

**Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Сибирский государственный индустриальный университет»
Администрация Правительства Кузбасса
Администрация г. Новокузнецка
Институт проблем управления им. Трапезникова РАН
Федеральный исследовательский центр угля и углехимии СО РАН
АНО «Научно-образовательный центр «Кузбасс»**

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2023**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

12-14 декабря 2023 г.

**Новокузнецк
2023**

УДК 658.011.56
С 409

Редакционная коллегия:

д.т.н., проф. В.В. Зимин (ответственный редактор),
д.т.н., проф. С.М. Кулаков, к.т.н., доц. В.А. Кубарев,
д.т.н., проф. Л.Д. Павлова, д.т.н., доц. И.А. Рыбенко,
к.т.н., доц. В.И. Кожемяченко (технический редактор).

С 409 Системы автоматизации (в образовании, науке и производстве) AS'2023: труды Всероссийской научно–практической конференции (с международным участием), 12-14 декабря 2023 г. / Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Сибирский государственный индустриальный университет ; под общ. ред. В.В. Зимина. – Новокузнецк : Издательский центр СибГИУ, 2023. – 420 с.

ISBN 978-5-7806-0583-6

Труды конференции посвящены научным и практическим вопросам в области современных систем автоматизации и информатизации учебных, исследовательских и производственных процессов. Представлены результаты исследования, разработки и внедрения методического, математического, программного, технического и организационного обеспечения систем автоматизации и информационно-управляющих систем в различных сферах деятельности.

Сборник трудов ориентирован на широкий круг исследователей, научных работников, инженерно-технический персонал предприятий и научно-исследовательских лабораторий, преподавателей вузов, аспирантов и обучающихся по программам бакалавриата и магистратуры.

УДК 658.011.56

© Сибирский государственный
индустриальный университет, 2023

МОДЕРНИЗАЦИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА УСТАНОВКИ СУХОГО ТУШЕНИЯ КОКСА С УЧЕТОМ НЕИДЕНТИЧНОСТИ ХАРАКТЕРИСТИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ

Александров Н.А., Модзелевский Д.Е., Кипервассер М.В.

*ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, nik_2668@mail.ru; dima010@mail.ru; kipervasser2012@yandex.ru*

Аннотация. Рассмотрен вариант многодвигательного электропривода на примере установки сухого тушения раскалённого кокса. Его модернизация с помощью установки преобразователя частоты с активным выпрямителем напряжения. Рассмотрен состав системы управления и влияния неидентичности характеристик одинаковых электродвигателей на подъемный механизм.

Ключевые слова: многодвигательный электропривод, неидентичность характеристик, преобразователь частоты, автономный инвертор напряжения, модуль сетевого фильтра, рекуперация, ведущий-ведомый, командоконтроллер.

Abstract. In this paper, a variant of a multi-motor electric drive is considered using the example of an installation for dry quenching of hot coke. Its modernization by installing a frequency converter with an active voltage rectifier. Options for dividing the loads of electric drives are considered and one of the options is selected. The composition of the control system and the influence of non-identical characteristics of identical electric motors on the lifting mechanism are considered.

Keywords: multi-motor electric drive, non-identical characteristics, frequency converter, autonomous voltage inverter, line filter module, recuperation, master-slave, command controller.

Для тушения кокса используется установка сухого тушения кокса (УСТК), представляющая собой цилиндрическую камеру. Раскаленный кокс загружается сверху, а затем, опускаясь к конвейерам, подвергается тушению охлажденным теплоносителем в виде циркуляционного газа, поступающего в камеру снизу [1]. Подъем вагона горячего кокса осуществляется с помощью подъемной установки с многодвигательным электроприводом. Две пары двигателей присоединены к двум редукторам, с помощью которых вращается барабан подъемной установки (рисунок 1).

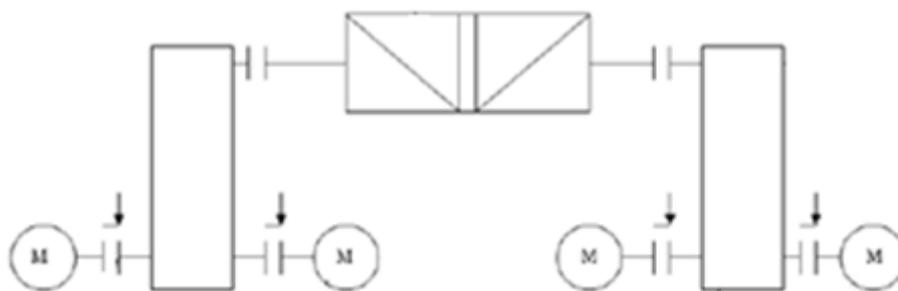


Рисунок 1 – Кинематические схемы подъемника №11 УСТК №4

Увеличение числа двигателей в электроприводах производственных механизмов большой мощности и со значительными моментами инерции позволяет добиться определенных преимуществ по сравнению с однодвигательным электроприводом [1, 2, 5]. К ним относятся:

- возможность унификации электроприводов различных по мощности установок;
- меньший суммарный момент инерции двигателей, чем у однодвигательного электропривода соответствующей мощности;
- уменьшение нагрузки на передачи и вследствие этого уменьшение их массы и габаритов.

На данный момент на подъемнике №11 УСТК №4 используется релейно-контакторная схема. Она имеет ряд недостатков:

- контактная коммутация, требующая соответствующего обслуживания электроаппаратов и ограничивающая срок их службы;
- не согласованная работа электродвигателей, приводящая к частому вытягиванию канатов и выходу из строя механической части подъемного механизма;
- ограниченное быстродействие системы [3, 5].

При замене релейно-контакторной схемы на преобразователь частоты (ПЧ) перечисленные недостатки могут быть устранены. Основной проблемой при работе электрических машин на общий вал является неравномерное распределение нагрузок между ними и невозможность завершения технологического цикла в случае выхода из строя одного из двигателей. Если электродвигатели имеют одинаковую мощность, то равномерное распределение нагрузок без системы деления возможно лишь при абсолютной идентичности их механических характеристик. В данном случае единственным исключением может быть неравенство углов наклона механических характеристик [4]. Но и тот факт, что двигатели и редуктора многодвигательного привода соответствуют друг другу по параметрам, не гарантирует их полного совпадения по характеристикам. Разница при намотке обмоток в несколько витков, разная степень износа зубчатых колес редукторов – все это приводит к тому, что соотношение момент/скорость вращения для каждого двигателя в приводе будет своим.

При использовании электродвигателей различной мощности необходимо обеспечить пропорциональное распределение моментов между ними в соответствии с их номинальной мощностью. Для этого у электрических машин меньшей мощности крутизна характеристики должна быть больше (рисунок 2) [3].

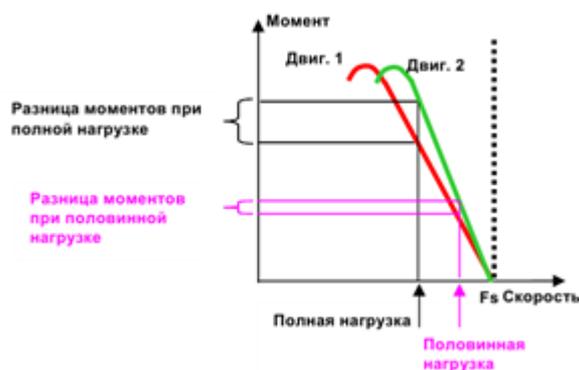


Рисунок 2 – Разница моментов двигателей

Возникающая неодинаковость загрузки двигателей весьма неблагоприятна, так как вынуждает завышать мощность двигателей. Если жесткости механических характеристик неодинаковы, то при той же общей нагрузке агрегата большую часть нагрузки принимает на себя тот двигатель, у которого жесткость больше, а второй соответственно недогружается. Следовательно, если при проектировании многодвигательного электропривода не принять меры к выравниванию нагрузок, двигатели с большей жесткостью могут иметь нагрузку, превышающую номинальную, что приведет к превышению допустимой температуры двигателей и к быстрому выходу их из строя [4].

Жесткость механической характеристики зависит от скольжения, которое в свою очередь определяется типом и характеристиками двигателя. При параллельном включении двигателей, имеющих равные скорости идеального холостого хода и связанных общим механическим валом, нагрузка между ними распределяется пропорционально жесткости их механических характеристик.

Если номинальный крутящий момент или номинальная частота оборотов хотя бы одного двигателя в многодвигательном приводе будет отличаться, то весь привод уже не будет нормально работать. В примере с упомянутым подъемником УСТК это грозит тем, что могут появиться колебания вагона с раскаленным коксом весом около 28 тонн, также направляющие колеса в шахте подъемника могут заклинить при перекосе самого вагона. Это, в свою очередь, приведет к растягиванию канатов, появится зазор в зубчатой передаче редуктора, а также увеличит нагрузку на остальные двигатели, которые могут перегреться и выйти из строя [4].

Деление нагрузки по системе «ведущий-ведомый» часто используется в многодвигательных электроприводах. Такая система применяется для автоматического выравнивания нагрузки в случаях, когда два или более двигателей, питаемых от индивидуальных преобразователей частоты, связаны кинематически друг с другом и, следовательно, вращаются принудительно с одинаковой скоростью.

Преимущества:

- быстродействующее и точное выравнивание нагрузки;
- полностью настраиваемая система.

Недостатки:

- требуется взаимосвязь приводки;
- при выходе из строя ведущего привода ведомые останавливаются.

Функция «выравнивания нагрузки» в преобразователях частоты Altivar 71 производства фирмы «Schneider Electric» использует искусственное скольжение, формируемое преобразователями частоты. Такой способ выравнивает нагрузку между двигателями с неидентичными характеристиками, поскольку пользователь по существу формирует искусственные характеристики.

Преимущества:

- не требуется взаимосвязь между приводами;
- работа возможна со всеми законами управления в разомкнутой системе;
- настраиваются индивидуальные характеристики двигателей;
- простота реализации.

Недостатки:

- выравнивание нагрузки между неидентичными двигателями будет ухудшаться с увеличением нагрузки (двигатель с более жесткой характеристикой будет перегружен, тем больше, чем больше нагрузка);
- нет автоматической компенсации между двигателями по скольжению.

Функция позволяет лучше распределить момент между четырьмя двигателями за счет изменения скорости в зависимости от момента, аналогично скольжению [6, 7].

Для активации данной функции в графическом терминале выбирается пункт «Drive Menu», в нем уже - пункт «1.4 Motor Control», активируется функция «LbA» (рисунок 3). В пункте «LbC» задается желаемое (искусственное) значение скольжения двигателя, требуемое при номинальном моменте (рисунок 4).

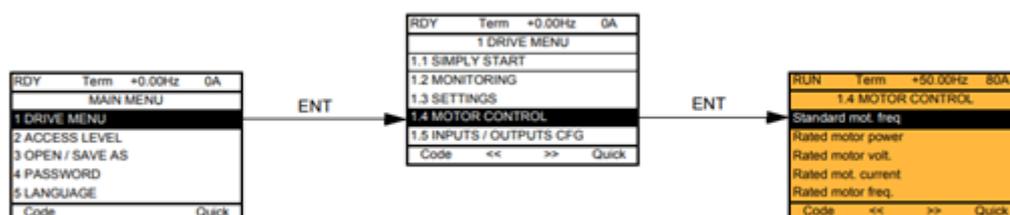


Рисунок 3 – Графический терминал



Рисунок 4 – Описание функции «LbA»

При выравнивании нагрузки необходимо задать коррекцию нагрузки для каждого привода. Задаем искусственное значение скольжения двигателя, требуемое при номинальном моменте. Увеличение скольжения приводит к уменьшению нагрузки на данном двигателе. Характеристика становится мягче, разница моментов четырех двигателей при одинаковой частоте уменьшается.

Также необходимо установить минимальную скорость и минимальный момент для коррекции нагрузки (ниже этой уставки коррекции нет). Применяется для запрета коррекции на очень низкой скорости, если это может привести к вращению двигателя (рисунок 5) [6, 7].



Рисунок 5 – Принцип выравнивания нагрузки

Коэффициент выравнивания нагрузки K зависит от скорости и момента и определяется двумя коэффициентами $K1$ и $K2$ ($K = K1 \times K2$).

Параметры формирования коэффициентов $K1$ и $K2$ (рисунок 6):

– LbC1 (Нижняя уставка коррекции) - минимальная скорость для коррекции нагрузки в Гц;

– LbC2 (Верхняя уставка коррекции) - уставка скорости в Гц, выше которой коррекция нагрузки максимальна;

– LbC3 (Смещение момента) - минимальный момент для коррекции нагрузки в процентах от номинального момента [7].

Подъем вагона раскаленного кокса на УСТК будет осуществляться с помощью четырех двигателей, а управление - с помощью преобразователей частоты и активного выпрямителя напряжения фирмы «Schneider Electric». Присутствует возможность применения системы рекуперации электроэнергии - возврат в питающую сеть электрической энергии в момент торможения. Для этого используются совместно с преобразователями частоты автономные инверторы напряжения (рисунок 7).

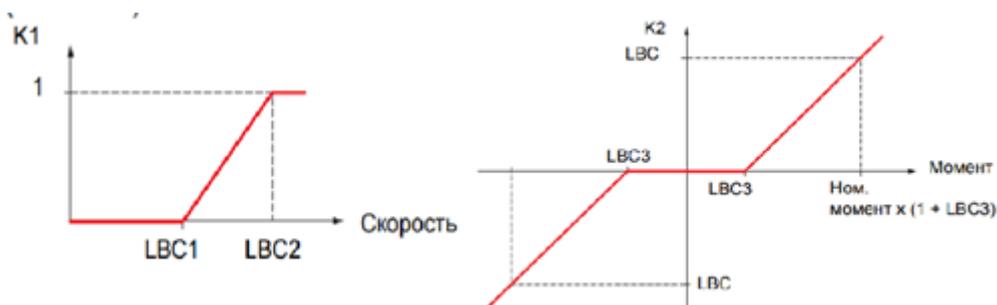


Рисунок 6 – График влияния коэффициента К

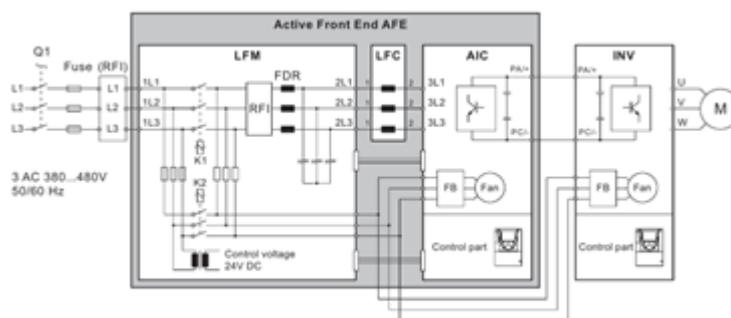


Рисунок 7 – Функциональная схема подключения АД с АИН

Система управления частотными приводами состоит из командоконтроллера, НМІ панели, тумблеров и кнопок, с помощью которых машинист управляет процессом подъема. С него приходят сигналы на корзину с контроллером, состоящую из блока питания, центрального процессора, блоков входов и выходов, блока связи.

Существует два режима управления: ручной и полуавтоматический. В ручном сам машинист управляет всем процессом, а в полуавтоматическом следит за технологическим процессом и переходит на следующий шаг с помощью кнопки разрешения. В этом же режиме скорость подъема контроллер определяет в зависимости от высоты подъема по заданному технологическому циклу. Из-за особенности конструкций подъемника необходимо использовать 3 скорости подъема. Высоту он получает с абсолютного энкодера.

В ручном режиме работы командоконтроллер формирует 4 сигнала вперед и 4 сигнала назад. На блок входов одновременно приходит два сигнала с командоконтроллера – это движения вперед или назад и заданная скорость, всего 3 скорости: 10 Гц, 30 Гц и 50 Гц (рисунок 8).

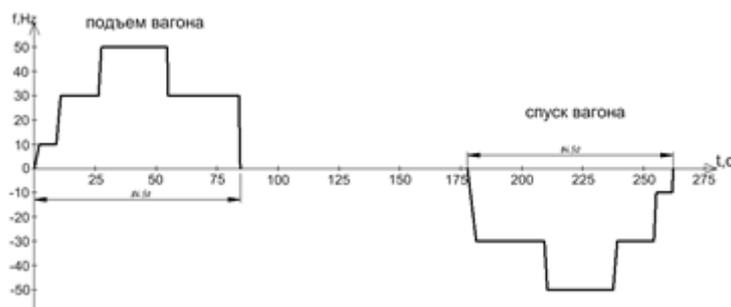


Рисунок 8 – Циклограмма электропривода подъемника №12 УСТК4

Сам контроллер с блока выходов подает на дискретные входа преобразователя частоты сигналы в виде 0 и 1, тем самым дает команды для пуска и выбора скорости для

подъема/спуска. Для получения 4 скоростей необходимо сконфигурировать 2 и 4 скорости (PS4 и PS2) (рисунок 9) [6].

4 скорости LI (PS4)	2 скорости LI (PS2)	Задание скорости
0	0	Задание (1)
0	1	SP2
1	0	SP3
1	1	SP4

Рисунок 9 – Заданные скорости преобразователя частоты

Вывод: предложенная схема с преобразователем частоты с функцией «Выравнивание нагрузки» позволит согласовать работу четырех независимых друг от друга электродвигателей, работающих на общий вал, выровнять токи и моменты в номинальном режиме работы, что невозможно было при релейно-контакторной схеме. Также данная схема регулируемого электропривода удовлетворяет техническим требованиям. Электропривод позволит повысить качество управления электрическими машинами, увеличить срок службы, надежность оборудования и механизмов.

Библиографический список

1. Азимов А.А. Машины и оборудование коксовых батарей и пекококсовых установок / А.А. Азимов - М.: «Металлургия», 1980 - 88 с.
2. Анучин А.С. Система управления электроприводов: учебник для вузов / А.С. Анучин - М.: Издательский дом МЭИ, 2015. - 375. с.:ил.
3. Ключев, В.И., Теория электропривода: учебник для вузов / В.И. Ключев. - М. : Энергоатомиздат, 1985. - 560 с.
4. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием / Г.Г. Соколовский - М.: Академия, 2006. - 272 с.
5. Чиликин, М.Г. Теория автоматизированного электропривода: учебное пособие для вузов / М.Г. Чиликин, В.И. Ключев, А.С. Сандлер. - М. : Энергия, 1979. - 616 с.
6. Активный выпрямитель напряжение Altivar AFE. Руководство по выбору АВН мощностью 120-160 кВт. Руководство пользователя. - 98 с.
7. Выравнивание нагрузки с помощью преобразователей частоты Altivar 71. Руководство пользователя. - 18с.

УДК 621.313

ОСОБЕННОСТИ РАБОТЫ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ КОЛЕБАНИЯХ СЕТЕВОГО НАПРЯЖЕНИЯ В НЕРЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДАХ С ДЛИТЕЛЬНЫМ РЕЖИМОМ РАБОТЫ

Поползин И.Ю., Живаго Р.Э.

ФГБОУ ВО «Сибирский государственный индустриальный университет»
г. Новокузнецк, Россия, roman.zhivago@mail.ru

Аннотация. Составлена математическая модель электромеханической системы в составе синхронного двигателя и центробежного насоса. Исследовалась ситуация глубокой просадки напряжения питающей сети. Получены графики изменения токов обмоток статора и ротора при просадке напряжения питающей сети и выполнен их анализ.

лекарственных препаратов на примере Кемеровской области - Кузбасса за 2021 - 2022 годы.....	279
<i>Поповян Н.О., Усов А.Б.</i>	
Информационно-аналитическая система управления деятельностью предприятия по производству асфальта и асфальтобетонной смеси	284
<i>Грачев А.В.</i>	
Подходы к оцениванию работы узлов в распределенной сетевой структуре для задач управления техническими элементами.....	291
<i>Рыленков Д.А., Калашников С.Н.</i>	
Управление конфигурациями телекоммуникационного оборудования при решении задач обеспечения информационной безопасности.....	294
<i>Лубина О.С., Калашников С.Н.</i>	
Разработка теоретических основ для управления образовательным процессом при изучении учебных дисциплин математического цикла с использованием технологий виртуальной и дополненной реальностей	297
<i>Шабалин В.С., Киселева Т.В.</i>	
Обзор существующих методов и инструментов управления организацией	300
СЕКЦИЯ 4. СОВРЕМЕННЫЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД И ПРОМЫШЛЕННАЯ ЭЛЕКТРОНИКА	
<i>Поползин И.Ю.</i>	
К вопросу о применении электропривода, построенного по схеме машины двойного питания, для механизмов с большими диапазонами регулирования скорости (на примере подъемной установки).....	306
<i>Дурнев А.А., Симаков В.П., Кипервассер М.В.</i>	
Применение сглаживающих фильтров для преобразователей приводов рольгангов металлургических производств с целью снижения генерации высших гармоник в питающую сеть.....	311
<i>Бедарев М.А., Коновалов О.В., Мамонтов Д.Н., Кипервассер М.В.</i>	
Особенности модели фазосдвигающего трансформатора Zigzag Phase-Shifting Transformer в среде Matlab Simulink при моделировании силовых трансформаторов 10(6)/0,4 со схемой соединения обмоток Y/Zn-11	314
<i>Васенин А.Б., Крюков О.В.</i>	
Система мониторинга автоматизированного электропривода	318
<i>Степанов С.Е., Крюков О.В.</i>	
Переходные процессы короткого замыкания в электроприводе	324
<i>Стищенко К.П., Герасимук А.В., Кипервассер М.В.</i>	
Влияния высших гармонических составляющих в питающем напряжении тяговой подстанции на качество выпрямленного напряжения и напряжения на шинах 10/6 кВ	330
<i>Поползин И.Ю., Кубарев В.А.</i>	
Электропривод с асинхронным электродвигателем двойного питания.....	335
<i>Кубарев В.А., Зайцев Н.С., Кузнецова Е.С.</i>	
Математическое моделирование синхронного двигателя с демпферной обмоткой в системе относительных единиц «Парка-Горева».....	339

<i>Александров Н.А., Модзелевский Д.Е., Кипервассер М.В.</i>	
Модернизация многодвигательного электропривода установки сухого тушения кокса с учетом неидентичности характеристик электродвигателей.....	346
<i>Поползин И.Ю., Живаго Р.Э.</i>	
Особенности работы синхронного двигателя при колебаниях сетевого напряжения в нерегулируемых электроприводах с длительным режимом работы	351
<i>Костылев С.Ю., Модзелевский Д.Е.</i>	
Построение модели и синтез управления автоматизированной поточно-транспортной системы	356
<i>Калачева О.К., Модзелевский Д.Е.</i>	
Исследование режимов работы многоагрегатного электропривода насосной станции.....	362
<i>Алтухов Д.И., Модзелевский Д.Е.</i>	
Разработка многоуровневого инвертора напряжения для электропривода ШПУ	367
<i>Вершинин М.С., Модзелевский Д.Е.</i>	
Применение имитационного моделирования при создании тренажера для подготовки к сдаче демонстрационного экзамена по «Мехатронике».....	374
<i>Мальшев Г.Д., Борщинский М.Ю.</i>	
Разработка электронного значка со световой эмблемой СибГИУ.....	381
<i>Ушаков В.В., Кармачев С.К., Борщинский М.Ю.</i>	
Осциллограф на базе персонального компьютера	383
<i>Рогожников И.П., Борщинский М.Ю.</i>	
Реализация системы единого времени с использованием микроконтроллера	386
<i>Яценко Н.Р., Борщинский М.Ю.</i>	
Измерение АФЧХ с помощью универсального измерительного прибора OSA103F	390
<i>Дорошенко А.В.</i>	
Современные методы и средства исследования автоматизированных электрических и электромеханических систем. состояние, проблемы, перспективы.....	394
<i>Сарсембин А.О., Кубарев В.А.</i>	
Системы автоматического регулирования возбуждения синхронных двигателей шахтного подъёма.....	398
<i>Кубарев В.А., Кучик М.М., Маршев Д.А.</i>	
Визуализация электрических схем	402
<i>Бунакова М.Т., Водоватова А.Е., Корнеев П.А., Мищенко С.А., Низовская А.Д.,</i>	
Разработка учебного квадрокоптера.....	406
СПИСОК АВТОРОВ	412
СОДЕРЖАНИЕ	414

Научное издание

**СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
(в образовании, науке и производстве)
AS' 2023**

**ТРУДЫ ВСЕРОССИЙСКОЙ НАУЧНО–ПРАКТИЧЕСКОЙ
КОНФЕРЕНЦИИ
(с международным участием)**

12-14 декабря 2023 г.

Под общей редакцией д.т.н., доц. В.В. Зимина

Техническое редактирование и компьютерная верстка В.И. Кожемяченко

Подписано в печать 01.12.2023 г.

Формат бумаги 60×84 1/16. Бумага писчая. Печать цифровая.

Усл. печ. л. 25.04. Уч.-изд. л. 26.64. Тираж 20 экз. Заказ 260.

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

Издательский центр СибГИУ