

АННОТАЦИЯ
диссертационной работы на тему:
«СИНТЕЗ ГИБРИДНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ СЛОЖНЫМ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМ КОМПЛЕКСОМ МЕДЕПЛАВИЛЬНОГО
ПРОИЗВОДСТВА»

представленной на соискание степени доктора философии (PhD) по
специальности 6D070200 – «Автоматизация и управление»
МУСАБЕКОВ НАЗАРБЕК РАСУЛБЕКОВИЧ

Общая характеристика работы. Широкое распространение и стремительное развитие современных методов управления сложными технологическими комплексами, таких как интеллектуальные технологии привело значительному росту публикаций по практическому применению этих методов при создании систем управления. В частности, в области цветной и черной металлургии, нефтехимии, энергетики и т.д., данные методы позволяют более рационально использовать минеральные ресурсы, экономить тепловую и электрическую энергию, снижать экологические проблемы, повышать экономическую отдачу от производства. Одним из наиболее перспективных пирометаллургических процессов плавки сульфидного полиметаллического сырья является сложный технологический комплекс «Плавка Ванюкова», относящаяся к классу «автогенных» процессов, которые предусматривают эффективное использование тепла, выделяющегося при окислении сульфидов металлов и тем самым позволяют снизить расход топлива на плавление шихты [1, 2].

В настоящее время промышленные печи Ванюкова для плавки в «жидкой ванне» устойчиво работают на Балхашском медеплавильном заводе Корпорации «Казахмыс» в Казахстане, а также на предприятиях ОАО «ГМК «Норильский никель» и Средне-Уральском медеплавильном заводе (СУМЗ) в России. Данная технология имеет большие перспективы в цветной и черной металлургии. Принципиальными преимуществами ПВ перед другими автогенными способами являются: непрерывность процесса, возможность плавки сырой (до 8 % влаги) и кусковой шихты, высокая удельная производительность, низкий пылевынос, высокая эффективность физико-химических процессов в расплаве, низкое содержание ценных компонентов в шлаке, возможность получения «богатых» штейна и отходящих газов (по диоксиду серы), утилизация выделяющегося тепла и пр.

Технологический комплекс плавки медных концентратов в печи Ванюкова (ТК ПВ) включает следующие переделы и агрегаты: шихтоподготовка (штабельный шихтарник), собственно печь Ванюкова с конвейерными линиями, бункерами и питателями для загрузки сырья, и «сифонами» для выпуска продуктов плавки, электроотстойник для шлака, котел-утилизатор, газоходы для отвода отходящих серосодержащих газов и подачи их на сернокислотное производство. Штейн поступает в конвертерное отделение для получения черновой меди, а шлак после электроотстойника направляется в отвал.

Автоматизированная система управления технологическими процессами (АСУ ТП) ТК ПВ на Балхашском медеплавильном заводе (БМЗ) разрабатывалась и внедрялась одновременно со строительством и пуском в эксплуатацию первого производственного комплекса ПВ в конце 80-х годов прошлого столетия. Система была реализована на современных (в то время) технических средствах автоматизации и управляющих ЭВМ третьего поколения (СМ-2М и ТВСО). Затем эта система была тиражирована для второго комплекса ПВ. В настоящее время на БМЗ функционирует АСУ ТП металлургического комплекса ПВ на базе современной микропроцессорной техники, с традиционной трехуровневой структурой. Нижний («полевой») уровень включает различные контрольно-измерительные приборы и запорно-регулирующую арматуру. Средний технологический уровень реализован, как безщитовая система контроля и управления. Верхний (операторский) уровень реализован на базе SCADA-системы. Управление процессом ПВ осуществляется оператором (мастером смены) в соответствии с технологической инструкцией на основе опыта, интуиции и субъективного анализа текущих показаний контрольно-измерительных приборов (температуры, расходы, давления, разрежения и прочие переменные, в различных точках по агрегатам и материальным потокам, положение исполнительных механизмов и запорной аппаратуры), результатов химических анализов, поступающих со значительным запаздыванием, а также данных визуальных наблюдений обслуживающего персонала (уровень расплава, состояние поточно-транспортной системы, бункеров, трубопроводов, газоходов и другого оборудования). Разнообразие возникающих производственных ситуаций, различная квалификация персонала, сложность ТК ПВ, относящегося к классу стохастических, многомерных, нестационарных объектов, обуславливают невозможность, в условиях существующей системы автоматизации, качественного управления комплексом, что приводит к отклонению показателей процессов от заданных, сбоям в работе оборудования, непроизводительным остановкам и потерям, а также возникновению аварийных ситуаций [3, 4, 5].

Непрерывный характер производства и технологические ограничения на режимы работы оборудования предъявляют жесткие требования к системе управления комплексом в части согласования нагрузок смежных переделов и обеспечения эффективного функционирования отдельных процессов и комплекса в целом.

Разработка автогенных процессов осуществлялась в период активного внедрения в производство технических средств и систем автоматизации и использования методов математического моделирования в научных исследованиях. При внедрении «плавки Ванюкова» наряду с физико-химическими исследованиями и отработкой конструктивных параметров и режимных показателей ТК ПВ, включая смежное оборудование, проводились работы по построению математических моделей процесса и использованию их в системах управления, которые разрабатывались одновременно с освоением

новой технологии. Такие работы проводились на медных заводах Норильского и Балхашского горнометаллургических комбинатах [3-8].

Во всех работах по созданию систем автоматизации предполагалось использовать математические модели для целей эффективного управления процессами ПВ, однако по ряду объективных причин, связанных, главным образом, с низким уровнем технических средств автоматизации и ограниченными возможностями советских управляющих ЭВМ того поколения, эти цели не были реализованы.

В последние годы широкое распространение получили интеллектуальные технологии и системы, формализующие опыт и знания экспертов по управлению технологическими процессами. В, частности, в работе Сулейменова Б.А. [9], приведен обзор и подробно описаны достоинства интеллектуальных технологий и их применение для управления различными химико-металлургическими процессами.

Различным аспектам применения интеллектуальных технологий для управления процессами автогенной плавки, включая плавку Ванюкова, посвящены работы [9 - 12].

Актуальность диссертационной работы:

Актуальность диссертационной работы связана с решением следующих задач, которые приводят к повышению эффективности производства и конкурентоспособности:

1. Управление комплексом, а не отдельными процессами: работа посвящена разработке системы управления не отдельным процессом, а взаимосвязанным технологическим комплексом медеплавильного производства, включающим шихтовку, плавку и утилизацию тепла отходящих газов.

2. Учет требований смежных производств: система управления учитывает требования конвертерного отделения медеплавильного цеха и серноокислотного цеха.

3. Использование математических и интеллектуальных моделей: для формирования экспертных заключений, расширения информационной базы принятия решений и создания системы управления с использованием прогнозирующих моделей и «виртуальных» датчиков.

4. Задача управления технологическим комплексом расширяет возможности управления, используя более высокоуровневые критерии оптимизации с выдачей заданий отдельным процессам.

Цель диссертационной работы:

Синтез эффективной гибридной системы управления медеплавильным производством, позволяющий перейти на высокоуровневый критерий оптимизации, учитывающий задания для основных процессов.

Основная идея работы:

Разработка алгоритмов и модели управления на основе интеллектуальных и гибридных технологий, накопленные знания, учитывающие опыт и интуицию операторов-технологов и данные, получаемые в режиме реального времени.

Преимущества:

- сокращение сроков разработки системы управления;
- повышение точности и эффективности системы управления.

Задачи исследования:

1. Оценка технического состояния технологического комплекса медеплавильного производства и формулирование концепции создания гибридной системы управления на основе аналитического обзора.
2. Теоретическое обоснование основы синтеза гибридной системы управления плавки Ванюкова (ПВ) как сложного технологического комплекса.
3. Разработка структуры математической модели гибридной системы управления технологическим комплексом медеплавильного производства.
4. Синтез моделей и алгоритмов управления на основе анализа и обработки больших данных технологического комплекса медеплавильного производства.
5. Испытание прототипа гибридной системы управления и исследование на чувствительность, устойчивость, однозначность и оценка ее адекватности.

Объект исследования:

Объектом исследования является сложный технологический комплекс плавки медных концентратов в Балхашком медеплавильном заводе.

Методы исследований:

Для решения поставленных задач в работе используются методы математического моделирования, оптимизации технологических процессов, методы идентификации и методы статистической динамики.

В качестве инструментов моделирования использовались современные пакеты прикладных программ MATLAB: пакеты Fuzzy Logic Toolbox и System Identification Toolbox и Comsol Multiphysics.

Научная новизна работы:

В диссертационной работе были разработаны и представлены следующие научные положения, отличающиеся уникальными характеристиками:

1. Впервые рассматривается задача управления не отдельным процессом, а взаимосвязанным технологическим комплексом, включающим последовательные переделы с учетом требований смежных производств.
2. Разработан гибридный подход и алгоритм управления ПВ, совмещающий накопление и обработку больших данных и знаний для формулирования базы правил.

На защиту выносятся следующие научные положения:

- методы и средства разработки гибридных моделей процесса управления объектом;
- структура математической модели, описывающей процессы, протекающие в надфурменной зоне и зоне отстоя продуктов плавки;
- инструментальные средства интеграции промышленного контроллера со средой моделирования и статистической оценки параметров модели пакета Matlab;

- полученные экспериментальные данные и проведенные испытания интеллектуальных алгоритмов управления в промышленных условиях Балхашского медеплавильного завода;

- модель, реализованная в программе Comsol Multiphysics для оценки теплового режима комплекса в агрессивных средах.

Практическая значимость результатов проведенных исследований:

Процесс плавки сульфидного сырья в печи Ванюкова является одним из наиболее прогрессивных процессов в цветной металлургии. Однако широкое использование его в мировой практике весьма ограничено, что связано, главным образом, с отсутствием эффективной системы автоматического управления. В Казахстане для металлургического комплекса ТОО «Казцинк» был выбран другой автогенный процесс ISASMELT™, по лицензии австралийской фирмы «Xstrata», система автоматизации которого поставляется «под ключ», и включает, помимо традиционного контроля и регулирования процесса, ряд расчетных модулей, обеспечивающих выбор наилучших режимов на основе математических моделей.

Предложенные методы и инструментальные средства:

- открывают возможности для создания интеллектуальных и гибридных систем управления для широкого спектра сложных технологических процессов;

- в контексте плавки Ванюкова будут способствовать внедрению данного метода на отечественных и зарубежных предприятиях цветной металлургии.

Разработанная система управления ПВ:

- обеспечит более эффективное ведение технологического процесса;
- позволит снизить расходы на его проведение;
- сократит объемы вредных выбросов;
- приведет к значительному экономическому и экологическому эффекту.

Полученные результаты:

- позволят создать надежный (проверенный на практике) инструмент для разработки интеллектуальных и гибридных систем оптимального управления сложными технологическими процессами;

- могут быть применены для создания аналогичных систем для различных технологических объектов в разных сферах экономики Казахстана и мира.

Оценка ожидаемого экономического эффекта: возможна только после проведения испытаний предлагаемых алгоритмов управления в промышленных условиях предприятия.

Конкретное личное участие автора в получении научных результатов заключается в следующем:

- постановке задач исследований и способа их реализации;
- проведении обследования объекта управления, сборе экспертных заключений опытных операторов-технологов для моделирования процессов управления;

- проведении корреляционного анализа обработки экспериментальных данных и разработке структуры математической модели, описывающей процессы, протекающие в надфурменной зоне печи ПВ и зоне расслоения продуктов плавки (зона отстоя)

- проведении исследования разработанных моделей управления на чувствительность, устойчивость, однозначность и оценке степени их адекватности;

- разработке физической модели устройства контроля температуры в агрессивных средах, реализованная с помощью программной платформы Comsol Multiphysics, позволяющая оценить тепловой режим комплекса;

- проведении испытания интеллектуальных алгоритмов управления в промышленных условиях на Балхашском медеплавильном заводе.

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались и обсуждались на отечественных и зарубежных научных конференциях: международной научной конференции «Вычислительные и информационные технологии в науке, технике и образовании» (CITech-2015, г.Алматы-Новосибирск: КазНУ, 2015); Международных Сатпаевских чтениях «Роль и место молодых ученых в реализации новой экономической политики Казахстана» (г.Алматы: КазНТУ, 2016); зарубежной научной конференции «Conference Lubelskie Dni Nauki i Biznesu WD 2016» (г.Люблин, 2016); международной научной конференции «Европейская наука 21 века - 2016»; зарубежной научной конференции «Environmental Engineering V: Proceedings of the fifth National Congress of Environmental Engineering» (г.Люблин, 2016).

Публикации. Основные результаты исследований опубликованы в 13 печатных работах, из них 8 статей в международных научных конференциях, в том числе 4 в зарубежных конференциях (г.Люблин, Польша), 1 статья в инженерно-техническом журнале, 3 статьи в изданиях, рекомендованных Комитетом по обеспечению качества в сфере науки и высшего образования МНиВО РК и 2 статьи в международных рецензируемых научных журналах, входящие в БД Scopus/Web of Science.

Структура и объем диссертации: Диссертация состоит из введения, четырех глав основного содержания, раздела основных выводов и результатов, списка использованных источников из 63 наименований и 5 приложений. Работа содержит 124 страниц, 50 рисунков и 10 таблиц.

В первом разделе работы дана общая характеристика технического состояния технологического комплекса медеплавильного производства, включая описание процесса плавки Ванюкова как объекта управления. Приводятся общие сведения о гибридных системах управления и описание достоинства и недостатков интеллектуальных технологий при создании гибридных систем управления металлургическими процессами. Также представлено технологическая и структурная схема комплекса плавки Ванюкова и анализируется современное состояние автоматизации данного процесса. Кроме того, в разделе сформулированы цель и основные задачи исследований и общая методика научно-исследовательской работы.

Во втором разделе предложена общая концепция создания гибридной системы управления, описание математической модели кинетики химических реакций, описание гидродинамической модели. Кроме того, дается сравнительный анализ существующих систем управления различными металлургическими процессами с целью обоснования выбора управления технологическим процессом «плавка Ванюкова».

В третьем разделе представлено математическое описание технологического режима, разработана математическая модель технологического комплекса, включая структуру модели технологического и теплового режимов. Затем описывается реализация компьютерной модели для управления тепловыми и материальными режимами процесса плавки. После этого формулируется задача синтеза гибридной системы управления. В заключение разрабатывается алгоритм для синтеза системы управления сложным технологическим комплексом плавки Ванюкова. Данный раздел охватывает все от основных математических уравнений до конкретных алгоритмов управления.

В четвертом разделе в условиях Балхашского медеплавильного завода получены большие данные технологического комплекса печи Ванюкова, проделан анализ и на их основе выполнена параметрическая идентификация математической модели. Обоснован выбор технологических режимов и управление процессом плавки медных концентратов. Разработана структура гибридной системы управления ТК ПВ.

В пятом разделе проводится испытание прототипа гибридной системы управления и промышленное исследование. Разрабатывается система контроля теплового режима в печи Ванюкова на основе экспериментального метода в программе Comsol Multiphysics. Затем представляется математическое описание теплового режима в печи Ванюкова. Далее происходит выбор программного обеспечения для реализации модели и моделирование теплопередачи в физической модели. Исследуется физическая модель при изменении режимов работы. Прогнозируются параметры с помощью нейросети. В заключение проводится исследование на устойчивость теплового режима печи с применением регуляторов.

В заключении диссертации по результатам представленных разработок и исследований сформулированы основные выводы работы.

В приложениях диссертации представлены экспериментальные данные, результаты моделирования в Comsol Multiphysics, результаты эксперимента по нагреву шамотного кирпича при различных температурных условиях, документация, подтверждающая внедрение результатов исследования в практику, а также справка о выполнении научно-экспериментальных работ, связанных с диссертационными исследованиями.