

## ОТЗЫВ

на автореферат диссертационной работы Цыганкова Ю. А. «Разработка методики гибридного нейросетевого прогнозирования содержания железа для совершенствования АСУ ТП обогащения железорудного концентрата», представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 – «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)»

Эффективность функционирования обогатительного передела горно-обогатительного комбината напрямую зависит от работы агрегатов в узком диапазоне технологических границ. Поэтому разработка прогнозирующей системы позволяющей своевременно оценить возможные изменения процентного содержания железа в концентрате и как следствие обеспечить точные «без формирования областей запаса» значения технологических параметров является актуальной.

Решая данную проблему, соискатель, получил несколько значимых результатов, которые и выносятся на защиту:

1. Методика идентификации объектов технологического процесса обогащения железорудного концентрата на базе глубоких гибридных нейросетевых моделей, обеспечивающая инвариантность моделей к свойствам поступающего сырья, оборудования и отсутствие автокорреляции в данных прогноза.

2. 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. 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.

Практическая значимость результатов заключается в том, что в случае наступления ситуации получения негативного прогноза по значению выходного параметра, представленная методика позволяет реализовать процедуру подбора и коррекции уставок для локальных контуров, предотвращающих данную ситуацию. Это позволяет увеличить среднюю загрузку производственных мощностей секции, обеспечивая повышение объема перерабатываемого сырья на 1.5 - 2% или 170 тыс. тонн в годовом исчислении.

Полученные научные результаты доведены до практической реализации – на базе пакета SCADA WinCC разработано программное обеспечение, которое может внедряться в существующие АСУ.

Основное содержание работы достаточно полно отражено в публикациях, а текст автореферата изложен грамотным языком, однако текст картинок на рисунках 1 - 3, 5, 7 имеет мелкий шрифт и едва различим, что затрудняет проведение анализа.

#### **Замечания:**

1. При описании структуры гибридной глубокой нейронной сети, в автореферате не конкретизируется важная информация об архитектурах и параметрах Dense, Conv, LSTM сетей используемых для их обучения функции ошибок, объеме используемого для обучения датасета, fusion слое – слое объединяющем выходы трех сетей. Поскольку сети предназначены для решения принципиально разных задач алгоритм их одновременного обучения, представляет большой научный интерес.

2. Из автореферата также не ясно, каким-образом модель секции обогащения железорудного концентрата, разработанная с использованием поагрегатного принципа на базе аппарата глубоких гибридных ИНС,



обеспечивает погрешность не более  $|\text{Fe}| = 0.5\%$ . Статистические данные, испытаний характеризующие возможность работы модели с точностью на уровне не более  $|\text{Fe}| = 0.5\%$  в автореферате не приводятся.

3. Также в автореферате не приводятся сведения, характеризующие разброс входных параметров в интервале  $\pm 20\%$  от номинальных значений и результаты проверки инвариантности работы системы в данных условиях.

Несмотря на указанные замечания, представленная работа заслуживает высокой положительной оценки.

Исходя из представленных в автореферате сведений, считаю, что диссертационная работа «Разработка методики гибридного нейросетевого прогнозирования содержания железа для совершенствования АСУ ТП обогащения железорудного концентрата» выполнена на высоком научно-методическом уровне. Диссертация соответствует требованиям Положения о порядке присуждения ученых степеней Национального исследовательского технологического университета «МИСиС», а ее автор Цыганков Ю.А. заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.13.06 — «Автоматизация и управление технологическими процессами и производствами (промышленность)».

Профессор кафедры «Инженерной кибернетики»

Доктор технических наук, доцент

Садеков Р.Н.

119991, г. Москва, Ленинский проспект, 6

Тел.: +7 (495) 638-45-02,

e-mail: r.sadekov@misis.ru



Подпись Садекова Р.Н.  
Заместитель  
начальника  
отдела кадров МИСиС  
Кузнецова А.Е.  
«27» 09 2021 г.