечения зоны спекания печи в свету, $q_F = 1.85 K_{ЛП} D_K^{0.6}$, Мвт и тепловой мощности печи $Q = 1.45 K_{ЛП} D_K^{2.75}$, Мвт., (где, $K_{ЛП}$ – коэффициент учитывающий длину печи и D_K – диаметр корпуса печи в свету), из которых, видно, что изменение тепловой мощности и удельного теплового напряжения зоны спекания меняется прямо пропорционально изменению диаметра печи в свету. Увеличение производительности печи, ведет к увеличению объема материала в печи. В свою очередь увеличение объема материала ведет к уменьшению диаметра печи в свету. Следовательно, снижается тепловая мощность и удельное тепловое напряжение зоны спекания. Снижение тепловой мощности и удельного теплового напряжения зоны спекания печи отражаются на удельные теплотраты и качественные показатели клинкера.

Установлено, что определенному диаметру печи и удельному тепловому напряжению, сечения зоны спекания печи в свету соответствует, определенная

расчетная оптимальная производительность печи, т. е. через определенный расчетный диаметр печи при допустимых значениях удельного теплового напряжения сечения зоны спекания в свету можно пропускать(обжигать) определенное количество обжигаемого материала.

Для оценки условий, при которых достигается оптимальная производительность этих печей, необходимо учитывать специфические особенности их работы. Проблема оптимизации работы вращающихся печей складывается в основном из двух задач: во-первых, изыскания наиболее рациональных приемов сжигания топлива и снижения удельного расхода тепла на обжиг клинкера; во - вторых, увеличение тепловой мощности печи.

На основе анализа патентной и научно-технической литературы, а также результатов наших исследований установлено, что при оптимизации обжига цементного клинкера во вращающейся печи за оптимальную производительность не зависимо от химического и вещественного состава с/смеси необходимо принимать расчетную производительность печи соответствующий геометрическим размерам печи и классическому соотношению, $G=13.75D_K^3 = Q / q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t / q$, при которой обжигаемый клинкер, приобретает наилучшие свойства (по активности клинкера), отвечающий требованиям нормативных документов. За основным критерием оптимизации необходимо принимать, q - удельный расход тепла на обжиг клинкера, кДж/кг, определяемый по формуле $q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t / G$ и зависящий, как от геометрических параметров печи, химического и вещественного состава сырьевых смесей, так и ряда физико-химических особенностей протекания процессов и теплотехнологических факторов.

Ответам на эти вопросы посвящены второй, третий и четвертый параграфы третьей главы диссертации. Главная задача данной главы состоит в создании единой методологии определения факторов влияющих на удельный расход тепла при обжиге цементного клинкера.

Отсутствие такой методологии является серьезным препятствием, затрудняющим процесс оптимизации обжига цементного клинкера и заставляющим многих исследователей заново разрабатывать подходы к решению каждой конкретной задачи. В качестве примеров на основе данной методологии разработан ряд новых положений:

Второй параграф третьей главы диссертации. Зависимость удельного расхода тепла при обжиге цементного клинкера от теплотехнологических параметров процесса обжига. Расход тепла на обжиг клинкера составляет значительную величину энергетических затрат при производстве цемента, поэтому нахождение эффективных путей снижения, расхода топлива является важной технико-экономической задачей.

Снижение удельного расхода тепла имеет большое значение ещё и поэтому, что при этом дополнительно улучшаются другие показатели работы печи: увеличиваются условная производительность печи и стойкость футеровки, уменьшаются пылеунос и степень загрязнения окружающей среды. Для

определения рациональных способов экономии топлива необходимо осуществить теплотехнические исследования агрегата с выявлением закономерностей взаимного влияния отдельных статей, теплового баланса и других факторов на удельный расход тепла.

Для решения практических задач по снижению расхода топлива и детального изучения влияния теплопотерь в горячей части печного агрегата на общий расход тепла, не ограничиваясь температурой материала в 550°C и не учитывая малые статьи расхода теплового баланса: теплопотери с пылеуносом, теплосодержание холодного воздуха и топлива рассматривая вращающуюся печь как единую тепловую систему произведен анализ теплотехнологических параметров работы печи на основе теории Эйгена–Классена. При этом экспериментально подтверждено исключительное значение этой теплотехнической закономерности. Согласно которой при снижении затрат тепла в горячей части печи на величину Δq общий расход тепла уменьшается на величину ΔQ_T , в m раз. Коэффициент m в уравнении $X_T = Q + m q$, зависит от вида топлива, избытка воздуха, т.е. $V_{шт}/Q_H^P$, и значительно увеличивается с повышением t_T . Значение величины m согласно теории Эйгена–Классена изменяется от $m=1$ в холодной части печи, до $m = 6-12$ раз в горячей части печи. Для детального изучения указанных зависимостей нами на вращающейся печи № 4 ОАО ” Ахангаранцемент ” проведены специальные исследования с использованием метода меченных радиоактивных изотопов оксида La_2O_3 , для изучения скорости материального потока и газовой фазы, при сжигании газообразного топлива. Суть экспериментов сводилась к следующему. Порошок с радиоактивным веществом La_2O_3 (изотоп оксида La) вводился в бумажном пакете специальным устройством в газовую горелку для измерения скорости газовой фазы и через шламовый питатель для измерения скорости материального потока. Данный метод позволял измерить скорость газа и газового потока в печи, рассчитать дисперсию, а, следовательно, и турбулентность газового потока. Зная при этом сечение печи и расход газа и воздуха в нормальных кубометрах, можно оценить температуру газовой фазы рассматриваемого сечения. Расчетом температуры газового потока по длине печи произведенного нами измерений скорости газовых потоков методом меченых радиоактивных изотопов (РАИ) во вращающейся печи № 4 ОАО ” Ахангаранцемент ” получены значение $m = 3.5 - 7.5$ раз. Ранее проф. Классным В.К. получены значение коэффициента $m = 2 - 5.4$.

Температуру корпуса печи, измеряли с помощью радиационных датчиков термоизлучения. По известной величине температуры корпуса с учетом коэффициента теплопроводности и толщины стального корпуса печи и огнеупорной футеровки рассчитывали температуру внутренней поверхности футеровки рассматриваемого сечения печи.

Таким образом, подводя итог по теплотехнической оценке печных установок как тепловой системы, следует подчеркнуть, что для эффективного

снижения расхода тепла особое, первостепенное внимание необходимо уделять экономии тепла в высокотемпературной части системы. Наряду с необходимостью поддержания при этом высокого теплового КПД холодильника, хорошей теплоизоляции корпуса, малых значений коэффициента избытка воздуха, подсосов и байпасных потоков материала, нужно обеспечить рациональное сжигание топлива, при котором до минимума снизится унос высокоценного тепла в холодную часть печи. Это требует интенсификации теплообмена в высокотемпературных зонах вращающейся печи, для чего необходимо проведение комплекс исследований по изучению структуры материального и газового потоков.

Третий параграф, третий главы диссертации посвящен изучению зависимости скорости движения и структуры материального потока во вращающихся печах от изменения параметров процесса обжига. Эффективность работы вращающихся печей в значительной степени определяется интенсивностью теплообмена а, следовательно, зависит от характера движения материала в них. Поэтому изучение закономерностей движения материала во вращающейся печи и влияния различных управляющих факторов на структуру потока имеет важное теоретическое и практическое значение. Непосредственные измерения скорости материального потока с помощью метода меченных радиоактивных изотопов (РАИ) позволили установить значительную неравномерность движения материала, как по длине печи, так и различных фракций в одном сечении. Эксперименты проводились на четырех печах размером 4.5 × 170 м А/О "Ахангаранцемент" при использовании газообразного топлива. Проведенными исследованиями в зависимости от режима работы печей установлено, время пребывания материала в зоне подготовки изменялось от 21 до 54 мин, а в зоне обжига от 49 до 102 мин. Для оценки влияния отдельных факторов на характер движения материала был проведен качественный регрессионный анализ. В результате были получены уравнения регрессии: время движения материала по длине печи, скорости движения материала по длине зоны цепей, декарбонизации, спекания, удельного расхода топлива и активности клинкера.

Полиномные уравнения дают возможность оценить влияние нескольких факторов на параметры скорости движения материала, времени пребывания материала в печи, удельного расхода топлива, а также активности клинкера. В полученные модели движения потока материала вошли основные технологические параметры, которые характеризуют тепловой и аэродинамические режимы печи, физико-химические параметры сырьевой смеси, а также физические параметры печи и геометрические показатели цепной завесы и печи в целом. Все факторы значимы, т.е. все перечисленные условия существенно влияют на скорость движения материала.

Наибольшее влияние на скорость движения материала в печи оказывают такие факторы как частота вращения печи, поверхность цепей, температура отходящих газов и температура материала зоны кальцинирования. Полученные

качественные зависимости по своей сути подтверждают данные предыдущих исследований (1976 – 1978 г.г.), проведенных нами под руководством проф. Классена В.К., а в некоторых вопросах дополняет их.

Проведенные исследования по структуре материального потока и пылеобразованию в печах свидетельствуют об их тесной связи с состоянием газовой фазы.

Четвертый параграф третьей главы диссертации посвящен изучению практических основ горения газообразного топлива и регулирования длины факела с целью разработки оптимальных конструкций регулируемых горелок. Характер движения газового потока имеет большое значение при обжиге материала во вращающейся печи. Являясь основным теплоносителем, газовая фаза определяет теплообмен, циркуляцию пылевых потоков, пылеунос, предельную тепловую мощность, качество продукции и в целом эффективность работы теплового агрегата. В практической работе следует стремиться к интенсификации теплообмена в печи не путем увеличения температуры факела, а с повышением степени его черноты, что можно регулировать рациональным сжиганием топлива.

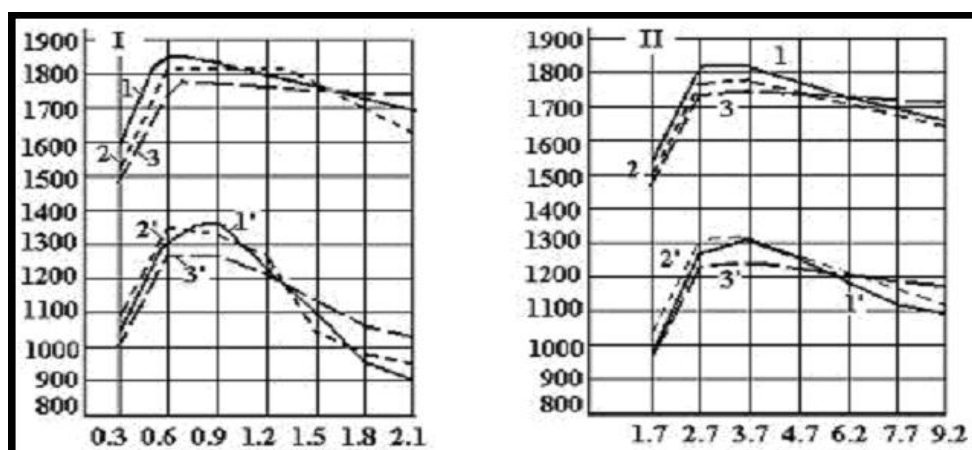
Для изучения сложных взаимообусловленных физико-химических, газо- и аэродинамических процессов, режима горения топлива, исследования диффузионного факела и теплоизлучения внутренних стенок корпуса печи в лабораторных условиях, нами изготовлены специальные установки и разработаны методики проведения экспериментов, которые изложены в подглаве методика проведения исследований диссертации. Для удобства сравнения результатов при различных режимах сжигания топлива, обработка результатов опытов производилась в безразмерных координатах. За безразмерную координату температуры принимали отношение средней температуры пламени в любом сечении печи, к максимальной средней температуре пламени в печи, замеренной в опыте при данном положении дросселя и завихрителя.

Исследования, проведенные, на горячем стендах показали, что при уменьшении сечения сопла горелки (в том случае, когда расход природного газа постоянный) и соответственном увеличении скорости его истечения значительно интенсифицируется смешение газа с воздухом за счет возрастания турбулентной диффузии, ускоряется горение топлива и уменьшается длина факела.

Иными словами, при увеличении скорости истечения газа, приращение скорости движения газового потока по оси печи, в интервале исследованных на огневом стендах скоростей истечения газа от 60 до 360 $\text{м}^3 / \text{м}^2 \cdot \text{сек}$ и при коэффициенте избытка воздуха более 1.05 достигается полное сгорание природного газа, но химический недожог в продуктах его горения исчезает тем дальше от обреза горелки, чем меньше скорость истечения газа.

Интересные результаты получены измерением температуры газового потока, внутренней поверхности футеровки и внутренней стенки стенда.

Они графически изображены на рис. 1.



I – огневой стенд: 1 – $240 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$; 2 – $125 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$ и 3 – $50 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$, и
 II - огневой стенд: 1 – $300 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$; 2 – $200 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$ и 3 – $120 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$.

Рис. 1. Температура газового потока (цифры без штриха) и температура внутренней поверхности футеровки (цифры со штрихом) при различном расходе газа

С увеличением скорости истечения природного газа и при постоянном его расходе, температура газового потока, футеровки и корпуса в хвостовой части стенда значительно снижались, а в средней части факела, наоборот, повышалась. Иными словами, кривые подъема и падения температуры по длине факела становятся более короткими, сосредоточенными, тогда как при малых скоростях истечения, характер температурных кривых более мягкий и факел получается размытым. Температура отходящих газов в этом случае повышается, несмотря на увеличение светимости, и теплоотдачи факела.

При сжигании природного газа в однопроводных горелках, скорость процесса в целом, а значит, и длина факела зависят от условий смешения природного газа с воздухом. Следовательно, изменяя эти условия, можно регулировать длину диффузионного турбулентного факела. Природный газ смешивается с воздухом за счет кинетической энергии струи газа, вытекающей из сопла горелки.

При сравнительно больших скоростях истечения газа (по заводским данным, выше $200 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{сек}$) достичь высокую степень естественной турбулизации его струи (без применения завихрителей и низкой температуры вторичного воздуха, поступающего в печь из клинкерного холодильника) является трудной задачей. Кинетической энергии струи газа достаточно для смешения его с воздухом и полного сгорания без химического недожога при малых значениях коэффициента избытка воздуха и высоком давлении газа перед горелкой.

Геометрические параметры (раскрытия струи) зависят от коэффициента турбулентной диффузии, который является функцией скорости истечения газа. Последняя также несколько влияет на светимость факела, так как от скорости смешения газа с воздухом отчасти зависит интенсивность протекания реакций, пирогенетического разложения метана и других углеводородов, сопровождающихся выделением сажистого углерода; при интенсивном и быстром смешении светимость будет понижаться. Светимость регулируется, как было отмечено выше изменением эффективной степени черноты газового потока. Нами предложен способ регулирования путем подачи некоторого расчетного количества воды, в поток топлива подаваемого через горелку. Для этого нами разработана специальная конструкция вихревой реверсивной водо-аэрозольной газовой горелки, позволяющий регулировать длину и теплоотдачу факела в широких пределах, на которую получен патент РУ за № FAP 00184 (рис. 2.).

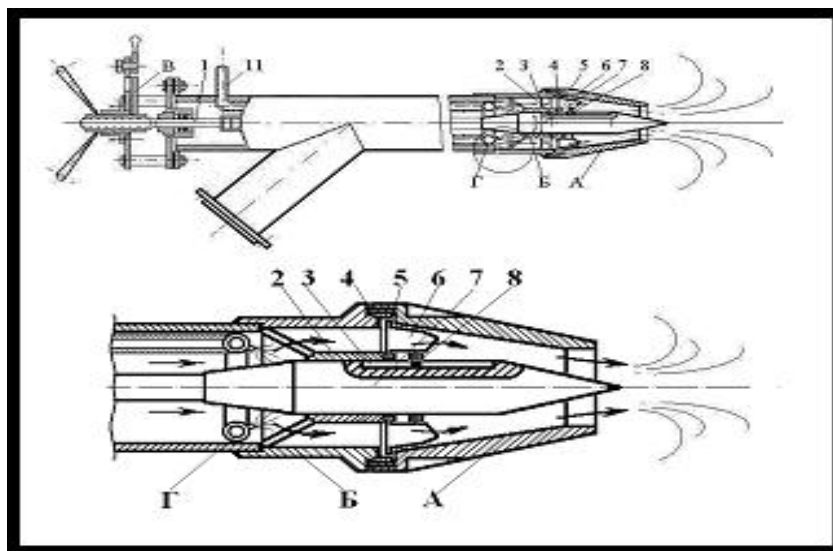


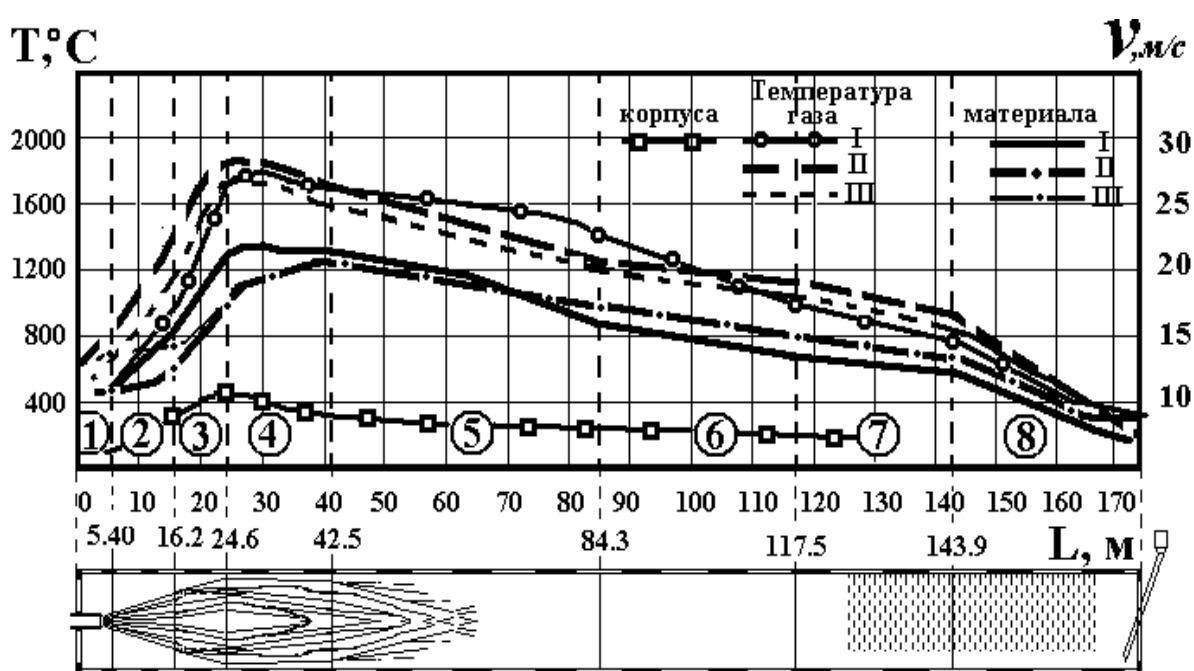
Рис. 2. Вихревая реверсивная газовая водоаэрозольная горелка

Для изучения сложных взаимообусловленных, физико-химических, газо- и аэродинамических и тепломассообменных процессов протекающих в зонах декарбонизации и спекания, пропускной способности печей, удельной тепловой мощности и удельного теплонапряжения поперечного сечения печи зоны горения в свету, исследования диффузионного факела, влияние режима горения топлива на состояние обмазки и теплоизлучение корпуса печи в производственных условиях, на печах 4.5×170 м. Ахангаранского завода при сжигании газообразного топлива, нами проведены специальные исследования с помощью метода меченных радиоактивных изотопов (РАИ).

Суть и методика проведения экспериментов подробно изложены в соответствующих главах диссертации и в опубликованных работах.

Результаты проведенных экспериментов в графическом виде отображены на рис. 3.

Полученные данные показывают, что общее время пребывания газовой фазы в печи составляет 14 - 16 с. Зону обжига длиной 30 м, в которой выгорает основная часть топлива, газ проходит всего за 1.1–1.4 с, т.е. значительно быстрее, чем это предполагалось ранее. Средние скорости в пламенном пространстве были в пределах 21-27 м/с. По кривым скорости газа (рис. 3.) можно оценить, в каких случаях была выше температура горения. Более высокой скорости соответствует более высокая температура факела и интенсивность горения. В то же время повышение α от 1.03 до 1.25 приводит к концентрации температуры на 20 – 30 м от головки печи и быстрому прожогу футеровки на этом участке. Рациональный факел получается при снижении α до 1.08 – 1.03.



I – оптимальном, II – перегретом и III – ослабленном режимах обжига

Рис. 3. Изменение температуры газового потока, температуры материала и корпуса печи по длине печи

При этом топливо воспламеняется ближе к форсунке, несколько снижается скорость горения, увеличиваются степень черноты и средняя температура факела, что обеспечивает интенсивный теплообмен и высокую стойкость футеровки. Значительную экономию топлива можно получить, повышая эффективность работы холодильника, когда существенная часть тепла клинкера передается вторичному воздуху и возвращается в печь. При этом, важное значение для процесса горения топлива и стойкости футеровки имеет температура вторичного воздуха - $t_{\text{вв}}$.

Четвертая глава диссертации посвящена изучению теплотехнологических основ оптимизации процесса клинкерообразования во вращающихся печах.

Первый параграф, этой главы посвящена изучению вопроса оптимизации питания печи шламом (сырьевой мукой, смесью) и обеспечение равномерной толщины слоя материала по длине печи. Оптимальные условия эксплуатации, производительность, стабильность работы вращающихся печей и качество портландцементного клинкера во многом зависит от нормального и равномерного питания печи шламом, сырьевой мукой или гранулами в строго определенном количестве, которое обуславливается в основном мощностью печи, состоянием теплообменных устройств и спекаемостью сырьевой смеси. При этом важное, значение для ведения процесса обжига имеет автоматический контроль и регулирование расхода шлама, поступающего во вращающуюся печь. Расход шлама или его составляющих (твердая фаза и вода), поступающих в печь, можно контролировать и регулировать по весовым и объемным параметрам, а схему регулирования расхода нужно выбрать с учетом технологических и аппаратурных требований и критериев.

На основании проведенных исследований, промышленных испытаний и математического моделирования разработаны ряд конструкций дозаторов объемного дозирования обеспечивающие стабильность питания печи, при производительности от 15 т/ч и более, на которые получены патенты РУ за № FAP 00185, FAP 00186 и FAP 00187. Шлампитатель (патент № FAP 00186) внедрен на печах ОАО Бекабадцемент. Экономический эффект от использования которой, только на одной печи составляет более 15 млн. сумов.

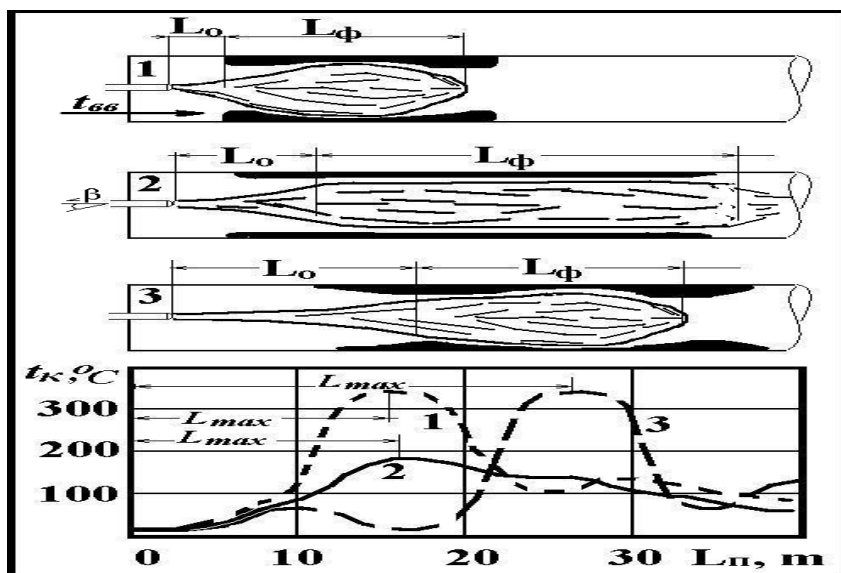
Второй параграф, четвертой главы диссертации посвящен изучению вопроса оптимизации - интенсификации процессов клинкерообразования во вращающихся печах при рациональной производительности печи, которые сводятся к решению следующих основных задач:

- снижение удельного расхода топлива;
- улучшение качества клинкера;
- повышение стойкости футеровки;
- уменьшение пылевыноса из печи.

С этой целью необходимо проводить систематические исследования по сжиганию топлива и регулирования протекания процессов клинкерообразования. Испытание печей проводились на трех режимах: 1 – на близкой зоне, при включении завихрителя на 100%; 2 – на средней зоне, при введенном завихрителе на 50 %; 3 - на дальней зоне, при отключенном завихрителе горелки (рис. 4.).

В результате проведенных исследований выявлено, что достаточно интенсивный теплообмен без перегрева отдельных участков зоны спекания обеспечивается путем увеличения степени черноты факела с некоторым уменьшением его максимальной температуры, когда тепло передается, более

равномерно по длине факела они концентрируются на коротком участке (4 параграф 3 главы диссертации). Основным параметром, определяющим рациональность сжигания топлива, является расстояние от точки воспламенения топлива до устья форсунки - L_0 или расстояние L_{max} от входа печи до точки с максимальным значением температуры корпуса.



1,3 - при нерациональном и, 2 - рациональном сжигание топлива.
 L_{ϕ} – длина факела, м; L_0 – расстояние от устья горелки до точки воспламенения топлива, м; L_{max} - расстояние от входа печи до точки с максимальным значением температуры корпуса печи, в м.

Рис. 4. Влияние фронта воспламенения топлива на форму факела, обмазку и температуру корпуса печи:

При сжигании газообразного топлива следует добиваться факела с высокой степенью черноты, когда сырой материал просматривается под факелом, а не через факел. Наиболее широкие пределы регулирования имеет горелка ВРГва (Рис. 2). Преимущество ее заключается в том, что она позволяет обеспечить близкое воспламенение топлива и полное его сжигание при скоростях вылета газа 180 – 260 м/с.

Третий параграф, данной главы диссертации посвящен изучению процесса оптимизации агрегируемости клинкера с изучением механизма клинкерного пыления и способов его устранения. В результате проведенных исследований выявлены, более 5 основных причин образования явления клинкерного пыления и механизм их образования, которые хорошо согласуются как с результатами наших исследований более раннего периода, так и других исследователей. Основные причины клинкерного пыления - это нарушение теплотехнологического режима обжига, связанного с составом сырьевой смеси, конструкции цепных завес, режимов сжигания топлива и др.

Разработан способ ликвидации клинкерного пыления, заключающегося в оптимизации теплотехнологического режима обжига цементного клинкера.

Пятая глава диссертации посвящена вопросам изучения технологических основ оптимизации процесса клинкерообразования во вращающихся печах.

Эффективность обжига цементного клинкера во многом определяются свойствами и составом перерабатываемого сырья. Как показывает опыт передовых заводов, путём выбора оптимального сочетания сырьевых компонентов и свойств сырьевой смеси и клинкера, с заранее определенными рядом характеристиками, возможно, уменьшить расход топлива на обжиг клинкера, целенаправленно управлять качеством получаемого клинкера.

Из большого числа свойств сырьевой смеси рационального (оптимального) энергоёмкого состава, оказывающие решающее влияние, на процессы клинкерообразования должны обладать следующими свойствами:

- способность обжигаемого материала создавать на огнеупорной футеровке в зоне спекания равномерный и прочный слой защитной обмазки;
- хорошая спекаемость, обеспечивающая работу печи с возможно меньшим удельным расходом тепла на обжиг при высокой производительности;
- способность обжигаемого материала образовывать в зоне спекания хорошую гранулируемость зерен клинкера нужных размеров.

Под термином энергоёмкость сырьевых смесей понимаются затраты тепла на получение цементного клинкера, обусловливаемые составом сырьевых смесей, влияющим на следующие статьи теплового баланса:

- тепловой эффект клинкерообразования (ТЭК), на который расходуется 25 – 40 % топлива в зависимости от способа производства;
- потери тепла с технологическими газами (1... 2 % расхода топлива),
- расход тепла на испарение физической влаги (до 50 % от расхода топлива), содержание которого зависит от соотношения расходов сырьевой смеси и клинкера;
- удельные теплотери через корпус печи (10... 30 % от расхода топлива), которые изменяются пропорционально производительности печи.

Одним из прогрессивных способов подготовки рационального (оптимального) состава энергоёмких сырьевых смесей является использование вторичных отходов металлургической, химической и другой промышленности.

Первый параграф, пятой главы диссертации посвящен изучению зависимости оптимальной производительности вращающейся печи и спекаемости клинкера от вещественного состава сырьевой смеси. Для изучения взаимозависимости оптимальной производительности печи от её геометрических размеров, от вещественного состава и спекаемости сырьевых смесей проведены специальные исследования. Исследования проводились использованием кристаллических шлаков Джамбульского фосфорного завода,

так как использование отходов металлургической, химической и другой промышленности (шлаки электротермического производства фосфора, металлургические шлаки, фосфогипс и др.) в качестве компонента сырьевой смеси, при производстве цемента является весьма актуальным. По утверждениям авторов научной литературы до перестроечного периода, что замена части сырьевого компонента до 30 % шлаками металлургических, химических и других производств, способствует снижению удельного расхода топлива и сырья, а также повышает производительность печи по клинкеру и активность клинкера. Результаты лабораторных исследований и элементарные технологические расчеты, проведенные нами по применению попутных отходов металлургической, химической и другой промышленности в качестве заменителя части цементного сырьевого компонента согласуются с мнениями авторов известных работ и многих других исследователей. Однако эти доводы не находят практического подтверждения, при использовании (или применении) шлаков и других видов отходов в производственных условиях. При этом наблюдается значительное снижение удельного расхода топлива и сырья, наблюдается некоторое увеличение активности клинкера, при сохранении расчетной (оптимальной) производительности печи. Повышение производительности печи, выше оптимальной сопровождается снижением активности и других показателей.

Второй параграф данной главы диссертации посвящен изучению **зависимости активности клинкера от теплотехнологических параметров процесса обжига клинкера**. Основным фактором, определяющим прочностные показатели, т.е. марку цемента, является активность клинкера. Установлено, что при определенном, оптимальном химическом и вещественном составе сырьевой смеси, оптимальной расчетной производительности печей и существующей технологической схеме производства цемента, активность клинкера определяется теплотехнологическим режимом работы вращающейся печи. Теплотехнологический режим работы вращающейся печи определяется способом управления и регулирования процессом обжига цементного клинкера

Третий параграф данной главы диссертации посвящен **разработке усовершенствованных способов управления и автоматического регулирования процесса обжига цементного клинкера во вращающейся печи**. Проблема выбора оптимального режима обжига цементного клинкера во вращающейся печи является одной из самых важных задач при производстве клинкера, так как неоптимальный режим приводит к перерасходу топлива, нерациональной производительности печи и т. д.

Комплексный анализ теоретических исследований проведенных на модельных и лабораторных установках, проведение многочисленных экспериментов и теплотехнологических испытаний в условиях промышленного производства позволили получить ответ на целый ряд вопросов: снижение

удельного расхода условного топлива на обжиг клинкера при оптимальной производительности печи; повышение активности клинкера при условиях рационального сжигания топлива; обеспечения минимального пылевывброса из печи; использования промышленных отходов и некондиционного сырья различных видов в качестве компонентов сырьевой смеси, что позволило разработать научные и теплотехнологические основы оптимизации обжига портландцементного клинкера во вращающейся печи.

На основе анализа результатов многочисленных научных исследований и промышленных испытаний проведенных в процессе обжига цементного клинкера и изучению взаимозависимости одновременно протекающих и друг на друга накладывающихся химических, физических и термохимических процессов при сжигании топлива и термической обработке сырьевых материалов создана не существовавшая ранее единая целостная система физико-химического (теоретические основы) синтеза портландцементного клинкера с теплотехническими и технологическими параметрами такого синтеза, заключающиеся в снижении материальных и энергетических затрат, а также повышение активности клинкера и КПД колосникового холодильника.

Поставленная задача решена построением математической модели всего процесса по разнородным данным, включающим как уравнения, так и экспериментальные наблюдения. При этом уравнения могут быть как обыкновенными дифференциальными, так и в частных производных, интегральными, интегро-дифференциальными и т.д. Построение модели сведено к решению краевой задачи, которые состоять в подборе уравнения и решения по экспериментальным данным. К исследованию упомянутых выше задач найдены различные аналитические и численные подходы (метод сеток, конечных элементов, граничные интегральные уравнения и др.). Однако это не мешает рассматривать использование этих моделей в качестве новой и более перспективной (в силу своей универсальности) методологии решения как старых, так и новых задач такого типа. Работоспособность предлагаемых подходов проверено в процессе решения разнообразных практических задач.

Переходные режимы процесса обжига цементного клинкера описаны дифференциальными уравнениями, на основе решения которых разработана математическая модель печи и всего процесса в совокупности. Достаточно полное математическое описание включает в себя уравнения: расхода шлама, который является функциями нескольких независимых переменных и зависит от величин относительных отклонений разных расходов при определенных относительных возмущениях влажности шлама (δV) и плотности твердой фазы шлама ($\delta \rho_T$), при этом относительные отклонения можно определить как сумму частных отклонений; теплопередачи (между газом, материалом и футеровкой); движения и сплошности (по потокам газа и материала); горение топлив; теплообмена при охлаждении клинкера в холодильнике и уравнения теплопередачи между слоем футеровки (корпусом печи) и атмосферой.

С помощью математических моделей процесса обжига клинкера составлены алгоритмы управления. На основе алгоритма управления разработана комплексная система регулирования, управления и прогнозирования процесса обжига клинкера. ” Способ комплексного автоматического регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера во вращающейся печи ” защищён патентом РУз на изобретение за IAP № 03520 по заявке IAP № 20040065 от 26.02.2004 г.

Автоматическое регулирование и управление процессом обжига клинкера во вращающейся печи осуществляется с помощью десяти контуров регулирования и блоков измерения. Система обеспечивает непрерывное измерение, регистрацию и обработку 18 - текущих значений параметров процесса обжига.

Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации технологических параметров процесса обжига цементного клинкера внедрены на цементных заводах Узбекистана и Республики Казахстана (ТОО Цементный завод Семей). Экономический эффект от внедрения результатов разработок и исследований подтвержденных актами испытаний и справками о внедрении результатов исследований на печах ОАО Бекабадцемент составляет более 60 млн. сум в год и на печах ТОО Цементный завод Семей составляет более 85 млн. каз. тенге (эквивалентной к 692 тысячам долларам США).

Общий экономический эффект от использования разработок по настоящей диссертационной работе в проектно-конструкторской и научно-исследовательской деятельности научно-производственной фирмы (НПФ) САМОЙИНУР Со Ltd подтверждённые актами и справками о результатах внедрения разработок составляет более 200 млн. сумов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. В работе на основе обширного анализа отечественной и зарубежной научно-технической и патентной литературы, изучены особенности процесса клинкерообразования во вращающейся цементной печи. На основе анализа результатов многочисленных научных исследований и промышленных испытаний проведенных в процессе обжига цементного клинкера и изучению взаимозависимости одновременно протекающих и друг на друга накладывающихся химических, физических и термохимических процессов при сжигании топлива и термической обработке сырьевых материалов создана ранее не существовавшая единая целостная система физико-химического (теоретические основы) синтеза портландцементного клинкера с теплотехническими и технологическими параметрами такого синтеза, заключающиеся в снижение материальных и энергетических затрат, а также повышение активности клинкера и КПД колосникового холодильника.

2. Разработана программа для расчета и оптимизации состава сырьевых смесей. Программа является мощным инструментом исследования, позволяет производить выбор оптимальных энергосберегающих составов цементных сырьевых смесей.

3. На основе проведения известных теоретических и практических расчетов, а также проведения теоретических и лабораторных исследований на модельных установках, промышленных технологических и теплотехнических испытаний вращающихся печей различных заводов, проведения исследования структуры и скорости движения материального и газовых потоков во вращающейся печи, проведенных теплотехнических, аэродинамических и технологических расчетов установлено следующее:

- зависимость тепловой мощности печей от диаметра корпуса печи в свету, с применением коэффициента, учитывающего длину печи;

- зависимость удельного теплового напряжения зоны горения от диаметра печи в свету с применением, коэффициента, учитывающего длину печи;

- выведены уточненные формулы: для расчета тепловой мощности печи $Q = 1.45 \cdot K_{ЛП} \cdot D_K^{2.75}$, МВт и удельного теплового напряжения сечения в зоне спекания печи $q_F = 1.85 \cdot K_{ЛП} \cdot D_K^{0.6}$, МВт

4. Выявлено, что определенному диаметру печи и удельному тепловому напряжению сечения, зоны спекания печи в свету соответствует, определенная расчетная оптимальная производительность печи, т. е. через определенный расчетный диаметр печи, при допустимых значениях удельного теплового напряжения сечения, зоны спекания в свету можно пропускать (или обжигать) определенное количество обжигаемого материала.

5. В качестве основного критерия оптимизации принять, q - удельный расход тепла на обжиг клинкера, кДж/кг, зависящий, как от химического и вещественного состава сырьевых смесей, так и ряда физико-химических особенностей протекания процессов и тепло-технологических факторов, определяемый по формуле $q = F \cdot \alpha \cdot \Delta t / 13.75 D_K^3$.

6. На основе проведения системного анализа теплового баланса вращающейся печи работающей на газообразном топливе с колосниковым холодильником, как единой тепловой системы, согласно теории Эйгена-Классена, выявлено, что для эффективного снижения удельного расхода тепла на обжиг клинкера, необходимо уделять особое, первостепенное внимание на вопросы экономии тепла в высокотемпературной части системы. Подтверждена исключительная значимость использования высокотемпературной энергии в горячей части печи со снижением теплотерь в этой части печи

7. На основе результатов исследований структуры и скорости материальных потоков проведен качественный регрессионный анализ для установления функциональной связи между параметрами процесса обжига и характером движения материала в печи. На основе которых, получены поли-

номиальные уравнения процесса. Полиномиальные уравнения дают возможность оценить влияние нескольких факторов на параметры скорости движения материала. В модели движения потока материала вошли основные технологические параметры, которые характеризуют тепловой и аэродинамический режимы, а также физические параметры печи и геометрические показатели цепной завесы. Все факторы значимы, т.е. все перечисленные условия существенно влияют на скорость движения материала.

8. На основе проведения известных теоретических, аэродинамических, технологических и практических расчетов, а также проведенных нами теоретических и лабораторных исследований на модельных и лабораторных установках, многочисленных экспериментов и теплотехнологических испытаний в условиях промышленного производства позволили найти решение целого ряда задач:

- установлены зависимости сложных взаимообусловленных физико-химических, газо- и аэродинамических, и тепломассообменных процессов протекающих в зонах декарбонизации и спекания;

- выявлены особенности формирования диффузионного факела;

- установлены параметры влияния теплотехнологических факторов на режим горения топлива, на состояние обмазки и теплоизлучение корпуса печи в производственных условиях;

- геометрические параметры факела (положение по отношению к устью сопла, длина его и угол раскрытия струи) зависят от коэффициента турбулентной диффузии, который является функцией скорости истечения газа. Последняя также несколько влияет на светимость факела, так как от скорости смешения газа с воздухом отчасти зависит интенсивность протекания реакций пирогенетического разложения метана и других углеводородов, сопровождающихся выделением сажистого углерода; при интенсивном и быстром смешении светимость будет понижаться. Светимость регулируется, изменением эффективной степен черноты газового потока;

- общее время пребывания газовой фазы в печи составляет 14 - 16 с. Зону обжига длиной 30 м, в которой выгорает основная часть топлива, газ проходит всего за 1,1 - 1,4 с, т.е. значительно быстрее, чем это предполагалось ранее. Средние скорости в пламенном пространстве были в пределах 21 - 27 м/с, при рабочих режимах 18 - 24 м/с. По кривым скорости газа можно оценить, в каких случаях была выше температура горения. Более высокой скорости соответствует более высокая температура факела и интенсивность горения. Расчитанная максимальная температура факела по скорости движения газа составляет 1860 °С при перегретом режиме и 1834 °С при оптимальном режиме.

- достаточно интенсивный теплообмен без перегрева отдельных участков зоны спекания обеспечивается путем увеличения степени черноты факела с некоторым уменьшением его максимальной температуры, когда тепло передается, более равномерно по длине факела и концентрируются на

коротком участке.

- выявлено исключительное важное значение, влияния эффективной степени черноты газового потока на формирование факела рациональной структуры и снижению удельного расхода тепла;

- разработана конструкция водоаэрозольной, вихревой газовой горелки (ВРГва) с высоким пирометрическим коэффициентом, на который получен патент Республики Узбекистан FAP № 00184);

9. Обширными исследованиями, проведенными по изучению взаимной зависимости процессов клинкерообразования во вращающихся печах от тепло-технологических факторов, выявлено и установлено:

- эффективность объемного дозирования, что позволяет оптимизировать процесс питания печи шламом. Разработан ряд конструкций дозаторов объемного дозирования обеспечивающие стабильность питания печи от 8 т/ч и более, на которые получены патенты Республики Узбекистан за № FAP 00185, FAP 00186 и FAP 00187.

- снижение удельного расхода тепла на обжиг клинкера при оптимальной производительности, главным образом, за счет организации рационального сжигания топлива;

- увеличение энтальпии (температуры) вторичного воздуха повышением коэффициента полезного действия (кпд) колосникового холодильника. Повышение кпд холодильника достигается реконструкцией и модернизацией колосникового холодильника, шахты и горячего конца печи, установкой дополнительных межкамерных перегородок, изменением системы газоходов, разделением потоков холодного аспирационного и горячего технологического воздуха, изменением направления воздуха острого дутья под неподвижные наклонные колосники, в центральный часть направляющего рукава;

- что условием повышения эффективности работы вращающихся печей мокрого способа является, совершенствование конструкций теплообменных устройств. Исследованиями процессов тепло- и массообменных процессов в холодных и горячих моделях и в промышленных печах, а также проведенных теоретических расчетов максимума функции регенеративного теплообмена по выражению $d\alpha_p / d\tau = (3\tau^2 + 2\tau - 1) / (3\tau + 1)^2 = 0$ где: (τ - относительное время пребывания элементов теплообменных устройств в слое материала) позволили сделать заключение, что в области текучего и вязкопластического состояния материала необходимо навешивать цепную завесу с высокой транспортирующей способностью, а на участках регенеративного теплообмена, напротив, следует замедлить движение материала;

- с целью получения объективной информации о процессах протекающих в высокотемпературных зонах и повышения эффективности управления работой печи предлагается оценивать состояние материала по теплотехнологическому параметру CO_2^P , который характеризует соотношение между углекислотой топлива и сырья, и рассчитывается по содержанию CO_2 и

O_2 в отходящих газах и температуре анализа (t). Чем выше значение CO_2^P , тем ниже удельный расход тепла. Сравнивая эту величину при одинаковом составе сырья и топлива, можно достаточно быстро установить, на которой из печей больше или меньше удельный расход топлива. По величине CO_2^P можно оценить степень подготовки материала в наиболее теплоемкой зоне декарбонизации.

- одним из важных параметров оказывающих влияние на снижение удельных теплотрат является характер распределения температуры корпуса в зоне спекания.

10. Ввод в сырьевую смесь в качестве заменителя части известнякового или глинистого компонента, отходов химической и металлургической промышленности, а именно шлаков электротермического производства фосфора, позволяет интенсифицировать процесс обжига клинкера, при оптимальной расчетной производительности печи и сохранением заданных качественных показателей клинкера. При этом наблюдается значительное снижение удельного расхода тепла.

11. Установлено зависимость активности клинкера от теплотехнологических параметров обжига. При этом изменение активности клинкера происходит прямопропорционально изменению длины факела, а, следовательно, и изменению длины зоны спекания. Введение в качестве контролируемого параметры процесса обжига петрографического анализа клинкера, обеспечивает управление процессом обжига в оптимальном режиме, и получать при этом высокую активность клинкера и минимальные теплотраты.

12. На основе физического моделирования процессов и описания переходных режимов процесса обжига цементного клинкера дифференциальными уравнениями, разработана математическая модель печи и всего процесса в целом, на основе которых составлены алгоритмы управления. На основе алгоритма управления разработана комплексная система автоматического регулирования управления процессом обжига клинкера во вращающейся печи, осуществляемая с помощью десяти контуров регулирования и блоков измерения. Получен патент IAP № 03520 РУз на изобретение: “ Способ комплексного автоматического регулирования и управления процессом обжига цементного клинкера во вращающейся печи ”, по заявке IAP № 2004 0065 от 26.02.2004 г.

13. Основные результаты теоретических и экспериментальных исследований по оптимизации технологических параметров процесса обжига цементного клинкера, внедрены на цементных заводах Узбекистана и Республики Казахстан (ТОО Цементный завод Семей). Экономический эффект от внедрения результатов разработок и исследований подтвержденных актами испытаний и справками о внедрении результатов исследований на печах ОАО Бекабадцемент составляет более 60 млн. сум в год и на печах ТОО

Цементный завод Семей составляет более 85 млн. каз. тенге (эквивалентной к 692 тысячам долларам США).

Общий экономический эффект от использования разработок по настоящей диссертационной работе в проектно-конструкторской и научно-исследовательской деятельности научно-производственной фирмы (НПФ) САМОЙИНУР Со Ltd подтвержденные актами и справками о результатах внедрения разработок составляет более 200 млн. сумов.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ

Статьи, опубликованные в научных журналах:

1. Бабаев Н.Х., Нудельман Б.И., Исматов А.А. Белый алинитовый цемент// ДАН Респ. Узб. - Ташкент, 1991. - № 2. - С. 40 – 42.

2. Бабаева Н.Х., Коновалов В.М. Вещественный состав и спекаемость сырьевой смеси и оптимальная производительность вращающейся печи// научно-теоретический журнал - ВЕСТНИК БГТУ.- Белгород, 2003. - № 5. – С. 14 - 17.

3. Бабаев Н.Х. Моделирование теплотехнологических процессов, протекающих в высокотемпературной части цементных вращающихся печей // научно-теоретический журнал - ВЕСТНИК БГТУ.- Белгород, 2003. -№ 5. – С. 17 - 22.

4. Бабаев Н.Х. Самоочищающийся универсальный шламовый питатель для вращающейся печи // научно-теоретический журнал - ВЕСТНИК БГТУ.- Белгород, 2003. - № 6. – С. 247-249.

5. Бабаев Н.Х. Новый подход к оценки работы вращающейся печи.// Цемент и его применение. - С.Петербург, 2004. - № 1. - С. 66-69.

6. Бабаев Н.Х. Универсальный шламовый питатель // Цемент и его применение. - С.Петербург, 2004. - № 3. - С. 44-45.

7. Бабаев Н.Х. Методика расчета и подбора оптимального химического и вещественного состава цементных сырьевых смесей с целью снижения затрат тепла на обжиг // Узб. журнал Проблемы информатики и энергетики. – Ташкент, 2004. - № 3. - С. 75-78.

8. Бабаев Н.Х. Петрографический анализ и оптимизация режима обжига цементного клинкера//Узб. хим. журнал. – Ташкент, 2004. - № 3. - С.56-60.

9. Бабаев Н.Х. Математическая модель тепло - и массообменных процессов протекающих в холодильнике цементной вращающейся печи // Узб. Физический журнал.-Ташкент, 2004. - № 3. - С. 211-217.

10. Бабаев Н.Х. Оптимизация обжига цементного клинкера во вращающихся печах и экономия энергоресурсов // Науч.-теор. журнал Кимё ва кимё технологиялари. –Ташкент, 2004. - № 3-4. - С. 84-90.

11. Бабаев Н.Х. Зависимость процессов клинкерообразования от химического и вещественного состава сырьевых смесей // Узб. химический журнал. -Ташкент, 2004. - № 6. - С. 50-55.

12. Бабаев Н.Х. Новый подход к вопросу моделирования процессов горения топлива во вращающейся цементнообжигательной печи // Науч.-теор. журнал Кимё ва кимё технологиялари. – Ташкент, 2005. - № 1. -С. 66-70.

13. Бабаев Н.Х. Оценка основных показателей работы вращающихся печей//Цемент и его применение. – С. Петербург, 2005. - № 3.– С. 59-65.

Патенты и авторские свидетельства на изобретения:

14. А.С. № 1586086 СССР, МПК С 04 В 7/02. Сырьевая смесь для получения белого алинитового цементного клинкера. / Бабаев Н.Х., Нудельман Б.И., Исмаилов А.А., Умаров Т.Ю., Матюше А.Г. - 4673785/23-33; Заявлено 04.04.89; публикация запрещена. (ДСП).

15. Патент FAP № 00184 Республика Узбекистан, МПК 7 F 23 D 14/20. Вихревая реверсивная горелка / Бабаев Н.Х. (UZ). –FAP 2004 0004; Заявлено 26.02.2004; Оpubл.31.08.2004. Бюл. ГПВ РУ. № 4, -С. 52.

16. Патент FAP № 00185 Республика Узбекистан, МПК 7 G 01 F 15/00. Дозатор шлама / Бабаев Н.Х., Дадабаев У.Ю., Тегай Г.Г., Меметова Г.Г., Бабаев Н.Н., Бабаев Н.Ш. (UZ). – FAP 2004 0005; Заявлено 26.02.2004; Оpubл.31.08.2004. Бюл. ГПВ РУ. № 4, -С. 52.

17. Патент FAP № 00186 Республика Узбекистан, МПК 7 G 01 F 15/00. Дозатор шлама / Бабаев Н.Х., Дадабаев У.Ю., Коновалов В.М, Беляева В.И., Тегай, Г.Г., Меметова Г.Г. (UZ). – FAP 2004 0006; Заявлено 26.02.2004; Оpubл.31.08.2004. Бюл. ГПВ РУ. № 4, -С. 53.

18. Патент FAP № 00187 Республика Узбекистан, МПК 7 G 01 F 15/00. Дозатор шлама / Бабаев Н.Х., Дадабаев У.Ю., Коновалов В.М, Беляева В.И., Тегай, Г.Г., Меметова Г.Г. Бабаев А.Н. (UZ). – FAP 2004 0007; Заявлено 26.02.2004; Оpubл.31.08.2004. Бюл. ГПВ РУ. № 4, -С. 53.

19. Патент IAP № 03520 Республика Узбекистан, МПК 8 G 05 D 27/00, F 27 В 7 / 20, С 04 В 7 / 00. Способ комплексного автоматического регулирования и управления процесса обжига клинкера во вращающейся печи / Бабаев Н.Х., Дадабаев У.Ю., Тегай Г.Г., Бабаев Н.Н., Бабаева Ш.Н. (UZ). – IAP 2004 0065; Заявлено 26.02.2004; Оpubл.30.11.2007. Бюл. ГПВ РУ. № 11, - С. 74-75.

Статьи, опубликованные в сборниках научных трудов, в сборниках и тезисах докладов конференций, конгрессов и др.:

20. Бабаев Н.Х., Исмаилов А.А., Очкилас И.В. Химическая технология получения белого алинитового цемента // Сборник научных трудов ТашПИ. В надзаг. Ташкентский политехнический институт им. Абу Райхана Беруни. – Ташкент, 1990. - С. 10 – 13.

21. Бабаев Н.Х., Классен В.К. Определение удельного расхода топлива по составу отходящих газов // Сборник докладов VIII – всесоюзной конференции молодых ученых и аспирантов: В надзаг.: Белгородский технологический

институт строительных материалов.- Белгород, 1978. - С. 59 - 61.

22. Бабаев Н.Х., Классен В.К., Регулирование факела с целью повышения стойкости футеровки на Топкинском и Семипалатинском цементных заводах // Сборник докладов VIII – всесоюзной конференции молодых ученых и аспирантов. В надзаг.: Белгородский технологический институт строительных материалов.- Белгород, 1978. - С. 41 – 47.

23. Бабаев Н.Х. Эффективные цементы для железобетонных ирригационных конструкций // Фундаментальные исследования и новые технологии в строительном материаловедении: Тез. Докл. Десятых научных чтений БТИСМ и Всесоюзной конференции 23-25 мая 1989. – Белгород, 1989. – Ч. 5. - С.-71

24. Бабаев Н.Х. Разработка эффективных питателей шлама для вращающейся печи основе объемного дозирования // Качество, безопасность, энерго- и ресурсосбережение в промышленности строительных материалов и строительстве на пороге XXI века / Международная научн.-практич. конф. посвящ. 30 летию БелГТАСМ: Сб. докл. – Белгород, 2000. - Ч. 4. - С. 30- 35.

25. Бабаев Н.Х. Моделирование процессов горения топлива протекающих в зоне спекания вращающихся печей // Современные технологии в промышленности строительных материалов и строй индустрии / IV Междунар. научно—практич. конф.-школа-семинар молодых ученых, аспирантов и докторантов, посвященная 150 летию академика В.Г. Шухова: Сб. докл. – Белгород, 2003. - С. 63-71.

26. Бабаев Н.Х. Взаимозависимость оптимальной производительности вращающейся цементной печи от вещественного состава и спекаемости сырьевой смеси // Современные технологии в промышленности строительных материалов и строй индустрии / IV Междунар. научно—практич. конф.-школа-семинар молодых ученых, аспирантов и докторантов, посвященная 150 летию академика В.Г. Шухова: Сб. докл. – Белгород, 2003. -С. 13-20.

27. Бабаев Н.Х., Бабаева Ш.Х., Сапаев М. Комплексное автоматическое регулирование и управление процессом обжига клинкера во вращающейся печи // Сборник трудов научно-технической конференции ТашХТИ ” Умидли кимёгарлар 2008 ” 8-11 апреля 2008 г. - Ташкент, 2008. - Ч. 2. - С. 21-23.

28. Бабаев Н.Х., Бабаева Ш.Х., Сапаев М. Программа для расчета теплового и материального баланса процесса обжига цементного клинкера // Сборник трудов научно-технической конференции ТашХТИ ” Умидли кимёгарлар 2008 ” 8-11 апреля 2008 г. - Ташкент, 2008. - Ч. 2. - С. 19-20.

29. Бабаев Н.Х. Цемент клинкери тобловчи айланма печьларида ёнилги ёниш жараёнини оптималлаштириш// 2008 йил 8-11 апрелда ТошКТИда ўтказилган ” Умидли кимёгарлар 2008 ” илмий – амалий анжумани маърузалари тўплами. – Тошкент, 2008. - 2 қисм. – 24 -27 с.

Техника фанлари доктори илмий даражасига талабгор Бабаев Накибулло Хабибуллаевичнинг 05.17.11. - ” Силикат ва қийин эрийдиган нометалл материаллар технологияси ” ихтисослиги бўйича ” Айланма печьларда цемент клинкери куйдиришни оптималлаштиришнинг илмий ва теплотехнологик асослари ” мавзусидаги диссертациясинг

Р Е З Ю М Е С И

Таянч (энг муҳим) сўзлар: : Айланма печь, шлам меъёрлагичи, хом – ашё аралашмаси (шлами), цемент клинкери, газ маъшали, нисбий қоралик даражаси, газ ёндиргичи, газ ёқилғиси, колосникли совутгич, занжирли тусин.

Тадқиқот объектлари: Айланма печь, хом – ашё аралашмаси ва газ ёнилғиси.

Ишнинг мақсади: Цемент ишлаб чиқариш учун сарфланадиган ёқилғи ва материал ресурслар харажатини камайтириш мақсадида портландцемент клинкери куйдириш жараёнини оптималлаштиришнинг назарий асослари ва амалий усуллари яратиш.

Тадқиқот усули: Физик – кимёвий усуллар мажмуаси, айланма печни бошқаришнинг назарий ва амалий усулларида фойдаланилди. Айланма печь ичида кечаётган газодинамик жараёнлар, печь узунаси бўйича газ ва материал оқими тезлиги белгиланган радиоактив изотоп (РАИ) усули ёрдамида аниқланди.

Олинган натижалар ва уларнинг янгилиги: Айланма печларда портландцемент клинкери тоблаш жараёнини оптималлаштиришнинг илмий асослари ва амалий усуллари яратилди. Айланма печьда клинкер тоблаш жараёнида ёқилғи сарфлашни камайтириш имкониятини берадиган самарали бошқариш усули яратилди. Илкбор газ оқимининг тезлиги бўйича газ оқими ҳароратини ҳисоблаш усули таклиф қилинди

Печнинг иссиқлик қуввати ва печнинг кесимдаги зўриқишни аниқлаш формулаларига аниқлик киритилди.

Амалий аҳамияти: Диссертация иши бўйича олиб борилган тадқиқотлар натижасида яратилган ускуналар, усуллар ва тавсияларни ишлаб чиқаришга жорий этиш натижасида, ёнилғи харажатининг шартли меъёри бир тонна клинкер учун 25 кг – гача камайтирилди, клинкер фаоллиги 10 % гача оширилди.

Татбиқ этиш даражаси ва иқтисодий самарадорлиги: Тавсияларни ишлаб чиқаришга жорий этиш натижасида эришилган иқтисодий самарадорлик йилига Бекободцемент ХЖ учун 60 млн. сўм, Самойинур Со Лтд илмий ишлаб чиқариш фирмасининг илмий фаолиятида 200 млн. сўмдан зиёдроқ ва Семей цемент заводи МЧЖ учун 492 минг АҚШ доллари ҳисобидаги қийматни ташкил қилди.

Қўлланилиш соҳаси: Цемент ишлаб чиқариш, кимё, рангили ва қора металлургия соҳаси

Р Е З Ю М Е

диссертации Бабаева Накибулло Хабибуллаевича на тему: ” Научные и теплотехнологические основы оптимизации обжига цементного клинкера во вращающейся печи ” на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.11. - ” Технология силикатных и тугоплавких неметаллических материалов ”

Ключевые слова: Вращающаяся печь, дозатор шлама, сырьевая смесь, цементный клинкер, газовый факел, степень относительной черноты, газовая горелка, колосниковый холодильник, цепная завеса.

Объекты исследования: Вращающаяся печь, сырьевая смесь, газообразное топливо.

Цель работы: Разработка теоретических основ и прикладных способов оптимизации процесса обжига цементного клинкера, заключающихся в снижении материальных и энергетических затрат, затрачиваемых для производства цемента.

Методы исследования: В работе применяли комплекс современных методов физико-химического анализа. Для определения скорости и структуры материального и газового потока, аэрогазодинамических процессов, протекающих во вращающейся печи, проводили специальные исследования при сжигании газообразного топлива, с применением метода меченных радиоактивных изотопов (РАИ) – трассеров.

Полученные результаты и их новизна: Выявлены особенности формирования диффузионного факела, установлены параметры влияния теплотехнологических факторов на режим горения топлива, на состояние обмазки и теплоизлучение корпуса печи, выявлены количественные и качественные зависимости сложных взаимообусловленных физико-химических, газо- и аэродинамических, и тепломассообменных процессов протекающих в зонах декарбонизации и спекания, пропускной способности печей, удельной тепловой мощности и теплонапряжения поперечного сечения печи зоны горения в свету.

Практическая значимость: Внедрение разработок в производство позволило снизить удельный расход условного топлива до 25 кг / т.кл. и повысить активность клинкера до 10 %.

Степень внедрения и экономическая эффективность: В результате внедрения разработок в производство экономический эффект на ОАО Бекабадцемент составляет более 60 млн. сум в год, от использования разработок в проектно-конструкторской и научно-исследовательской деятельности НПФ САМОЙИНУР Со Ltd составляет более 200 млн. сум и на ТОО Цементный завод Семей составляет 492 тыс. долларов США.

Область применения: Цементная и химическая промышленность, цветная и черная металлургия.

R E S U M E

Thesis of Babayev Naqibullo Habibullaevich on the scientific degree competition of the doctor of the technical sciences on specialty 05.17.11. - " Technology silicate and tight smelting not metallic material " subjects: " Scientific and heat technological bases to optimization calcinations of a cement clinker in rotated board ".

Key words: Revolving stove, of designs slime of volumetric dosage, raw materials mixture, cement clinker, gas torchlight, degree of the relative blackness, gas burner, clinker refrigerator, chain cover.

Subjects of research: Revolving stove, raw materials mixture, gaseous fuel.

Purpose of work: Development theoretical bases and applied ways to optimization of the process calcinations cement clinker, concluding in reduction material and energy expenses under accounting capacity stove.

Methods of research: In work used the complex of the modern methods physic-chemical analysis. On the basis of researches of the aerial-gas-dynamic processes flowing past in the rotated board conducted with application of a method of marked radioactive -isotopes (RAI), computational method of temperature of a gas phase on an alteration of speed of a gas stream of lengthwise rotated board for the first time is offered at incineration of gaseous fuel.

The results obtained and their novelty: is Revealed particularities of the shaping diffusions of the torchlight, is installed parameters of the influence heat technological factor on mode of the combustion fuel, on condition обмазки and heat radiation body stove in industrial condition, are revealed quantitative and qualitative dependencies complex interdependent conditioned physical and chemical, gas- and aerodynamic, and heat mass-fraudulent processes running in zone calcinations and burn cake, reception capacity of the stoves, specific heat power and heat of the voltage of the cross-section stove zones of the combustion in light.

Practical value: The intrusion of research allows decreasing the expenditure of the standard fuel till 25 kgs / т.с. to increase a lining resistance for 55 - 60 days and increasing the activity of clinker for 10 %.

Degree of embed and economic effectivity: As a result of introducing the developments in production economic effect on Open Joint-Stock Company (OJSC) Bekabadcement (UZ) forms more than 60 mln. uzb soms per annum, from use the developments on persisting dissertation work in design-design and research activity of the research-and-production company (NPF) SAMOYINUR Co Ltd confirmed by acts and reference about result of the introducing the developments forms more than 200 mln. uzb soms and on Company with limited liability Cement plant Semey (KZ) forms 492 thous USA dollar.

Field of application: Cement and chemical industry, color and blackening metallurgy.