

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке ФГАОУ ВО
«Уральский федеральный университет
имени первого Президента России
Б.Н. Ельцина»,
д-р физ.-матем. наук, доцент,
Германенко Александр Викторович

«24»

2021 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации о диссертационной работе
Барбасовой Татьяны Александровны «Методы и модели автоматизированного
ресурсосберегающего управления энергометаллургическим технологическим
комплексом», представленной на соискание ученой степени
доктора технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация
и управление технологическими процессами и производствами
(промышленность)»

1. Актуальность темы исследования

Металлургическое производство является одним из наиболее энергоемких производств, которое существенно определяет экономические и экологические показатели Уральского региона. Поэтому проблеме повышения энергетической эффективности металлургических предприятий здесь уделяется серьезное внимание. Однако, несмотря на большое количество работ в данном направлении, которые в основном ориентированы на решение локальных задач, системный эффект энергосбережения, соответствующий современному уровню промышленно развитых стран, еще не достигнут.

В этой связи представленная работа, направленная на снижение потребления покупных ресурсов металлургического предприятия, таких как природный газ и коксующиеся угли, на основе внедрения систем интегрированного планирования и автоматизированного управления процессами энергосбережения, безусловно развивает перспективное направление. Известно, что внедрение методов интегрированного планирования и автоматизированного управления процессами энергосбережения в области электроэнергетики в таких странах как, например, США и Германия, привело к существенному снижению энергоемкости производственных процессов. Однако проблема системного решения проблемы повышения энергетической эффективности в энергометаллургических комплексах, включающих как собственно металлургические процессы, так и процессы в энергетической подсистеме металлургического предприятия, в настоящее время недостаточно исследованы.

С этой точки зрения рассматриваемая работа, направленная на разработку методов и моделей автоматизированного ресурсосберегающего управления энергометаллургическими технологическими комплексами, является безусловно актуальной.

2. Новизна и практическая значимость работы

К числу наиболее значимых результатов, полученных лично автором и характеризующихся необходимым уровнем новизны, относятся следующие результаты:

1. В работе применительно к металлургическому производству предложено использовать концепцию интегрированного планирования и управления энергоресурсами. Исходя из предложенной концепции рассмотрена задача сведения всех локальных эффектов энергосбережения в ресурсосберегающую станцию. Образующиеся при этом резервы тепловой энергии, а также резервы тепловой энергии из иных источников с учетом их утилизации в буферной электростанции, позволили решить задачу снижения потребления природного газа и повышения выработки электрической энергии в энергометаллургическом технологическом комплексе.

2. Автором разработаны новые процедуры и алгоритмы управления переменными режимами энергетических котлов ресурсосберегающей станции, которые в условиях утилизации вторичных энергетических ресурсов обеспечивают в реальном времени адаптивную настройку по максимуму КПД режимов энергетических котлов.

3. Разработаны новые сигнально-ориентированные модели паро- и тепло-энергетических процессов, представляющие системные балансовые связи с использованием макромоделей динамики путей передачи входных управляющих потоков к входным узлам потоковых возмущений в сети, позволяющие осуществлять оперативное макро моделирование динамики сложных паро- и тепло-энергетических систем в задачах оперативного управления режимами сетей, что позволило обеспечить стабилизацию режимов паровой сети предприятия при интенсивных возмущениях со стороны технологических потребителей.

4. С целью снижения потребления кокса в работе предложено использовать технологии интеллектуального анализа данных в условиях нелинейной, нестационарной и случайной динамики доменных процессов. Для учета стохастических свойств доменного процесса было предложено использовать эллиптические области разброса режимных параметров. При этом для регулирования теплового состояния доменных процессов решается экстремальная задача нахождения эффективных областей управляющих параметров по критерию минимума показателя удельного расхода кокса.

5. В работе предложено использовать нейронные сети Кохонена для определения в реальном времени режимов работы доменных печей и нахождения коэффициентов влияния технологических параметров на производительность и удельный расход кокса доменных печей. Результаты интеллектуального анали-

за режимов работы доменных печей используются для регулирования с целью стабилизации их теплового состояния.

Внедрение результатов диссертационной работы подтверждено соответствующими актами.

3. Степень обоснованности и достоверности научных положений и выводов

Обоснованность и достоверность научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в работе, подтверждена корректным использованием известных научных методов обоснования полученных результатов. Проверка реализуемости и эффективности разработанных алгоритмов АСУ ТП и настроек систем автоматического управления для управления технологическими процессами по критериям энергетической эффективности проводилась при участии автора в процессе испытания и внедрения разработанных АСУ ТП энергометаллургического технологического комплекса ПАО «ММК».

Достоверность и обоснованность теоретических исследований, выводов и заключений в диссертации обеспечивается использованием методов теории автоматического управления, модельно-прогнозирующего управления, многоуровневых иерархических систем управления, математического моделирования, математической статистики.

Достоверность научных положений, представленных в диссертационной работе, подтверждается также результатами экспериментов на реальных объектах при использовании статистической информации, полученной от приборов коммерческого и технологического учета, аттестованных в установленном порядке. Причем данная информация используется службами ПАО «ММК» для контроля и управления технологическими процессами. С этой точки зрения, приведенная в диссертационной работе информация является достоверной. Проведенные экспериментальные исследования, тестовые испытания и эксплуатация разработанных АСУ ТП доказали их работоспособность и эффективность. Получена реальная экономия энергоресурсов на объектах металлургического производства.

Достоверность выводов в диссертационной работе:

1. Вывод о том, что для повышения энергетической эффективности энергометаллургических технологических комплексов, содержащих в своем составе развитые энергетические системы, в работе предлагается использовать методологию интегрированного планирования и управления, является *обоснованным*. В работе предлагается для планирования и управления процессами энергосбережения в энергометаллургических технологических комплексах использовать концепцию ресурсосберегающей станции.

2. Вывод о том, что на основе данной концепции на примере промышленной площадки ПАО «ММК» в работе проведен системный анализ целей и задач интегрированного планирования и управления энергетической эффективностью энергометаллургического технологического комплекса, является *достоверным*. В работе приведена технологическая структура управления ресурсосбережени-

ем в энергометаллургическом комплексе, и на ее основе с использованием концепции потоков сбереженных ресурсов проводится системный анализ целей и задач энергосбережения в энергометаллургических технологических комплексах.

3. Вывод о том, что в качестве ресурсосберегающей станции металлургического производства целесообразно использовать электрическую станцию, как центральное звено, использующую в т.ч. вторичные энергетические ресурсы, куда сводятся все локальные эффекты от энергосберегающих мероприятий, является *достоверным*. В работе предложены структура и функциональные алгоритмы автоматизированной системы управления эффективностью ресурсосберегающей станции.

4. Вывод о том, что интегральный эффект экономии объема потребления природного газа в рамках предложенной концепции ресурсосберегающей станции в рассматриваемом металлургическом производственном комплексе базируется на системной организации локальных задач энергосбережения, является *достоверным*. В работе рассмотрен подход к повышению энергетической эффективности энергометаллургического технологического комплекса на основе сведения всех его локальных эффектов энергосбережения в ресурсосберегающую станцию от оптимизации текущего КПД станции и максимизации потребления вторичных энергетических ресурсов металлургического производства; оптимизации нагрузки теплоэнергетических агрегатов; минимизации потерь энергетических ресурсов на «свече» доменного газа; минимизации потерь энергетических ресурсов на «свече» технологического пара за счет максимального аккумулирования вторичного технологического пара; минимизации потребления кокса за счет оптимизации режимов ведения доменной плавки; контроля энергоемкости технологических процессов.

5. Вывод о том, что для решения задач оперативного управления эффективностью пароснабжения потребителей в работе разработаны сигнально-ориентированные макромоделей технологических паровых систем и сетей металлургического производства, представляющие балансовые связи параметров моделей элементов, что позволяет осуществлять оперативное макро моделирование динамики сложных паровых систем и сетей, является *достоверным*. Разработанные динамические макромоделей распределенных технологических сетей тепло- и пароснабжения внедрены в практику оперативно-диспетчерского управления сетями промышленной площадки ПАО «ММК».

6. Вывод о том, что для доменного производства в работе предложено методическое, алгоритмическое и программное обеспечение экспертной системы, реализующей поддержку принятия решений по управлению технологическими процессами на основе построения областей повышенной эффективности в многомерном пространстве режимных параметров, является *достоверным*. В работе предложены стратегии оперативного управления доменным процессом с целью снижения потребления кокса и повышения производительности доменного процесса.

7. Вывод о том, что экономический эффект на уровне оперативного управления доменным процессом достигается за счет снижения кремния в чугуне при стабилизации теплового состояния доменной печи, *достоверен*. Оценка экономического эффекта подтверждена справкой о внедрении результатов диссертационной работы.

8. Вывод о том, что разработанный подход к интегрированному планированию и управлению энергоемкостью технологических процессов внедрен в практику управления эффективностью металлургического комплекса металлургического производства ПАО «Магнитогорский металлургический комбинат», подтверждается актами внедрения и является *достоверным*. Технический эффект, полученный на экономии природного газа, также подтверждается актом внедрения и является *достоверным*.

4. Значимость полученных результатов для науки и практики

Полученные результаты диссертационного исследования позволяют:

- оценить системный эффект от отдельных энергосберегающих мероприятий для теплоэнергетического комплекса и доменного производства;
- определить «узкие места» потери ресурсосберегающего эффекта в рассматриваемых комплексах металлургического предприятия;
- реализовать на основе внедрения автоматизированных систем управления технологическими процессами систему интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения для больших технологических комплексов.

5. Рекомендации по использованию результатов исследования

Внедрение результатов исследования рекомендуется осуществлять на металлургических предприятиях, имеющих собственный теплоэнергетический комплекс, рассматриваемый совместно с доменным производством.

Целесообразным направлением использования результатов работы является системный анализ и распространение разработанных методов и моделей автоматизированного ресурсосберегающего управления для энергометаллургических технологических комплексов.

Рекомендуем использовать разработанные методы и модели для ресурсосберегающего управления и на других металлургических предприятиях РФ.

Также рекомендуем научные разработки по теме диссертационного исследования использовать в учебном процессе при реализации образовательных программ подготовки бакалавров и магистров по направлениям 27.03.04, 27.04.04 «Управление в технических системах», 15.03.04, 15.04.04 «Автоматизация технологических процессов и производств», 22.03.02, 22.04.02 «Металлургия».

6. Структура и объем работы

Диссертационная работа состоит из введения, шести глав, заключения, списка библиографических источников, содержащего 148 наименований. Общий объем работы составляет 294 страницы, основного текста – 255 страниц.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы автором в 56 научных работах, в том числе 19 статьях в журналах, рекомендованных ВАК РФ, 19 статьях, индексированных в базах Scopus и WoS, 2 монографиях. Опубликованные материалы отражают основное содержание диссертации. Работа прошла достаточную апробацию на конференциях различного уровня.

В *первой* главе проведен обзор и анализ отечественных и зарубежных работ, посвященных как общим вопросам интегрированного планирования и управления энергетическими ресурсами, так и прикладным задачам применительно к энергометаллургическому комплексу, а именно вопросам повышения эффективности паровых котлов в теплофикационном комплексе металлургического предприятия, повышения эффективности систем пароснабжения, а также управления процессами энергосбережения доменным процессом.

Рассматривается типовая структура энергометаллургического комплекса для металлургических предприятий. Для рассматриваемой технологической структуры управления ресурсосбережением в энергометаллургическом комплексе сформулированы научные проблемы, на решение которых направлено исследование.

Во *второй* главе проводится системный анализ целей и задач энергосбережения на примере энергометаллургического технологического комплекса с использованием концепции потоков сбереженных ресурсов совместно с потоками реальных энергетических ресурсов. Также рассматривается электрическая станция в качестве энергосберегающей станции, как одно из центральных звеньев, куда сводятся все локальные эффекты от энергосберегающих мероприятий.

В *третьей* главе рассмотрены задачи системной организации локальных задач энергосбережения с использованием концепции энергосберегающей станции для достижения интегрального эффекта энергосбережения. Приведена методика управления режимами энергетических котлов на основе разделения динамических свойств объектов управления, при этом общая процедура идентификации объектов управления распадается на две частные процедуры: динамическую синхронизацию процессов и идентификацию коэффициентов передачи.

В *четвертой* главе рассматривается задача оперативного управления крупномасштабными сложными сетями тепло- и пароснабжения металлургических предприятий на основе применения динамического макро моделирования. Особенностью функционирования данных сетей является то, что они относятся к классу крупномасштабных сложных нелинейных систем. Сети, как правило, включают в себя десятки источников, сотни потребителей, сотни километров теплотрасс. Кроме того, сети металлургических предприятий характеризуются

выраженной динамикой потребления ресурсов, обусловленной переменными режимами работы технологического оборудования. Для решения задач оперативного управления в сетях технологического пароснабжения в работе предложена макромодель распределенной сети пароснабжения с демпфированием резко переменных нагрузок системой управления зарядно-разрядными процессами паровых аккумуляторов.

В *пятой* главе рассматриваются вопросы эффективного управления доменным процессом как составной части комплексной задачи интегрированного планирования и управления ресурсами в металлургическом производственном комплексе.

Приведено описание разработанного программного обеспечения определения оптимальных значений технологических параметров доменной плавки для решения задач максимизации выработки чугуна, минимизации потребления кокса, минимизации себестоимости чугуна или стали металлургического производственного комплекса на основе построения областей повышенной эффективности в пространстве режимных параметров. Данное программное обеспечение внедрено в практику интегрированного управления эффективностью металлургического комплекса ПАО «ММК».

В *шестой* главе рассмотрены вопросы планирования и контроля энергоэффективности технологических процессов на основе интегрированного планирования и управления энергоемкостью технологических процессов исходя из статистических данных, данных технологических испытаний и энергетических экспертиз.

В заключении приводится диаграмма потоков сбереженных энергетических ресурсов, построенная на основе решения поставленных в работе задач. Это позволило для рассматриваемых сложных технологических комплексов системно рассмотреть связи локальных задач энергосбережения, построить системную диаграмму связей и провести системный анализ всего комплекса задач с целью достижения максимального технико-экономического эффекта во всем технологическом комплексе в целом.

Диссертационная работа содержит достаточное количество исходных данных, имеет пояснения, рисунки, графики и расчеты. По каждой главе и работе в целом приведены выводы.

Автореферат соответствует основному содержанию диссертационного исследования.

7. Замечания по диссертационной работе

1. Повышение КПД энергетических котлов электрических станций является типовой задачей обеспечения эффективности работы энергетических котлов, решению которой посвящена обширная литература. В диссертации четко не выделено отличие рассматриваемой в работе постановки задачи оптимизации КПД котлов от известных постановок задачи. В чем состоит специфические особенности предложенного метода решения и почему нельзя было использовать уже известные методы?

2. Доменный процесс изучается достаточно давно и на сегодняшний день исследователями предложены различные подходы к разработке моделей доменного процесса, в частности: 1) исходя из внутренней структуры явлений, протекающих в системе, на основе универсальных законов сохранения и других фундаментальных физических и физико-химических закономерностей; 2) балансово-статистические методы; 3) кинетико-динамические модели; 4) натурно-математический подход и др. В чем состоят преимущества предложенных расчетных моделей анализа теплового состояния доменных процессов по сравнению с известными моделями?

3. В работе недостаточно раскрыты конкретные алгоритмы оперативного управления тепловым состоянием доменного процесса.

4. На современном уровне развития цифровизации управления технологическими процессами для повышения их эффективности разрабатываются специализированные системы поддержки принятия решений в реальном времени. В работе нет описания предлагаемой автором компьютерной системы поддержки принятия решений для мастера доменной печи.

Необходимо отметить, что данные замечания не оказывают существенного влияния на общую положительную оценку диссертационного исследования и полученных в ней выводов и результатов.

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

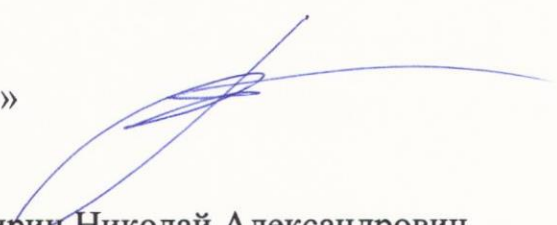
Оценивая работу в целом, считаем, что диссертация Барбасовой Татьяны Александровны является законченной научно-квалификационной работой, в которой освещены системные вопросы интегрированного планирования и управления процессами энергосбережения на основе внедрения автоматизированных систем управления отдельными технологическими процессами. Приведенные научные результаты и выводы свидетельствуют о решении крупной актуальной научно-технической проблемы интегрированного планирования и управления ресурсами в энергометаллургических комплексах на основе внедрения на практике предложенных автоматизированных систем управления технологическими процессами. Представленные в работе исследования достоверны, выводы и рекомендации обоснованы. Приведенные замечания не являются существенными и не влияют на общую положительную оценку рассматриваемой работы. Автореферат соответствует содержанию диссертационной работы.

Вышеизложенное позволяет утверждать, что диссертационная работа Барбасовой Татьяны Александровны полностью соответствует требованиям п.9, п.10, п.11, п. 13, п.14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» в части требований, предъявляемым к докторским диссертациям, а ее автор заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Диссертационная работа Барбасовой Т.А. и отзыв о ней обсуждены и одобрены на расширенном заседании кафедры «Теплофизика и информатика в металлургии» федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», протокол №05 от «20» мая 2021 г.

Отзыв составлен:

Д.т.н., профессор, заведующий кафедрой
«Теплофизика и информатика в металлургии»
Института новых материалов и технологий,
заслуженный работник высшей школы РФ


Спирин Николай Александрович

Тел. +7 (343) 375-48-15

Докторская диссертация защищена по специальности:
05.16.02 – Металлургия черных, цветных и редких металлов

Д.т.н., доцент, профессор кафедры
«Теплофизика и информатика в металлургии»
Института новых материалов и технологий,
почетный работник сферы образования РФ


Лавров Владислав Васильевич

Тел. +7 (343) 375-44-51

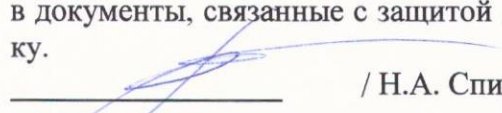
Докторская диссертация защищена по специальности:
05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия)

Подписи Н.А. Спирина и В.В. Лаврова заверяю:



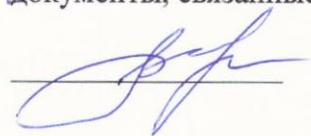
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина». Адрес: 620002, Уральский федеральный округ, Свердловская область, Екатеринбург, ул. Мира, 19; тел.: +7 (343) 375-45-07; 375-46-09, 375-97-78 (факс), rector@urfu.ru

Я, Спирин Николай Александрович, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Барбасовой Т.А. и их дальнейшую обработку.


/ Н.А. Спирин /

«21» мая 2021 г.

Я, Лавров Владислав Васильевич, даю согласие на включение своих персональных данных в документы, связанные с защитой диссертации Барбасовой Т.А. и их дальнейшую обработку.


/ В.В. Лавров /

«21» мая 2021 г.