

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации

Администрация Правительства Кузбасса

Научно-образовательный центр мирового уровня «Кузбасс»

Сибирский государственный индустриальный университет

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО
*«Металлургия – 2022»***

***Труды
XXIII Международной научно-практической конференции***

23– 25 ноября 2022 г.

Часть 2

**Новокузнецк
2022**

Редакционная коллегия

д.т.н., академик РАН Л.А. Смирнов, д.т.н., доцент А.Б. Юрьев,
д.т.н., профессор С.В. Коновалов, д.т.н., профессор Е.В. Протопопов,
д.т.н., профессор А.Р. Фастыковский, д.т.н., доцент Д.А. Чинахов,
к.т.н. Р.А. Шевченко, к.т.н., доцент О.А. Полях,
к.т.н. Е.Н. Темлянцева, д.т.н., доцент В.В. Зимин

М 540 Металлургия : технологии, инновации, качество : труды
XXIII Международной научно-практической конференции.
В 2 частях. Часть 2 / под общ. ред. А.Б. Юрьева, Сиб. гос. индустр.
ун-т. – Новокузнецк : Изд. центр СибГИУ, 2022. – 410 с. : ил.

Труды конференции включают доклады по актуальным вопросам теории и практики металлургических процессов, технологий обработки материалов, автоматизации, ресурсо- и энергосбережения, экологии и утилизации отходов металлургического производства.

Конференция проводится ежегодно.

ОРГАНИЗАТОРЫ И ПАРТНЕРЫ КОНФЕРЕНЦИИ

АДМИНИСТРАЦИЯ ПРАВИТЕЛЬСТВА КУЗБАССА
ФГБОУ ВО «СИБИРСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ»

АО «ЕВРАЗ ЗСМК»

АО «РУСАЛ-НОВОКУЗНЕЦК»

АО «КУЗНЕЦКИЕ ФЕРРОСПЛАВЫ»

АО «НЗРМК им. Н.Е. КРЮКОВА»

ЛЯОНИНСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ, Г. АНЬШАНЬ, КНР

ОАО «ЧЕРМЕТИНФОРМАЦИЯ»

ИЗДАТЕЛЬСТВО СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ РАН

ЖУРНАЛ «ИЗВЕСТИЯ ВУЗОВ. ЧЕРНАЯ МЕТАЛЛУРГИЯ»

ЖУРНАЛ «ВЕСТНИК СИБГИУ»

НАУЧНО-ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ЦЕНТР МИРОВОГО УРОВНЯ «КУЗБАСС»

АО «КУЗБАССКИЙ ТЕХНОПАРК»

– Новокузнецк: Изд. центр СибГИУ, 2019. – С. 21–24.

10. Макаров Г.В. Развитие методов и алгоритмов теории подобия для систем управления. – Томск, 2021. – 26 с.

УДК 65.011.56:004.942

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ

**Коровин Д.Е.^{1,2}, Грачев В.В.^{1,2}, Макаров Г.В.^{1,2},
Кулюшин Г.А.^{1,2}, Скударнова Н.В.¹.**

¹*Сибирский государственный индустриальный университет,
Новокузнецк, Россия*

²*Научно-исследовательский центр систем управления,
Новокузнецк, Россия*

Аннотация. Статья посвящена особенностям применения технологии цифровых двойников в промышленности при обучении персонала. Приведено понятие цифрового двойника, представлено место цифрового двойника в автоматизированной системе управления технологическими процессами технологического предприятия. Приведены примеры применения технологии при обучении персонала на обогатительных фабриках.

Ключевые слова: цифровой двойник, автоматизация, модель, моделирование, промышленность, угольная промышленность, имитационное моделирование.

THE USE OF SIMULATION MODELING IN THE CREATION OF DIGITAL TWINS OF LARGE INDUSTRIAL ENTERPRISES

**Korovin D.E.^{1,2}, Grachev V.V.^{1,2}, Makarov G.V.^{1,2},
Kulyushin G.A.^{1,2}, Skudarnova N.V.¹**

*Siberian State Industrial University,
Novokuznetsk, Russia*

Research Center of Control Systems LLC, Novokuznetsk, Russia

Abstract. The article is devoted to the peculiarities of the application of digital twin technology in industry in the training of personnel. The concept of a digital twin is given, the place of a digital twin in an automated control system of technological processes of the technological enterprise is presented. Examples of technology application in the training of personnel at concentrators are given.

Keywords: digital twin, automation, model, simulation, industry, coal industry, simulation modeling.

Введение

Историю человечества можно поделить на два неравных периода. Первый период – это общество до промышленной революции, «традиционное общество». Второй период – это период после промышленной революции, «индустриальное общество». В «индустриальном обществе» роль науки и техники более очевидна, чем в «традиционном».

Если обратиться к истории развития промышленных революций Industry (рисунок 1), то предпосылки к появлению и реализации цифровых двойников были заложены еще на этапе Industry 1.0, в тот момент, когда человек начал изучать существующие объекты и создавать новые материальные изделия с помощью технологий механизации производства. Начиная с Industry 1.0, в своей деятельности человек постоянно использовал виртуальные модели-двойники [1]. На ранних этапах (Industry 1.0, Industry 2.0) такие модели человек создавал в своем воображении, перенося их на бумагу. В настоящее время (Industry 4.0) цифровые двойники создаются с помощью компьютерной техники и специализированного программного обеспечения, используя современные методы моделирования, системного анализа, обучения, а также технологии получения данных через «умные» датчики, интернета вещей, искусственного интеллекта, больших данных [2].



Рисунок 1 – Процесс перехода от первой промышленной революции Industry 1.0 к четвертой промышленной революции Industry 4.0

Понятие «цифровой двойник». «Цифровой двойник» (digital twin) определяется как виртуальное представление физического объекта или системы на протяжении их жизненного цикла с использованием в реальном времени данных интеллектуальных датчиков [3].

Цифровой двойник в широком смысле можно рассматривать как цифровую копию (модель) физического (натурного) объекта или процесса, позволяющую решать различные задачи научного, исследовательского и прикладного характера. В узком смысле под цифровым двойником понимается цифровая (натурно-математическая, имитационная) модель отдельного технологического агрегата, установки или промышленного комплекса в целом,

создаваемая для задач изучения его поведения при различных условиях и воздействиях, оказываемых на него [4].

Ключевые отличия цифрового двойника от обычной информационной модели:

1) Цифровой двойник продолжает собирать данные с реального объекта на протяжении всего жизненного цикла физического объекта, а не только в процессе разработки и реализации.

2) Интерактивность, которая позволяет моделировать различные ситуации и проводить эксперименты над копией объекта без риска нанести ущерб оригиналу. При этом имеется возможность перенести результаты моделирования на реальный объект.

Построение, внедрение и эксплуатация цифровых двойников в производстве является одной из важных составляющих цифровой трансформации.

Цифровая трансформация качественно улучшает бизнес-процессы крупного промышленного предприятия за счёт внедрения инноваций. Также адаптируются бизнес-модели для удовлетворения условиям современной цифровой экономики. На рисунке 2 представлены основные особенности управления предприятием в условиях цифровизации.

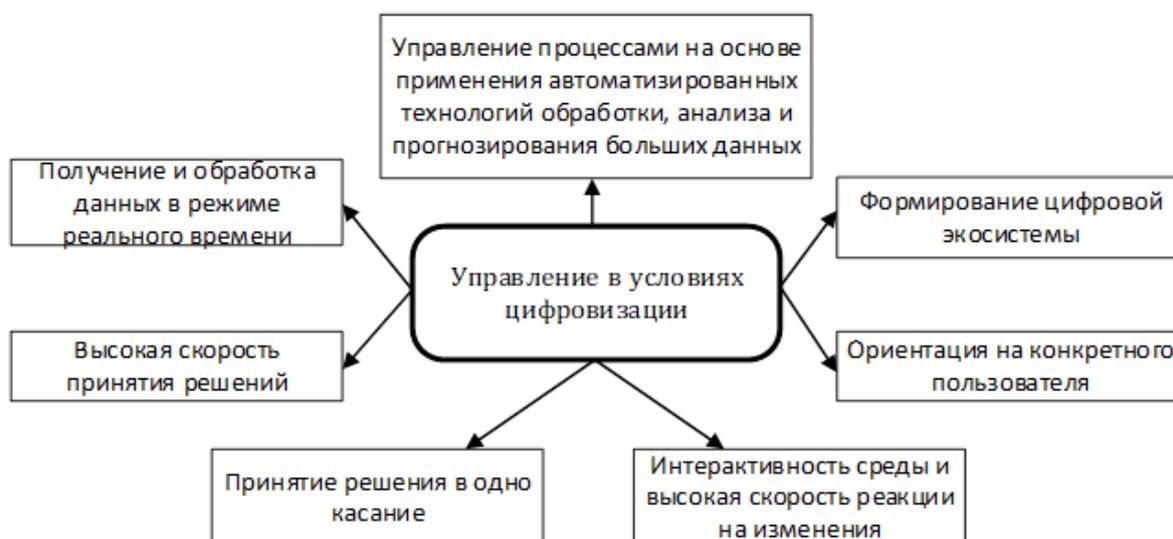


Рисунок 2 – Особенности управления крупным промышленным предприятием в условиях цифровизации

Существующие методы и инструменты не всегда позволяют снизить риски и решить проблему реорганизации бизнес-процессов компании на различных этапах.

Цифровые двойники в автоматизированной системе управления технологическими процессами крупных промышленных предприятий. Основной целью создания цифровых двойников является оптимизация производственных и бизнес-процессов, однако сфера применения этим не ограничивается – представляется возможным использовать цифровые двойники технологических процессов в том числе и для обучения персонала предприятий, в первую очередь операторов автоматизированных систем управления техно-

логическим процессом (АСУ ТП) [5].

Цифровой двойник для этих целей может получать данные о технологическом процессе напрямую от программируемого логического контроллера (рисунок 3):

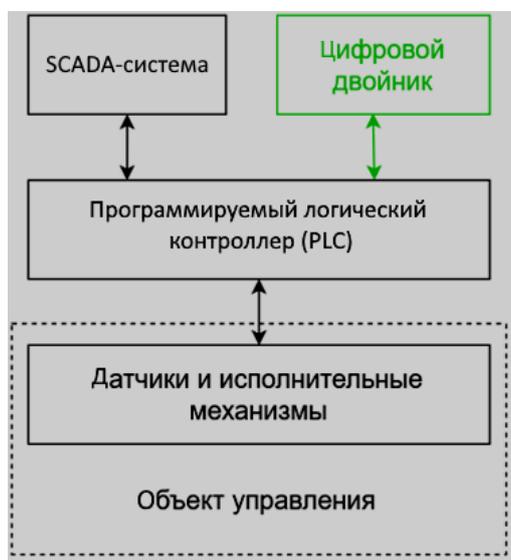


Рисунок 3 – Место цифрового двойника в структуре АСУ ТП

На текущий момент степень цифровизации промышленности достаточно высока – внедрены системы автоматизированного управления, предполагающие, в том числе, оперативный контроль и долгосрочное хранение контролируемых параметров технологических процессов и оборудования. Цифровые аналоги стандартных объектов были разработаны и отлажены в нескольких отраслях промышленности

Прохождение обучения оперативно-диспетчерского персонала на натуральных объектах связано с рядом сложностей. При обучении на натурном объекте может возникнуть опасность аварии на крупных промышленных предприятиях при некорректных действиях обучающихся: невозможно исключить потенциально неправильные (ошибочные) входные воздействия, формируемые обучающимся оперативно-диспетчерским персоналом, которые оказывают негативное влияние на выходные показатели натурального объекта [6].

Обучение на цифровых двойниках может осуществляться как в учебных лабораториях университета с использованием натурно-модельных данных, так и непосредственно на технологических объектах с использованием только натуральных данных, поступающих в модельный контур цифрового двойника. В последнем случае цифровой двойник будет получать входные данные с натурального объекта в режиме реального времени через физические датчики, при этом выходные данные с цифрового двойника в действующую систему не передаются.

Использование цифровых двойников при обучении персонала предприятий. Использование цифровых двойников в сочетании с методами имитационного моделирования при обучении персонала предприятий имеет большие преимущества перед традиционными формами их обучением на натуральных объектах.

Приведем пример обучения операторов АСУ ТП погрузки концентрата углеобогащительной фабрики «Антоновская» (г. Новокузнецк Кемеровской обл.).

При обучении операторов АСУ ТП погрузки для взаимодействия с цифровым двойником был использован интерфейс, максимально близко повторяющий операторский интерфейс SCADA-системы, с помощью которого производится управление погрузкой концентрата на углеобогащительной фабрике «Антоновская» (рисунок 4).

На первом, подготовительном этапе обучения операторы с помощью цифрового двойника знакомятся с интерфейсом SCADA-системы, отрабатывают на модели типовые задачи и ситуации, которые могут возникнуть в процессе работы комплекса, например, реализуют процедуру планового запуска/останова комплекса в различных режимах управления – режим «Автомат», режим «Дистанция», режим «Местный».

На втором, основном этапе обучения помимо штатных ситуаций на цифровом двойнике моделируются различные внештатные ситуации – сход ленты конвейера, переполнение бункера, отказы технологического оборудования и т.п.

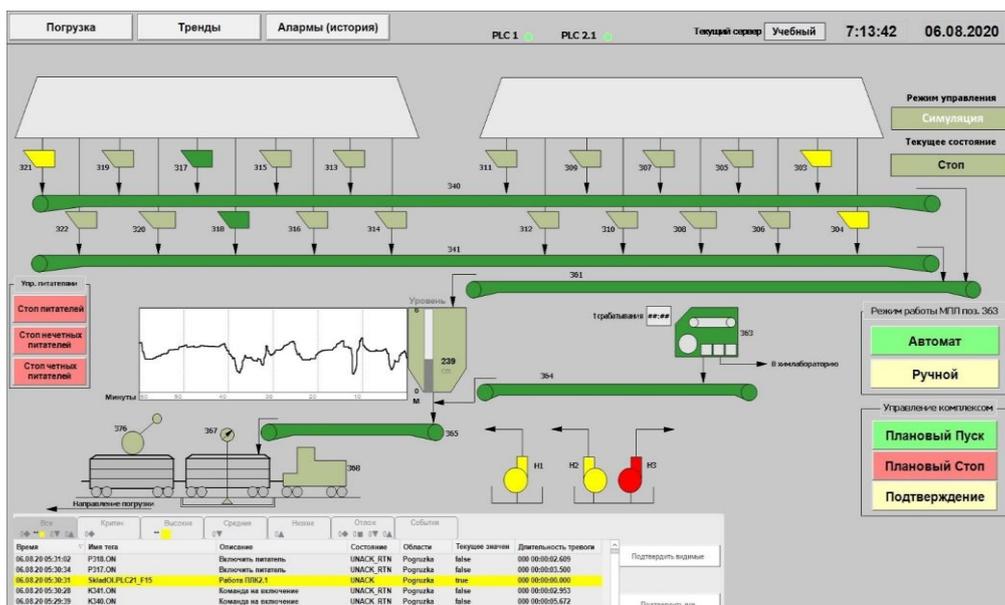


Рисунок 4 – Интерфейс цифрового двойника комплекса погрузки концентрата обогатительной фабрики «Антоновская»

Таким образом операторы комплекса погрузки имеют возможность отработать свои действия при наступлении различных ситуаций на цифровом двойнике и быть готовыми к их появлению на натурном объекте [7].

Такой вариант обучения с использованием цифрового двойника АПК погрузки показал свою эффективность как для начинающих операторов, не имеющих практических навыков управления, так и для опытных операторов погрузки.

Другим примером использования цифровых двойников может послужить ситуационный центр обогатительной фабрики «Шахта №12» (г. Киселевск Кемеровской обл.).

На данном объекте цифровой двойник служит не только цели обучения персонала, но также позволяет прогнозировать изменения в контуре как в краткосрочном, так и долгосрочном отрезке времени. На рисунке 5 показана имитационная модель питания гидроциклона 1. Помимо непосредственных параметров контура в данном примере отображены графики натуральных (обозначается «Н») и имитационных данных (обозначается «НМ» – натурно-модельные).

На данный момент имитационные модели реализованы лишь для некоторых технологических контуров. Данное ограничение связано с отсутствием части ключевых натуральных датчиков, показания которых, необходимы для построения имитационных моделей. На рисунке 6 показан пример различных технологических контуров, на которых реализованы имитационные модели.

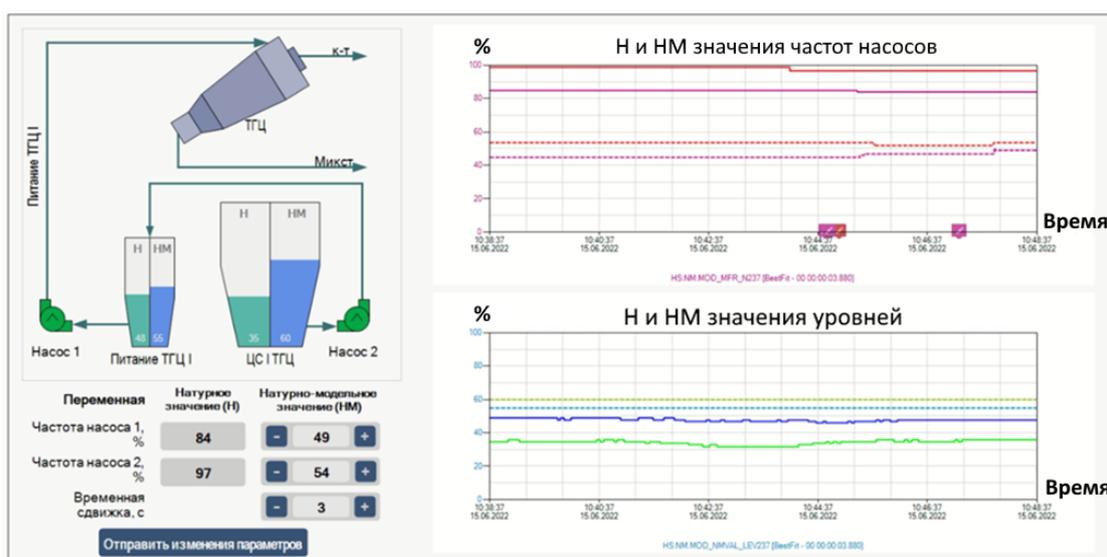


Рисунок 5 – Имитационная модель «Питание гидроциклона 1»

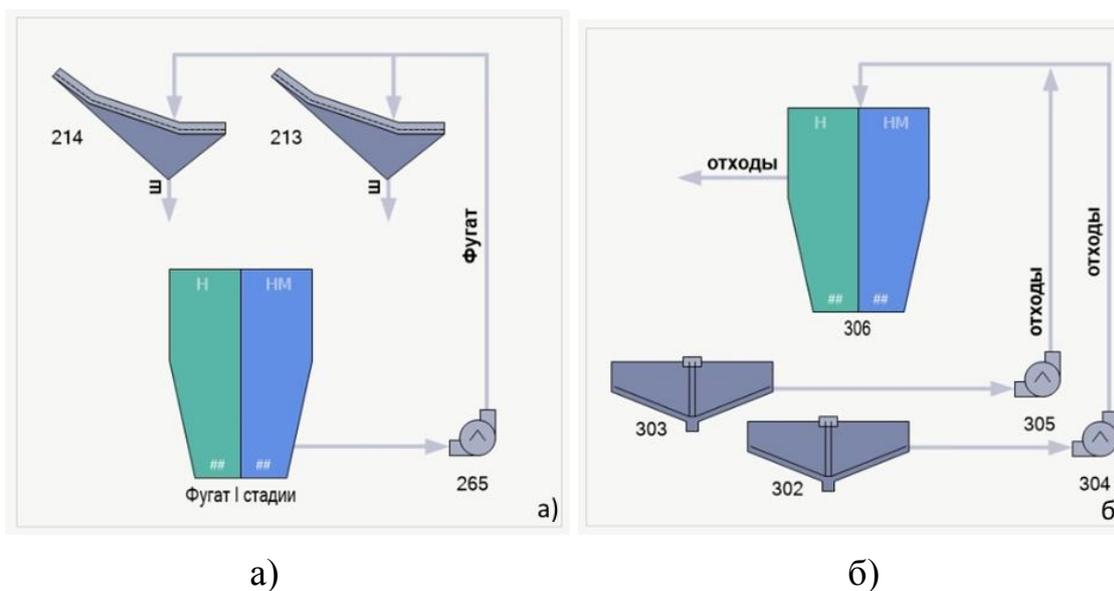


Рисунок 6 – Пример технологических контуров: а) фугат I стадии; б) радиальные сгустители поз. 302, 303

Разработанные имитационные модели технологических контуров в дальнейшем будут интегрированы в ситуационный центр обогатительной фабрики. На рисунке 7 показан пример расположения различных видеокладов на видеостене ситуационного центра. Данный ситуационный центр функционирует на базе видеостены, состоящей из восьми 55” панелей, на которых отображаются, в зависимости от ситуации, следующие видеоклады:

- диспетчерские видеоклады главного корпуса (А), флото-фильтровального отделения (Б), сушильно-топочного отделения (В), погрузки (Г);
- графики с ключевыми технологическими параметрами (Д);
- дашборд с ключевыми экономическими параметрами (Е);
- имитационная модель выбранного контура (Ж);
- видеопотоки с ip-камер наблюдения (З);

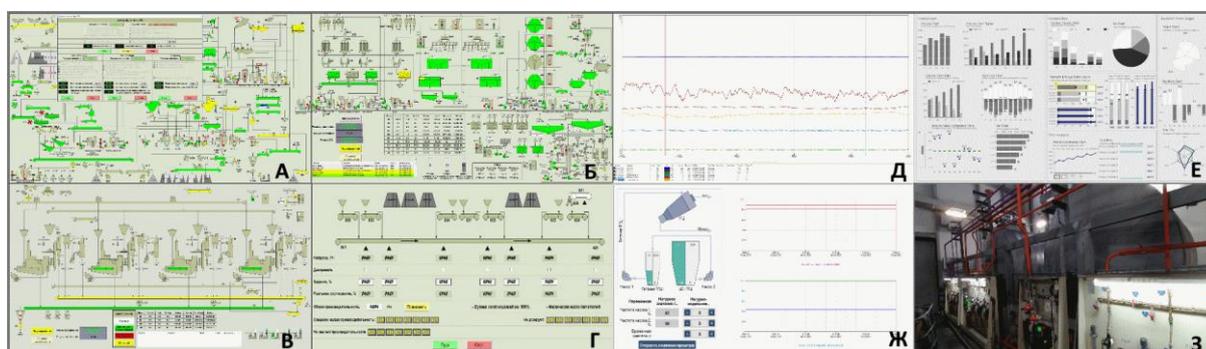


Рисунок 7 – Интерфейс видеостены ситуационного центра

Заключение

На современном этапе в глобальном информационном обществе активно формируется новый экономический уклад – цифровой. Цифровизация экономических процессов и проникновение информационных технологий происходит во всех сферах. Возникают новые требования к конкурентным преимуществам предприятий и концепциям их применения и управления.

На данный момент слабо развита научная и практическая база как для создания цифровых двойников, так и для воплощения в производстве, образовании и научной деятельности сложных полноценных АСУ ТП. Необходимо создание новых и совершенствование существующих АСУ ТП, их цифровая трансформация на крупных промышленных предприятиях с учетом повышенных требований к уровню цифровизации. Одним из основных инструментов для цифровой трансформации являются цифровые двойники с использованием технологий имитационного моделирования. Это позволит ускорить обучение персонала предприятия. При этом, благодаря моделированию протекающих технологических процессов, обеспечит прогнозирование изменений в контуре как в краткосрочном, так и долгосрочном периоде времени.

Библиографический список

1. Шваб, К. Четвертая промышленная революция. / К. Шваб – М.: Эксмо– Пресс, 2018. – С. 208.
2. Смолькин А.Е. Индустриальные революции и их особенности. / А.Е.

Смолькин, В.Н. Буйнов – Символ науки: международный научный журнал. 2016. № 4-3 (16). С. 124-127.

3. ГОСТ Р 57700.37-2021. Компьютерные модели и моделирование. Цифровые двойники изделий. Общие положения

4. Экспертно-аналитический доклад "Цифровые двойники в высоко-технологичной промышленности" -М.: Технет,2019. – С.43-46

5. Грачев В.В., Мышляев Л.П., Венгер М.К., Пургина М.В., Коровин Д.Е., Кулюшин Г.А. Применение технологий Industry 4.0 при создании автоматизированных промышленных комплексов // Сборник научных трудов НГТУ. –: НГТУ, 2021. – С. 7–20.

6. Грачев В.В., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Свинцов М.М., Коровин Д.Е. Использование цифровых двойников при обучении оперативно-диспетчерского персонала автоматизированных промышленных комплексов // Материалы V Международной научно-практической конференции «Проблемы и перспективы современного образования: практика вуза и школы». Часть 2». –: Новокузнецк: НФИ КемГУ, 2021.

7. Коровин Д.Е. Цифровой двойник: понятие и перспективы использования в угольной отрасли. / Коровин Д.Е., Грачев В.В., Мышляев Л.П., Иванов Д.В., Кулюшин Г.А., Загидулин И.Р., Свинцов М.М., Макаров Г.В. // Научно-технические проблемы разработки и использования минеральных ресурсов. – 2021. – №7. – С. 227 – 231.

УДК621.3.078

МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ "ПЧ-АД"

Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет,
г. Новокузнецк, Россия, klevtsov1999@mail.ru, dima010@mail.ru*

***Аннотация:** Рассматриваются основные проблемы эксплуатации угольных вагоноопрокидывателей. Представлена кинематическая схема угольного вагоноопрокидывателя роторного типа. Произведен анализ отказов и неисправностей электропривода кантования. Рассчитаны статические и динамические моменты на валу электродвигателя, построена тахограмма цикла работы вагоноопрокидывателя. Выбрана система управления электроприводом.*

***Ключевые слова:** угольный вагоноопрокидыватель, двухдвигательный привод, преобразователь частоты, тахограмма, статические моменты, динамические моменты, электропривод.*

MODERNIZATION OF THE RELAY-CONTACTOR CONTROL

РОЛЬ АТОМНОЙ ЭНЕРГЕТИКИ В МЕТАЛЛУРГИИ <i>Волченкова О.А., Михайличенко Т.А.</i>	297
ТЕХНОЛОГИИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ШЛАМОВ В КАЧЕСТВЕ ДОБАВКИ К АГЛОСИХТЕ <i>Урусов Д.Н., Михайличенко Т.А.</i>	306
РЕКОНСТРУКЦИЯ СИСТЕМЫ ГАЗООЧИСТКИ ЗА ПАРОГЕНЕРАТОРАМИ ЗАПАДНО-СИБИРСКОЙ ТЭЦ ФИЛИАЛА АО «ЕВРАЗ ЗСМК» ПУТЕМ ЗАМЕНЫ ГАЗООЧИСТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ <i>Големинов С.П., Михайличенко Т.А.</i>	314
ВОЗМОЖНОСТИ ПРИНУДИТЕЛЬНОГО ЗАРОДЫШЕОБРАЗОВАНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ЖЕЛЕЗОРУДНЫХ ОКАТЫШЕЙ В ТЕХНОЛОГИЯХ РЕСУРСОСБЕРЕЖЕНИЯ <i>Павловец В.М.</i>	322
ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИИ ОКОМКОВАНИЯ ЖЕЛЕЗОРУДНОЙ ШИХТЫ В ПРОИЗВОДСТВЕ ОКАТЫШЕЙ, СОДЕРЖАЩЕЙ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИЕ ДОБАВКИ <i>Павловец В.М.</i>	329
АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ОБЛАСТИ ОХРАНЫ ТРУДА НА ПРЕДПРИЯТИЯХ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Романова В.А., Дробышев В.К.</i>	338
ПРИМЕНЕНИЕ КОМПЛЕКСА ВЗАИМОВОСТРЕБОВАННЫХ УСТАНОВОК С ЦЕЛЬЮ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВА НА СТАДИИ ДОМЕННОГО ПРОИЗВОДСТВА ПРЕДПРИЯТИЯ ЧЕРНОЙ МЕТАЛЛУРГИИ <i>Филиппов В.А.</i>	344
СЕКЦИЯ 5: АВТОМАТИЗАЦИЯ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИХ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ	352
АВТОМАТИЧЕСКОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДЛЯ СТАБИЛИЗАЦИИ ТОКОВОЙ НАГРУЗКИ ИНДУКЦИОННОЙ ПЕЧИ, ИСПОЛЬЗУЕМОЙ ПРИ МОНТАЖЕ ОБОЖЖЕННЫХ АНОДОВ <i>Немчинова Н.В., Тузов А.В., Геройменко А.В., Апончук И.И.</i>	352
ИДЕНТИФИКАЦИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ ОБЪЕКТОВ С ЗАВИСИМЫМИ ОТ ЭФФЕКТИВНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ СВОЙСТВАМИ <i>Свинцов М.М., Скударнова Н.В., Ивушкин К.А., Макаров Г.В., Мышляев Л.П.</i>	358
ЗАДАЧА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТАМИ СО СТРУКТУРНОЙ НЕСТАЦИОНАРНОСТЬЮ <i>Загидулин И.Р., Мышляев Л.П., Макаров Г.В., Свинцов М.М.</i>	363
ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ СОЗДАНИИ ЦИФРОВЫХ ДВОЙНИКОВ КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЙ <i>Коровин Д.Е., Грачев В.В., Макаров Г.В., Кулюшин Г.А., Скударнова Н.В.</i>	369
МОДЕРНИЗАЦИЯ РЕЛЕЙНО-КОНТАКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА КАНТОВАНИЯ УГОЛЬНОГО ВАГОНООПРОКИДЫВАТЕЛЯ НА СИСТЕМУ УПРАВЛЕНИЯ "ПЧ-АД" <i>Клевцов С.А., Модзелевский Д.Е.</i>	376
СИСТЕМНЫЕ АСПЕКТЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ, ПРОГРАММНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ <i>Макаров Г.В., Мышляев Л.П., Чинахов Д.А., Ивушкин К.А.</i>	384
ОПЫТ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЙ УДАЛЕННОЙ ПУСКОНАЛАДКИ НА КРУПНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ <i>Кулюшин Г.А., Мышляев Л.П., Грачев В.В., Коровин Д.Е.</i>	391
МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ И ПРОГРАММНО-ИНСТРУМЕНТАЛЬНАЯ СИСТЕМА «АЛЮМИНЩИК» ДЛЯ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В МИКСЕРЕ ЛИТЕЙНОГО ОТДЕЛЕНИЯ <i>Мартусевич Е.А., Рыбенко И.А.</i>	400

Научное издание

**МЕТАЛЛУРГИЯ:
ТЕХНОЛОГИИ, ИННОВАЦИИ, КАЧЕСТВО**
«Металлургия – 2022»

Труды XXIII Международной научно-практической конференции

Часть 2

Под общей редакцией А.Б. Юрьева

Технический редактор	Г.А. Морина
Компьютерная верстка	Н.В. Ознобихина

Подписано в печать 16.11.2022 г.

Формат бумаги 60×84 1/8. Бумага офисная. Печать цифровая.
Усл. печ. л. 24,0 Уч.-изд. л. 26,4 Тираж 300 экз. Заказ № 296

Сибирский государственный индустриальный университет
654007, Кемеровская область – Кузбасс, г. Новокузнецк, ул. Кирова, 42
Издательский центр СибГИУ