

Утверждаю

Проректор по научной работе  
и инновациям ФГБОУ ВО «Липецкий  
государственный технический университет»

Кузенков С.Е.

«22» сентября 2021г.



## ОТЗЫВ

### ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ

на диссертационную работу Цыганкова Юрия Александровича «Разработка методики гибридного нейросетевого прогнозирования содержания железа для совершенствования АСУ ТП обогащения железорудного концентрата», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)

Диссертация Цыганкова Юрия Александровича решает задачу повышения эффективности обогатительного передела за счет прогнозирования хода технологического процесса обогащения железорудного концентрата на горно-обогатительном комбинате.

В настоящее время на обогатительных переделах горно-обогатительных комбинатов в большинстве случаев управление осуществляется в полуавтоматическом режиме – оператор поста управления анализирует показатели работы несвязанных алгоритмически локальных контуров и формирует уставки по ним исходя из требований технологических регламентов и собственного опыта. Но в условиях нестационарности физико-химических свойств поступающего сырья, параметров оборудования для обеспечения требований по качеству

продукции – процентному содержанию железа в концентрате, оператор зачастую снижает загрузку производственных мощностей, управляя «с запасом», для предотвращения ситуации выпуска некондиционного продукта, тем самым уменьшая общую эффективность функционирования передела в целом. Соискателем, для повышения эффективности технологического процесса обогащения, предлагается применение прогнозирующей подсистемы на основе глубоких гибридных искусственных нейронных сетей.

Предлагаемая в диссертационной работе методика позволит реализовать поагрегатную модель секции обогащения железорудного концентрата для прогнозирования хода технологического процесса с требуемой точностью в условиях нестационарности сырья и оборудования. Представленная диссертационная работа направлена на исследования и решение данной задачи, чем и определяется важность и актуальность темы.

Цель диссертационного исследования Цыганкова Ю.А. заключалась в разработке методики прогнозирования значения процентного содержания железа в выходном продукте процесса обогащения железорудного концентрата синтезированной поагрегатной нейросетевой моделью передела, инвариантной к свойствам сырья и параметрам оборудования, для совершенствования существующей АСУ ТП.

Для достижения поставленной цели был решен ряд задач:

- выполнен анализ процесса обогащения железорудного концентрата; функционирующих технологических объектов; перечня измеряемых параметров; границ их допустимого изменения, согласно технологии; факторов, обуславливающих нестационарность процесса и опосредованно влияющих на качество железорудного концентрата;
- проведен анализ существующих в теории управления методов идентификации технологических объектов с использованием ретроспективных данных, наиболее широко применяемых на практике, исследована возможность их применения для реализации прогнозирующего



функционала;

- разработан алгоритм предобработки данных эксплуатации технологических объектов, включающий процедуры первичного анализа, фильтрации и разбиения на обучающую и тестовую выборки, используемых при моделировании;

- разработана методика построения нейросетевых моделей технологических объектов, заключающаяся в подборе аппарата и гиперпараметров ИНС, прогнозирующих процентное содержание железа в концентрате с погрешностью, не превышающей  $|\text{Fe}| = 0.5\%$ , что соответствует технологии и позволяет повысить точность в сравнении с существующими подходами к прогнозированию;

- разработан алгоритм подбора рекомендуемых значений уставок для контуров управления объектов технологического передела на основе полученного прогноза;

- разработан алгоритм функционирования подсистемы прогнозирования содержания железа в железорудном концентрате для ее интеграции в существующую систему управления, реализованную на базе SCADA-системы WinCC;

- выполнена оценка эффективности применения разработанной подсистемы прогнозирования процентного содержания железа в железорудном концентрате посредством анализа изменения объемов перерабатываемого сырья при функционировании обогатительного передела.

Диссертационная работа Цыганкова Ю.А. состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 122 наименований, 5 приложений, содержит 62 рисунка и 18 таблиц. Содержание и структура диссертации логически взаимосвязаны и соответствуют цели исследования.

Представленные материалы (диссертация, автореферат, презентация) позволяют достаточно полно оценить объем и сложность проведенного исследования.

Предложены и обоснованы новые научные результаты, имеющие

научное и прикладное значение для развития интеллектуальных прогнозирующих подсистем, повышающих эффективность функционирования существующих систем управления, а именно:

1. Соискателем предложена методика идентификации объектов технологического процесса обогащения железорудного концентрата на базе глубоких гибридных нейросетевых моделей, отличающихся параллельностью функционирования разнородных типов архитектур, что обеспечивает инвариантность моделей к свойствам поступающего сырья, оборудования и отсутствие автокорреляции в данных прогноза.

2. Построена модель секции обогащения железорудного концентрата, разработанная с использованием поагрегатного принципа на базе аппарата глубоких гибридных ИНС, прогнозирующая содержание железа в готовом концентрате с погрешностью не более  $|\text{Fe}| = 0.5\%$

3. Разработан оригинальный алгоритм анализа и предобработки ретроспективных данных технологического процесса обогащения железорудного концентрата, обеспечивающий обучение гибридных нейросетевых моделей подсистемы прогнозирования процентного содержания железа в концентрате, величина ошибок которых при функционировании не превышает требований технологических регламентов.

**Достоверность и обоснованность** полученных результатов подтверждается использованием современных методов исследования и публикацией основных результатов работы в научных изданиях, входящих в базы цитирования Scopus и Web of Science.

Диссертация хорошо структурирована, написана грамотно и понятным языком. В конце каждой главы приводятся содержательные обобщающие выводы, что облегчает понимание материала.

Автореферат отражает содержание диссертации. Основные результаты, положения и выводы диссертации изложены в приведенных публикациях и соответствуют содержанию диссертации.

По содержанию диссертационной работы Цыганкова Ю.А. можно



сделать следующие замечания:

- 1) автору стоило более подробнее описать процедуру подбора уставок по управляющим параметра с использованием генетического алгоритма;
- 2) при описании глубокой гибридной ИНС следует дать пояснение, как объединялись результаты прогноза каждой отдельной сети;
- 3) не совсем понятен принцип определения по построенным моделям, параметры функционирования какого агрегата оказали влияния на изменение железа в готовом продукте;
- 4) соискатель достаточно обще описывает алгоритм формирования обучающей выборки, не приводя конкретных значений параметров;
- 5) в работе, несмотря на представленные результаты моделирования и листинг кода, отсутствует формальное описание принципов функционирования предлагаемой глубокой гибридной искусственной нейронной сети.

Перечисленные замечания не влияют на общую положительную оценку диссертации.

Предложенная в диссертационной работе прогнозирующая подсистема может быть рекомендована для использования на обогатительных переделах предприятий горно-металлургической отрасли (АО «СГОК», АО «ЛГОК»), а также в учебном процессе ВУЗов, где проводится подготовка специалистов в области автоматизации систем управления технологическими процессами.

По теме диссертационной работы опубликовано 9 научных работ, из которых 6 – в периодических изданиях, рекомендованных ВАК, 4 – в материалах публикаций, индексируемых в SCOPUS, получено 2 свидетельства о государственной регистрации программы для ЭВМ.

Поставленная цель диссертационного исследования достигнута, соответствующие задачи решены на достаточно высоком научном уровне.

На основании анализа содержания диссертации, автореферата, опубликованных автором работ можно сделать следующий **вывод**: диссертационная работа Цыганкова Ю.А. на тему «Разработка методики

гибридного нейросетевого прогнозирования содержания железа для совершенствования АСУ ТП обогащения железорудного концентрата» является законченной научно-квалификационной работой и соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней в Национальном исследовательском технологическом университете "МИСиС".

Автор работы Цыганков Ю.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06-«Автоматизация и управления технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Отзыв ведущей организации обсуждены и одобрены на заседании кафедры прикладной математики ФГБОУ ВО «Липецкий государственный технический университет (протокол № 2 от 27 09 2021г)

Заведующая кафедрой прикладной математики  
ФГБОУ ВО «Липецкий государственный  
технический университет»

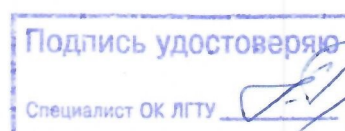


Орешина Мария  
Николаевна

к.ф.-м.н., доцент

398055, Россия, г. Липецк, ул. Московская, д.30.

+7 (4742) 328-000



27.09.2021