

ОТЗЫВ

официального оппонента на диссертацию Барбасовой Т.А. «Методы и модели автоматизированного ресурсосберегающего управления энергометаллургическим технологическим комплексом», представленную на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 - Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

Актуальность темы диссертации

Приоритетными направлениями государственной политики развития энергетической инфраструктуры Российской Федерации является энергосбережение и обеспечение энергетической безопасности во всех сферах хозяйственной деятельности, в первую очередь в энергоемких комплексах промышленных предприятий, особенно в металлургии.

Энергетические комплексы металлургических предприятий представляют собой сложные производственные системы, включающие подсистемы выработки, распределения, аккумулирования и потребления энергетических ресурсов, в том числе вторичных энергоресурсов. Режимы работы таких подсистем определяются режимами работы технологического оборудования и характеризуются как большими объемами, так и существенными колебаниями в выработке и потреблении энергетических ресурсов, что приводит к большой энергоемкости металлургического производства.

Дело в том, что проблема повышения энергоэффективности металлургических предприятий, имеющих в своем составе коксохимическое, доменное производство и мартеновское производство, усугубляется сложностью утилизации вторичных энергоресурсов, в частности доменного газа, в силу нестабильности его характеристик. Эта нестабильность вызывает существенное снижение КПД всей энергосистемы предприятия.

Поэтому проблема снижения энергоемкости технологических процессов в металлургической промышленности как в России, так и за рубежом, остается актуальной.

Тема диссертационной работы Барбасовой Т.А., посвященная разработке методов и моделей ресурсосберегающего управления в рамках интегрированного планирования и автоматизированного управления процессами энергосбережения в металлургических производственных комплексах содержит решение этой важной научно-практической проблемы, имеющей большое хозяйственное значение, и поэтому является актуальной.

Общая характеристики работы

Диссертационная работы Т.А. Барбасовой представлена на 294 страницах, содержит введение, шесть глав, заключение, список используемой литературы из 148 наименований и приложения.

Во **введении** автор обосновывает необходимость разработки новых подходов к управлению энергетической эффективностью на основе интегрированного планирования и автоматизированного управления процессами ресурсосбережения, что отвечает тенденциям развития автоматизированных систем управления на основе использования современных информационных технологий и интеллектуализации управления.

В **первой** главе рассматриваются задачи повышения энергетической эффективности управления ресурсосбережением металлургического комплекса, содержащего энергетическую подсистему и базовую составляющую основной технологической линии – доменное производство.

Проведен достаточно полный обзор и анализ научных источников, посвященных повышению энергетической эффективности управления оборудованием тепловых электрических станций, паровых сетей и доменного производства.

Обзор свидетельствует об эрудиции и компетентности автора диссертации в исследуемой проблематике, и хотя следовало бы структурировать его по разделам: модели, методы решения задач, методы идентификации, оптимизации,

управления и т.д., он позволяет обосновать поставленные в диссертации научные и практические задачи.

На основе проведенного анализа выделяются актуальные направления исследований, которые определяют актуальность целей и задач исследования в диссертационной работе.

Во **второй** главе рассматриваются методы и модели интегрированного планирования и управления ресурсами в металлургических технологических комплексах. Ставятся задачи управления энергетической эффективностью указанных комплексов с использованием концепции виртуальной энергосберегающей станции.

Автор с использованием новой концепции проводит системный анализ энергетических ресурсов потоков сбереженных ресурсов совместно с потоками потребляемых энергетических ресурсов.

Подобный подход позволил автору выделить центральное звено рассматриваемой методологии интегрированного планирования и управления энергосбережением в виде центральной электрической станции, куда сводятся локальные эффекты от проведения энергосберегающих мероприятий. При этом автором проанализированы режимы работы котлоагрегатов при переменной нагрузке и использовании в качестве энергоресурса доменного газа, подмешиваемого в топливо и имеющего нестабильные характеристики.

В **третьей** главе рассмотрена задача автоматизированного управления эффективностью энергосберегающей электрической станцией в предлагаемой системе интегрированного планирования и управления ресурсами. Рассмотрена задача повышения КПД энергетических котлов с целью снижения потребления природного газа на энергосберегающей станции за счет утилизации вторичных энергетических ресурсов, а именно доменного газа в условиях нестабильности его параметров. При этом в соответствии с методологией интегрированного планирования высвобождающиеся резервы технологического пара через РОУ направляются в технологическую паровую сеть. Одним из потребителей, утилизирующим резервы технологического пара, здесь является буферная электростанция, вырабатывающая дополнительные объемы электрической

энергии, что приводит к снижению себестоимости производства в целом. Таким образом, утилизация вторичных энергетических ресурсов замыкает цикл интегрированного планирования и управления ресурсами энергометаллургического комплекса. С этой точки зрения предлагаемая концепция интегрированного планирования и управления ресурсами является обоснованной.

В **четвертой** главе рассматривается задача стабилизации режимов технологической паровой сети металлургического производства при утилизации тепловой энергии нестабильных источников пара.

Для этого разработаны методы динамического макро моделирования для оперативного управления крупномасштабными распределёнными сетями пароснабжения металлургических предприятий. Для демпфирования резко переменных нагрузок в сетях технологического пароснабжения использована макро модель, отражающая процессы управления зарядно-разрядными процессами паровых аккумуляторов. Это позволяет обеспечить эффективную утилизацию вторичных паровых ресурсов, в том числе образующихся в результате энергосберегающих мероприятий, на основе их аккумуляирования и последующего использования.

В **пятой** главе рассматриваются комплексные вопросы интегрированного планирования и управления ресурсами металлургического комплекса. Рассматриваются вопросы автоматизированного управления эффективностью доменного процесса на основе использования интеллектуальных технологий анализа данных.

Автором в диссертационной работе предлагается метод принятия решений по управлению доменными процессами на основе выделения целевых областей значений режимных параметров, на основе использования нейронных сетей Кохонена и оригинального метода декомпозиции эффективных режимных областей на двумерные сечения, аналитически описываемые эллиптическими областями 2-го порядка. Это позволяет строить наглядные диаграммы взаимосвязей режимов доменного процесса в виде топографических изображений областей значений параметров, что обеспечивает выбор режимов,

повышающих энергетическую эффективность доменных процессов, в частности снижающих потребление кокса, стабилизирующих тепловое состояние доменной печи и выход доменного газа.

В **шестой** главе рассмотрены вопросы планирования и контроля энергоёмкости основных производственных процессов металлургического комплекса на основе системного анализа данных энергетических обследований и данных эксплуатации.

В работе предлагается для согласования коммерческого учета потребления электрической энергии с технологическим учетом потребления электрической энергии отдельными технологическими объектами предприятия решать задачу корректировки расчетного суммарного потребления электрической энергии на уровне отдельных технологических объектов. В работе предложена процедура прогнозирования оценок объемов потребления электрической энергии на уровне отдельных технологических объектов металлургического комплекса и объемов потребления электрической энергии на уровне данных коммерческого учета для всего предприятия в целом.

Оценка новизны проведенных исследований и полученных результатов

Научная новизна работы представлена в следующих положениях:

1. В работе применительно к энергетической подсистеме во взаимосвязи с основным доменным производством металлургического комбината предложена концепция интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения. Она позволяет для сложных металлургических комплексов системно проанализировать и связать локальные задачи энергосбережения, провести системный анализ всего комплекса задач с целью достижения максимального технико-экономического эффекта во всем технологическом комплексе в целом.

2. Разработана автоматизированная система динамической оптимизации КПД сжигания вторичных топливных газов в энергетических котлах при значительных вариациях параметров газов виртуальной энергосберегающей станции-

регулятора, в которую стекаются локальные эффекты от энергосберегающих мероприятий. Повышение КПД использования вторичных ресурсов определяется экономией природного газа и направлением резервов технологического пара в паровую технологическую сеть для последующей утилизации.

3. Разработаны новые сигнально-ориентированные модели теплоэнергетических процессов, на базе которых разработана программная макро модель, позволяющая рассчитывать статические и динамические режимы систем паро- и теплоснабжения, зарядно-разрядные процессы паровых аккумуляторов, а также работу потребителей с резко выраженной переменной нагрузкой.

4. Для управления доменным производством и для снижения потребления кокса использованы методы интеллектуального анализа данных, а именно нейронные сети Кохонена для построения интеллектуальных систем управления режимами работы доменных печей в реальном времени.

Степень обоснованности и достоверности научных положений, выводов, рекомендаций и заключений

Достоверность и обоснованность полученных в диссертационной работе научных результатов, выводов и рекомендаций обеспечивается корректным использованием применяемого математического аппарата, теории автоматического управления и методов математического моделирования исследуемых объектов и систем управления. Справедливость выводов относительно адекватности используемых математических моделей, достоверности, работоспособности и эффективности предложенных алгоритмов управления подтверждена результатами компьютерного моделирования, а также результатами натурных испытаний на реальных объектах теплоэнергетического комплекса и доменного цеха ПАО «ММК».

Значимость для науки и практики проведенной соискателем работы

Разработанное методическое, алгоритмическое и программное обеспечение для металлургических производств может быть использовано при построении АСУ ТП технологических комплексов металлургических комбинатов со схожей технологической структурой, с целью реализации интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения по критерию снижения энергетических издержек.

Практическое значение диссертационной работы заключается в том, что применение разработанных методов, алгоритмов и программ в составе АСУ ТП теплоэнергетического комплекса металлургического предприятия путем управления технологическими процессами позволяет снизить их энергоемкость и повысить энергетическую эффективность.

Практическое значение диссертации для доменного производства состоит в том, что предложенные методическое, алгоритмическое и программное обеспечение соответствующей интеллектуальной системы обеспечивают поддержку принятия решений по управлению технологическими процессами на основе построения областей повышенной эффективности в пространстве режимных параметров в условиях неполной наблюдаемости доменных процессов и неполноты знаний о текущих состояниях процессов.

Существенное практическое значение результатов диссертационного исследования имеет внедрение в практику управления эффективностью технологических процессов ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» разработанного подхода к интегрированному планированию и управлению энергоемкостью технологических процессов металлургического комплекса. В соответствии с актами внедрения, приведенными в диссертационной работе, технический эффект экономии природного газа составляет $0,5 \text{ м}^3/\text{час}$. Технический эффект за счет экономии удельного расхода кокса составляет $0,4 \text{ кг/т}$. Общий экономический эффект от внедрения результатов работы составил 232 млн. руб.

Замечания по диссертационной работе

1. Следовало бы тщательнее обосновать вопросы системного целеполагания. Критерий ресурсосбережения вообще и, в частности, энергосбережения на металлургическом производстве является частным компонентом более общего критерия эффективности производства (например, экономической эффективности). В работе этому критерию придается самостоятельное значение, а затем апостериорно оценивается его влияние на эффективность данного производства. На взгляд оппонента, следовало бы установить его влияние на интегральное системное качество, путем декомпозиции глобального системного критерия, либо путем постановки многокритериальной оптимальной задачи, например, с использованием кластеризации на основе нейронных сетей для построения областей Парето аналогично способу, предложенному автором в главе 5 (стр. 129-157) для разработки автоматизированного управления процессом доменного производства на основе использования интеллектуальных данных, или с помощью ДЕА-методики (например, в соответствии с диаграммой на рис. 214, стр. 55), так как целью металлургического производства вовсе не является экономия ресурсов.

Автор упоминает об этом на стр. 44 диссертации, однако содержательного развития это утверждение в работе не получило.

2. Применение модельно - упреждающего управления, основанное на использовании экспоненциальной фильтрации в форме профессора Казаринова Л.С. ((3.2), стр. 82) - очевидно, наиболее эффективный способ управления объектами, имеющими значительное и нестабильное запаздывание. Однако, при этом следует учесть, что алгоритм управления содержит процедуру ретроспективной статистической идентификации, на основании которой формируется упреждающее управление. Но, устойчивость системы с таким регулятором требует тщательного анализа и определения для объекта границ выполнения гипотезы квази-

стационарности, с тем, чтобы процедура идентификации протекала, своевременно отражаясь в управлении. Такого рода анализ в диссертации не приводится.

В этой связи целесообразно было бы провести также сравнение с альтернативными способами управления подобными объектами: предиктор Смита, нечеткий регулятор, нейронная сеть.

3. Следовало бы обосновать схему (4.3.1) оперативного управления паровой сетью, выполненную с компенсацией возмущающего воздействия и предполагающего контроль возмущающего потока D_z и определение управляющего потока D_u путем решения корректной по Тихонову обратной задачи (4.4.7) с использованием экспоненциального фильтра (4.4.12). В такой постановке затруднительно обеспечить достижение системой допустимых динамических показателей качества. В идеальном случае предполагается инвариантность, однако, она недостижима в реальных системах с отклонением характеристик объекта, неустойчивыми внутренними и внешними возмущениями, отличием помех от идеального белого шума и т.п. Возможно, следовало бы рассмотреть реализацию системы, замкнутой по отклонению регулируемой величины. Не исключено, что при этом удалось бы, как и в системе управления зарядно-разрядными процессами парового аккумулятора (рис. 4.5.4, стр. 118), ограничиться классическим синтезом, т.к. запаздывание в такой системе не носит настолько неопределенный характер и не так значительно, как, например, в оперативных системах управления эффективностью данных процесса (см. гл. 5).

4. Автор анализирует экстремальные зависимости КПД энергетических и технологических узлов от входных энергетических потоков (см., например, (2.20), (2.22) рис 2.18, стр. 64, (3.1) рис. 3.4 стр. 79) и аппроксимирует эти зависимости полиномом второго, третьего порядка или даже линейными, опираясь на только упомянутую в тексте статистическую обработку данных эксплуатации. Однако в диссертации не приводится анализ таких регрессионных моделей, не указаны допустимые границы их применения, нет оценок. Это же замечание относится к регрессионной аппроксимации ограничений ((3.12) стр. 88), при по-

становке задачи оптимизации нагрузок параллельно работающих турбогенераторов и котлоагрегатов, к рабочим характеристикам (потребление природного газа ТЭЦ (4.3.6), выработке электроэнергии (4.6.4) и характеристикам потребления природного газа центральной электростанцией (4.6.6) стр. 121-122.

Кроме того, известно, что экстремальная характеристика таких объектов подвержена флуктуациям в зависимости от условий эксплуатации, качества и температуры топлива и воздуха, нагрузки и т.д., которые вполне способны вывести характеристику за границы рабочей области аппроксимации, что потребует не только повторной параметрической идентификации, но и структурной.

5. Несмотря на ясный и грамотный стиль изложения, в работе, например, на стр. 38, 39, 103, встречаются стилистические, грамматические и редакционные ошибки. В частности, на стр. 57, 58 и 59 повторяются обозначения, на стр. 19, второй параграф, на стр. 35 – третий не имеют ясного логического смысла, название выражения (4.4.9) на стр. 112 – ошибочно.

Замечания носят частный характер и не снижают высокого качества работы в целом.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней

Диссертация Барбасовой Т.А. «Методы и модели автоматизированного ресурсосберегающего управления энергометаллургическим технологическим комплексом» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение проблемы задачи, имеющей существенное значение в области автоматизации и управления технологическими процессами и производствами. Внедрение результатов работы вносит значительный вклад в развитие страны.

Автореферат диссертации Барбасовой Т.А. соответствует содержанию диссертационной работы.

Работа прошла широкую апробацию на международных и всероссийских научных конференциях. Публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ, и изданиях, индексируемых зарубежными базами Scopus и Web of Science, в достаточной мере отражают основные положения и результаты, полученные в диссертации.

Учитывая актуальность темы исследований, научную новизну и практическую значимость результатов, считаю, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней», предъявляемым к докторским диссертациям, а её автор, Барбасова Татьяна Александровна, заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Официальный оппонент
Заведующий кафедрой «Управление
и системный анализ теплоэнергетических
и социотехнических комплексов»
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»,
Почетный работник высшего
профессионального образования РФ,
д.т.н., профессор



Лившиц Михаил Юрьевич

01.06.2021

Подпись Лившица Михаила Юрьевича удостоверяю:

Ученый секретарь
ФГБОУ ВО «Самарский государственный
технический университет»



Малиновская Юлия Александровна

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Самарский государственный технический университет»,

Адрес: 443100, г. Самара, ул. Молодогвардейская, 244, Главный корпус; Факс: +7(846) 278-44-00; E-mail: rector@samgtu.ru; Сайт: <https://samgtu.ru>.