

«УТВЕРЖДАЮ»

Ректор ФГБОУ ВО «Пермский  
национальный исследовательский  
политехнический университет»,  
д.ф.-м.н., профессор



7  
А. А. Ташкинов

« 19 » НОЯБРЯ 2018 г.

## ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» на диссертационную работу БОБКОВА ВЛАДИМИРА ИВАНОВИЧА, выполненную на тему **«Методическое и программно-информационное обеспечение принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности химико-энерготехнологических систем производства фосфоритовых окатышей»** и представленную на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология)»

### I. Степень актуальности темы диссертационного исследования

Определение экономически эффективных технологических схем и режимная адаптация аппаратов с учётом изменения свойств минерального сырья представляют собой сложную технологическую задачу. Сказанное полностью относится к сложной многостадийной химико-энерготехнологической системе (ХЭТС) производства фосфоритовых окатышей. Экспериментальные исследования совокупности энергоёмких химико-энерготехнологических процессов (ХЭТП) сушки, прокалки (или диссоциации карбонатов) и спекания окатышей очень дорогостоящи, а порой и не осуществимы в силу особенностей их протекания во времени при больших температурах в химически активных средах. Кроме этого те известные методики расчёта процессов термической подготовки, которые достаточно полно учитывают специфические особенности и свойства сырья, сами в большинстве случаев являются эмпирическими. Изменение химического или гранулометрического состава сырья влечёт за собой необходимость проведения экспериментальных исследований и адаптации к ним основных агрегатов ХЭТС. А наличие взаимосвязанных химико-энерготехнологических процессов при обжиге сырьевых материалов обуславливает применение в данном исследовании методов системного анализа и многомасштабного математического моделирования. Применение этих

методов позволяет определить теплофизические и химико-технологические характеристики химико-энерготехнологических процессов, выявить наиболее важные целевые процессы, проходящие в обжиговых машинах конвейерного типа как в сложных ХЭТС, а также оптимизировать режимные параметры указанных систем.

В своей диссертации Бобков В.И. достаточно убедительно обосновывает, что важной научной проблемой, имеющей как теоретическое, так и практическое значение, является разработка новых методов системного анализа и обработки информации при моделировании основных целевых термически-активируемых процессов, протекающих при термической подготовке сырья, поиск оптимальных режимов обжига, обеспечивающих определение целевых параметров энергоресурсосбережения при производстве фосфоритовых окатышей, а также – требуемых показателей качества готового продукта.

Рассматривая современные методики принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности сложных энергоёмких многостадийных ХЭТС используемые в металлургической, фосфорной и горно-обогащительной индустрии, можно сделать заключение об отсутствии в настоящее время эффективных инструментов и программно-информационного обеспечения для решения задач энергоресурсосбережения в условиях изменения химического, гранулометрического и литологического состава минерального сырья.

Из сказанного следует, что тема диссертации Бобкова В.И. актуальна, а результаты его исследования могут быть применены при разработке методического и программно-информационного обеспечения принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности ХЭТС производства фосфоритовых окатышей, используемых на горно-обогащительных комбинатах РФ.

## **II. Краткая характеристика диссертационной работы и обоснование степени новизны полученных результатов**

Диссертация Бобкова В.И. состоит из введения, семи глав, заключения, списка литературы, включающего 315 наименований и 3 приложений. Диссертация содержит 293 страницы машинописного текста, 91 рисунок и 34 таблицы.

Список литературы включает современные основные публикации по рассматриваемой проблематике, на которые в тексте диссертации сделаны корректные ссылки.

Все представленные материалы, содержащиеся в диссертации, оформлены в соответствии с предъявляемыми требованиями, снабжены необходимым количеством рисунков и таблиц. Автореферат адекватно отражает содержание диссертации.

Во введении (стр. 10 – 23) достаточно убедительно обоснована актуальность темы диссертации, а также чётко сформулированы научные задачи исследования. Корректно определены объект и предмет исследования, положения, выносимые на защиту, приведены сведения об апробации результатов.



В первой главе (стр. 24 – 61) приведены результаты анализа современного состояния научных исследований сложных динамических энергоёмких химико-энерготехнологических систем выполненных с помощью методов системного анализа, рассмотрены методики решения задач по оптимизации энергоресурсоэффективности ХЭТС и перспективы их развития применительно к проведению энергоресурсосберегающих мероприятий.

В заключение первой главы докторантом были сформулированы следующие выводы, которые в дальнейшем использовались для обоснования основных научных положений диссертации:

1. Системный анализ современных научных исследований сложных энерготехнологических объектов выявил, что в металлургической и горно-обогатительной промышленности предприятия с непрерывными химико-энерготехнологическими процессами являются крупнейшими потребителями различных видов топливно-энергетических ресурсов. Отличительной особенностью установок и производств указанных отраслей промышленности является наличие в их структуре ХЭТП, функционирование которых сопровождается поглощением значительного количества теплоты.

2. Обоснован выбор научной проблемы для исследования сложной многостадийной ХЭТС – обжиговой конвейерной машины с оптимальными удельными расходами сырья, топливно-энергетических ресурсов, минимальным воздействием на окружающую среду на основе оптимального управления ХЭТП, интенсификации ТМП и режима функционирования ХЭТС и подсистемами, целесообразности в этой связи развития информационного и системного подхода, оперирующего критериями энергоресурсоэффективности.

3. Системный анализ сложной многостадийной ХЭТС для производства фосфоритовых окатышей позволил научно обосновать, что энергоресурсоэффективность ХЭТС определяется возможностью оптимального управления физико-химическими превращениями, протекающими в фосфатном сырье при термической подготовке и переработке на базе интенсификации тепло-массообмена. В свою очередь управление и оптимизация ХЭТП и интенсификация ТМП зависит от степени их изученности, глубины понимания всей картины явлений в рассматриваемой технологии. Основание для более углублённого и системного исследования ХЭТП – низкая на сегодняшний день эффективность использования материальных, энергетических и вторичных ресурсов в процессах и аппаратах фосфорной промышленности.

4. С применением системного подхода исследована сложная ХЭТС обжига фосфоритовых окатышей как совокупность взаимосвязанных и взаимозависимых термически активируемых ХЭТП сушки, прокали и спекания, обеспечивающих конечную прочность обожжённых окатышей. Все перечисленные процессы протекают с поглощением теплоты и являются весьма энергоёмкими. Выявлены кинетические параметры и определены эвристические константы для уравнений, описывающих эти ХЭТП.

5. Системный анализ современных методов принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности ХЭТС и факторов, существенно



влияющих на энергоэффективность тепловых аппаратов производства фосфоритовых окатышей, показал, что методы принятия решений по оптимизации можно условно разделить на три основные группы: сырьевые, технологические и конструктивно-теплообменные (или конструктивно-тепловые).

Во второй главе (стр. 62 – 79) содержатся основные результаты диссертации, характеризующие ее вклад в научное направление, связанное с многомасштабным математическим моделированием химико-энерготехнологического процесса многослойной сушки фосфоритовых окатышей в динамическом плотном слое с перекрёстной подачей сушильного агента.

К результатам второй главы, которые обладают научной новизной, можно отнести следующие положения:

1. Разработаны математическая и компьютерная модели химико-технологического процесса сушки движущейся плотной многослойной массы фосфоритовых окатышей в конвейерной обжиговой машине, отличающиеся учётом интенсивности процесса внутреннего влагопереноса в окатыше и процессов переувлажнения отдельных горизонтов в нагреваемом слое окатышей, что позволяет определять технологические параметры режима сушки.

2. Проведена проверка адекватности разработанной математической модели по результатам сравнительного анализа рассчитанных значений влагосодержания и температуры окатышей, характеристик газа-теплоносителя, а также значений интенсивности влагопереноса в окатышах при сушке в движущемся плотном слое с результатами промышленных испытаний.

3. Проведены многочисленные вычислительные эксперименты по определению: относительной степени высушивания, влагосодержания, интенсивности сушки окатышей и влагосодержания газа-теплоносителя при различных характеристиках сырых окатышей и параметрах технологического режима функционирования обжиговой конвейерной машины.

В третьей главе (стр. 80 – 151) представлены многомасштабные математические модели химико-энерготехнологических процессов прокали и спекания фосфоритовых окатышей. В главе рассмотрены результаты системного анализа химико-энерготехнологических процессов прокали и спекания окатышей как объектов исследования и управления. Дана методика системного подхода к обработке информации при неизотермических экспериментальных исследованиях ХЭТП спекания и прокали в одиночном окатыше. Приведены многомасштабные математические модели ХЭТП процессов прокали и спекания в одном окатыше и в движущемся плотном слое окатышей. Представлена методика организации вычислительных экспериментов по проверке адекватности многомасштабных математических моделей ХЭТП процессов спекания и прокали.

К результатам третьей главы относятся следующие положения:

1. Разработаны многомасштабная математическая и компьютерная модели многостадийного химико-энерготехнологического процесса (ХЭТП) обжига фосфоритовых окатышей, включающего реакции декарбонизации и про-



цесс спекания движущейся плотной многослойной массы фосфоритовых окатышей в сложной химико-энерготехнологической системе (ХЭТС), которой является конвейерная обжиговая машина, отличающиеся учётом явлений внутреннего теплопереноса и поглощения теплоты в окатыше, а также процесса образования малопрочных оксидов магния и кальция с новыми физико-термическими свойствами.

2. Проверена адекватность разработанной математической модели ХЭТП обжига по результатам сравнительного анализа рассчитанных с помощью компьютерной модели основных физико-химических переменных ХЭТП (доля подвергшихся диссоциации карбонатов внутри окатышей, прочность готовых окатышей, температура материала окатышей и газа-теплоносителя) с результатами промышленных экспериментов в высокотемпературной зоне ХЭТС.

3. Проведены многочисленные вычислительные эксперименты по определению режимных параметров ХЭТП обжига (температура и скорость подачи газа-теплоносителя) при различных физико-химических характеристиках исходного фосфатного сырья и внешнего потока газа-теплоносителя, которые позволили выявить влияние взаимосвязанных химических процессов реакции диссоциации карбонатов и процесса спекания на качество окатышей в движущейся многослойной массе фосфоритовых окатышей.

В четвертой главе (стр. 152 – 177) описаны алгоритмы принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью химико-энерготехнологического процесса сушки фосфоритовых окатышей. Представлены содержательная и математическая постановки задачи оптимального управления ХЭТП сушки. Разработан алгоритм принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТП сушки с использованием дискретного динамического программирования. Описана методика проведения вычислительных экспериментов по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТП сушки.

В результате проведённых исследований в четвёртой главе разработаны математическая постановка и алгоритм решения задачи динамического программирования, программно-реализованный в среде программирования Borland C++.

Анализ результатов показал, что в зоне сушки из движущейся многослойной массы фосфоритовых окатышей большая по массе часть воды испаряется раньше, чем окатыши поступают в технологические зоны предварительного подогрева и высокотемпературного обжига, и оставшаяся часть влаги может разрушать окатыши при форсированном интенсивном нагревании.

Таким образом, разработанный вычислительно-эвристический алгоритм условной оптимизации энергоэффективности многостадийного ХЭТП сушки многослойной массы фосфоритовых окатышей на каждой стадии его дискретизации по времени в каждой вакуум-камере позволяет находить научно обоснованные оптимальные по энергозатратам и качеству высушенных ока-



тышей режимы функционирования ХЭТС в локальных зонах сушки конвейерных обжиговых машин.

В пятой главе (стр. 178 – 189) разработаны многоуровневые алгоритмы оптимального управления энергоресурсоэффективностью химико-энерготехнологических процессов прокали и спекания фосфоритовых окатышей. Представлена содержательная и математическая постановка задачи многоуровневого оптимального управления ХЭТП прокали и спекания. Разработан многоуровневый алгоритм оптимального управления энергоресурсоэффективностью ХЭТП прокали и спекания с использованием дискретного динамического программирования. Усовершенствована методика проведения вычислительных экспериментов по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТП прокали и спекания.

В результате проведённых в пятой главе теоретико-экспериментальных исследований, автором разработаны математическая и компьютерная модели оптимизации энергоресурсоэффективности многостадийного ХЭТП обжига фосфоритовых окатышей в ХЭТС конвейерной обжиговой машины, отличающиеся учётом явлений внутреннего теплопереноса и поглощения теплоты в окатыше при диссоциации карбонатов, процессов образования новых фаз и возникновения малопрочных оксидов магния и кальция с новыми физико-термическими свойствами.

Проведены многочисленные вычислительные эксперименты по определению оптимальных значений режимных параметров сложного многостадийного ХЭТП обжига окатышей при различных физико-химических составах исходного фосфатного сырья и газа-теплоносителя, которые позволили определить влияние на качество производимых фосфоритовых окатышей взаимосвязанных реакций диссоциации карбонатов и процессов спекания в движущейся многослойной массе.

В шестой главе (стр. 190 – 207) описаны алгоритмы принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью химико-энерготехнологической системы производства фосфоритовых окатышей. Представлена содержательная и математическая постановка задачи оптимального управления ХЭТС производства окатышей. Разработан алгоритм принятия решений по оптимальному управлению ХЭТС. Предложены научно-обоснованные инженерно-технологические и аппаратурно-технические решения по оптимизации энергоресурсоэффективности ХЭТС.

Основной научный результат, полученный в шестой главе, заключается в следующем: рассмотрена постановка содержательной и математической задачи оптимального управления ХЭТС обжига многослойной массы окатышей, учитывающая наличие эндотермических эффектов фазовых переходах влаги при ХЭТП сушки, химических реакций декарбонизации при ХЭТП прокали химико-физического термического ХЭТП спекания.

В комплексе учитываются уменьшение прочности, обусловленное возникновением новой непрочной фазы оксидов, упрочнение окатышей за счёт спекания, оплавление материала окатышей, уменьшающее их прочность.



Используя представленную модель, комплексно учитывающую все целевые ХЭТП обжига и полученные результаты, можно определять оптимальный энергоресурсоэффективный температурный и газодинамический режимы обжига окатышей для достижения требуемого влагосодержания, необходимых степеней декарбонизации и прочности готовых окатышей.

На практике обжиг окатышей проводится в обжиговых машинах конвейерного типа. Рассматривая обжиг в динамическом плотном слое, можно получить полную картину протекания физико-химических процессов.

Оптимальное управление ХЭТП в ХЭТС с учётом полученных данных и на основе представленной математической модели позволяет максимально снизить количество возврата и обеспечить ресурсо- и энергосберегающие условия функционирования обжиговых агрегатов.

В седьмой главе (стр. 208 – 236) содержатся основные результаты практического применения разработанных алгоритмов и комплексов программ принятия решений для оптимизации энергоресурсоэффективности химико-энерготехнологической системы обжиговой конвейерной машины ОК-520/536Ф. Представлена архитектура, программно-информационное обеспечение и режимы функционирования автоматизированной системы поддержки принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТС. Осуществлён анализ структуры и свойств обжиговой машины ОК-520/536Ф как сложной ХЭТС, расчёт требуемых оптимальных значений физико-химических параметров готовых окатышей при работе обжиговой машины ОК-520/536Ф. Разработаны научно-обоснованные рекомендации по оптимизации режима функционирования и по модернизации аппаратурно-технического оформления обжиговой машины ОК-520/536Ф.

### **III. Теоретическая значимость полученных в диссертации результатов**

Совокупность результатов научных исследований по системному анализу ХЭТС и разработке многомасштабных математических моделей ХЭТП, а также многоуровневых алгоритмов принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности сложных ХЭТС вносит существенный вклад в развитие теоретических основ системного анализа, математического моделирования и оптимизации сложных химико-энерготехнологических систем производств химической, металлургической и нефтегазохимической промышленности.

### **IV. Практическая значимость результатов диссертации**

1. Применение результатов научно-технических разработок и реализация предложенных на их основе научно-обоснованных рекомендаций по обеспечению оптимальной энергоресурсоэффективности ХЭТС производства жёлтого фосфора использованы в ТОО «Казфосфат» «Новоджамбульский фос-



форный завод» (Республика Казахстан) позволило повысить качество выпускаемой продукции при существенном снижении удельной энергоёмкости.

2. Практическое применение разработанных методик и алгоритмов в ОАО «Уральский институт металлов» позволило расчётным способом определять теплофизические и физико-химические свойства сырья, а также – оптимальные параметры режимов работы ХЭТС обжиговых машин.

На основе использования полученных научно-технических результатов, выводов и разработанного программно-информационного обеспечения принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности ХЭТС определён оптимальный режим функционирования обжиговой машины типа ОК, который позволяет сформировать в движущейся многослойной массе окатышей более мощную по сравнению с традиционным режимом устойчивую тепловую волну, глубже проникающую вглубь слоя, что обеспечивает оптимизацию параметров ХЭТП сушки, прокали и спекания окатышей. Научно-обоснованные значения оптимальных параметров технологических режимов ХЭТС обеспечивают оптимальную энергоресурсоэффективность и производительность при значительном улучшении качества готовых окатышей.

3. Полученные научно-обоснованные выводы и инженерно-технологические результаты могут быть использованы для определения оптимальных технологических режимов действующих ХЭТС обжиговых машин конвейерного типа для производства металлургических окатышей.

4. Полученные основные научные и практические результаты использованы при ежегодной актуализации учебных планов и основных образовательных программ для обучения на кафедре Логистики и экономической информатики магистров по направлению 18.04.02 «Энерго- и ресурсосберегающие процессы в химической технологии, нефтехимии и биотехнологии» по магистерской программе «Энергоресурсоэффективные высоконадёжные производства и цепи поставок нефтегазохимического комплекса», а также при обучении аспирантов по направлениям: 05.13.01 «Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология)», 05.13.18 «Математическое моделирование, численные методы и комплексы программ» и 05.13.06 «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (химическая технология; нефтехимия и нефтепереработка; биотехнология)».

## **V. Достоверность и обоснованность результатов диссертации**

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций диссертации базируется на использовании общепринятых апробированных научных положений, методологии системного подхода, научных методов экспериментальных исследований; применении методов системного анализа, методов динамического программирования, методов теории оптимального управления сложными системами с распределёнными параметрами; подтверждается согласованностью полученных новых научных результатов с известными теоретическими положениями.



## **VI. Соответствие полученных результатов шифру специальности**

Научные положения, выводы и рекомендации диссертации соответствуют следующим пунктам паспорта специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология)»:

п.2. «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации управления принятия решений и обработки информации»;

п.3. «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработка информации»;

п.4 «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации управления принятия решений и обработка информации».

## **VII. Рекомендации ведущей организации по практическому использованию результатов диссертационной работы**

Предложенные в диссертации инструменты могут практически использоваться при разработке или модернизации обжиговых конвейерных машин в ОАО «Научно-исследовательский институт металлургической теплотехники» (ОАО «ВНИИМТ») г. Екатеринбург, который широко известен в России и странах СНГ. Институт ориентирован на разработку высокоэффективных теплотехнических агрегатов, экономичных и экологически чистых технологий в чёрной и цветной металлургии, машиностроении и других топливопотребляющих отраслях промышленности.

Практическое использование результатов диссертации в «Научно-инженерном центре подготовки сырья и рудотермических процессов» ОАО «Уральский институт металлов» позволит интенсифицировать исследования по дальнейшему совершенствованию и реализации инновационных технологических процессов в чёрной металлургии. Совершенствовать существующие и разрабатывать новые технологические процессы подготовки сырья, производить оценку рудных и нерудных материалов, включающую исследования обогатимости и окускования (окомкование, агломерация, брикетирование), термический анализ, определение физико-механических свойств, продуктов, разработку технологических схем передела, технико-экономический анализ.

Научно-практические результаты диссертационного исследования по теплотехническим и физико-химическим процессам обжига окатышей и создания энергоресурсоэффективных схем функционирования обжиговых машин конвейерного типа могут быть применены в ОАО «Михайловский ГОК» (МГОК) для апробации и внедрения технических решений модернизации обжиговых машин ОК-520.

Развитие многомасштабных моделей термической обработки движущегося плотного слоя окатышей, связывающих между собой параметры газовых потоков, качественные показатели окатышей и технико-экономические показатели их производства находит применение в ОАО «Оскольский электрометаллургический комбинат» (ОЭМК) на обжиговой машине Лурги-480.



Разработанные в диссертационной работе методики принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности функционирования агрегатов используются в ОАО «Карельский окатыш» (КостГОК) при производстве высококачественных окатышей на обжиговой конвейерной машине ОК-520/536.

### **VIII. Замечания по диссертационной работе, отмеченные ведущей организацией**

1. К сожалению, в первой главе диссертации достаточно скудно представлена информация о современных научных исследованиях уральской школы металлургов в области производства окатышей в обжиговых конвейерных машинах, проводимых такими учёными как Брагин А.А. и Буткарёв В.В.

2. По мнению ведущей организации, диссертанту при описании упрощённой схемы цепи поставок для производства фосфоритовых окатышей, изображённой на странице 27 рисунке 1.1.1 следовало бы привести более строгое обоснование выбора в качестве объекта исследования и оптимизации энергоресурсоэффективности сложной химико-энерготехнологической системы конвейерной обжиговой машины с учётом того, что на указанной схеме показан также более энергоёмкий объект – рудно-термическая печь.

3. При описании математической модели локализованного фронта испарения в окатыше на странице 63 обосновывается необходимость учёта при интегрировании уравнения (2.2.1) того обстоятельства, что влагосодержание и температура сушильного агента могут изменяться с течением времени. В результате предлагается соотношение (2.2.2), которое описывает зависимость влагосодержания и температуры сушильного агента – газа-теплоносителя от времени. По мнению ведущей организации, следовало бы подробнее пояснить, почему для получения уравнения (2.2.3) на основе интегрирования соотношения (2.2.2) изменением указанных переменных во времени можно пренебречь.

4. При исследовании зависимости теплофизических характеристик окомкованного фосфатного сырья на странице 117 диссертантом заявлено, что решалась инверсная задача теплопроводности. Также указаны диапазоны возможного изменения температур и скорость нагрева образцов окатышей из размолотого фосфорита. На странице 118 диссертации на рис. 3.2.9 и странице 119 на рис. 3.2.10 приведены полученные результаты решения данной задачи. Однако обратные задачи являются некорректными по Адамару, поэтому для их решения обычно применяют «регуляризующие» алгоритмы. Автору следовало бы подробнее пояснить, каким образом данное обстоятельство было учтено при реализации выбранных алгоритмов расчётов, результаты которых приведены на указанных рисунках.

5. Автор на странице 180 отмечает следующее - «чтобы сконструировать функционал типа (5.1.3) (это, очевидно, опечатка надо смотреть формулу 5.1.1), линейный по отношению к частным критериям, важно безошибочно и



относительно просто выбирать коэффициенты  $\alpha_r$ ». В тексте диссертации автору следовало более детально прописать процедуру определения данных коэффициентов, т.к. от их значений существенно зависит результат расчёта. Автор же ограничился общей фразой - «в научных трудах по многокритериальной оптимизации научно обосновывается правило подбора коэффициентов  $\alpha_r$ ».

6. В диссертации на странице 198 приведён рисунок 6.2.1., иллюстрирующий упрощённую схему иерархии уровней алгоритма принятия решений по оптимальному управлению ХЭТС производства фосфоритовых окатышей. Из рисунка в явном виде не следует, как разработанный автором многоуровневый алгоритм оптимального управления ХЭТС производства фосфоритовых окатышей связан с разработанной многомасштабной математической моделью с учётом наличия сложной структуры управления данной системой.

#### **IX. Оценка соответствия диссертации требованиям Положения о порядке присуждения учёных степеней**

Высказанные выше замечания не влияют на положительную итоговую оценку диссертации в целом. Основные результаты диссертации опубликованы в 69 печатных научных работах, в том числе 12 публикаций в журналах, индексируемых в международных системах WoS и Scopus; 43 публикации – в журналах, рекомендованных ВАК; 1 монография. Работы опубликованы в установленные сроки, необходимые для ознакомления с полученными результатами широкой научной общественности и специалистов, занимающихся решением практических задач в области системного анализа и создания методического и программно-информационного обеспечения принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности сложных многостадийных химико-энерготехнологических систем, что позволяет обеспечивать выпуск высококачественных окатышей при минимальных затратах на топливно-энергетические ресурсы. Анализ диссертационной работы Бобкова В.И. позволяет сделать вывод о том, что она представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой решена научная проблема оптимизации энергоресурсоэффективности сложных многостадийных химико-энерготехнологических систем. Данная проблема имеет важное хозяйственное значение для металлургической и фосфорной промышленности, а также для отраслей, связанных с обогащением природного минерального сырья на горно-обогатительных комбинатах страны.

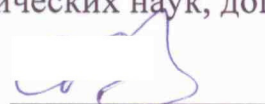
Подводя итог сказанному, можно заключить, что диссертационная работа удовлетворяет критериям, сформулированным в пп.9-14 «Положения о присуждении учёных степеней» (Постановление Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 года, №842 в редакции от 01.10.2018), а её автор – Бобков Владимир Иванович заслуживает присуждения учёной степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 - «Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология)».



Отзыв заслушан и утверждён на расширенном заседании кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет».

Протокол расширенного заседания кафедры ОАХП №2 от 12.11.2018 г.

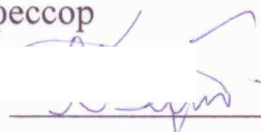
Заведующий кафедрой «Оборудование и автоматизация химических производств» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор, доктор технических наук, доцент

  
Е.Р. Мошев

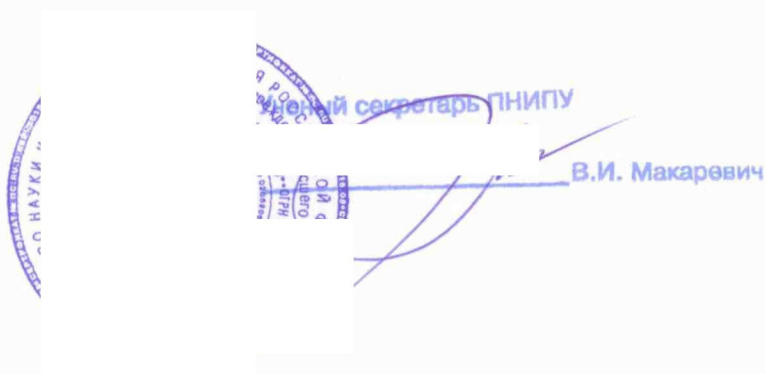
Научный руководитель кафедры «Оборудование и автоматизация химических производств» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», профессор, доктор технических наук, профессор

  
А.Г. Шумихин

Профессор кафедры «Вычислительная математика и механика» ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет», доктор физико-математических наук, профессор

  
М.Б. Гитман

Подписи Мошева Евгения Рудольфовича, Шумихина Александра Георгиевича и Гитмана Михаила Борисовича заверяю.

  
В.И. Макаревич

Адрес: 614990, Пермский край, г. Пермь, Комсомольский проспект, д. 29  
ФГБОУ ВО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет»

Телефон/факс: +7 (342) 219-80-67, 212-39-27

E-mail: rector@pstu.ru