

ОТЗЫВ ОФИЦИАЛЬНОГО ОППОНЕНТА

на диссертацию Бобкова Владимира Ивановича «Методическое и программно-информационное обеспечение принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности химико-энерготехнологических систем производства фосфоритовых окатышей», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология)»

Диссертационная работа В.И.Бобкова посвящена проблеме оптимизации энергоресурсоэффективности химико-энерготехнологических систем на примере производства фосфоритовых окатышей.

Актуальность темы диссертации

Аналитический обзор состояния проблемы уменьшения удельных затрат энергетических ресурсов на тонну выпускаемой продукции в сложных технических системах, реализующих химические технологии на основе нагрева перерабатываемого сырья и, в частности, в производстве фосфоритовых окатышей, показал, что теоретическим и прикладным методам решения этой проблемы посвящено немного исследований.

В то же время на современном этапе развития химической и металлургической промышленности, характеризующем процессами обеднения руд и снижением степени их доступности, одним из важнейших производственных процессов является термическая подготовка окомкованного сырья для его последующей транспортировки и переработки с целью получения окатышей. Данный процесс может быть использован для переработки техногенных отходов российских горно-обогатительных комбинатов - при добыче руды до 50% сырья теряется в виде неиспользуемых мелкодисперсных фракций, накапливающихся в отвалах. Данная ситуация характерна и для фосфоритного сырья, используемого в черной и цветной металлургии, химической и горно-обогатительной промышленности. Неиспользуемые многотоннажные отвалы мелкодисперсных фракций – это не только ущерб, наносимый окружающей среде, но и безвозвратно теряемое в результате ветровой и водной эрозии минеральное сырье. Вовлечение этого сырья в эксплуатацию посредством окомкования, производства окатышей и последующей переработки, в чем оппонент согласен с диссертантом, позволит получить значительный экономический эффект.

Рецензируемая диссертация направлена на решение важной научной проблемы формирования методологических основ системного подхода к оптимизации и инжинирингу энергоресурсоэффективных экологически безопасных многостадийных систем на горно-обогатительных комбинатах и химических предприятиях в обжиговых машинах конвейерного типа для производства окатышей.

Тема и цель научного исследования определили перечень задач, решение которых позволило разработать методологический аппарат для системного анализа и алгоритмы принятия решений по управлению энергоресурсоэффективными системами химических предприятий и разработать комплексный алгоритм оптимального управления взаимосвязанными тепломассообменными процессами, реализуемыми в обжиговых машинах, с учетом параметров исходного мелкодисперсного сырья и требований к продукции на выходе печи.

Существенное хозяйственно-экономическое значение научных результатов диссертации, непосредственно связанных с избранной темой исследования, позволяет подтвердить вывод **о ее своевременности и актуальности.**

Научные результаты исследований и их новизна

К новым научным результатам диссертационной работы следует отнести следующие.

- На основе декомпозиции на три уровня сложной многостадийной химико-энерготехнологической системы (ХЭТС) производства фосфоритовых окатышей и протекающих в ней процессов (процессы в отдельном окатыше; в вертикальной многослойной статической и движущейся укладке окатышей) выявлен потенциал энергоресурсосбережения при эксплуатации подобных систем, что позволило автору обосновать подход к построению модели процессов в ХЭТС с учетом характеристик ее основных подсистем (сушки, прокалки и обжига), а также их элементов в виде отдельных вакуум-камер.

- Разработана математическая модель процесса испарения в фосфоритовом окатыше, отличающаяся учетом кинетики влагосодержания в окатыше, а также особенностей распространения локализованного фронта испарения от поверхности окатыша к его центру.

- Предложена и обоснована математическая модель сложного многостадийного процесса сушки движущейся в обжиговой конвейерной машине плотной многослойной массы окатышей, отличающаяся учетом эффекта перераспределения влаги по ее высоте, которое приводит к избыточной влажности окатышей в отдельных слоях.

- Разработаны математические модели сложных многостадийных взаимозависимых процессов прокалки и спекания окатышей в зоне высокотемпературного обжига обжиговой машины, отличающиеся учетом негативного процесса остеклования и последующего разрушения окатышей при нарушении температурного режима, что позволяет методами системного анализа и оптимизации выявить и использовать потенциал повышения энергоресурсосбережения в производственных системах термической подготовки сырья.

- Разработаны математические модели и алгоритм оптимального управления процессами прокалки и спекания движущейся плотной многослойной массы окатышей, отличающиеся учетом физико-химических и гранулометрических свойств фосфатного сырья, что позволяет повысить энергоресурсоэффективность термической обработки окатышей в зоне высокотемпературного обжига ХЭТС.

- Разработаны многоуровневые алгоритмы принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью многостадийных взаимозависимых

процессов прокали и спекания, отличающиеся применением метода дискретного динамического программирования, что позволяет предотвращать негативный процесс остеклования окатышей и эндотермический режим при формировании затухающей тепловой волны, движущейся вглубь многослойной массы, и интенсифицировать эти процессы.

- Обоснована методика обработки информации и принятия научно обоснованных инженерно-технологических и аппаратно-технических решений по оптимизации технологических режимов и оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТС производства окатышей, отличающиеся использованием методологии системного подхода и процедур проведения вычислительных экспериментов, что позволяет определять энергоресурсоэффективные режимы функционирования и осуществлять мероприятия по повышению энергоресурсоэффективности ХЭТС.

Научные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в диссертации, достаточно обоснованы, что подтверждается аргументированностью допущений, строгостью логических выводов, корректным применением математического аппарата, результатами многочисленных компьютерных экспериментов с реальными примерами, а также апробацией работы на конференциях различного уровня, в том числе, на международных.

Достоверность научных положений, сформулированных в диссертации результатов, **не вызывает сомнений**, т.к. при их получении корректно использовались строгие аналитические процедуры и математический аппарат. Предложенные методы, модели и алгоритмы апробированы на практике. Вычислительные эксперименты показали высокую степень совпадения их результатов с результатами математического моделирования отдельных процессов и натурального исследования процессов в обжиговых машинах конвейерного типа.

Научная значимость работы состоит в совокупности полученных результатов исследований по системному анализу ХЭТС, разработке соответствующих математических моделей и многоуровневых алгоритмов принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности сложных ХЭТС.

Практическую значимость работы оппонент видит в разработке архитектуры, программно-информационного обеспечения и режимов функционирования автоматизированной системы поддержки и принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТС. При этом на основе применения разработанного комплекса программ произведен расчет оптимальных значений физико-химических параметров готовых окатышей при работе обжиговой машины конвейерного типа ОК-520/536Ф и выработаны конкретные рекомендации по оптимизации режима ее функционирования; результаты использованы в ТОО «Казфосфат» «Новожджамбульский фосфорный завод» (Республика Казахстан) и в ОАО «Уральский институт металлов». И, главное, полученные в работе инженерно-технологические результаты могут быть использованы для определения оптимальных технологических режимов действующих ХЭТС обжиговых машин конвейерного типа для производства металлургических окатышей.

Апробация результатов работы и публикации по теме. Результаты диссертационной работы опубликованы в 69 работах в изданиях, рекомендованных в дей-

ствующем перечне ВАК, в том числе 12 публикаций в журналах, индексируемых в международных системах WoS и Scopus, а также в 1 монографии, а также докладывались на международных и всероссийских конференциях.

Автореферат и публикации автора достаточно полно отражают содержание диссертационной работы.

Замечания по работе.

1. В разделе 2.3 разработанная математическая модель теплообмена в движущейся плотной многослойной массе окатышей с перекрёстной подачей газа-теплоносителя учитывает только конвективный перенос тепловой энергии от газа-теплоносителя к окатышам. Процесс теплопередачи между соседними окатышами в многослойной массе не рассматривается в то время, как влияние этого процесса может исказить картину энергетического обмена в движущемся плотном слое окатышей, изменить затраты энергетических ресурсов и повлиять на характеристики термически обработанного сырья.

2. В разделе 6.2. на рисунке 6.2.1. (стр. 198) в упрощенной схеме иерархии уровней алгоритма принятия решений по оптимальному управлению ХЭТС производства фосфоритовых окатышей используется алгоритм декомпозиции общего критерия энергоресурсоэффективности F на частные критерии F_k для каждой вакуум-камеры. В результате суммирования, по утверждению автора, формируется аддитивно-сепарабельный критерий, но строгое научное обоснование аддитивности и сепарабельности полученного критерия в диссертации отсутствует.

3. В главе 7 (стр. 210) в разработанную архитектуру автоматизированной системы поддержки принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТС включен модуль многостадийной оптимизации, который «организован в виде объектно-ориентированного класса». В упрощенном виде иерархия классов при объектно-ориентированном программировании математической модели показана на рис. 7.1.2 (стр. 211). Из данных утверждения и рисунков не понятно, каким образом формируются упомянутые классы в компьютерной модели информационно-аналитической системы. Для пояснения по этому вопросу и повышения практической значимости данного результата следовало привести в качестве приложения либо листинг соответствующих фрагментов программы, либо подробную блок-схему иерархии классов.

4. Диссертант не оценивает зависимость характеристик прочности и степени реагирования реакции диссоциации карбонатов для готовых обожжённых окатышей на выходе в хвостовой части обжиговой конвейерной машины от изменения режимов функционирования ХЭТС в зонах сушки и высокотемпературного обжига, а также от исходных свойств сырых окатышей – начального влагосодержания, содержания карбонатов, показателей начальной прочности, гранулометрического состава.

5. При оформлении диссертации следовало бы использовать единицы измерения величин в системе Си, чем автор часто пренебрегает. Например, в качестве размерности для характеристики, описывающей прочность окатышей, используется внесистемная единица «кг/ок». В системе Си принято использовать размерность $\text{Па}=\text{Н}/\text{м}^2$.

Указанные замечания не снижают общую положительную оценку диссертационной работы, не влияют на основные выводы и предложения диссертации.

Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением «О порядке присуждения ученых степеней» (утвержден Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 N 842 (ред. от 01.10.2018)).

По тематике, направлению, методам, объекту и предмету исследования, полученным результатам диссертация **соответствует паспорту** специальности научных работников 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации», в том числе:

- **пункту 2** - «Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации управления принятия решений и обработки информации» соответствуют такие результаты диссертации, как: оценка потенциала повышения энергоресурсоэффективности ХЭТС производства фосфоритовых окатышей (раздел 1.3 диссертации); формулировка содержательной и математической постановки задач анализа и оптимизации технологических режимов многостадийного процесса сушки (раздел 2.1); а также энергоёмких химико-энерготехнологических процессов прокали и спекания (раздел 3.1); анализ структуры и свойств обжиговой конвейерной машины ОК-520/536Ф как сложной химико-энерготехнологической системы (раздел 7.2);

- **пункту 3** - «Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» - математические модели распространения локализованного фронта испарения в одиночном фосфоритовом окатыше (крупнопористом влажном теле) (раздел 2.2) и процесса сушки движущейся многослойной массы окатышей (раздел 2.3); многомасштабная модель прокали и спекания в одиночном окатыше (раздел 3.3) и в движущейся плотной многослойной массе окатышей в ХЭТС (раздел 3.4);

- **пункту 4** - «Разработка методов и алгоритмов решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработки информации» - методика системного подхода к обработке информации при экспериментальных исследованиях прокали и спекания в одиночном фосфоритовом окатыше (раздел 3.2); алгоритм оптимального управления энергоресурсоэффективностью процессов: сушки с использованием дискретного динамического программирования (раздел 4.2), прокали и спекания (раздел 5.2); алгоритм принятия решений по оптимальному управлению ХЭТС производства фосфоритовых окатышей (раздел 6.2); архитектура и режимы функционирования комплексов программ поддержки принятия решений по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью ХЭТС (раздел 7.1);

- **пункту 5** - «Разработка специального математического и алгоритмического обеспечения систем анализа, оптимизации, управления, принятия решений и обработка информации» - методика обработки информации и специального алгоритмического обеспечения вычислительных экспериментов по проверке адекватности многомасштабных математических моделей сушки движущейся многослойной массы фосфоритовых окатышей (раздел 2.4), а также прокали и спекания (раздел 3.5); методика проведения вычислительных экспериментов по оптимальному управлению энергоресурсоэффективностью сушки фосфоритовых окатышей (раздел 4.3), а также их прокали и спекания (раздел 5.3).

В диссертации сформулирована и успешно решена актуальная **научная проблема** создания методического и программно-информационного обеспечения проце-

дур принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности сложных многостадийных химико-энерготехнологических систем производства фосфоритовых окатышей для обеспечения выпуска высококачественной химической продукции при минимальных затратах на топливно-энергетические ресурсы.

Поставленная цель диссертационного исследования достигнута, сформулированные задачи решены на достаточно высоком научно-техническом уровне.

В целом диссертационная работа «Методическое и программно-информационное обеспечение принятия решений по оптимизации энергоресурсоэффективности химико-энерготехнологических систем производства фосфоритовых окатышей» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, в которой автором разработаны методические основы, методы, алгоритмы и компьютерные инструменты реализации системного подхода к принятию решений по оптимизации энергоресурсоэффективности химико-энерготехнологических систем, совокупность которых имеет важное для развития методологии принятия решений по управлению и оптимизации сложных технологических систем, а соискатель – Бобков Владимир Иванович – заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 05.13.01 – «Системный анализ, управление и обработка информации (химическая технология)».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ:

Заведующий кафедрой автоматизации процессов
химической промышленности

ФГОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный
технологический институт (технический университет)»

доктор технических наук, профессор

Почтовый адрес: 190013, Россия,
Санкт-Петербург, Московский пр. 26

Телефон: 8 (812) 494-92-53

E-mail: lrusinov@yandex.ru

X - Л.А. Русинов
26.11.2018

л

Подпись	<i>Русинов</i>
Начальник отде	

