

## О Т З Ы В

официального оппонента доктора технических наук, профессора кафедры автоматике и процессов управления Санкт-Петербургского государственного электротехнического университета «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина) Имаева Дамира Хабибовича на диссертацию Егоровой Екатерины Геннадьевны, выполненную на тему: «Оперативное управление процессом производства железорудного агломерата» и представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия)

Современное состояние научно-технического прогресса в области совершенствования технологий характеризуется ростом количества и разнообразия технологических процессов, что обусловлено увеличением возможностей по промышленному преобразованию материалов, веществ и энергии. Стремление к оптимизации режимов функционирования объектов, развитие методов и средств контроля приводит к усложнению систем управления технологическими процессами и, соответственно, к увеличению вероятности нарушений в ходе процессов. Важнейший аспект современного состояния технологий связан с высокой ценой отказа оборудования, что особенно характерно для перерабатывающих комплексов, металлургии, энергетики, нефтехимической промышленности, автоматизированных машиностроительных производств и других отраслей. Обеспечение высокой эффективности, качества продукции и безопасности технологий во многом определяется уровнем надежности функционирования оборудования и в большой степени зависит от эффективности систем оперативного управления технологическими процессами.

К настоящему времени на металлургических предприятиях сложилось противоречие между необходимостью создания устойчивых к нарушениям систем оперативного управления технологическими процессами и недостаточным уровнем развития теоретических и практических основ построения подобных систем. Исходя из необходимости разрешения указанного противоречия, соискатель в диссертационной работе сформулировал научную проблему разработки систем мониторинга, обнаружения и идентификации нарушений в ходе технологических процессов, в частности, процессов подготовки железорудного агломерата. Задачей таких систем является обеспечение раннего выявления отклонений от нормального характера протекания процесса агломерации и возможность оперативного вмешательства с целью своевременной ликвидации этих отклонений, что способствует повышению производительности при сохранении требуемого качества продукции.

№ 183-11  
от 13.06.2017

Проблематике оперативного управления процессом агломерации уделяется серьезное внимание, о чем свидетельствуют многочисленные публикации, особенно в зарубежной литературе. Это говорит об *актуальности* задачи.

Особенностью диссертационного исследования является системный подход к решению сформулированной в работе научной и практической проблемы разработки систем оперативного управления процессом агломерации, что достигается декомпозицией ее на ряд взаимосвязанных задач исследований:

- системный анализ технологического процесса производства железорудного агломерата как объекта оперативного управления;
- формирование множеств потенциальных нарушений в ходе процесса и причин их возникновения;
- построение диагностических моделей процесса агломерации;
- разработка методов и алгоритмов обнаружения, локализации и идентификации нарушений на основе обработки доступных данных косвенных измерений;
- проверка работоспособности системы путем компьютерного моделирования и имитационных исследований по различным сценариям.

Автором предложен ряд оригинальных идей, положенных в основу решения проблемы, к которым следует отнести:

- интеллектуализацию систем мониторинга и диагностирования состояния процесса агломерации на основе обучаемых искусственных нейронных сетей;
- декомпозицию задачи диагностирования состояния процесса на этапы вычисления диагностических признаков, выявления симптомов нарушений и постановку диагноза;
- иерархическую организацию процедур обнаружения нарушений, локализации и идентификации причин нарушений;
- увеличение глубины диагностирования нарушений, проявляющихся во внешнем виде агломерационного пирога, путем установки оптических цифровых камер и разработку алгоритмов;
- привлечение неординарных методов вычисления диагностических признаков, в частности, метода главных компонент, статистик  $T^2$  и  $Q$ , алгоритмов обработки изображений с использованием нечеткой логики для учета неопределенностей в исходных данных.

В ходе решения перечисленной совокупности задач **лично** автором получены *новые научные результаты*:

- 1 — двухуровневая нейросетевая диагностическая модель процесса производства железорудного агломерата;

2 — комбинированный метод диагностики нарушений процесса агломерации.

**Новизна научных результатов**, заключается в том, что:

1 — диагностическая модель иерархической структуры, в отличие от известных решений, упрощает архитектуру искусственных нейронных сетей, что позволяет существенно сократить время обучения и распознавания причин нарушений;

2 — предложенный автором комбинированный метод диагностики обнаруживает факт нарушения в ходе процесса агломерации по симптомам в виде превышения порогов статистиками  $T^2$  и  $Q$ , а причины нарушения устанавливает с помощью нейросетевой диагностической модели.

Непротиворечивость принятых концепций и принципов их реализации, соответствие методологии исследований основам системного анализа, теории управления и теории искусственного интеллекта, строгость формулировок частных задач, грамотно подобранные исходные данные для них, применяемые автором математические методы решения и подтвержденная состоятельности полученных теоретических положений в ходе экспериментальной апробации свидетельствуют о **достоверности** полученных результатов.

**Обоснованность** научных положений, выводов и рекомендаций, сформулированных в диссертации, обеспечивается учетом представительного количества факторов, влияющих на решение научной проблемы, обоснованным принятием основных допущений и ограничений при постановке задач, корректностью формальных выкладок при разработке методов анализа и подтверждается результатами компьютерных экспериментов.

Представленные в диссертации результаты имеют высокую **практическую значимость**. Разработанная система оперативного управления процессом производства железорудного агломерата позволяет проводить в реальном времени диагностику ситуаций с определением причин нарушений. Система позволяет повысить эффективность оперативного управления технологическим процессом производства агломерата, так как определение нарушений в реальном времени и выдача рекомендаций оператору, дает возможность вовремя принять соответствующие меры для возвращения процесса в регламентный режим. О практической значимости результатов работы свидетельствуют также положительные результаты применения созданных в процессе исследований программно-алгоритмических средств.

Полученные автором лично основные научные результаты с достаточной полнотой **опубликованы** в трех статьях в журналах, входящих в

перечень ВАК Министерства образования и науки РФ. Результаты диссертационной работы представлены в материалах международных и всероссийских конференций.

Текст автореферата соответствует основному содержанию диссертации. В автореферате изложены основные идеи и выводы диссертации, показан вклад автора в проведенные исследования, подчеркнута новизна и практическая значимость результатов исследований. Диссертация и автореферат написаны грамотно, стиль изложения доказательный, что позволяет составить целостное представление о проделанной работе.

Диссертация характеризуется завершенностью решения сформулированной научной проблемы. Автор владеет современной методологией научных исследований, обоснованно и корректно применяет соответствующий математический аппарат, обладает широким научным кругозором.

Наряду с указанными достоинствами диссертация имеет и *недостатки*, к числу которых следует отнести:

1. Детально рассмотрены задачи мониторинга (вычисления нетривиальных диагностических признаков), обнаружения нарушений в ходе процесса агломерации (выявления симптомов нарушений), локализации и идентификации причин нарушений. Вместе с тем, сравнительно мало места уделено алгоритмам собственно оперативного управления — принятия решений в зависимости от результатов диагностирования.

2. Автор ограничивается применением нейросетевых устройств распознавания образов (классификаторов), которые плохо приспособлены для учета априорной информации. При этом обучающие последовательности для тренировки сетей в работе формируются на основе, в том числе, знаний экспертов. Экспертный (как говорят, интеллектуальный) подход к диагностированию может быть формализован и на основе механизма нечеткого логического вывода. Знания экспертов естественно представлять в виде лингвистических переменных, размытых понятий и продукционных правил.

3. Относительно много места уделено изложению известных материалов (например, о нейронных сетях), не удалось избежать повторов (подразделы 1.2 и 2.3 текста диссертации посвящены обзору систем диагностики).

4. Можно заметить, что автору не вполне удалось справиться с проблемой неустановившейся терминологии в этой новой области. Не всегда однозначно трактуются понятия «диагностический признак», «симптом», «диагноз», «идентификация», «нарушение».

5. Не ясно, какой принцип реализует система оперативного управления — принцип компенсации возмущений (если причины нарушений трактовать как возмущения), принцип отрицательной обратной связи или их комбинацию. Если обнаружение нарушений интерпретировать как выявление отклонений показателей качества процессов, то получится система с обратной связью. Если «идентификацию» трактовать как косвенное измерений возмущений, то получится разомкнутая система, реализующая принцип компенсации?

Указанные недостатки носят частный характер, не снижают общей высокой оценки проведенных научных исследований и представленных результатов и позволяют сделать следующие **выводы**:

1. **Содержание диссертации соответствует паспорту специальности 05.13.06** – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия).

2. Проведенные диссертационные исследования являются **завершенной научно-квалификационной работой**, в которой содержится решение научно-практической задачи, имеющей существенное значение для повышения эффективности оперативного управления процессом производства железорудного агломерата.

3. Диссертация Егоровой Екатерины Геннадьевны «Оперативное управление процессом производства железорудного агломерата» **соответствует требованиям ВАК РФ при Минобрнауки РФ**, а ее автор, заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (металлургия).

Официальный оппонент

доктор технических наук, профессор,  
профессор кафедры автоматизации и  
процессов управления

Имаев Дамир Хабибович

«13» июня 2017 года

Сведения о составителе отзыва:

Имаев Дамир Хабибович

Место работы: федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский государственный электротехнический университет «ЛЭТИ» им. В.И. Ульянова (Ленина)»

Почтовый адрес: 197376, Российская Федерация, Санкт-Петербург, ул.

Профессора Попова, дом 5

Телефон: +7-921-584-64-45

Электронная почта: damir.imaev@mail.ru

Подпись: *Имаев Д.Х.* *Заведующий кафедрой*

и т.д.

