

В диссертационный совет Д 212.298.03
при ФГАОУ ВО «Южно-Уральский
государственный университет (НИУ)»
454080, г. Челябинск, проспект Ленина, 76

ОТЗЫВ

официального оппонента Логуновой О.С. на диссертационную работу
Барбасовой Татьяны Александровны «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

В диссертационной работе рассматривается научно-техническая задача интегрированного планирования и автоматизированного управления процессами энергосбережения в энергометаллургических производственных комплексах. Внедрение систем интегрированного планирования и автоматизированного управления требует широкого использования цифровых технологий и развития компьютеризации для системного решения задачи энергосбережения в промышленной энергетике и металлургии.

Тема диссертационной работы «Методы и модели автоматизированного ресурсосберегающего управления энергометаллургическим технологическим комплексом» относится к приоритетным направлениям развития науки, технологии и техники Российской Федерации: «Информационно-телекоммуникационные системы» и «Энергоэффективность, энергосбережение, ядерная энергетика» согласно Указу Президента Российской Федерации от 7 июля 2011 г. № 899 и новому приоритетному направлению А «Переход к передовым цифровым, интеллектуальным производственным технологиям, роботизированным системам, новым материалам и способам конструирования, создание систем обработки больших объемов данных, машинного обучения и искусственного интеллекта» национального проекта «Наука».

В настоящее время применительно к энергетической подсистеме крупных металлургических производств, таких как ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (Пал «ММК») задача интегрированного планирования и управления энергоресурсами системно не решена. В рамках отдельных исследований решены и внедрены частные задачи энергосбережения для доменного, сталеплавильного и прокатного переделов.

Особенностью крупных металлургических предприятий Российской Федерации является наличие развитых мощностей, генерирующих электроэнергию. С целью снижения себестоимости вырабатываемой электрической энергии в электростанциях металлургических предприятий утилизируются вторичные энергетические ресурсы: доменный и коксовый газы,

многочисленные локальные вторичные паровые ресурсы металлургического производства. Так как электрическая энергия является одним из факторов, определяющим себестоимость конечной продукции, то предприятие стремится максимально повысить самостоятельную выработку электрической энергии. Однако при этом снижается КПД теплоэнергетической подсистемы электростанций и это приводит к росту потребления природного газа. С другой стороны, наличие множества локальных вторичных паровых ресурсов не находит в полном объеме полезного применения и выбрасывается в атмосферу на свечах. Подобный энергетический дисбаланс повышает энергоемкость металлургического производства. Поэтому снижение энергоемкости всего энергометаллургического комплекса в целом на основе проведения энергосберегающих мероприятий является актуальной задачей металлургического производства.

Однако в отсутствии интегрированного планирования и автоматизированного управления процессами энергосбережения достигнутые частные эффекты нивелируются низкой эффективностью других подсистем энергометаллургического комплекса и это ведет к снижению общего системного эффекта энергосбережения.

В связи с изложенным, диссертационная работа Барбасовой Т.А., имеющая целью повышение энергетической эффективности энергометаллургических технологических комплексов на основе концепции интегрированного планирования и управления энергетическими ресурсами, является актуальной.

Оценка новизны проведенных исследований и полученных результатов

Научная новизна научного исследования полно сформулирована в тексте диссертационной работы и включает в себя:

- **способ** системного анализа целей и задач интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения в энергометаллургических технологических комплексах с использованием концепции потоков сбереженных ресурсов;
- **способ** повышения энергетической эффективности энергометаллургического технологического комплекса на основе сведения всех его локальных эффектов энергосбережения в ресурсосберегающую станцию, минимизации потребления природного газа на станции за счет повышения текущего КПД, повышения эффективности потребления вторичных энергетических ресурсов, а также оптимизации нагрузки теплоэнергетических агрегатов;
- **алгоритмы**, реализующие оптимизацию эффективности ресурсосберегающей станции в рамках автоматизированной системы управления режимами;
- сигнально-ориентированные **модели** паро- и теплоэнергетических процессов, представляющие системные балансовые связи с использованием моделей динамики путей передачи входных управляющих потоков к выходным узлам сети, позволяющие осуществлять оперативное макромоделирование динамики сложных паро- и теплоэнергетических систем в задачах управления;

- **математическое и алгоритмическое описание** экспертной системы, реализующей поддержку принятия решений по управлению доменным процессом на основе выделения целевых областей значений режимных параметров, предложены стратегии управления, позволяющие повысить эффективность доменного процесса: производительность и снизить потребление кокса в рамках технологического регламента;
- **математическое и алгоритмическое описание** оценки и нормирования энергоемкости технологических процессов на основе интеллектуального анализа данных текущей эксплуатации и технологических испытаний.

Результаты, математическое описание, способы, алгоритмы, соответствуют классификатору наименований рекомендуемых результатов научно-технической деятельности (https://marsu.ru/university/structural_units/nic/files/documents/gost/class.pdf).

Научные положения работы базируются на обобщении и использовании ранее разработанных теоретических положений и практических в области анализа и синтеза *автоматизированных систем управления* технологическими процессами в теплоэнергетическом комплексе и технологической линии металлургического производства.

Отличительной особенностью диссертационной работы предложенная автором является концепция интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения в энергометаллургических комплексах для металлургических предприятий. При этом в работе эффективность металлургического комплекса в целом определяется не только эффективностью функционирования отдельных технологических и энергетических систем металлургического предприятия. Автор предлагает методику системной увязки в единый производственный комплекс для всех технологических процессов. С точки зрения энергосбережения, составляющие производственного комплекса также связаны между собой в единую большую систему, включающую в себя центральную тепловую электростанцию, теплоэлектроцентраль, распределенную паровую сеть (более 300 км), доменный цех (состоящий из 8 доменных печей), буферную электростанцию ST-3, 7 паровых аккумуляторов и др. Анализ и управление указанной большой системой представляет собой сложную задачу, которая должна решаться в режиме реального времени.

Энергетическая подсистема в структуре металлургического производства хотя и является одной из главных при проведении энергосберегающих работ, однако конечный эффект энергосбережения в рамках методологии интегрированного планирования и управления ресурсами автором в диссертационной работе рассматривается в комплексе с основными металлургическими цехами. Учет этих связей позволил достичь высокой эффективности энергосберегающих мероприятий.

В работе также проведены исследования по повышению эффективности доменного процесса, который является энергозатратным звеном в технологической линии производства. В структуре потребления энергетических ресурсов ПАО «ММК» объем коксующихся углей,

идущих на производство кокса металлургического для доменного цеха, составляет 60% от общего потребления покупных энергетических ресурсов предприятия. Доменное производство связано с теплоэнергетической подсистемой предприятия и на основе утилизации доменного газа достигается снижение потребления природного газа.

Разработанный метод интегрированного планирования и управления энергоемкостью технологических процессов энергометаллургических комплексов внедрен в практику управления эффективностью металлургического комплекса металлургического производства ПАО «ММК» (акты об использовании и внедрении результатов работы приведены в приложении к тексту диссертации).

Вызывает особый интерес раздел о разработке системы управления эффективностью доменного процесса на основе интеллектуальных технологий анализа данных. Разработано программное обеспечение анализа эффективности доменного процесса, в рамках которого определяются режим работы доменных печей на основе использования искусственных нейронных сетей и определяется влияние технологических параметров на эффективность доменного процесса – производительность и удельный расход кокса, а также определения оптимальных значений технологических параметров доменной плавки для решения задач максимизации выработки чугуна, минимизации потребления кокса, минимизации себестоимости чугуна и стали. **Роль автора** в создании программного обеспечения состоит в непосредственном участии при разработке алгоритмов, реализации разработанных алгоритмов на языке R, отладке разработанных алгоритмов и внедрении в эксплуатацию в доменном цехе ПАО «ММК».

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. Выводы и результаты работы сформулированы на страницах 71-72, 99-100, 127-128, 208-209, 233-237 диссертационной работы. Достоверность выводов, работоспособность предложенных алгоритмов управления подтверждена результатами вычислительных экспериментов, а также результатами натурных испытаний на реальных объектах металлургического комплекса ПАО «ММК». Достоверность полученных результатов диссертационной работы также подтверждается актами внедрения, представленными в приложении к диссертации.

Результаты работы прошли широкую апробацию на научно-технических конференциях и представлены в 56 публикациях по теме диссертации, из них 19 публикаций в изданиях, рекомендованных ВАК.

По результатам практической реализации соискателем разработано программное обеспечение, использование которого подтверждается актами внедрения в производственных подразделениях ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат» (г. Магнитогорск) и в учебный процесс кафедры автоматики и управления ФГАОУ ВО «Южно-Уральский государственный университет (НИУ)» (приложения к тексту диссертации).

Значимость для науки и практики проведенной соискателем работы

Разработанное методическое, алгоритмическое и программное обеспечение для конкретных металлургических производств может быть рекомендовано к использованию при построении АСУ ТП металлургических производственных комплексов с целью реализации интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения по критерию снижения энергетических издержек.

Разработанная автоматизированная система мониторинга и регулирования экономичности использования топлива в паровых котлах электрических станций металлургического производства при утилизации вторичных энергетических ресурсов с оптимальной коррекцией подачи общего воздуха по критерию достижения максимального КПД брутто котла на основе использования методов оптимальной цифровой фильтрации внедрена на ЦЭС ПАО «ММК».

На основе использования разработанной макромодели системы паро- и теплоснабжения осуществлен расчет и выбор вариантов оптимальных режимов теплоснабжения потребителей с точки зрения максимума выработки электроэнергии на электрических станциях и снижения потребления природного газа на источниках тепла.

Применительно к потреблению электрической энергии в энергометаллургическом комплексе разработанное методическое, алгоритмическое и программное обеспечение многоуровневого нормирования и прогнозирования электропотребления ПАО «ММК» предназначено для построения оптимальных сбалансированных оценок электропотребления по уровням производственных участков и комбинатом в целом. На уровне производственных подразделений прогноз объемов потребления электроэнергии осуществляется на основе полученных эмпирических зависимостей. На уровне комбината в целом решение задачи минимизации общей ошибки прогноза потребления электроэнергии основано на корректировке значений фактического общего потребления электроэнергии комбинатом, определяемого по показаниям приборов учета, и расчетного суммарного расхода электроэнергии отдельных производственных подразделений ПАО «ММК». Создано методическое, алгоритмическое и программное обеспечение нормирования удельного расхода и прогнозирования расхода электроэнергии ПАО «ММК», с использованием которого на основе данных, полученных в ходе производственного эксперимента, по выработке продукции и электропотреблению производственными подразделениями ПАО «ММК» проведены расчеты. Расчеты показали, что при использовании разработанных алгоритмов возможно снижение общей ошибки прогнозирования потребления электроэнергии на величину не менее 0,5%.

На верхнем уровне управления в интегрированной информационно-управляющей системе сквозного моделирования и оптимизации агло-коксо-доменного производства реализована автоматизированная адаптивная система формирования оптимальных режимов работы локальных целей управления доменных печей. В функции системы входит определение коэффициентов пофакторного счета для определения влияния технологических параметров на показатели доменной плавки, которые уточняются в режиме реального времени. Формирование оптимальных технологических параметров осуществляется по критериям максимума производства чугуна, минимума удельного расхода кокса, минимума себестоимости производства чугуна, минимума себестоимости производства стали в кислородно-конверторном цехе (ККЦ) и электросталеплавильном цехе (ЭСПЦ). На основе работы модуля формируются оптимальные воздействия адаптивного управления режимом работы доменных печей по выборке управляемых факторов, задаваемой пользователем, в многомерном факторном пространстве влияющих факторов согласно заданным критериям управления и технологическим ограничениям.

Разработанная методика по интегрированному планированию и управлению энергоемкостью технологических процессов металлургического производственного комплекса внедрен в практику управления эффективностью технологических процессов ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат». Технический эффект, полученный на экономии природного газа составляет 0,5 м³/ час, что при цене природного газа 3,9 тыс. руб. за 1 куб м газа составляет 17 млн. руб. в год согласно приведенным актам внедрения. Технический эффект, полученный за счет экономии удельного расхода кокса на 0,4 кг/т, оценивается до 19 млн. руб. в год. Потенциальный экономический эффект от внедрения разработанных методов составляет до 196 млн. руб/год.

Полученные решения могут быть предложены для использования на металлургических предприятиях, которые имеют в производстве доменный технологический процесс и теплоэнергетический комплекс, выполняющий энергогенерирующую функцию для доменного процесса.

Полученные результаты могут использоваться высшими учебными заведениями при преподавании дисциплин, связанных с автоматизацией технологических процессов по направлениям подготовки бакалавров и магистров 15.03.04, 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 27.03.04, 27.04.04 «Управление в технических системах».

Замечания по диссертационной работе

По диссертационной работе и автореферату следует отметить замечания:

1. Автором на стр. 6-14 приводится обширное описание основных элементов диссертации, в которых:

- обоснование актуальности приведено больше с точки зрения энергоэффективности, а не эффективности управления энергометаллургическим комплексом и, как следствие, недостаточно уделено внимание этим вопросам в цели и задачах исследования;
- не указаны отличительные признаки полученных результатов при определении их научной новизны;
- одним из результатов работы автор определяет «подход», подменяя им понятия метод и методика;
- присутствуют не согласования в задачах и оглавлением диссертационной работы.

2. В работе автор не акцентирует результаты полученные лично. Кроме того, на стр. 42 в тексте диссертации указано «Решение предоставленной комплексной проблемы выполнялось коллективом Центра энергосберегающих технологий ПАО «ММК», Цифрового офиса ПАО «МКК» (группа математического моделирования и продвинутой аналитики), соисполнители УНИД ЮУрГУ (НИУ) и ООО НПП «Политех-Автоматика» при непосредственном участии автора в плане научного обеспечения и руководства». К сожалению, научное обеспечение и руководство не относится к результатам научного исследования. Требуется уточнения авторского доли в полученных научных результатах.

3. В диссертации широко используются экспериментальные данные, что является доказательством тесного сотрудничества соискателя и коллектива промышленного предприятия. Однако, ни для одного из набора таких данных не указаны условия их получения, порядок спецификации моделей, оценка надежности полученных уравнений, значимость параметров и оценка возможности использования метода наименьших квадратов.

4. На стр. 130 диссертации автор приводит структуру снижения себестоимости конечной продукции с учетом четырех основных переделов металлургического производства: коксохимическое производство, доменное производство, сталеплавильное прокатное. Акцент в работе делается только на доменное производство. Для указанной схемы желательно было бы указать долевое участие каждого металлургического передела в энергозатратах в условиях функционирования предприятия как интегрированной системы энергометаллургического комплекса.

5. В главе 5 автор приводит результаты кластеризации и построения SOM карт. Автор не обосновывает выбор параметров для исследования, не описывает результаты сравнения и согласования полученных режимов для условий действующего производства.

6. Перед разделом «Заключение» желательно было показать возможность переноса и адаптации полученных результатов для других промышленные предприятия и их тиражирование с учетом новых условий.

7. При оформлении работы автор допустил отклонения от ГОСТ Р 7.0.11-201 «Система стандартов по информации, библиотечному и издательскому делу. Диссертация и автореферат диссертации. Структура и правила оформления».

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

Диссертация Барбасовой Татьяны Александровны является законченной научно-квалификационной работой, выполненной на актуальную тему, в которой содержится решение научно-технической проблемы по синтезу системы интегрированного планирования и управления ресурсами в энергометаллургических комплексах на основе внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами.

Диссертационная работа содержит результаты, выдвигаемые для публичной защиты, а также имеет практическую ценность. Программное обеспечение, разработанное в данной работе, прошло опробование в производственных условиях, что подтверждается актами о внедрении. Сформулированные автором выводы являются обоснованными и достоверными.

Диссертационная работа представлена в форме, позволяющей получить полное представление о проведенных теоретических и экспериментальных исследованиях. Автором корректно использованы ссылки на ранее известные результаты.

Полученные в работе результаты соответствуют поставленной цели и задачам. Результаты работы систематизированы и представлены в виде таблиц, графиков и схем.

Представленные в отзыве замечания в целом не снижают положительной оценки научной и практической ценности выполненной соискателем научно-квалификационной работы.

Тема и содержание работы соответствует:

- п.3. Методология, научные основы и формализованные методы построения автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) и производствами (АСУП), а также технической подготовкой производства (АСТПП);
- п.4. Теоретические основы и методы математического моделирования организационно-технологических систем и комплексов, функциональных задач и объектов управления и их алгоритмизация;
- п.6. Научные основы, модели и методы идентификации производственных процессов, комплексов и интегрированных систем управления;
- п.11. Методы планирования и оптимизации отладки, сопровождения, модификации и эксплуатации задач функциональных и обеспечивающих подсистем АСУТП, АСУП, АСТПП и др., включающие задачи управления качеством, финансами и персоналом;
- п.15. Теоретические основы, методы и алгоритмы интеллектуализации решения прикладных задач при построении АСУ широкого назначения (АСУТП, АСУП, АСТПП и др.);
- п.16. Теоретические основы, методы и алгоритмы построения экспертных и диалоговых подсистем, включенных в АСУТП, АСУП, АСТПП и др.

паспорта научной специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа Барбасовой Татьяны Александровны соответствует требованиям п. 9 Положения о порядке присуждения ученых степеней, утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 № 842 (ред. от 21 апреля 2016 г), а ее автор Барбасова Т.А. заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Официальный оппонент:

заведующий кафедрой вычислительной
техники и программирования,
ФГБОУ ВО «Магнитогорский
государственный технический
университет им. Г.И. Носова»,
доктор технических наук, профессор

Логунова

Оксана Сергеевна

«31» мая 2021 г.

Докторская диссертация защищена по научной специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

Федеральное бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова»

455000, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38,

Тел.: 8(3519) 235-759. E-mail: mgtu@mgtu.ru

Подпись доктора технических наук, профессора, заведующего кафедрой
вычислительной техники и программирования ФБОУ ВО «Магнитогорский государственный
технический университет им. Г.И. Носова» заверяю:

