

## ОТЗЫВ

официального оппонента РЯБЧИКОВОЙ ЕЛЕНЫ СЕРГЕЕВНЫ,  
кандидата технических наук, доцента кафедры «Автоматизированные  
системы управления» ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный  
технический университет им. Г.И. Носова», г. Магнитогорск, на  
диссертационную работу Хасанова Джасурджона Рустамджоновича  
«Эффективное управление мельницей цементного производства в  
противоречивых условиях», представленную на соискание учёной степени  
кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и  
управление технологическими процессами и производствами  
(промышленность)»

### **1. Актуальность диссертационного исследования**

В настоящее время повышение эффективности энергоемких технологических процессов является актуальной проблемой, определенной в нормативно-правовых актах Российской Федерации, а также в нормативно-правовых актах ведущих промышленно-развитых стран.

К энергоемким производствам относится и производство цемента, которое включает в себя такие энергоемкие технологические этапы производства, как процессы дробления и измельчения цементного сырья. Указанные стадии производства цемента потребляют до 90% от общего потребления электрической энергии, поэтому проведение исследований, связанных с повышением эффективности указанных процессов, безусловно, является актуальным.

В настоящее время задаче снижения энергоемкости производства цемента посвящена обширная литература, что подтверждает практическую важности этой задачи для цементной промышленности. При этом в связи с развитием цифровизации и автоматизации управления производством цемента большое количество научных работ посвящено построению контроллеров, управляющих процессом измельчения цементного сырья. Основной проблемой здесь является ликвидация в мельницах заторов из крупных кусков шихты. Именно эта проблема приводит к нерациональному расходу электрической энергии. Применение контроллеров, реализующих, например, скользящие режимы размола сырья или же управление на основе использования нейронных сетей для идентификации характеристик мельницы, позволяет в определенной степени решать указанную задачу.

Однако управление на основе контроллеров составляет нижний уровень автоматизации управления процессом размола. В целом же задача автоматизации управления является более комплексной.

Дело в том, что параметры сырья имеют нестационарные и нелинейные характеристики. Кроме того, качество размола сырья характеризуется множеством показателей. Поэтому является актуальной задача оперативного управления режимными параметрами процесса размола по множеству противоречивых критериев.

По аналогии с другими технологическими процессами здесь необходимо автоматизировать процесс управления не только на уровне контроллеров, но и на уровне оперативного управления на основе использования систем поддержки принятия решений. Однако эта задача в настоящее время решена недостаточно, что и определяет актуальность данного диссертационного исследования, которое направлено на разработку алгоритмического и программного обеспечения системы поддержки принятия решений по оперативному управлению мельницей цементного производства при противоречивых технических требованиях к процессу помола.

## **2. Научная новизна результатов работы**

В диссертационной работе предложено использование искусственных нейронных сетей при управлении измельчением клинкера в шаровых мельницах замкнутого цикла. При этом нейронная сеть используется для определения связи между показателями мельницы и входными переменными объекта управления.

Основное достоинство нейросетей связано с возможностью аппроксимации существенно-нелинейных зависимостей от многих переменных. Однако настройка таких моделей по накопленным технологическим данным чрезвычайно затруднена двумя причинами: непостоянство статистических свойств неизвестных возмущений и существенный дисбаланс в объеме данных по разным режимам работы объекта управления. Вследствие указанных причин затруднительно использовать нейросети, которые были ранее настроены по данным в прошлом. Наиболее важным и новым научным результатом работы я считаю то, что автором предложено решение обеих проблем.

Для исключения из выборки противоречивых данных, обусловленных неизвестными возмущениями, автором предложен признак регулярности данных, основанный на использовании совокупности линейных зависимостей некоторых абстрактных показателей, которые обозначены

также как и показатели мельницы, от входных переменных. Параметры зависимостей подбираются так, чтобы признаку регулярности соответствовало максимальное число наборов из исходных данных. При этом предлагается учитывать нюансы, связанные с выходом значений показателей только за верхний или только за нижний предел.

Для того, чтобы избежать последствий гетероскедастичности остатков нейросетевых моделей, обусловленных дисбалансом в объеме данных по разным режимам работы объекта, а также возможной неэкзогенностью неизвестных возмущений, в диссертации предложена оперативная коррекция решений нейросетевой модели на локальных выборках данных.

Стоит также отдельно положительно отметить предложенную автором новую процедуру принятия решений по многим критериям качества, адаптированную к реальным производственным условиям на основе оптимального интерактивного согласования текущих технических условий на режимные параметры технологического процесса.

Таким образом, приведенные результаты, полученные в диссертационной работе, обладают существенной научной новизной.

### **3. Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций**

Достоверность и обоснованность научных результатов, выводов и рекомендаций, приведенных в диссертационной работе, подтверждается корректным использованием фундаментальных положений теории дробления и измельчения сырья в производстве строительных материалов, применением математического аппарата и методов теории управления технологическими процессами, теории нейронных сетей, теории оптимизации и принятия решений, а также методов численного моделирования.

Адекватность разработанных в диссертации численных моделей обосновывается совпадением результатов моделирования с результатами экспериментальных данных эксплуатации мельниц цементного производства.

Достоверность основных результатов работы.

3.1. Вывод о том, что при оперативном управлении процессом помола клинкера задача снижения энергоемкости при обеспечении заданного качества помола в настоящее время решена недостаточно вследствие высокой степени неопределенности данных эксплуатации и противоречивом характере связей параметров является достоверным.

3.2. Вывод о том, что предложен метод поддержки принятия решений по оперативному управлению мельницей цементного производства при

неопределенности исходных данных и противоречивых технических требований к процессу помола является достоверным.

3.3. Вывод о том, что предложена новая процедура регуляризации постановки задачи идентификации процесса помола на основе выявления нерегулярных данных с использованием специальной задачи выявления максимально совместных подсистем данных, а также предложена новая модификация алгоритма настройки нейронных сетей с использованием дополнительного условия минимума уклонения настраиваемого решения от номинальных значений является достоверным.

3.4. Вывод о том, что для решаемой в работе задачи разработана оптимальная интерактивная процедура принятия решений по многим показателям на основе определения максимально совместных подсистем технических требований, предъявляемых к процессу помола, является достоверным.

Перспективным направлением дальнейших работ можно рекомендовать переход к созданию интегрированной системы управления эффективностью цементного производства и качеством конечного продукта.

#### **4. Практическая значимость**

Практическая значимость работы определяется тем, что использование полученных в диссертационном исследовании результатов в задачах оперативного управления процессом измельчения клинкера в цементном производстве позволит принимать эффективные решения в противоречивых постановках задач управления при неопределенности характеристик. Это обеспечит повышение качества конечной продукции и снижение энергозатрат на ее производство.

Разработанная автором диссертации экранная форма визуализации параметров интерактивной процедуры принятия решений позволит оператору-технологу оперативно оценивать текущую производственную ситуацию и своевременно вносить необходимые изменения в управляющие воздействия для того, чтобы обеспечить оптимальный режим работы шаровой мельницы в замкнутом цикле.

Научная и практическая ценность диссертационной работы также подтверждается положительными результатами промышленных испытаний в условиях реального производства на ООО «Дюккергоф Коркино Цемент» и ООО «Цементный завод имени Б. Самадова» г. Ифара.

Разработанный подход к решению задач оперативного управления измельчения клинкера может быть применен для других аналогичных процессов, например, помол доломита, измельчения рудных пород и др.

Следует также отметить, что в соответствии с актом об использовании результатов диссертационной работы результаты научных исследований, проведенных Хасановым Джасурджоном Рустамджоновичем, были использованы в Таджикском техническом университете имени академика М.С. Осими при выполнении курсовых и выпускных работ студентов бакалавров и магистров специальности 530101 «Автоматизация технологических процессов и производств».

### **5. Оценка содержания и оформления диссертации**

Диссертационная работа изложена в форме, позволяющей получить полное и подробное представление о проведенных исследованиях и полученных результатах. Оформление диссертации соответствует установленным государственными стандартами требованиям. Все заимствования, имеющиеся в работе, правомерны, что подтверждается приведенными библиографическими ссылками.

Содержание диссертационной работы соответствует заявленной научной специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

### **6. Замечания по диссертационной работе**

6.1. В тексте диссертации наблюдается неоднозначность утверждений о выборе исследуемых входных управляющих факторов. В одних местах говорится о подаче сырья, т.е. клинкера и гипса, в других местах указывается, что в подаче исследовался только гипс. Так как конечные расчеты основаны на использовании только двух регулирующих факторов: гипса и скорости сепаратора, то возникает вопрос: какие изменения произойдут в процессе регулирования при использовании большего количества входных факторов, например, при дополнительном регулировании подачи клинкера?

6.2. Можно указать недостатки предложенной процедуры регуляризации. Несмотря на то, что автором упоминается возможность использования нелинейных зависимостей, в работе используются именно линейные зависимости. В то же время из графиков в диссертации (рис. 2.2, 2.3, 2.4 и др.), демонстрирующих результаты опытных экспериментов, многие зависимости выглядят как существенно-нелинейные. При этом возможно необъективное исключение данных из выборки при существенном отклонении фактической нелинейной зависимости от принятой линейной.

Другим недостатком являются возможные затруднения применения предложенной процедуры регуляризации при систематических возмущениях, которые могут привести к тому, что данные разных временных периодов в

принципе плохо согласуются. Неясно, характерны ли подобные возмущения для рассматриваемого в диссертации объекта управления.

6.3. В диссертационной работе автор не рассмотрел возможность дальнейшего совершенствования процедуры отбора данных в выборку на основе известных методов сэмпинга (отбора данных), позволяющих устранить дисбаланс между мажоритарными и миноритарными классами в выборке.

6.4. Имеется замечание по процедуре тестирования нейросетей. Считаю, что не в полной мере корректно тестировать нейросеть по тестовой выборке только из отобранных с помощью процедуры регуляризации данных. Ведь нейросеть предполагается использовать во всех режимах работы объекта, а не только в некоторых.

6.5. Исследуемые выходные показатели технологического процесса помола, такие как электропотребление и качество помола, имеют существенные различия в своей динамике. Так, уровень электропотребления измеряется практически непрерывно, в то время как оценка качества помола исследуется в лаборатории и приходит с большим опозданием. Каким образом в диссертационной работе учитывается отсутствие синхронизации оценок показателей технологического процесса во времени?

6.6. Выходная экранная форма таблицы принятия решений содержит избыточную информацию, что может повлиять на оперативность принятия решений по управлению процессом помола. Представляется целесообразным сократить указанную таблицу, оставив только существенную информацию, необходимую для принятия решений.

## **7. Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным Положением о порядке присуждения учёных степеней**

Диссертация Хасанова Джасурджона Рустамджоновича «Эффективное управление мельницей цементного производства в противоречивых условиях» представляет собой законченную научно-квалификационную работу, содержащую решение задачи, имеющей существенное значение в области автоматизации и управления технологическими процессами и производствами.

Автореферат диссертации Хасанова Джасурджона Рустамджоновича полностью соответствует основному содержанию диссертационной работы.

Автором лично и в соавторстве опубликовано 6 научных работ по теме диссертации, в том числе 3 публикации в рецензируемых научных изданиях, рекомендованных ВАК РФ и 2 статьи в изданиях, индексируемых зарубежными базами Scopus и Web of Science. Данные публикации в

достаточной мере отражают основные положения и результаты, полученные в диссертации.

Учитывая актуальность темы диссертационного исследования, научную новизну и практическую значимость результатов, считаю, что представленная диссертационная работа соответствует требованиям «Положения о порядке присуждения учёных степеней» ВАК при Минобрнауки РФ, предъявляемым к кандидатским диссертациям, а её автор, Хасанов Джасурджон Рустамджонович, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Официальный оппонент:

Елена Сергеевна Рябчикова, кандидат технических наук, доцент кафедры «Автоматизированные системы управления», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет имени Г.И. Носова» (455000 Россия, Челябинская обл., г. Магнитогорск, пр. Ленина, д. 38)



Елена Сергеевна Рябчикова

«25» мая 2021 г.

Кандидатская диссертация защищена по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность).

Почтовый адрес: 455023 Челябинская область, г. Магнитогорск, ул. Октябрьская, д. 13, кв. 80.

Тел.: +7-952-510-54-90.

E-mail: e.ryabchikova@magtu.ru

Подпись Рябчиковой Елены Сергеевны удостоверяю

