



ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ЭНЕРГИЯ-2026

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ТРИНАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

13-15 мая 2026 г.
г. Иваново

ТОМ 4

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Ивановский государственный энергетический университет
имени В.И. Ленина»

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

«ЭНЕРГИЯ-2026»

**XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ
(XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 13 – 15 мая 2026 года

ТОМ 4

УДК 62-1; 62-5; 621
ББК 30.1; 30.2-5-05; 34.5

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ//
XXI всероссийская (XIII международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия–2026»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2026. – 162 с.

ISBN 978-5-00062-728-0

ISBN 978-5-00062-723-5 (Т.4)

Тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых учёных, помещённые в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности в области электромеханотроники и управления.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами электромеханотроники и управления.

Тексты тезисов представлены авторами в виде файлов, сверстаны и при необходимости сокращены. Авторская редакция сохранена, за исключением наиболее грубых ошибок оформления.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: Сулынников И.Н. проректор по научной работе ИГЭУ.

Зам. председателя: Филатова Г.А. начальник управления НИРС и ТМ.

Члены научного комитета по направлению: декан электромеханического факультета – к.т.н. **Крайнова Л.Н.**, зав. кафедрой ЭиМС – к.т.н., доц. **Тихомирова И.А.**, зав. кафедрой ТМ – к.т.н., доц. **Ведерникова И.И.**, зав. кафедрой ЭиАПУ – к.т.н., доц. **Куленко М.С.**, зав. кафедрой ЭМ – к.т.н., доц. **Нестеров С.А.**, зав. кафедрой ТиПМ – д.ф.-м.н., доц. **Маслов Л.Б.**, зав. кафедрой ПМ – д.т.н., доцент **Беляков А.Н.**, зам. декана ЭМФ по студенческой науке – **Сороковнин М.Е.**

Ответственный секретарь: Сороковнин М.Е.

СЕКЦИЯ 18
АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Председатель –
д.т.н., профессор **Колганов А.Р.**

Секретарь –
старший преподаватель **Захаров М.А.**

*Д.А. Дюжев, студ.; рук. Н.Е. Гнездов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА РУК-МАНИПУЛЯТОРОВ СЕРВИСНОГО РОБОТА-ГИДА

Робот-гид «Горди», предназначенный для сопровождения посетителей университета, успешно прошёл предварительные испытания [1]. Для повышения коммуникативных способностей «Горди» и его приближения к техникам проведения экскурсий человеком [2], в частности реализации указательных, приветственных и других жестов, было решено оснастить его руками-манипуляторами.

Для анализа движения механизмов рук-манипуляторов была разработана кинематическая схема, на основе которой создана математическая модель для расчета движения схвата. Спроектированная рука имеет четыре степени свободы: две в «плечевом» суставе и две в «кистевом», в обоих случаях одно движение является поступательным, второе вращательным. В «плечевом» суставе поступательное движение осуществляется с помощью шагового двигателя с ходовым винтом, а вращательное – с помощью разработанного мехатронного модуля. Мехатронный модуль состоит из шагового двигателя с электромагнитным тормозом и планетарного двухступенчатого редуктора. В «кистевом» суставе поступательное движение осуществляется с помощью линейного актуатора, установленного в корпусе руки, а вращательное движение и захват построены на шаговых двигателях.

Выполнен анализ работы и визуализация движения руки-манипулятора во всех режимах на 3D модели. Изготовлен первый экземпляр руки. Проводятся натурные испытания механики и разработка системы питания всех потребителей. После завершения всех испытаний возможно увеличение числа степеней свободы рук-манипуляторов до шести для повышения естественности движений при коммуникациях с людьми.

Библиографический список

1. Дюжев, Д. А. Модернизация сервисного робота-гида / Д. А. Дюжев, К. К. Ермаков // Электромеханотроника и управление: Материалы конференции. В 6-ти томах, Иваново, 17–19 марта 2025 года. – Иваново: Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2025. – С. 11. – EDN CZNWCA.
2. Методика и техника проведения экскурсий. [Электронный ресурс]. <https://excursovod-ru.livejournal.com/12366.html>

Г.А. Богомолов, студ.
(Филиал МЭИ, г. Смоленск)

АВТОНОМНОЕ ЗАРЯДНОЕ УСТРОЙСТВО НА ОСНОВЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Рассматривается разработка мобильного автономного зарядного устройства (АЗУ), предназначенного для заряда аккумуляторных батарей (АБ) напряжением 12/24 В в условиях отсутствия стационарной электрической сети. Первичным источником энергии служит электромеханический генератор переменного тока, приводимый во вращение мускульной силой человека (велосипед, велотренажер, ручной привод) либо ветроколесом (микроветрогенератор). Особенностью работы является стохастический характер входного механического момента, что требует активного согласования нагрузки с генератором.

Ключевым режимом функционирования АЗУ является автоматический поиск точки максимальной мощности (Maximum Power Point Tracking, МРРТ). Для синхронного генератора с возбуждением от постоянных магнитов оптимальная нагрузка, соответствующая максимуму передаваемой мощности, зависит от частоты вращения. В устройстве реализован алгоритм «наблюдения и регулирования» посредством широтно-импульсного преобразователя. Микроконтроллер STM32 изменяет скважность ШИМ, измеряя входное напряжение и ток, итерационно приближаясь к точке экстремума функции $P = U \cdot I$. При падении частоты вращения ниже порога срабатывания контроллер переходит в режим «ожидания».

Для визуального контроля реализована система индикации на жидкокристаллическом индикаторе (ЖКИ, тип 1602). Отображаются: мгновенный зарядный ток (А), накопленный заряд (А·ч), напряжение на клеммах АБ (В) и текущая мощность, отбираемая от генератора (Вт). Расчет ампер-часов выполняется интегральным методом:

$$Q = \int_0^t I_{charge}(\tau) d\tau$$

Практическая значимость АЗУ наиболее высока в условиях полевых выходов, экспедиций, а также на театре военных действий («окопная война»). Отсутствие зависимости от горючего и бесшумность повышают скрытность и автономность подразделений. Устройство позволяет заряжать радиостанции, навигаторы, БПЛА малого класса и осветительное оборудование. Восстановление заряда АБ емкостью 60 А·ч при работе на велотренажере (мощность 80–120 Вт) занимает 6–8 часов, что сопоставимо с физическими возможностями одного человека.

*Е.А. Варигин, студ.; И.А. Жуков, студ.;
рук. В.Л. Чистосердов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА РОБОТИЗИРОВАННОГО МАНИПУЛЯТОРА С ЭЛЕМЕНТАМИ МАШИННОГО ЗРЕНИЯ ДЛЯ ПРОХОЖДЕНИЯ ПОЛОСЫ ПРЕПЯТСТВИЙ

Успешное прохождение соревновательной полосы препятствий требует от робототехнических комплексов способности выполнять сложные манипуляции в условиях отсутствия прямой видимости. В связи с жесткими габаритными ограничениями мобильной платформы возникла необходимость разработки компактного манипулятора, обладающего максимальной грузоподъемностью и требуемым числом степеней свободы. Ключевой особенностью устройства является интеграция системы машинного зрения. Установленная на звене манипулятора камера компенсирует невозможность прямого визуального контроля оператором, обеспечивая как общее пространственное ориентирование робота, так и высокоточное позиционирование схвата для выполнения целевых задач.

Механическая часть манипулятора спроектирована с учетом минимизации массы при сохранении высокой прочности конструкции. Основные элементы каркаса изготовлены методом 3D-печати из пластика PETG. Для обеспечения плавной передачи крутящего момента и минимизации люфтов в понижающих редукторах применены шевронные шестерни, напечатанные из износостойкого пластика ABS GF.

Система управления манипулятором построена по принципу распределенных вычислений. Низкоуровневое управление приводами реализуется связкой микроконтроллера ESP32 и модуля Robointellect Servo Driver. Вычисление сложных задач вынесены на сторону ЭВМ оператора: видеопоток с камеры передается по беспроводному каналу связи на компьютер, где происходит обработка данных. Данный подход обеспечивает стабильную работу без перегрузки бортового контроллера.

Функциональный прототип проходит стадию оптимизации и устранения недостатков. Дальнейшая работа предполагает проведение комплексных испытаний на полосе препятствий. Разработанное устройство решает задачу точного управления роботом в условиях ограниченной видимости и повышении общей эффективности платформы.

Библиографический список

1. RTC Cup. Регламент соревнований [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cup.rtc.ru/lp/reglament/> (дата обращения: 07.04.2026).

*А.Б. Васенин, асп.; С.Е. Степанов; рук. О.В. Крюков, д.т.н., доц.
(ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород)*
ПУСК ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРА АВО ГАЗА

Важнейшими технологическими установками на дожимных компрессорных станциях месторождений являются аппараты воздушного охлаждения (АВО) газа, которые обеспечивают штатную температуру природного газа после его компримирования [1, 2].

При пуске электропривода (ЭП) вентилятора АВО в режиме авторотации вентилятора происходит увеличение времени запуска, связанное с этапами запуска – торможением до нулевой скорости и разгоном до номинальной. Результаты экспериментов при пуске вентилятора [3, 4] говорят не только об увеличении времени запуска, но и о росте пускового тока из-за исходного вращения в обратную сторону.

Для более детального изучения влияния рециркулирующего потока воздуха АВО на переходные процессы разработана имитационная модель ЭП вентилятора АВО в пакете MATLAB [5]. Моделью электродвигателя вентилятора ВАСО 16-14-24 является блок «Asynchronous-MachineVАСО16–14–24». Модель нагрузки ЭП представляет собой блок «MechanicalPartАВО», который описывает рабочий участок механической характеристики вентилятора. Расчет потерь электроэнергии выполняется в блоке «dPВАСО16–14–24».

В докладе получены параметры торможения противовключением ЭП АВО, время прямого пуска, значение потерь электроэнергии в обмотке статора. Для оценки адекватности моделирования и подтверждения результатов проведен аналитический расчёт времени пуска ЭП при различных скоростях начального вращения. В результате исследований установлено, что пуск ЭП АВО продолжительнее пуска из состояния покоя, что приводит к повышенному нагреву обмотки статора.

Библиографический список

1. **Васенин А.Б., Крюков О.В.** Энергоэффективные и экологичные установки воздушного охлаждения // В сб.: Великие реки' 2017. 19-й МНПФ. НГАСУ. 2017. С. 93-96.
2. **Крюков О.В., Гуляев И.В., Еразумов М.И.** Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования КС // Вологда, Инфра-Инженерия. 2022.
3. **Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.** Автоматизированный электропривод подводных КС // В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения). Материалы МНТК. ИГЭУ, 2023. С. 75-78.
4. **Крюков О.В.** Регрессионные алгоритмы инвариантного управления электроприводами при стохастических возмущениях // Электричество. 2008. № 9. С. 45-51.
5. **Крюков О.В., Туганов Р.Б.** Применение методов искусственного интеллекта для электромеханических систем // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2020. № 3. С. 10-16.

*Р.Б. Туганов, асп.; Е.В. Бычков; рук. О.В. Крюков, д.т.н., доц.
(ООО «ТСН-электро», г. Нижний Новгород)*

ИНТЕГРИРОВАННЫЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНЫЕ ТУРБОКОМПРЕССОРЫ В МОНОКОРПУСЕ

Разработка новых отечественных электроприводов переменного тока мегаваттного класса обусловлена задачами повышения надежности и энергоэффективности. Это актуально и для электроприводов газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) на газопроводах РФ [1, 2].

Модернизация и замена конструкций приводных двигателей существующих ЭГПА позволяет получить новые конкурентные возможности, среди них высокий ресурс и интеллектуальное управление [3,4].

В докладе рассмотрены конструкции монокорпусного высокооборотного двухполюсного асинхронного двигателя с КЗ высокопрочным ротором на магнитном подвесе [5] при номинальной скорости до 9.500 об/мин с отводом тепла посредством перекачиваемого газа. Уникальные конструктивные решения с горизонтальной и вертикальной осью вращения позволяют реализовать малолюдные технологии эксплуатации компрессорных станций с автоматическим дистанционным управлением и оптимизацией работы всего магистрального газопровода.

В докладе представлены принципиальные схемы ЭГПА-6,3/8200-56/1,44-Р с параметрами сердечника и обмоток статора асинхронного электродвигателя. Повышенные требования к минимизации массогабаритных показателей для компактности «пятна застройки», обеспечения безопасности для окружающей среды обусловили реализацию варианта вертикальной компоновки ЭГПА в капсулированном герметичном корпусе без мультипликатора, муфты и маслосистем.

Библиографический список

1. **Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.** Реализация капсулированных электроприводных ГПА // Известия ВУЗов. Электромеханика. 2020. Т. 63. № 1. С. 31-37.
2. **Крюков О.В., Гуляев И.В., Еразумов М.И.** Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования КС // Вологда, Инфра-Инженерия. 2022.
3. **Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В.** Автоматизированный электропривод подводных КС // В сборнике: Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения). Материалы МНТК. ИГЭУ, 2023. С. 75-78.
4. **Крюков О.В., Туганов Р.Б.** Применение методов искусственного интеллекта для электромеханических систем // Автоматизация и IT в энергетике. 2020. № 3. С. 10-16.
5. **Крюков О.В.** Перспективы электромагнитного подвеса роторов газотранспортных агрегатов // Вопросы электромеханики. Труды ВНИИЭМ. 2016. Т. 154. № 5. С. 12-19.

*Е.С. Подшивалов, асп.; В.А. Ипполитов; рук. О.В. Крюков, д.т.н., доц.
(ООО «ТСН-электро»), г. Нижний Новгород)*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С АКТИВНЫМИ ФИЛЬТРАМИ ПРИ РЕЗОНАНСАХ В ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИИ

На многих предприятиях ТЭК России и зарубежья имеются серьезные проблемы с надежностью функционирования систем автоматизированного электропривода на базе «преобразователь частоты - активный выпрямитель напряжения» (ПЧ-АВ), а также проблемы с обеспечением электромагнитной совместимости (ЭМС) ПЧ-АВ с внутриводской сетью 6-35 кВ [1,2]. Ухудшение качества гармонического состава напряжения в сетях с мощными ПЧ-АВ приводит к тому, что эквивалентная емкость кабелей 6-35 кВ, взаимодействуя с индуктивностями сетевых трансформаторов главной понизительной подстанции, создает в частотной характеристике сети резонансы токов, значительно повышающие импеданс сети в отдельном частотном диапазоне.

Для улучшения качества напряжения в системах внутриводского электроснабжения с мощными приводами ПЧ-АВ предложено [3,4]: использование модифицированных алгоритмов ШИМ для АВ с удалением выделенных гармоник; применение встроенных в ПЧ-АВ $L-CL$ фильтров на входе АВ; использование классических узкополосных и широкополосных фильтров высших гармоник или применение специальных схем электроснабжения, предусматривающих выделение «грязной» секции в РУ-6-35 кВ для индивидуального питания ПЧ-АВ.

В докладе проведен анализ конфигурации сетей среднего напряжения [5], показывающий влияние протяженных кабельных линий на частотную характеристику сети. Предложен анализ способов обеспечения ЭМС ПЧ-АВ с питающей сетью, при наличии в ней резонансов.

Библиографический список

1. Подшивалов Е.С., Крюков О.В. Перспективы электроснабжения объектов распределенной энергетики // *Электротехнологии и электрооборудование*. 2023. № 1. С. 45-52.
2. Крюков О.В., Гуляев И.В., Еразумов М.И. Энергоэффективность и автоматизация электрооборудования КС // *Вологда, Инфра-Инженерия*. 2022.
3. Крюков О.В., Туганов Р.Б. Применение методов искусственного интеллекта для электромеханических систем // *Автоматизация и ИТ в энергетике*. 2020. № 3. С. 10-16.
4. Саушев А.В., Подшивалов Е.С., Крюков О.В. Электромагнитная связь электроприводов с нелинейной нагрузкой // *Автоматизация и ИТ в энергетике*. 2024. № 6. С. 24-31.
5. Васенин А.Б., Степанов С.Е., Крюков О.В. Автоматизированный электропривод подводных КС // В сборнике: *Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии (XXII Бенардосовские чтения)*. Материалы МНТК. ИГЭУ, 2023. С. 75-78.

*И.А. Жуков, студ.; М.О. Ешкотов, студ.;
рук. В.Л. Чистосердов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ АППАРАТНО-ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА УПРАВЛЕНИЯ ГУСЕНИЧНЫМ РОБОТОМ

Гусеничные мобильные роботы с независимыми бортовыми приводами широко используются в задачах, где требуется повышенная проходимость, маневренность и устойчивость движения на различных типах поверхностей. Они применяются при транспортировке и выполнении технологических операций в условиях сложного рельефа.

Целью работы является проектирование аппаратно-программного комплекса управления электроприводом гусеничного мобильного робота для применения в условиях, соревновательных трасс и реальной эксплуатационной среды. Разработана структура элементной базы на основе одноплатного компьютера Raspberry Pi 5 и двигателей постоянного тока JGB37-520. Конструкция предусматривает раздельное управление левого и правого бортов, через драйвера на основе H-мостов для реализации управления гусеничным движителем. На программном уровне разработан и находится в процессе наладки алгоритм, вычисляющий по командам оператора или надстроечного модуля робота требуемые значения управляющих сигналов для драйверов [1].

По результатам проведения ходовых испытаний планируется модернизация аппаратно-программного комплекса системы управления электроприводом, включая добавление обратной связи по скорости и адаптацию к различным условиям движения [2].

Библиографический список

1. **Егоров, И. Н.** Системы управления электроприводов технологических роботов и манипуляторов : учебное пособие / И. Н. Егоров, В. П. Умнов ; Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 314 с. – ISBN 978-5-99841670-5.
2. **Котович, С. В.** Двигатели специальных транспортных средств : в 3 ч. Ч. II : учебное пособие / С. В. Котович. – Москва : МАДИ, 2021. – 184 с.

В.А. Занозин, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ СЕРИИ ДБМ

Двигатель серии ДБМ (двигатель бесконтактный моментный) представляет собой синхронную электрическую машину с обмоткой на статоре (двухфазной или трехфазной) и многополюсным ротором с постоянными магнитами.

Одной из конструктивных особенностей ДБМ является секционирование фазных обмоток – у двухфазных двигателей каждая фаза состоит из двух обмоток, у трехфазных двигателей обмотка имеет обычное исполнение. Для двухфазных двигателей допускается последовательное, параллельное, раздельное питание обмоток фаз, а также питание одной обмотки фазы и соединение обмоток в звезду с общим проводом, что обеспечивает функциональное разнообразие механических характеристик ДБМ (рис. 1).

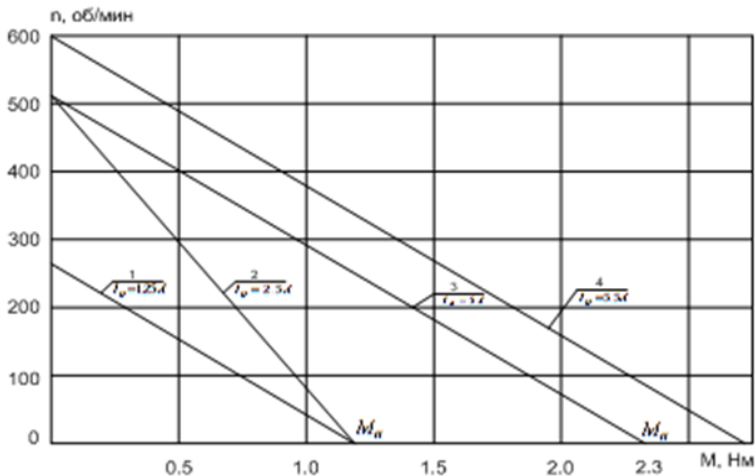


Рис. 1. Механические характеристики ДБМ 120-1-0,2-2:

- 1 – последовательное соединение обмоток;
- 2 – раздельное питание обмоток;
- 3 – параллельное соединение обмоток ($U_{\text{П}} = 27\text{В}$);
- 4 – параллельное соединение обмоток ($U_{\text{П}} = 30\text{В}$)

В докладе рассматриваются также аналоговые системы электропривода с ДБМ и особенности его применения в широкорегулируемом импульсно-фазовом электроприводе (ИФЭП).

*В.Д. Аронова, маг.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИНТЕЗ НЕЧЁТКОЙ СИСТЕМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ КРАНА

Современные методы искусственного интеллекта, в особенности нечёткие системы, позволяют управлять сложными техническими процессами даже при отсутствии или неполноте математических моделей. Управление позиционированием погрузочного крана может быть реализовано на основе методов нечёткой логики из-за большого количества факторов, влияющих на точность перемещения груза, таких как, например, ветровые нагрузки, трение, изменение собственной частоты колебаний в зависимости от массы груза.

Динамическое поведение крана описывается аperiодическим звеном первого порядка с последовательно включённым интегратором. Цель состоит в точном регулировании положения крана за счёт управляющего воздействия [1]. Поскольку действуют внешние возмущения (например, ветер, трение), используется нечёткий регулятор типа Мамдани. Входными величинами служат положение и скорость крана, каждая из которых фаззифицируется с помощью лингвистических термов, таких как «отрицательное большое» (NB) или «положительное малое» (PS). Выходом регулятора является движущая сила, также задаваемая нечёткими множествами.

База правил включает 15 импликаций в виде продукционных правил, которые сведены в матрицу отношений. При фаззификации определяются степени принадлежности чётких измеренных значений к лингвистическим термам. Вывод осуществляется по алгоритму MAX-MIN: оператор MIN реализует логическое «И» в предпосылках, оператор MAX собирает вместе выходные сигналы всех задействованных правил. Из результирующего нечёткого множества с помощью метода центра тяжести (Center of Gravity, COG) вычисляется чёткое управляющее воздействие.

Построенная трёхмерная зависимость между положением, скоростью и движущей силой соответствует адаптивному П-регулятору, который устойчив к возмущениям.

Библиографический список

1. Dorschner, H.-W.: Verfahren der KI – Vorlesungsüberblick. Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft, Fakultät für Maschinenbau und Mechatronik.

*А.Р. Воронин, студ.; рук. А.А. Коротков к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИКИ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Работа высоковольтного многоуровневого преобразователя частоты (ВМПЧ) в составе автоматизированной системы управления (АСУ) требует проведения комплексной работы по автоматизации процессов управления, защиты и диагностики. Структура ВМПЧ представлена следующими секциями: секция управления, секция инвертора и секция многообмоточного трансформатора. Такая конфигурация исключает необходимость использования многожильных сигнальных жгутов для передачи данных о состоянии оборудования в центральный контроллер преобразователя частоты (КПЧ), расположенный в секции управления, т.е. все сигналы обрабатываются локальными контроллерами секций (ПЛК) и передаются по коммутационному каналу в КПЧ [1].

Центральный контроллер – КПЧ выполняет расчёт управления силовыми модулями секции инвертора и, получая данные от ПЛК других секций, формирует общее состояние ВМПЧ. Разработанная система автоматики распределяет задачи между следующими устройствами:

- ПЛК секций трансформатора и инвертора выполняет обслуживание датчиков температуры трансформатора и окружающего воздуха внутри секций, управление по цифровому интерфейсу RS-485 крышными вентиляторами, контроль и управление релейной аппаратурой;

- ПЛК секции управления реализует обмен аналоговыми/цифровыми сигналами с различными АСУ предприятия, обслуживание датчиковой системы электродвигателя;

- источник бесперебойного питания (ИБП) обеспечивает автономное питания КПЧ от аккумулятора в аварийных режимах, когда штатное питание отключено;

- графическая панель оператора (ГП) выполняет задачи индикации состояния ВМПЧ, сохранения логов и взаимодействия с оператором.

Рассмотренная система автоматики реализована на опытном образце ВМПЧ (10 кВ, 1000 кВт) и успешно прошла стендовые испытания.

Библиографический список

1. Барбасова, Т. А. Промышленные сети и системы связи: учебное пособие / Т. А. Барбасова, Е. А. Канашев; Министерство науки и высшего образования Российской Федерации, Южно-Уральский государственный университет, Высшая школа электроники и компьютерных наук, Кафедра Автоматики и управление. – Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2020. – 144 с. – EDN RXRTUX.

К.Д. Рогожников, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ТРУБОПРОВОДНОЙ АРМАТУРЫ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ АЭС

Трубопроводная арматура представляет собой устройства, предназначенные для управления потоками жидкостей или газов, транспортируемых в трубопроводных системах.

В докладе рассматриваются вопросы модернизации электропривода трубопроводной арматуры технологической системы отвода остаточного тепла энергоблока АЭС, связанные с заменой нерегулируемого релейно-контакторного электропривода на бесконтактный частотно-регулируемый электропривод фирмы АУМА.

Условная схема модернизации приведена на рис. 1.

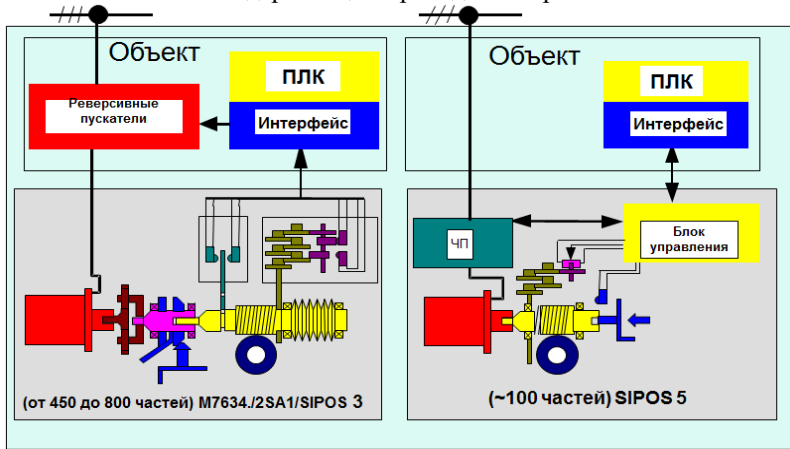


Рисунок 1 – Условная схема модернизации электропривода трубопроводной арматуры

В результате сравнительного анализа выявлены следующие основные преимущества модернизации электропривода:

- значительно упрощается механическая часть арматуры;
 - оптимальное управление – плавный старт и торможение;
 - улучшенное позиционирование;
 - электронная защита электродвигателя и системы управления;
- упрощение этапа планирования.

*Е.М. Синельщиков, студ; рук. М.С. Куленко, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ И ПРОГРАММНО- АППАРАТНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ СТЕНДА С БЕГОВЫМИ БАРАБАНАМИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МОТОТЕХНИКИ НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

В условиях доминирования на российском рынке импортной мототехники, сертификация которой не всегда учитывает местные дорожные условия, возникает необходимость в создании отечественного испытательного оборудования для объективной оценки усталостной долговечности несущих конструкций. Существующие стенды ограничены вертикальным нагружением и не воспроизводят боковые и угловые нагрузки, что критично для рам и подшипниковых узлов. Одной из ключевых задач при проектировании стала разработка интеллектуальной системы управления, обеспечивающей точное воспроизведение циклов нагружения.

Цель работы – создание модульного стенда с беговыми барабанами и системы управления, позволяющей гибко программировать режимы испытаний.

Система управления реализована на базе программируемого логического контроллера Siemens Logo! с частотными преобразователями ОВЕН ПЧВЗ. Она обеспечивает:

- программирование непрерывных и ступенчатых циклов испытаний;
- задание временной задержки вращения заднего барабана относительно переднего ($t = L / V$, где L – база, V – скорость);
- автоматическое изменение частоты вращения в процессе испытаний;
- сбор данных с датчиков и аварийную остановку оборудования.

Практическая значимость: стенд с системой управления изготовлен и позволяет российским производителям проводить ресурсные испытания, разрабатывать новые методики и отраслевые стандарты, снижая зависимость от зарубежных инжиниринговых центров.

Библиографический список

1. Кузьмин А.О., Мещеряков Д.Е. Создание стенда с беговыми барабанами для испытания мототехники на усталостную прочность // Труды НАМИ. – 2024. – № 2 (297). – С. 66–77. DOI: 10.51187/0135-3152-2024-2-66-77.

*И.М. Корешкова, студ.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИНТЕЗ ТРЕХПАЛОГО СХВАТА МАНИПУЛЯТОРА

Схваты манипуляторов широко применяются в робототехнике для захвата, удержания и перемещения объектов при сборочных и комплектующих операциях [1].

Существует большое количество конструкций схватов, определяющими параметрами которых является конфигурация и количество захватных пальцев тип привода и передаточного механизма. Конструктивные решения широко освещены в работах [2] и имеют как достоинства, так и недостатки.

Наиболее простыми по конструкции являются схваты с управлением от пневматического привода, например, от пневмоцилиндра.

Целью работы является синтез трехпалого схвата манипулятора для дальнейшего применения сборки электронных изделий на конвейерной линии. Кинематическая схема и модель схвата приведена на рис. 1.

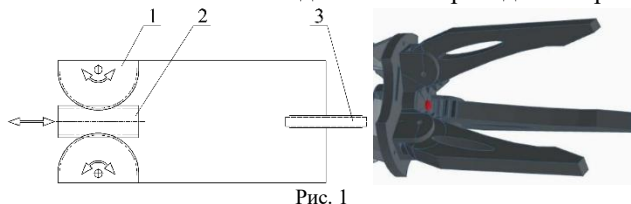


Рис. 1

Захват имеет губки 1, выполненные заодно целое с секционным зубчатым колесом. В центре схвата смонтирована зубчатая рейка 2, которая своими зубьями входит в зацепление с секционными шестернями губок. Поступательное движение зубчатой рейки преобразовывается в поворотное движение губок и объект 3 захватывается. Поступательное движение зубчатая рейка получает от поворотного серводвигателя SG90.

Разработанный хват манипулятора имеет три захватные губки, призванные повысить точность базирования и центрирование монтируемого объекта. Полученная модель является прототипом схвата и будет детально исследована для возможности внедрения в сборочную линию по изготовлению электронных средств.

Библиографический список

1. **Егоров, И.Н.** Системы управления электроприводов технологических роботов и манипуляторов : учебное пособие / И. Н. Егоров, В. П. Умнов ; Владимирский государственный университет им. А. Г. и Н. Г. Столетовых. – Владимир : Изд-во ВлГУ, 2022. – 314 с. – ISBN 978-5-99841670-5.
2. **Котович, С.В.** Двигатели специальных транспортных средств : в 3 ч. Ч. II : учебное пособие / С. В. Котович. – Москва : МАДИ, 2021. – 184 с.

*А.Р. Воронин, студ.;
рук. К.К. Ермаков, инженер-программист НТЦЭ «Вектор»
(НТЦЭ «Вектор», Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЧЕЛОВЕКО-МАШИННОГО ИНТЕРФЕЙСА ВЫСОКОВОЛЬТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Разработка человеко-машинного интерфейса (НМИ) является важной задачей, определяющей эффективность производственной и технической эксплуатации оборудования [1]. Данная работа посвящена созданию интуитивно понятной системы визуализации и управления (конфигурирования параметров) для опытного образца высоковольтного многоуровневого преобразователя частоты (ВМПЧ), разработанного НТЦ Электропривода «Вектор».

Интерфейс представлен оконным приложением, адаптированным под использование как на стандартном сервисном ПК, так и на сенсорном панельном компьютере (графическая панель оператора), вмонтированном в дверь секции управления ВМПЧ. НМИ обеспечивает: отображение текущего состояния ВМПЧ, наличие готовности или аварийные состояния элементов системы управления (СУ); индикацию срабатывания защит, предупреждений, состояния устройств релейной защиты, наличие связи и статус обмена данными с автоматизированными системами предприятия (АСУТП, АСТУЭ и др.); просмотр, запись и построение графиков мгновенных и действующих значений токов, напряжений и других переменных ВМПЧ в режиме реального времени; оперативный доступ, отображение, систематизацию и хранение истории событий, журнала действий оператора, составление отчетов о функционировании устройства за определенный период времени; удобное пользователю обновление программного обеспечения контроллеров ВМПЧ (контроллера преобразователя частоты, контроллеров ячеек, программируемых логических контроллеров секций инвертора и трансформатора). Также в НМИ предусмотрено разделение прав пользователей. Например, пользователь, обладающий правами «Разработчик», имеет полный доступ к настройкам программы, а для пользователя с правами «Оператор» значительная часть функций и состав меню параметров ограничены. Разработка приложения выполнялась в среде Qt, функционал которого обеспечивает кроссплатформенность для работы на операционных системах Windows и Linux (в частности Ubuntu подобных дистрибутивах).

Библиографический список

1. Золкин, А.Л. Проектирование человеко-машинных интерфейсов для систем промышленного интернета вещей: Учебник для вузов / А. Л. Золкин, Ф. Р. Ахмадуллин. – Санкт-Петербург: Издательство Лань, 2025. – 152 с. – ISBN 978-5-507-51809-8. – EDN НОЕТКИ.

Д.С. Зайцев, асп.; рук. М.С. Куленко, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ БЕЗДАТЧИКОВОЙ СИСТЕМЫ ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ СДПМ В СРЕДЕ MATLAB SIMULINK

Синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ) имеют лучшие технические показатели, чем асинхронные, но требуют информации о положении ротора [1]. Бездатчиковое управление с наблюдателем состояния позволяет отказаться от датчиков на валу.

Цель работы – получение алгоритма управления с высокой точностью оценки угла ротора, широким диапазоном регулирования скорости и устойчивостью к дрейфу параметров двигателя.

Система управления включает блок задания скорости, ПИД-регулятор скорости и векторное управление с наблюдателем. Токи регулируются ПИ-регуляторами. Наблюдатель содержит математическую модель двигателя, релейный регулятор, ФНЧ, блок вычисления скользящей переменной и корректор оценки угла положения ротора (рисунок 1).

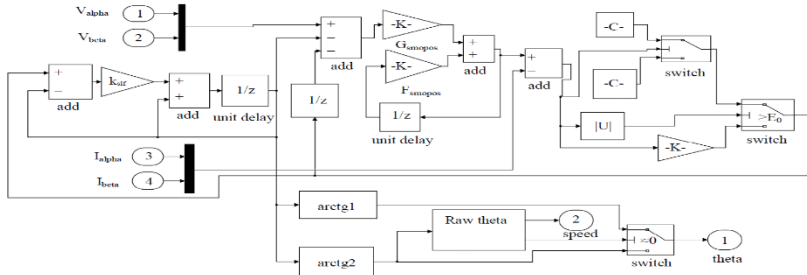


Рисунок 1 – Модель наблюдателя состояния в MATLAB Simulink

Представленная реализация бездатчикового управления СДПМ с наблюдателем на скользящих режимах требует только двух датчиков тока, напряжение задания и параметров статора (R , L). Структура позволяет избежать роста ошибки при дрейфе параметров из-за нагрева и применима для высоких скоростей в режиме ослабления поля.

Библиографический список

1. Зайцев, Д. С. Нейросетевой виртуальный датчик положения для бездатчикового векторного управления синхронным двигателем с постоянными магнитами / Д. С. Зайцев // Всероссийская студенческая конференция: Сборник статей Всероссийской научно-практической конференции, Пенза, 10 января 2026 года. – Пенза: Наука и Просвещение (ИП Гуляев Г.Ю.), 2026. – С. 30-34.

Степанкин Д.Е., маг.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В раздел курсового проектирования систем управления электроприводов предлагается ввести моделирование регуляторов скорости и тока, разработанных на основе операционных усилителей. В качестве примера на рис. 1, а приведена принципиальная схема, а на рис. 1, б – модель ПИ-регулятора тока на основе SimPoverSystems пакета Matlab.

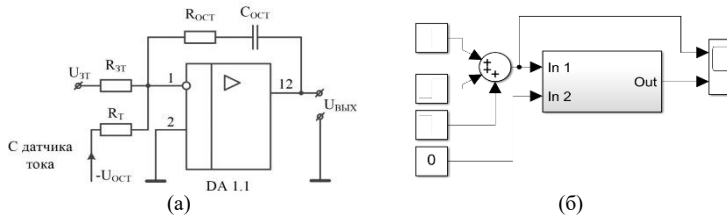


Рисунок 1 – Принципиальная схема (а) и модель (б) регулятора тока

Внутренняя схема модели приведена на рис. 2, а результаты моделирования – на рис. 3.

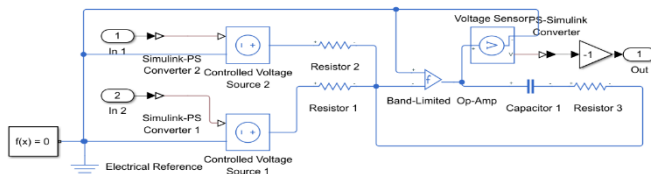


Рисунок 2 – Внутренняя схема модели регулятора тока на основе SimPoverSystems

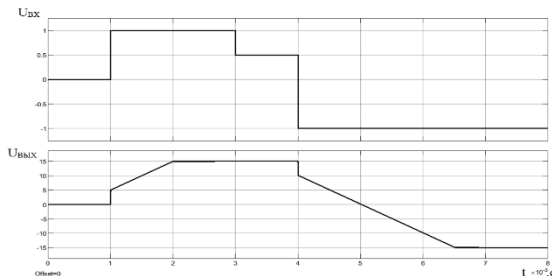


Рисунок 3 – Результаты моделирования ПИ-регулятора тока на основе SimPoverSystems

Результаты моделирования показали целесообразность использования SimPoverSystems в курсовом проектировании.

*И.М. Корешкова, студ.; рук. К.Е. Соколов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕХАТРОННОГО СТЕНДА УПРАВЛЕНИЯ ЛИНЕЙНЫМ ПЕРЕМЕЩЕНИЕМ

При разработке современных электромехатронных систем требуется оценка эффективности работы в условиях, характерных для реальных объектов. Однако исследуемые объекты в составе технологического оборудования зачастую являются достаточно дорогостоящими, что затрудняет проведение экспериментов. По этой причине подобные исследования целесообразно проводить на базе экспериментальных стендов, позволяющих имитировать работу мехатронных систем различной конфигурации.

Наиболее часто в составе мехатронных систем, таких как станки с ЧПУ, конвейерные механизмы, манипуляторы и др., используются механизмы линейного перемещения по вертикали или горизонтали с высокой точностью и скоростью позиционирования.

В работе представлена схема лабораторного стенда, которая имитирует работу механизмов подачи станка. Она состоит из двух серводвигателей с электромагнитным тормозом, подключенных к модулям линейных перемещений и обеспечивающих параллельное движение кареток, имитирующих подачи станка с ЧПУ. Серводвигатели получают питание от сервоусилителей, работой которых в согласованном и раздельном режимах осуществляется с помощью программируемого контроллера. Через редукторы установлены энкодеры для обратной связи по положению/перемещению. Управление работой стенда выполняется через HMI интерфейс на панели оператора.

Для полноценного функционирования демонстрационного стенда и исследования его работы планируется сборка стенда, разработка человеко-машинного интерфейса и выбор рабочих органов.

Библиографический список

1. **Тарарькин С.В., Тютиков В.В.** Физическое моделирование упругих механических систем средствами цифрового следящего электропривода // *Электротехника*. – 1999. – №3. – С. 11-15.
2. **Ключев В.И.** Теория электропривода: Учеб для вузов. – М. // Энерго-атомиздат. – 2001. – С. 38-41.

*А.А. Соколов, студ.; рук. А.Р. Колганов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ МНОГОМЕРНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЛИНЕЙНЫХ МОДЕЛЕЙ

Для улучшения качества и точности систем управления необходимо учитывать нелинейные свойства электромехатронных систем (ЭМТС). Примерами такого рода объектов являются роботы и промышленные манипуляторы, автоматизированный электропривод, системы с зазорами и люфтами в механических передачах, и т.д.

Использование традиционных векторно-матричных моделей (ВММ) позволяет достаточно просто синтезировать систему управления ЭМТС, но здесь возникает необходимость «доводки» полученных результатов с помощью нелинейно-дискретных структурных моделей. В этой связи для предварительного учета нелинейных свойств предлагается математическое описание нелинейного объекта линеаризовать в нескольких точках, для получения трехмерных ВММ. Применение таких моделей позволяет синтезировать регуляторы переменной структуры, которые и будут первоначальным проектным решением, требующим обязательного уточнения методом имитационных экспериментов со структурными моделями.

В докладе представлены результаты структурно-параметрического синтеза ЭМТС таких как робот-манипулятор [1] и активный магнитный подшипник (АМП) [3], проведен их анализ в области синтеза нелинейных систем управления, приведены алгоритмы синтеза с использованием нелинейных ВММ. Выполнен синтез системы управления для трехзвенного робота-манипулятора с формирователем траектории и АМП с четырьмя электромагнитами.

Приведены программные средства синтеза систем управления с использованием нелинейных нелинейные ВММ в программе FuncPro [4] и испытания полученных системы в различных режимах работы.

Библиографический список

1. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Управление движением промышленных манипуляторов: Учебник / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2018. – 348 с.
2. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Кинематика и динамика электромехатронных систем в робототехнике: 2-е издание – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2025. – 352 с.
3. **Журавлев Ю.Н.** Активные магнитные подшипники: Теория, расчет, применение. – СПб.: Политехника, 2003. – 206с.
4. **Колганов А.Р., Комаров А.Б.** Компьютерный комплекс функционального проектирования электромеханических систем. – Иваново: ИГЭУ, 2001. - 60 с.

*Н.Н. Иванова, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ДИАГНОСТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДНОЙ АРМАТУРЫ НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ

Нарушение работоспособности электроприводной арматуры (ЭПА) на объектах атомной энергетики приводит к нарушениям технологических процессов и снижению уровня безопасности. Критичность отказов обусловлена невыполнением функций дистанционного управления и потерей герметичности затвора [1].

Анализ конструкций и режимов работы ЭПА показал, что к оборудованию предъявляются жесткие требования по быстродействию, надежности и сохранению положения при потере питания. Установлено, что наиболее информативными для оценки состояния являются динамические режимы: пуск, основной ход и посадка на седло. Выполнение нормативных требований [2] обуславливает необходимость контроля как дискретных сигналов, так и аналоговых параметров – тока и активной мощности двигателя.

Определен состав средств диагностирования, включающий мобильные и стационарные сборщики данных, регистрирующие процессы в цепях питания привода. На основе анализа эксплуатационных данных систематизированы типовые дефекты ЭПА, составлена «карта дефектов», связывающая конкретные неисправности с диагностическими признаками: увеличением времени срабатывания, асимметрией токов или изменением кривой мощности на участке «затяга».

Разработаны математические модели типовых дефектов электроприводной арматуры, позволяющие формализовать влияние неисправностей на динамические характеристики привода. Верификация моделей подтвердила их адекватность и применимость для автоматизированной классификации отказов по заданным критериям.

Применение разработанной системы диагностирования, основанной на анализе электрических параметров, обеспечивает достоверную оценку состояния ЭПА без разборки. Полученные результаты создают базу для перехода к обслуживанию по фактическому состоянию и снижения эксплуатационных затрат.

Библиографический список

1. **Матвеев А.В.** Диагностирование арматуры с электроприводом при помощи относительных электрических параметров // Арматуростроение, № 3 (60), 2009.
2. **Петухов В.С.** Диагностика электродвигателей. Спектральный анализ модулей векторов Парка тока и напряжения // Новости ЭлектроТехники. № 1, 2 (49, 50), 2008.

*Д.Е. Быков, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ ГИБРИДНОГО НЕЙРО-ПИД-РЕГУЛЯТОРА ДЛЯ МАНИПУЛЯТОРА ТИПА SCARA

Манипуляторы типа SCARA с вращательными сочленениями являются классическим объектом мехатроники и робототехники. Они широко используются в учебных лабораториях, стендах для отработки алгоритмов управления, а также как упрощённая модель промышленных роботов для сборки. Несмотря на кажущуюся простоту, управление таким манипулятором сопряжено с серьёзными трудностями из-за существенной нелинейности динамики: моменты инерции зависят от конфигурации, возникают центробежные и кориолисовы силы, гравитационные моменты изменяются с положением звеньев [1].

Традиционный подход – использование ПИД-регулятора, настроенного на номинальный режим. Такой регулятор прост, обладает гарантированной устойчивостью и обеспечивает приемлемое качество в линейном приближении. Однако при отработке сложных траекторий или при изменении нагрузки ПИД-регулятор перестаёт быть оптимальным: появляются большие перерегулирования, увеличивается время переходного процесса, а установившаяся ошибка может возрасти [2].

Альтернативой являются чисто нейросетевые регуляторы. Нейронная сеть способна аппроксимировать любую нелинейную зависимость и обучаться на данных. В теории нейрорегулятор может идеально компенсировать все нелинейности.

Идея гибридного подхода – объединить сильные стороны обоих методов. ПИД-регулятор берёт на себя грубое поддержание устойчивости и слежение в линейной зоне, а нейросеть адаптивно компенсирует нелинейности, которые ПИД не может обработать. Такая комбинация позволяет получить робастную систему, которая сохраняет устойчивость при любых начальных весах нейросети и одновременно учится подавлять ошибки, вызванные переменной нагрузкой или неточностью модели.

Полученные результаты позволяют распространить гибридный метод на трехзвенные пространственные антропоморфные конструкции.

Библиографический список

1. Галемов, Р.Т., Масальский, Г.Б. Сравнительный анализ методов адаптации параметров регулятора системы управления робота-манипулятора // Журнал Сибирского федерального университета. Техника и технологии. – 2017. Т.10, №4.
2. Анучин, А.С. Системы управления электроприводов. - М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 370 с.

*М.Д. Худяков, студ., рук. П.В. Вилков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ПУЛЬТА ОПЕРАТОРА СТАНКА С ЧПУ В РАМКАХ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА

Без знаний специфики работы пульта оператора нельзя эффективно использовать все преимущества сложного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ).

В лабораторном практикуме по дисциплине “Электропривод и программное управление станками” особое внимание уделяется изучению возможностей пульта оператора металлорежущего станка с ЧПУ, так как именно через него осуществляется управление станком.

Лабораторные работы практикума проводятся на фрезерно-гравировальном универсальном станке HY-6040 CNC [1] с системой ЧПУ серии MNC800 и станочными электроприводами серии MTDrive.

Пульт оператора, входящий в состав системы MNC800, служит для взаимодействия оператора станка с системой управления наладки станка, ввода управляющей программы и диагностики неисправностей.

Пульт оператора реализован на базе персонального компьютера, оснащенного дополнительными органами управления, режимами работы станка и оборудованиями [2].

Конструктивно панель монитора представляет собой комплексное устройство, в котором соединены вместе блок питания, материнская плата, панель ввода, драйвер панели монитора, разъем USB и дисплей, объединенное в единый блок для установки в систему.

Первая лабораторная работа практикума посвящена практическому ознакомлению с пультом оператора MCP15E. В ходе данной работы студенты знакомятся со структурой программного обеспечения, интерфейсом оператора, элементами управления и средствами визуализации.

Это позволит обучающимся освоить базовые принципы взаимодействия оператора с системой ЧПУ и подготовить их к выполнению последующих лабораторных работ.

Библиографический список

1. Цифровой станочный электропривод [Электронный ресурс] Режим доступа: https://www.chinacnczone.com/ru/chinacnczone-hy-6040-smalldesktop-diy-машина-5-ось-cnc-для-фрезерно-грави_1324_p171.html.
2. АО «Мехатроника». Пульты оператора серии MNC. Руководство по эксплуатации.

*И.А. Коновалов, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОГЛОЩАЮЩИХ СТЕРЖНЕЙ АТОМНОГО РЕАКТОРА

Критически важными элементами обеспечения ядерной безопасности реакторных установок являются электроприводы системы управления и защиты (СУЗ). В реакторе ШЭМ-3 с жидкометаллическим теплоносителем [1] для перемещения поглощающих стержней используется электропривод специальной конструкции, который обеспечивает требуемые быстродействие, надёжность и ресурс работы в условиях повышенных температур и радиационного воздействия.

Достижение требуемого уровня безопасности возможно лишь при полной исправности электропривода и его способности обеспечить гарантированное погружение стержней за нормативное время. Исходя из этого, возникает необходимость в изучении конструкции электропривода, выявлении его слабых мест и разработке методов диагностики технического состояния без вывода реактора в ремонт.

Целью исследования является комплексное изучение конструкции, принципов работы и эксплуатационных характеристик электропривода поглощающих стержней реактора ШЭМ-3, анализ его недостатков и пути его совершенствования. В процессе работы исследована кинематическая схема электропривода, определены основные параметры электромагнитной системы, временные характеристики срабатывания и условия надёжного удержания стержня во взведённом положении.

Анализ результатов показывает, что ключевыми эксплуатационными недостатками являются повышенное трение в направляющих при рабочих температурах, недостаточный запас тягового усилия при предельных допусках, а также снижение быстродействия при частичных отказах системы питания.

Исходя из анализа, предложены следующие направления модернизации электропривода: оптимизация геометрии магнитопровода, замена материала на более термостойкий и применение форсированного возбуждения обмоток.

Полученные результаты могут быть использованы при эксплуатации и модернизации систем управления реакторов типа ШЭМ-3.

Библиографический список

1. **Денисов В.П., Драгунов Ю.Г.** Реакторные установки с жидкометаллическим теплоносителем. – М.: Изд-во МЭИ, 2012. – 320 с.

Н.П. Ингликов, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ РЕГУЛЯТОРОВ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Современная электроэнергетика требует внедрения адаптивных систем управления, способных работать в условиях неопределенности. В отличие от классических ПИД-регуляторов, искусственные нейронные сети (ИНС) обладают способностью к обучению и обобщению данных, что позволяет им эффективно обрабатывать зашумленные или неполные входные сигналы.

На рис. 1 показана структура нейронной сети в блоке автонастройки. В системах мониторинга подстанций ИНС может выступать функциональным преобразователем, минимизирующим ошибку прогнозирования нагрузки и оптимизирующим тарифы. Технически это реализуется через подстройку весовых коэффициентов нейронов для минимизации критериальной функции ошибки.

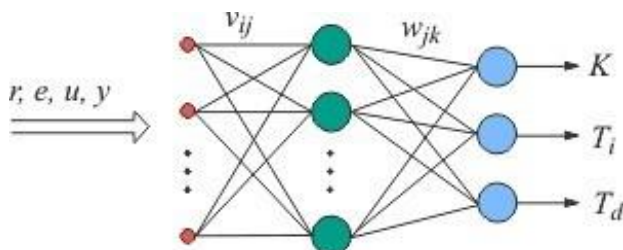


Рисунок 1 – Структура нейронной сети в блоке автонастройки

Анализ исследований подтверждает преимущество нейросетевого подхода: точность поддержания параметров возрастает в среднем в 3,3 раза, а пусковые токи снижаются на 11–18%.

ИНС демонстрируют высокую робастность, сохраняя работоспособность даже при изменении параметров системы (например, снижении момента инерции на 50%). Несмотря на сложность реализации, нейросетевые технологии являются ключевым направлением для создания надежных и автономных систем управления электроприводами.

Библиографический список

1. Применение нейросетевых регуляторов в системах управление электроприводами [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://cyberleninka.ru/article/n/primenenie-neyrossetevykh-regulyatorov-v-sistemah-upravleniya-elektroprivodami/viewer> (дата обращения 20.04.2026).

СЕКЦИЯ 19
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Председатель –
д.т.н., профессор **Казаков Ю.Б.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Нестеров С.А.**

*М.А. Голубев, студ.; И.А. Палилов, к.т.н., доц.;
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЧИСЛЕННОЕ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИСТЕМЕ ДВУХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ, РАБОТАЮЩИХ НА ОБЩУЮ НАГРУЗКУ

В тяговых и транспортных электромеханических системах, ленточно-транспортных установках и мотор-колесных трансмиссиях применяется параллельная работа двух и более асинхронных двигателей на общий вал. Это повышает надёжность, позволяет отключать часть двигателей при снижении нагрузки, однако при различии параметров машин возникает неравномерное распределение нагрузки: часть двигателей может переходить в генераторный или тормозной режим.

В работе выполнено конечно-элементное моделирование двух асинхронных двигателей серии 4А мощностью 11 и 22 кВт, работающих на общую механическую нагрузку. На основе классической методики проектирования [1], получены геометрические размеры активных частей, созданы виртуальные модели в Ansys RMxprt и выполнены 2D полевые расчёты в Ansys Maxwell. Для исследования совместной работы двигателей с общим валом использована ко-симуляция в Ansys Twin Builder (Simplorer) с интеграцией полевых моделей и внешних электрических и механических цепей.

Выполнено сравнение с упрощёнными имитационными моделями Matlab Simulink; расхождения объясняются разной точностью методов моделирования.

Полученные результаты позволяют оценить эффективность параллельной работы асинхронных двигателей на общую нагрузку и могут быть использованы при проектировании многодвигательных электромеханических систем.

Библиографический список

1. Проектирование электрических машин: учебник для вузов / под ред. И.П. Копылова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Издательство Юрайт, 2011. – 767 с., ил.
2. Киселев А.В., Дорохина Е.С. Возможности имитационного моделирования работы вентильного электропривода в среде ANSYS Electromagnetic // Науковедение. — № 9. — 2017. — С. 69.

*Д.А. Ульянов, асп.; рук. А.Ю. Смирнов, д.т.н., проф.
(НГТУ им. Р.Е. Алексеева)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНЫХ МОМЕНТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ВЕЛИЧИНЫ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА

Удельный электромагнитный момент двигателя (на единицу осевой длины машины) является определяющим параметром, получаемым на этапе проектирования. Он непосредственно влияет на допустимый момент нагрузки и частоту приёмистости двигателя. Известны методики проектирования индукторного двигателя, основанные на машинной постоянной Арнольда [1]. Они позволяют определить базовые и габаритные размеры машины. Однако величина воздушного зазора не рассчитывается и определяется исходя из допустимого предела, определенного практикой машиностроения [2]. Такой способ определения величины воздушного зазора может привести к ухудшению удельного электромагнитного момента двигателя, что в свою очередь ведёт к увеличению габаритных размеров машины, а именно осевой длины пакета.

При заданных геометрических размерах двигателя и магнитодвижущей силы обмоток электромагнитный момент может быть оценён с помощью энергетического метода [2]. Была сформирована и рассчитана магнитная цепь индукторной машины при варьировании величины воздушного зазора в определённых пределах $\delta = [0,05...2]$ мм. Результаты вычислительных экспериментов показали, что максимальный удельные моментные характеристики машины $28 \text{ Н}\cdot\text{м/м}$ обеспечиваются при величине воздушного зазора $\delta = 0,4$ мм.

Таким образом, существующие методики проектирования индукторных двигателей, основанные на машинной постоянной Арнольда, могут быть модернизированы с целью получения максимального удельного электромагнитного момента за счёт выбора оптимальной величины воздушного зазора.

Библиографический список

1. **Смирнов А.Ю.** Разработка индукторных двигателей для привода аварийной защиты ядерных энергетических установок / А.Ю. Смирнов, Д.А. Ульянов // *Электротехника*. – 2024. - № 10. – С. 16 – 22
2. **Смирнов А.Ю.** Синхронные машины. Проектирование индукторных двигателей для шагового привода: учеб. пособие / А.Ю. Смирнов, Д.А. Ульянов; НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – Нижний Новгород: 2024 г. – 106 с.

*Е.А. Курлаков, асп.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ПРИВОДА СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ

В настоящее время синхронные реактивные двигатели применяются в малых приводах механизмов и системах автоматики. Интерес производителей к двигателям с анизотропной магнитной проводимостью ротора связан с их высокими энергоэффективностью и энергоемкостью. Главной отличительной особенностью синхронных реактивных двигателей является отсутствие обмотки возбуждения.

Погружные электродвигатели работают в экстремальных условиях, характеризующихся ограниченным диаметром и значительной длиной, высокой температурой (до 180°C), агрессивной средой и низкой скоростью охлаждения ламинарным потоком пластовой жидкости [1]. Охлаждение ПЭД осуществляется пластовой жидкостью, которая омывает внешнюю поверхность корпуса. Скорость движения жидкости в межтрубном пространстве обычно составляет 0,2–0,5 м/с.

В качестве ПЭД применяются асинхронные двигатели с короткозамкнутой обмоткой и синхронные двигатели с постоянными магнитами, работоспособность которых критична к высоким температурам [2]. Системы управления такими ПЭД отличаются.

Отсутствие потерь в роторе СРД является существенным преимуществом, так как позволяет снизить общее тепловыделение и улучшить тепловой режим ПЭД. При небольшом увеличении стоимости по сравнению с АД (на 10–20%) отсутствие потерь в роторе СРД обеспечивает повышение энергоэффективности и позволяет СРД работать в высокотемпературных скважинах [3]. В связи с этим СРД перспективен для работы в качестве ПЭД. В дальнейшем планируется провести проектирование и исследование работы СРД в приводе скважинных насосов и разработать систему управления для него.

Библиографический список

1. **Lipo, T.A.** Synchronous Reluctance Machines: A Viable Alternative for AC Drives? / T.A. Lipo // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1991, v. 27, No. 5. – P. 829-834.
2. **Vagati, A.** Design of Synchronous Reluctance Motors / A. Vagati, M. Pastorelli // IEEE Industry Applications Magazine. – 1998. – Vol. 4, No. 2. – P. 24–31.
3. **Betz, R.E.** Control of Synchronous Reluctance Machines / R.E. Betz // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1993. – Vol. 29, No. 6. – P. 1110–1122.

Р.С. Захаров., студ.; рук. Палилов И.А., к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В АСИНХРОННЫХ МАШИНАХ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ МЕТОДОМ ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ

На сегодняшний день испытания асинхронных машин производятся методом взаимной нагрузки в связке двигатель-генератор с возвратом мощности в сеть. Метод взаимной нагрузки (рис. 1) позволяет экономить до 85 % энергии, потребляемой из сети при испытаниях асинхронных машин [1].

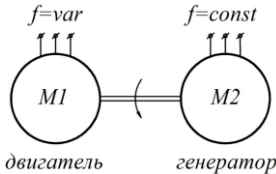


Рисунок 1 – Схема испытаний асинхронных машин методом взаимной нагрузки

Представляет интерес вопрос о повышении энергоэффективности испытаний асинхронных машин методом взаимной нагрузки путем поиска оптимального алгоритма нагружения испытуемой машины.

Данный вопрос требует использования математической модели системы испытаний электрических машин, объединенных общим валом, которая реализуется путем решения задачи в полевой постановке, где используются отдельные полевые модели обеих машин. Такой подход дает высокую точность, но затруднен из-за сложности математической модели и необходимости наличия больших вычислительных мощностей. Перспективным выглядит решение, когда модель испытуемой машины является полевой, а другая, нагружающая, - реализована в цепной постановке с использованием Simulink, так как цепная модель обеспечивает большую простоту и быстроту расчетов.

Подобная модель разработана путем связи полевой модели испытуемой асинхронной машины в Ansys Maxwell и цепной модели нагружающей асинхронной машины в Simulink и позволяет исследовать электро-механические процессы в машинах и предложить оптимальный алгоритм испытаний с меньшими временными затратами на расчеты.

Библиографический список

Котеленец Н. Ф. Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин / Котеленец Н. Ф., Акимова Н. А., Антонов М. В. — М.: Академия, 2003. — 384 с.

*А.А. Миронова, асп.; рук. С.А. Нестеров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ДЛЯ ТОКОВ ЧЕРЕЗ ПОДШИПНИК ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Эксплуатация электродвигателей в системах с частотным регулированием приводит к преждевременному выходу из строя подшипников качения из-за паразитных токов, вызывающих электрическую эрозию, деградацию смазки и заклинивание. Применение кольца электропроводящей магнитной жидкости является перспективным, бесконтактным, взрывобезопасным и не требующим обслуживания способом шунтирования подшипниковых токов в электрических двигателях.

Основные факторы, влияющие на электрическую деградацию подшипников – остаточная намагниченность элементов двигателя, синфазное напряжение на выходе инвертора и высокие значения dv/dt , обуславливающие ёмкостные токи через смазочную плёнку.

В качестве метода борьбы с током через подшипник предложено использование магнитожидкостного уплотнения (МЖУ) с электропроводящей магнитной жидкостью, получаемой добавлением 0,5 масс. % графена или графита (стабилизированного олеиновой кислотой) в нанодispersную магнитную жидкость на основе магнетита. Такая жидкость создаёт стабильный электрический контакт между валом и корпусом, шунтируя подшипник и предотвращая накопление заряда и пробой смазочного слоя

В среде MatLab Simulink разработана электрическая схема [1] замещения для синфазного тока, учитывающая паразитные ёмкости двигателя (между обмоткой и корпусом, обмоткой и ротором, ротором и корпусом, ёмкость подшипника) и активное сопротивление кольца электропроводящей МЖ. Модифицированная модель позволяет провести серию вычислительных экспериментов для определения зависимости амплитуды тока через подшипник от сопротивления магнитожидкостного кольца.

Библиографический список

1. **Jingnan Zheng, Dawei Xiang, Hao Li.** An Investigation into the Effect of Bearing Grease Degradation on the High-frequency dv/dt Bearing Current in an Inverter-fed Motor System, 2021 The 6th International Conference on Power and Renewable Energy, 78-1-6654-4961-8/21, 2021 IEEE

*Д.С. Голодюков, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПИТАЮЩЕГО НАПРЯЖЕНИЯ ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Вентильно-индукторный двигатель – синхронный реактивный двигатель, который питается импульсами напряжения. Благодаря преобразователю частоты и системе управления ВИД имеет возможность оптимального управления процессом электромеханического преобразования энергии для конкретного нагрузочного устройства. Данный тип двигателей применяется в качестве приводного устройства, способного работать в тяжелых условиях.

Для обеспечения стабильной работы двигателя и получения необходимых рабочих характеристик нужно обеспечить своевременную коммутацию ключей электронного коммутатора. При постоянном питающем напряжении можно изменить угол включения/отключения фаз статора для достижения максимальных рабочих характеристик.

На основе имеющейся научной работы по теме ВИД, будет проведена исследовательская работа в программном обеспечении для моделирования - Ansys Maxwell. В этой работе будут представлены результаты влияния коммутаций фаз с различным углом включения/отключения фаз ВИД при постоянной величине питающего напряжения.

Рассматриваемая тема может быть интересна в целях достижения лучших величин момента, мощности, КПД и коэффициента мощности двигателя.

Библиографический список

1. **В.А. Кузнецов, В.А. Кузьмичев.**, Вентильно-индукторные двигатели: Учеб. пособие по курсу "Спец. электр. машины" для студентов, обучающихся по направлению "Электротехника, электромеханика и электротехнологии" М-во образования Рос. Федерации. Моск. энергет. ин-т (техн. ун-т) (МЭИ). - Москва : Изд-во МЭИ, 2004 (Тип. ЦНИИ Электроника). - 69 с
2. **М.Г. Бычков**, Алгоритмы и системы управления вентильно-индукторных двигателей. Доклад научно практического семинара. Изд-во МЭИ, 2007. – 39 с.

Е.Р. Соловьев, асп.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

УЧЕТ ГИСТЕРЕЗИСА В ИМИТАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ТРАНСФОРМАТОРА ТОКА

Кривая намагниченности аморфного сплава характеризуется высокой остаточной индукцией, которая ближе к постоянным магнитам, чем к традиционной электротехнической стали. Поэтому при разработке имитационной модели было решено использовать методику, предложенную в [1], позволяющую имитировать гистерезисные явления с учетом предыстории при наличии предельной петли гистерезиса, а не усредненной кривой.

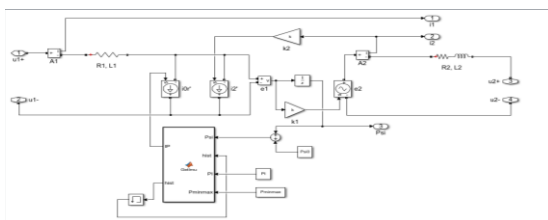


Рисунок 1 – Имитационная модель измерительного трансформатора тока.

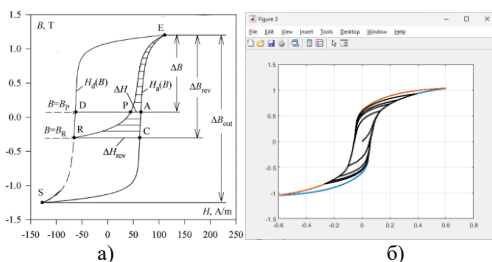


Рисунок 2 – Пример кривой $B(H)$ и результаты расчета трансформатора.

На рис. 2, а проиллюстрированы основные положения алгоритма учета магнитной предыстории при перемагничивании сердечника трансформатора. На рис. 2, б проиллюстрирована траектория намагничивания опытного трансформатора при линейном нарастании амплитуды напряжения.

Библиографический список

1. Зирка С.Е., Мороз Ю.И. Моделирование трехфазного трансформатора как системы с сосредоточенно-распределенными параметрами / ISSN 1607-7970. Техн. электродинамика. 2014. № 3. – С. 28 – 32.

*Н.С. Гусев, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОГРУЖНОЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ ДЛЯ ПРИВОДА СКВАЖИННЫХ НАСОСОВ

Погружной асинхронный электродвигатель является основным приводом электроцентробежного насоса в установках добычи нефти и пластовой жидкости из глубоких скважин. Его работа происходит в сложных условиях, связанных с высоким гидростатическим давлением, ограниченным теплоотводом, воздействием агрессивной среды и длительным непрерывным режимом нагрузки [1]. В таких условиях к двигателю предъявляются повышенные требования по надежности, герметичности, тепловой стойкости и устойчивости к перегрузкам, поскольку отказ привода может привести к остановке всей насосной установки и значительным затратам на восстановление оборудования.

Особое значение в работе погружного двигателя имеет система управления, обеспечивающая запуск, защиту от аварийных режимов и поддержание допустимых параметров работы установки [1]. Применение современных станций управления и частотного регулирования позволяет улучшить пусковые свойства, снизить механические и тепловые перегрузки, а также повысить ресурс оборудования. При этом важным становится анализ режимов, при которых двигатель работает не в номинальной точке, а при изменении частоты и напряжения питания или при кратковременном заклинивании насосной части [2].

Исследование ненормальных режимов позволяет оценить пределы допустимой нагрузки, характер изменения тока и электромагнитного момента, а также возможности восстановления рабочего режима после нарушения нормальной работы [2]. Поэтому при проектировании погружного электродвигателя необходимо учитывать не только его основные электромагнитные параметры, но и условия согласования с насосом и системой управления. Это делает разработку и анализ таких двигателей актуальной задачей для повышения эффективности и надежности скважинных насосных установок.

Библиографический список

1. Ковалев А.Ю., Кузнецов Е.М., Аникин В.В. Станции управления электропогружными установками насосной эксплуатации скважин. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2013. 128 с. ISBN 978-5-8149-1575-7.
2. Ковалев В.З., Балыклов Е.С., Хусанов Э.И. О некоторых режимах работы погружного асинхронного электродвигателя // *Вестник Югорского государственного университета*. 2022. Вып. 4 (67). С. 93–102. DOI: 10.18822/byusu20220493-102.

А.С. Глузов, студ.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

НЕЛИНЕЙНАЯ ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ДЛЯ ВИБРОУСТАНОВКИ

Разработана САПР асинхронных машин, в которой реализована комбинация электромагнитного расчета по средней силовой линии магнитного поля с расчетом магнитного поля методом конечных элементов. В подсистеме поверочного расчета реализована имитационная модель машины, отличающаяся использованием нелинейной кривой намагничивания (рис. 1).

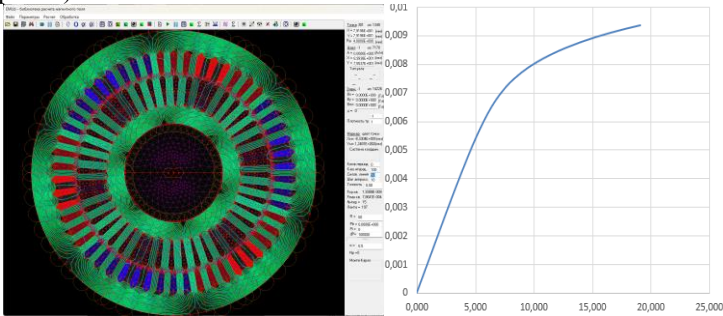


Рис. 1. Модель магнитного поля и характеристика намагничивания АД.

Уравнение, описывающее динамические процессы в АД:

$$\begin{cases} \frac{d}{dt} \{i\} = [L]^{-1} \cdot \left(\{U\} - [R] \cdot \{i\} - \frac{d}{dt} [L] \cdot \{i\} \right), \\ \frac{d}{dt} \Omega = \frac{M_{ЭМ} - M_B}{J}, \\ \frac{d}{dt} \gamma = \Omega \end{cases}, \quad (1)$$

где $\{U\}$ – вектор мгновенных значений напряжений; $[R]$ – матрица сопротивлений; $\{i\}$ – вектор мгновенных значений токов; $M_{ЭМ}$ – электромагнитный момент; M_B – тормозной момент механической нагрузки; $[L]$ – матрица мгновенных индуктивностей; γ – угловая координата; Ω – угловая скорость вращения ротора.

Элементы матрицы $[L]$ рассчитываются по параметрам двигателя, особенность модели состоит в том, что сопротивление ветви намагничивания L_m рассчитывается по кривой намагничивания, поэтому данная система уравнений является нелинейной.

*В.Д. Бакланов, асп.; рук. С.А. Нестеров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ СТАТИЧНЫХ МАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ НА УДЕРЖИВАЕМЫЙ ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЙ

Находясь в статичном положении при простое исполнительного привода в магнитожидкостном герметизаторе (МЖГ), магнитная жидкость (МЖ) находится под влиянием статического, сильно градиентного магнитного поля. Парамагнитные частицы МЖ подвергаясь действию, превосходящей над гравитационной и силами Броуновского движения, магнитной силы перераспределяются в объеме МЖ приводя к локальным изменениям концентрации.

Областью наибольшего градиента магнитного поля в МЖГ является область рабочего зазора под вершиной зубцового концентратора магнитного поля, где и удерживается МЖ пробка. Перераспределение частиц вызывает увеличение намагниченности под вершиной зубца, что увеличивает удерживаемый перепад давлений.

Для исследования описанных выше явлений проведена серия опытов с разной геометрией рабочего зазора и образцов МЖ.

Для всех образцов получены зависимости, демонстрирующие монотонное увеличение критического перепада давления, переходящие в насыщения по окончанию процесса перераспределения частиц.

Из полученных зависимостей следует что на время перехода к установившемуся состоянию влияет намагниченность насыщения МЖ – для концентрированных жидкостей равновесное состояние наступает раньше; форма зубцового концентратора влияет на неоднородность поля, также влияет на скорость прихода к равновесному состоянию

Отдельно стоит отметить, что величины первоначального и установившегося критического давления не зависят от жидкости основы и определяются лишь концентрацией магнитных частиц в той или иной области магнитного поля зубцовой зоны МЖГ.

Библиографический список

1. **Морозов Н.А.** Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. — Иваново, ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2011. — 264 с.

2. **Перминов С.М.** Исследование распределения напряженности магнитного поля и магнитных потоков в магнитожидкостном герметизаторе классической конструкции // Вестник ИГЭУ. — 2012, вып.6. — С. 1-6.

*В.Р. Хусанов, студ.; рук. А.В. Лихачева, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНСТРУИРОВАНИЕ УСТОЙЧИВЫХ К МОДИФИКАЦИИ 3D МОДЕЛЕЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Электрические машины общепромышленного исполнения имеют сходную геометрию, повторяющуюся в разных размерах. Для производства это означает необходимость конструирования моделей, которые могут легко и правильно перестраиваться при изменении одного, или нескольких размеров. Задача создания модели, готовой к изменениям может быть решена по-разному, например, с использованием вариационной параметризации. Однако учет геометрии модели позволяет ускорить процесс конструирования и уменьшить число расчетных взаимосвязей модели.

Способы построения элементов могут отличаться в зависимости от конкретной используемой системы САД, однако можно выделить общее для всех.

Приемы геометрической параметризации:

1. Единообразное размещение сопрягаемых частей машины относительно системных плоскостей и начала координат.
2. Учет симметричной геометрии, позволяющей использовать инструменты зеркального отражения, не привязанные к конкретному значению размеров.
3. Создание компоновки, для привязки размеров одной детали к другой. (технология проектирования «сверху вниз»)
4. Использование логических назначений параметров в инструментах создания формы.
5. Создание эскизов и объемных тел с учетом их последующей модификации.
6. Конструирование изделия на основе простых эскизом, с максимальным использованием инструментов построения формы.

На основе этих рекомендаций создана 3D модель активной зоны асинхронного двигателя, позволяющая перестраивать размеры для нескольких исполнений.

Библиографический список

1. **Самсонов В.В.** Автоматизация конструкторских работ в среде Компас-3D: 2-е изд., стер. М.: Академия, 2009. 224 с.
2. **Лихачева, А.В.** Построение 3D моделей электрических машин (среда SolidWorks): Иваново, 2021. 48 с.

СЕКЦИЯ 20
МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ

Председатель –
к.т.н., доцент **Терехов В.Г.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Аполонский В.В.**

Д.Д. Ильин, студ.; рук. Я.К. Старостина, к.т.н., доц.
(УлГТУ, г. Ульяновск)

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛОЖЕНИЕМ НА БАЗЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Системы технического зрения применяются для автоматического позиционирования рабочих органов мехатронных устройств. Цель работы – синтез системы управления положением с обратной связью по видеопотоку. Объект исследования – однокоординатный позиционирующий стол с электроприводом постоянного тока и камерой OV7670. Задача – переместить объект в заданную точку с погрешностью не более 0,1 мм. Выбор камеры обоснован, разрешение 640×480, монохромный режим. При рабочем расстоянии 150 мм и поле зрения 40×30 мм разрешение составляет 0,0625 мм/пиксель. Для повышения точности используется субпиксельное определение центра контура методом моментов [2].

Координаты центра x_c, y_c вычисляются по формулам:

$$\begin{aligned}M_{00} &= \sum_x \sum_y B(x, y), \\M_{10} &= \sum_x \sum_y x \cdot B(x, y), \\M_{01} &= \sum_x \sum_y y \cdot B(x, y), \\x_c &= \frac{M_{10}}{M_{00}}, y_c = \frac{M_{01}}{M_{00}}.\end{aligned}$$

Регулятор положения – ПИД-алгоритм с передаточной функцией

$$W_p(s) = K_p + K_i/s + K_d s.$$

Параметры синтезированы методом стандартных настроек [3] для объекта, аппроксимированного апериодическим звеном второго порядка с запаздыванием.

Таким образом, синтезирована система управления положением с видеосвязью. Погрешность 0,11 мм соответствует требованиям. Подход применим для многокоординатных мехатронных модулей.

Библиографический список

1. OpenCV. Нахождение контуров и вычисление моментов. Документация. URL: <https://docs.opencv.org>
2. Козярук А.Е., Завьялов В.М. Современные методы управления электроприводами. Электротехника. 2022. №5. С. 34–41.

*И.С. Бабошин, студ.; рук. Я.К. Старостина, к.т.н., доц.
(УлГТУ, г. Ульяновск)*

НЕЙРО-НЕЧЁТКОЕ РЕГУЛИРОВАНИЕ В АСИНХРОННОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Современные требования к асинхронному электроприводу, такие как высокая точность поддержания скорости, адаптация к изменяющимся параметрам нагрузки и обеспечение энергоэффективности, делают традиционные линейные регуляторы недостаточно эффективными. В этой связи особое место занимает нейро-нечёткое регулирование. В основе такого подхода лежит построение гибридной системы, чаще всего реализованной на архитектуре ANFIS, где нечёткая база знаний, содержащая экспертные правила вида «ЕСЛИ-ТО», параметризуется и настраивается с помощью алгоритмов обратного распространения ошибки или метода наименьших квадратов на основе экспериментальных данных или результатов математического моделирования. Применительно к асинхронному электроприводу с векторным или прямым управлением моментом, нейро-нечёткий регулятор обычно заменяет классический ПИД-регулятор в контуре скорости.

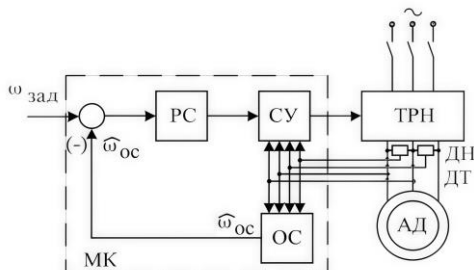


Рисунок 1 - Функциональная схема микропроцессорного асинхронного электропривода по схеме ТРН-АД с обратной связью по скорости от наблюдателя скорости.

Результатом внедрения нейро-нечёткого регулирования в асинхронном электроприводе является снижение перерегулирования при обработке скачков задания, уменьшение времени установления переходных процессов, а также повышение качества обработки возмущений по моменту нагрузки в условиях параметрической неопределенности.

Библиографический список

1. Кудинов Ю. И., Пашенко Ф. Ф., Келина А. Ю., Пашенко А. Ф. Нечеткое моделирование и управление в технических системах. М.: Издательский дом МЭИ, 2017. 228 с.

**Н.С. Рыбин, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
(Филиал НИУ «МЭИ», г. Смоленск)**

АКУСТИЧЕСКАЯ МИШЕНЬ ДЛЯ ПНЕВМАТИКИ: ПРИНЦИП РАБОТЫ И МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОПИСАНИЕ

Электронные системы регистрации попаданий в пневматической стрельбе позволяют в реальном времени определять координаты точки удара без осмотра мишени. Промышленные решения имеют высокую стоимость, поэтому разработка доступной акустической мишени является актуальной задачей. Цель работы — теоретическое описание принципа действия, вывод расчётных соотношений для координат попадания и обзор элементной базы.

Метод *TDOA (Time Difference of Arrival)* основан на следующем принципе. В момент удара пули о мишень возникает упругая волна, которую фиксируют пьезоэлектрические датчики по периметру мишени. Разность времён прихода волны к паре датчиков однозначно определяет гиперболу, на которой лежит точка попадания; пересечение нескольких гипербол даёт координаты удара.

Математически задача сводится к системе нелинейных гиперболических уравнений, которая при четырёх датчиках с известными координатами линеаризуется и решается матричным методом. Точность при разрешении таймера 1 мкс составляет около 2 мм — достаточно для спортивной стрельбы.

Практическая реализация включает: пьезодатчики (ЗП-3), компаратор, микроконтроллер (*STM32, AVR ATmega*, тактовая частота от 20 МГц) и интерфейс *USB–UART*. Программное обеспечение принимает временные метки срабатывания датчиков, вычисляет координаты и отображает точку попадания на экране.

При реализации необходимо учитывать: угловую погрешность у краёв мишени (устраняется выносом датчиков за пределы рабочего поля); ложные срабатывания от вибраций (фильтруются программно по временному окну). Таким образом, метод *TDOA* позволяет создать доступную систему регистрации попаданий с точностью ~2 мм при минимальных аппаратных затратах.

Библиографический список

1. **Захаров В.** Электронно-акустическая мишень // Радио. — 1979. — № 5. — С. 17–19.
2. **Петрушев А.** Мишень для пневматики с определением точки попадания [Электронный ресурс]. — URL: https://autobills.ru/articles.files/Electronic_target.html (дата обращения: 10.03.2026).

*М.С. Баранова, студ.; рук. С.А. Амелин, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПУЛЬТ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ С НЕСТАНДАРТНОЙ СИСТЕМОЙ КОМАНД

При использовании электронных устройств с дистанционным управлением часто возникает необходимость в дубликате пульта. В некоторых случаях промышленные программируемые пульты нестандартные команды не воспринимают. Примером устройства с нестандартной системой команд является проектор *NEC VT47* [1]. Данную проблему предлагается решить созданием собственного варианта пульта проектора *NEC VT47*.

Система команд была распознана с использованием лабораторной установки, состоящей из инфракрасного приемника на основе *TSOP4438* и логического анализатора. Выяснилось, что для включения проектора необходимо сначала сформировать специальную команду инициализации (преамбулу), затем сформировать и многократно повторять команду включения, до тех пор, пока нажата кнопка пульта. Для выключения используется та же команда.

Сложная последовательность импульсов, формирующая необходимую команду управления, была создана с использованием микроконтроллера *ATmega328P*. Аппаратная реализация специализированного пульта включает в себя микроконтроллер, транзисторный ключ, индикаторный светодиод видимого диапазона, ИК-светодиод, блок зарядки аккумулятора, индикатор уровня заряда аккумулятора и DC/DC преобразователь,

Микроконтроллер формирует необходимые команды управления при нажатии кнопки включения. Сигналы с микроконтроллера управляют транзисторным ключом, коммутирующим ток ИК-диода и индикаторного светодиода. Индикаторный светодиод видимого диапазона нужен для подтверждения работоспособности устройства, он светится во время формирования команд включения или выключения. Результаты проверки на лабораторном макете подтвердили работоспособность пульта, а также наметили пути повышения его эксплуатационных характеристик.

Библиографический список

1. NEC Portable Projectors VT47. Product Sheet. https://www.projectorcentral.com/pdf/projector_spec_2519.pdf (дата обращения: 16.09.2025).

*И.А. Мякинин, студ.; рук. Е.А. Алексеев, к.т.н., доц.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

МИКРОКОНТРОЛЛЕРНАЯ СИСТЕМА ПОДДЕРЖАНИЯ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА В ЕМКОСТНОМ РЕАКТОРЕ

Емкостной реактор входит в число наиболее распространённых аппаратов химической и нефтехимической промышленности. Основная цель функционирования реактора состоит в проведении различных реакций при определенных условиях: температурный режим, давление в аппарате, наличие защитной газовой среды и прочее. Работы, направленные на синтез и анализ эффективных систем управления технологическими параметрами химических реакторов, в настоящее время являются актуальными.

В представленной работе в качестве объекта исследования выбран реактор смешения. Для поддержания необходимой температуры смеси аппарат содержит рубашку, в которой циркулирует горячая вода. Однородность реакционной смеси в аппарате обеспечивается за счёт использования перемешивающего устройства. Целью работы является синтез и анализ микропроцессорной системы автоматического регулирования температуры реакционной смеси.

Применяя методы системного анализа была разработана математическая модель объекта, описывающая протекающие в аппарате процессы массо- и теплопереноса. Путём линеаризации была получена формализованная модель аппарата по различным каналам.

Для обеспечения необходимого температурного режима в работе предлагается использовать одноконтурную комбинированную систему на базе астатического полиномиального регулятора.

Предлагаемая в работе система регулирования была реализована на программно-техническом комплексе (ПТК), включающем в себя микропроцессорный контроллер малой мощности ОВЕН ПЛК 154 и рабочую станцию оператора. Соединение контроллера и станции осуществляется по сети Ethernet. В основе работы ПТК заложен принцип программно-аппаратного моделирования, согласно которому моделируется работа технологических объектов, а алгоритмы управления, взаимодействие с оператором и визуализация процесса реализуются на реальных технических средствах автоматизации.

Методом компьютерного моделирования рассматриваемая система регулирования была исследована на инвариантность к действию возмущений и ковариантность с задающим воздействием. Полученные результаты подтвердили работоспособность рассматриваемой системы.

А.Д. Баранов, студ.; Ю.А. Кутузова, магистр;
рук. В.Н. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОРРЕКЦИЯ КОЭФФИЦИЕНТА МОЩНОСТИ ДЛЯ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ С ШИП-ДПТ

В современном машиностроении находят применение мехатронные системы с двигателями постоянного тока и широтно-импульсными преобразователями на транзисторах, питающиеся от сети переменного тока через выпрямитель.

Как известно, одним из энергетических показателей мехатронных систем является коэффициент мощности, а наилучшими потребителями энергии являются нагрузки, потребляющие из сети синусоидальный ток при $\cos\varphi$ близким к единице. Выпрямитель в системе электропривода влияет на искажение потребляемого из сети тока, что сказывается на энергоэффективности системы, т.к. потребление реактивных составляющих мощности из сети требует мер для снижения этих составляющих мощности.

В качестве объекта исследования рассмотрена модель электропривода постоянного тока с ШИП-ДПТ, реализованная в пакете Matlab Simulink, на базе которой получена модель с питанием ШИПа от неуправляемого выпрямителя (НВ)–система «НВ-ШИП-ДПТ». Рассмотрены вопросы её энергоэффективности и предложен вариант решения для повышения коэффициента мощности.

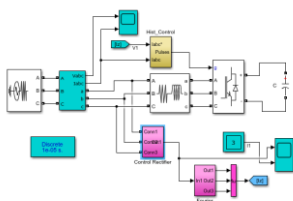


Рисунок 1 – Схема модели 3х-фазного активного фильтра

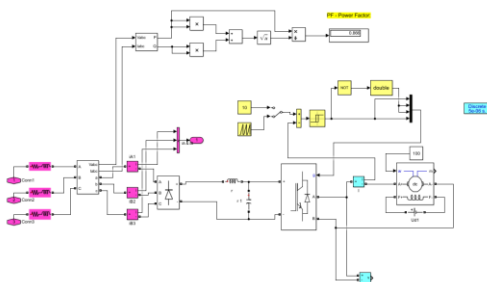


Рисунок 2 – Схема модели электропривода НВ-ШИП-ДПТ с коррекцией коэффициента мощности

Для повышения показателей энергоэффективности мехатронной системы был применен активный фильтр (рис. 1). На рис. 2 показана модель электропривода «НВ - ШИП-ДПТ», в которой схема рис. 1 находится в sub-блоке «Control Rectifier».

Применение активного фильтра позволило повысить коэффициент мощности со значения 0.6243 до 0.866.

*М.В. Бодунов, студ.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОБЗОР МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ СКОРОСТИ СРАБАТЫВАНИЯ И ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ЁМКОСТНОГО ДАТЧИКА КАСАНИЯ

Надёжность и качество срабатывания датчиков напрямую зависит как от схемотехнической настройки, так и от цифровой настройки. Актуальность исследования обусловлена необходимостью правильной настройки ёмкостных датчиков касания для обеспечения их качественной работы в используемых устройствах, которые имеют сенсорное управление.

Излишнее сопротивление негативно влияет на чувствительность ёмкостного датчика касания. Длинные проводники, обладающие паразитной ёмкостью, искажают сигнал, поэтому при разработке ёмкостного датчика требуется уменьшить их длины. Также следует избегать чрезмерного использования переходных отверстий на печатной плате, поскольку зачастую на них возникает большая паразитная емкость, чем на дорожках печатной платы. Сигнал, подаваемый с микроконтроллера на ёмкостный датчик касания, должен быть согласован по толщине диэлектрической пластины датчика, а также быть достаточным для вызова обратной связи и считывания изменения сигнала [1].

Для стабилизации работы сенсора и выделения полезного сигнала можно использовать дифференциальное подключение при помощи дифференциальных усилителей. Смысл данного подключения обусловлен тем, что на входы дифференциального усилителя подаются сигналы в противофазе, полезные сигналы которых в последующем удваиваются, что позволяет избежать считывания микроконтроллером помех.

Библиографический список

1. Патент № 2669089 Российская Федерация, МПК H03K 17/962 (2006.01); H03K 17/975 (2006.01). Ёмкостной датчик касания: № 2016143080 : заявлено 03.04.2014 : опубликовано 04.05.201 / ЧЖАН Мэй (CN), ЧЖАО Хэн (CN), СЮЙ Инсюэ (CN), ШЭНЬ Кай (CN), ЛЮ Чэнцзюнь (CN), ГЭ Мэн (CN) – патентообладатель МАЙКРО МОУШН, ИНК. (US) : ил. – Текст : непосредственный

*Р.И. Ефименков, маг.; рук. Н.Н. Строев, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

УСТРОЙСТВО МОНИТОРИНГА ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ ЦЕХА ДЛЯ ПРЕДПРИЯТИЯ

Для многих промышленных предприятий зачастую требуется простое устройство для измерения электрических параметров питания цеха (напряжение, ток, мощность, коэффициент формы и др.) [1]. Для таких предприятий предлагается простое устройство, на основе которого можно сформировать распределенную сеть измерения электрических параметров за счет возможности информационного обмена по интерфейсу Ethernet. Структурная схема предлагаемого устройства представлена на рисунке 1.

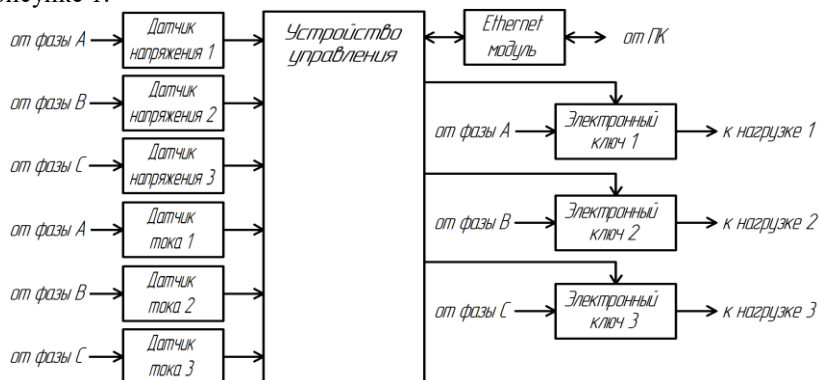


Рисунок 1 – Структурная схема устройства мониторинга параметров электропитания цеха для промышленного предприятия

Устройством управления является микроконтроллер, в составе которого имеется многоканальный АЦП с высокой разрешающей способностью (не менее 12-бит). Производитель при этом должна быть достаточной для оцифровки 6 каналов от датчиков напряжения и тока и поддержки сетевого протокола LwIP для поддержки функций мониторинга и контроля со стороны ПК. Электронные ключи необходимы для отключения электропитания по запросу или при наступлении аварийной ситуации.

Библиографический список

1. **Смирнов Ю.А.** Технические средства автоматизации и управления: учебное пособие для вузов — 4-е изд. стер. — Санкт-Петербург: Лань, 2021. — 456 с.

*Р.А. Дашков, студ.; рук. А.А. Анисимов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Прямое измерение параметров электромеханических систем зачастую затруднено или невозможно в силу конструктивных особенностей или условий эксплуатации. Искусственные нейронные сети (ИНС) позволяют решать задачи идентификации, обучаясь на экспериментальных данных без необходимости построения точной математической модели [1].

В работе проведён сравнительный анализ радиально-базисных и сигмоидальных ИНС для идентификации параметров одномассовой и двухмассовой электромеханических систем, а также последующий синтез регулятора состояния на основе идентифицированных параметров.

В ходе вычислительных экспериментов установлено, что для одномассовой системы наилучшую точность (среднеквадратичное отклонение, СКО) обеспечили метод newgrnn (СКО приближается к нулю) среди радиально-базисных и метод tansig (СКО = 24,98) среди сигмоидальных. Для двухмассовой системы метод newgrnn показал результат СКО = 12,89, тогда как сигмоидальная сеть tansig не справилась с задачей идентификации. Это подтверждает эффективность радиально-базисных функций при работе с нелинейными объектами [2].

Преимущество использования ИНС заключается в способности обучаться на ограниченном объёме экспериментальных данных, высокой устойчивости к шумам и возмущениям, а также в возможности аппроксимировать нелинейные зависимости без составления аналитической модели объекта. Кроме того, ИНС демонстрируют высокую скорость обработки данных после завершения обучения, что важно для систем реального времени. На основе параметров, идентифицированных методом newgrnn, синтезирован регулятор состояния, обеспечивший время переходного процесса 0,5 секунды, что в 3–5 раз быстрее исходного объекта. Предложенный подход может применяться для настройки реальных электроприводов, а также внедряться в адаптивные системы управления реального времени.

Библиографический список

1. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. М.: Вильямс, 2006. 1104 с.
2. Дьяконов В.П., Круглов В.В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. СПб.: Питер, 2002. 448 с.

*В.М. Васильев, студ.; рук. В.В. Аполонский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ В ЗАДАЧАХ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ОБЪЕКТОВ УПРАВЛЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ КОНТУРЕ

Традиционные методы идентификации параметров объектов управления (ОУ) в составе замкнутой системы сталкиваются с проблемой корреляции между входным сигналом и шумом из-за наличия обратной связи, что может приводить к смещенным оценкам [1]. Особенно остро эта проблема стоит в упругих механических системах, таких как двухмассовые системы электропривода, где параметры могут меняться в процессе работы, влияя на динамику, настроенную номинально [2].

Перспективным направлением решения данной задачи является использование методов машинного обучения, в частности, искусственных нейронных сетей (ИНС) прямого распространения. В отличие от классических наблюдателей (Люенбергера, Калмана), подход с использованием ИНС позволяет идентифицировать физические параметры объекта не по уравнению системы, а путем обучения на данных переходных процессов, что упрощает работу с нелинейностями и шумами [2].

Идентификация параметров двухмассовой системы электропривода с помощью искусственных нейронных сетей представляет собой эффективный инструмент для последующей адаптивной настройки регулятора. Это позволяет повысить точность и качество управления упругими системами в условиях неопределенности и изменения параметров в процессе эксплуатации, что является важным шагом в развитии интеллектуальных систем управления электроприводами [2]. Простота алгоритмов вычисления ИНС прямого распространения позволяет реализовать алгоритмы идентификации на ЭВМ с ограниченными вычислительными возможностями.

Библиографический список

1. **Ljung L.** System Identification: Theory for the User. — 2nd ed. — Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999. — 609 p.
2. **Orlowska-Kowalska T., Szabat K.** Neural Networks Application for Mechanical Variables Estimation of Two-Mass System // 2005 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT). — Hong Kong, 2005. — pp. 1324–1329.

*М.А. Квашинин, студ.; рук. Л. Г. Копылова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПОМОЩИ НЕЙРОСЕТИ

В задачах управления и диагностики электроприводов ключевую роль играет адекватность математической модели двигателя. В данной работе рассматривается метод идентификации параметров математической модели асинхронного двигателя (АД) с помощью аппарата искусственных нейронных сетей [2]. Приводится анализ эффективности нейросетевого подхода к точному восстановлению параметров по данным переходных процессов.

Математическое описание АД строится на основе теории обобщенной двухфазной электрической машины [1]. Математическое описание процессов электромеханического преобразования энергии асинхронного двигателя наиболее удобно рассматривать в осях (x, y) , вращающихся синхронно с полем АД.

Для идентификации были созданы четыре нейросети, полученные в Matlab с помощью функции `newgrnn`. Нейросети были обучены на одной из четырёх выборок, созданных при помощи вариации параметра жёсткости электромеханической характеристики, от которого в свою очередь зависят другие параметры математической модели АД. Нейросети, определяющие параметры модели АД вместе с параметром жёсткости, и нейросети, определяющие только параметр жёсткости, выдают одинаковые результаты при использовании одних и тех же обучающих выборок. Однако использование нейросетей, определяющих только параметр жёсткости, потребует дальнейших вычислений параметров АД. Нейросети, обученные на выборке из 310 графиков, имеют большую точность во всем диапазоне изменения жёсткости, чем нейросети, обученные на выборке из 31 графика. Все созданные нейросети дают самую большую погрешность по параметру сопротивление статора. В среднем отклонение остальных параметров модели АД составляет не более 0.05%.

Библиографический список

1. **Ключев В.И.** Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1998. 704 с.
2. **Хайкин С.** Нейронные сети: Полный курс. - 2-е изд. - Пер с англ - М.: ООО "И.Д. Вильямс", 2006. - 1104 с.

*В.Ю. Федоров, студ.; рук. М.С. Ковалёва, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРОБЛЕМЫ БЮДЖЕТНЫХ ЗАРЯДНЫХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЛИТИЙ ПОЛИМЕРНЫХ АККУМУЛЯТОРОВ И МЕТОДЫ ИХ РЕШЕНИЯ

Литий-полимерные аккумуляторы (Li-Po) широко применяются в портативной электронике благодаря высокой энергоёмкости и компактности [1, 3], однако требуют строгого соблюдения режимов зарядки, нарушение которых приводит к деградации или аварийным ситуациям.

Бюджетные зарядные устройства имеют ограниченный функционал контроля, что обуславливает актуальность повышение их безопасности и точности. Цель работы — анализ недостатков таких устройств и поиск путей их модернизации. На практике часто отсутствует корректная реализация режима CC/CV и стабилизация тока, что вызывает разбалансировку, перезаряд и ускоренный износ [2, 4].

Перезаряд сопровождается газообразованием и ростом давления, что может привести к вздутию или воспламенению [1, 3]. Перегрузки и низкие температуры дополнительно вызывают росту внутреннего сопротивления, снижение ёмкости и увеличение саморазряда [3].

Ключевые недостатки бюджетных устройств включают отсутствие автоматического отключения, упрощённую балансировку, низкую точность контроля тока и напряжения и ограниченную индикацию.

Примером типового устройства является IMAX B3 Pro реализующий последовательную зарядку через балансировочный разъём. Устройство не обеспечивает полного завершения процесса зарядки и требует ручного отключения, что снижает безопасность [4].

Повышение надёжности возможно за счёт модернизации: внедрения BMS с контролем напряжения, балансировкой и защитой, а также использование микроконтроллера для реализации алгоритма CC/CV, мониторинга параметров и диагностики состояния аккумулятора, при одновременном улучшении измерительной части и индикации [3, 5].

Библиографический список

1. Buchmann I. Batteries in a Portable World: A Handbook on Rechargeable Batteries for Non-Engineers [Электронный ресурс].
2. Cadex Electronics Inc. Официальный сайт [Электронный ресурс]. URL: <https://batteryuniversity.com> (Дата обращения 18.03.2026)
3. Plett G. L. Battery Management Systems. Norwood: Artech House, 2015.
4. IMAX B3 Pro. Инструкция по эксплуатации [Электронный ресурс].
5. Technologies. 2025. Vol. 13, No. 5. Article 178 [Электронный ресурс]. URL: <https://www.mdpi.com/2227-7080/13/5/178> (Дата обращения 17.03.2026)

*Н.С. Успенский, студ.; рук. А.И. Терехов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ДОЗИМЕТРА-РАДИОМЕТРА

За последние десятилетия человек создал несколько сотен искусственных радионуклидов и научился использовать энергию атома. Возникает проблема по контролю радиационного фона, так как ионизирующее излучение не воспринимается органами чувств человека, и именно поэтому оно особенно опасно.

Разработанный прибор способен детектировать и гамма и бета излучение за счет использования слюдяного датчика (счётчик Гейгера-Мюллера) СИ-8Б [1, 2]. В конструкцию дозиметра входит импульсный повышающий преобразователь на базе таймера Texas Instruments ne555, микроконтроллер Arduino nano, который обрабатывает полученные сигналы. А также блок вывода информации на tft LCD дисплей с интерфейсом spi, блок заряда аккумуляторов, кнопки, динамик.

Программа, управляющая устройством, написана и отлажена в среде Arduino IDE, с использованием возможностей дополнительных библиотек.

С помощью прибора сделаны контрольные замеры радиационного фона в городе Волгореченск, результаты обобщены и представлены в таблице.

Библиографический список

1. Фрайден Дж. Современные датчики: справочник / Дж. Фрайден. — Москва: Техносфера, 2005. — 502 с. — ISBN 5-94836-050-4.
2. Счётчик Гейгера-Мюллера бета-гамма- излучений. НПФ «Консенсус» — Режим доступа: <https://consensus-group.ru/katalog/beta-gamma-counters/40-si8b>. (дата обращения: 10.04.2026)

*М.Д. Кантан, студ.; В.В. Аполонский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВИБРАЦИОННАЯ ДИАГНОСТИКА КЕПСТРАЛЬНЫМ АНАЛИЗОМ

Диагностика состояния оборудования играет ключевую роль в обеспечении надёжности и долговечности промышленных установок. Традиционные методы оценки технического состояния машин, основанные исключительно на визуальных наблюдениях или измерении температуры, могут оказаться недостаточными для выявления начальных стадий развития дефектов. Так паровые турбины, преобразующие тепловую энергию пара в механическую работу вращения вала ввиду условий работы с горячим воздухом и высоким вращательным движением, не могут быть диагностированы на предмет поломки вышеперечисленными методами.

Кепстральный анализ позволяет обнаруживать ударные импульсы в составе вибрации, причинами возникновения которых могут быть, например, сломанная лопасть турбины, биения вала вследствие разрушения шариков подшипника и др., подходит для предотвращения аварий и неисправностей оборудования путём определения причин возникновения вибраций на ранней стадии.

Кепстр – это обратное преобразование Фурье от натурального логарифма квадрата спектральной плотности случайного процесса [1], которое отображается в виде функции $C(q)$ от так называемого кепстрального времени q :

$$C(q) = \frac{1}{2\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \ln|F(jw)|^2 e^{jwq} dw \quad (1)$$

Недостатком является то, что необходимы данные высокого качества и точности. Для штатного режима работы может потребоваться точный виброметр, например, LDV, фиксирующий доплеровский сдвиг оптической частоты света, вызванный скоростью вибрации объекта и выдающий сигнал, пропорциональный скорости движения объекта.

Таким образом, применение кепстрального анализа при вибрационной диагностике паровой турбины является приемлемым методом анализа качества работы ввиду особенных условий эксплуатации.

Библиографический список

1. Гулай А.В., Зайцев В.М. Интеллектуальная технология кепстрального анализа колебательных процессов // *Машиноведение, системы приводов и детали машин.* - 2020. - №32. - С. 9.

*П.Е. Редькин, студ.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНЦЕПЦИЯ СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПОТОКОВ ЖИДКИХ СРЕД С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕТОДА PIV

Эффективность устройств для механической активации жидких сред в значительной степени определяется структурой формируемых течений. При этом возникающие в объеме аппаратов сложные трехмерные потоки затрудняют их количественный анализ традиционными методами.

Для исследования подобных течений перспективным является метод PIV (Particle Image Velocimetry), основанный на цифровой трассерной визуализации [1, 2]. Метод обеспечивает получение мгновенных полей скоростей и позволяет анализировать пространственную структуру течения.

Важным аспектом применения метода PIV является возможность детального анализа локальных особенностей потока, таких как вихревые структуры, зоны рециркуляции и градиенты скоростей [1]. Это позволяет выявлять неравномерности течения и оценивать эффективность процессов перемешивания в объеме аппарата.

В работе рассматривается концепция экспериментального стенда, включающего полупроводниковый лазер для формирования светового сечения потока и систему видеорегистрации. Обработка последовательности изображений реализуется программными средствами, что позволяет определять векторные поля скоростей и характеристики потока.

Предлагаемый подход ориентирован на исследование гидродинамических процессов в аппаратах с механическими активаторами и может быть использован при их проектировании и оптимизации.

Реализация стенда создаёт основу для проведения экспериментальных исследований с целью выявления закономерностей формирования потоковых структур.

Библиографический список

1. **Raffel M., Willert C.E., Kompenhans J.** Particle Imaging Velocimetry: A practical guide. 2nd ed. Springer, 2001.
2. **Токарев М.П., Маркович Д.М., Бильский А.В.** Адаптивные алгоритмы обработки изображений частиц для расчета мгновенных полей скоростей, Вычислительные технологии. – 2007. – Том 12, № 3. – С. 109–131.

*Е.А. Макарова, студ.; рук. М.С. Ковалева, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА МАКЕТА ГОРОДСКОЙ СРЕДЫ С ФУНКЦИОНИРУЮЩЕЙ ПОЖАРНОЙ ЧАСТЬЮ

Системы оповещения — важная часть обеспечения безопасности. Статистика [1] показывает: количество пожаров не снижается, а в плотной застройке скорость распространения огня и ущерб возрастают. Было принято решение создать наглядную модель городской среды с системой оповещения, демонстрирующую взаимодействие пожарной службы и инфраструктуры.

Ключевые элементы макета: здание пожарной части (точка старта), дорожная сеть и места возможных пожаров. Макет обеспечивает визуализацию пожара и его тушения, звуковое оповещение, движение пожарной машины к очагу, имитацию смены дня/ночи и подсветку.

Включение макета осуществляется кнопкой. Программно случайно выбирается объект возгорания. Движение пожарной машины реализовано при помощи 3 шаговых двигателей [2]. Положение в начале координат фиксируют оптические концевые датчики. Движение к заданной точке осуществляется путем подачи управляющих сигналов от микроконтроллера на драйверы шаговых двигателей. Координаты каждой точки пожара прописаны в коде программы. Уличное освещение реализовано при помощи светодиодов, включение осуществляется кнопкой. Для имитации пламени и смены режима «день/ночь» используется адресная светодиодная лента, переключение происходит при помощи кнопки. В зависимости от времени горения, заложенного в алгоритме, свечение динамически меняется, создавая эффект разгорающегося пламени. Одновременно с визуальным сигналом активируется звуковое оповещение, реализованное при помощи динамика и карты памяти с записанным звуком. При прибытии машины к точке пожара звук и свечение отключаются, пожар потушен. После паузы машина возвращается в пожарную часть, встает на концевой выключатель и готова к новому циклу.

Разработаны план расположения и функциональная схема макета. Проект наглядно демонстрирует важность оперативного оповещения при ЧС.

Библиографический список

1. Анализ пожарной обстановки в РФ за 12 месяцев 2025 г. [электронный ресурс] URL: https://vdp064.ru/uploadedFiles/files/Analiz_obstanovki_s_pozharami_RF_za_2025.pdf
2. Шаговые двигатели: принцип работы, применение и управление [электронный ресурс] URL: <https://inner.su/articles/shagovye-dvigateli/>

*И.Н. Фролов, студ.; рук. В.Л. Жбанова, д.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ ПЕРСПЕКТИВНЫХ ОЭП ОКСИМЕТРИИ НА ОСНОВЕ ЗАРУБЕЖНОГО ОПЫТА

Разработка помехоустойчивых оптико-электронных приборов (ОЭП) для персонала энергообъектов требует выделения сигнала фотоплетизмограммы (ФПГ) на фоне интенсивных электромагнитных помех [1]. Ключевой тренд — использование трехканальных систем (660, 940 и 805 нм). Изосбестическая точка (805 нм) позволяет калибровать прибор независимо от сатурации, минимизируя инструментальную погрешность. Применение кремниевых фотодиодов с повышенной чувствительностью в ближнем ИК-диапазоне увеличивает глубину зондирования тканей. Интеграция дифференциальных схем включения излучателей позволяет эффективно компенсировать постоянную составляющую фоновой засветки. [2].

Для подавления наводок 50 Гц применяются адаптивные Notch-фильтры [3]. Проблему артефактов движения решают шумоподавляющие автокодировщики (Denoising Autoencoders). Нейросеть выделяет морфологию ФПГ, игнорируя стохастические помехи в диапазоне 0,5–4 Гц. Внедрение глубокого обучения позволяет восстанавливать полезный сигнал даже при критическом превышении амплитуды помехи. Совместное использование нейросетей и MEMS-акселерометров обеспечивает компенсацию динамических искажений. Применение FPGA-матриц гарантирует минимальную задержку обработки данных.

Интеграция таких ОЭП в автоматизированные рабочие места создает базу для биодозиметрического контроля. Реализация данной концепции существенно повысит безопасность труда за счет непрерывного интеллектуального мониторинга состояния операторов [4].

Библиографический список

1. **Webster J. G.** Design of Pulse Oximeters. N.Y.: Taylor & Francis, 2021. 260 p.
2. Maxim Integrated. Optical Biosensing Fundamentals. App. Note 6482. 2020.
3. **Хизбуллин Р.Н.** Аппаратный комплекс осмотра персонала // Проблемы энергетики. 2014. № 1–2.
4. **Zhao Y.** et al. Noise Reduction in PPG Using Autoencoder // Sensors and Materials. Vol. 37, No. 11. 2025.

Н.А. Скребов, маг.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА УСТРОЙСТВА ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ СИЛЫ ТОКА ПРИВОДА СМЕСИТЕЛЯ

Перемешивание различных сред широко применяется в химической, текстильной, строительной, фармацевтической и смежных отраслях промышленности. В качестве смешиваемых сред выступают сухие компоненты, жидкие вещества и их комбинации [1].

При создании новой аппаратуры для проведения технологических операций при смешивании компонентов необходимо определять различные параметры процесса: время достижения необходимого результата, мощности, затрачиваемой на смешение и ряд других специфических параметров [2].

Одним из ключевых параметров при смешении компонентов является мощность, затрачиваемая на проведение процесса.

Автором разработано устройство, позволяющее выполнять замер тока, проходящего в цепи привода смесителя. На рис. 1 приведена структурная схема измерителя тока.

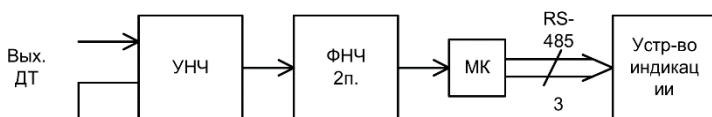


Рисунок 1

Отличительной особенностью разработанного измерителя является наличие АЦП, позволяющего повысить точность измерений. Измеритель тока может выполнять работу как в цепях постоянного, так и переменного тока. Разработанное устройство в настоящий момент применяется для исследования смесителей с целью выявления оптимальной конструкции, геометрических параметров рабочих органов и частоты вращения ротора.

Библиографический список

1. Кожевников С.О. и др. Моделирование гидродинамики жидкости в рабочем органе устройства для механоактивации коллоидных дисперсных систем. / Кожевников С.О., Кузнецов В.Б., Ершов С.В. // Вестник Череповецкого государственного университета. 2020. №6 (99). С. 11–21.
2. Брагинский, Л.Н. Перемешивание в жидких средах / В.И. Бегачёв, В.М. Барабаш. – Л.: Химия, 1984. – 336 с.

А.С. Корнев, маг.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СИНТЕЗ ДВУХУРОВНЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ КЛИМАТ-КОНТРОЛЕМ ТЕПЛИЦЫ

Создание благоприятных условий для выращивания растений достигается внедрением систем климат-контроля. Поддержание температурно-влажностного режима в теплице осуществляется путем открывания и закрывания окон. Открывание и закрывание окон осуществляются с помощью приводов поступательного движения – актуаторов.

Целью работы является разработка гибкой системы управления климат-контролем теплицы. Такой системе управления удовлетворяет внедрение иерархической схемы управления.



Рисунок 1 – Структурная система управления климат-контролем теплицы

Предполагаемая система управления имеет двухуровневую структуру и включает высший и низший уровни контроллеров (рис. 1). Контроллер высшего уровня (КВУ) решает задачи управления микроклиматом теплицы в целом с учетом влияния различных факторов. КВУ является центральным устройством в системе управления и отвечает за сбор информации о состоянии климата, математическую обработку информации и управление контроллером низшего уровня (КНУ). КНУ – исполнительный модуль, отвечающий за управление приводом открытием окон. Принимает команды от КВУ и в зависимости от полученных команд управляет приводом.

Привод открытия окон является электромеханическим устройством, реализующим перемещение окна для проветривания окна. Датчики параметров привода являются элементами обратной связи, позволяющие КНУ эффективно управлять открытием окна без ошибок и отклонений.

Библиографический список

1. Симонов Д.С., Морозов А.Ю., Коновалова К.Д., Миськова Е.Л. Влияние периодического проветривания в учебном кабинете на качество воздуха и микроклимат. Архитектура, строительство, транспорт. 2025. с. 39–51.
2. Kostka, M.; Kolodko, Z.; Baborska-Narozny, M. Impact of Bedroom Ventilation Strategy on Air Change Rates and Indoor Air Parameters in the Autumn–Winter Seasons—In Situ Study in Poland. *Energies* 2025, 18, 4279.

*И.Р. Пузаненков, маг.; рук. С.А. Астахов, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

УСТРОЙСТВО АВТОМАТИЧЕСКОГО ОТКЛЮЧЕНИЯ АВТОМОБИЛЬНОГО АККУМУЛЯТОРА ПРИ АВАРИИ

После столкновения конструктивные элементы автомобиля продолжают оставаться под напряжением. В такой ситуации аккумулятор превращается в дополнительный источник пожара [1]. Предлагаемое техническое решение предназначено для решения данной проблемы путем автоматического разрыва цепи питания в момент удара. Структурная схема предлагаемого устройства представлена на рисунке 1.

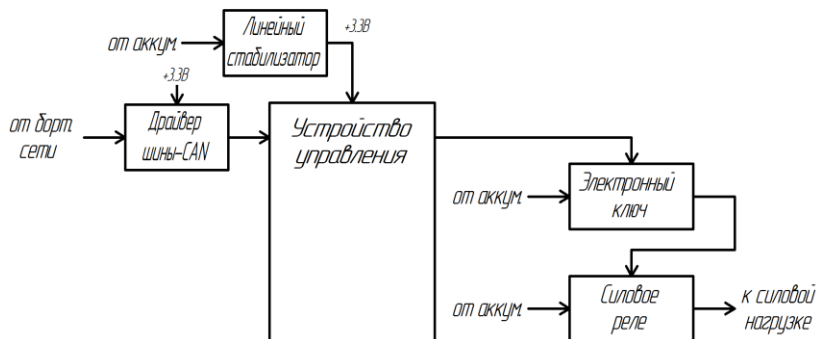


Рисунок 1 – Структурная схема устройства автоматического отключения автомобильного аккумулятора при аварии

Центральным узлом предлагаемого технического решения является устройство управления, функционально связывающее прочие структурные элементы. В качестве устройства управления предполагается использование микроконтроллера, обладающего необходимой периферией. Предполагается использование датчиков удара (или срабатывания подушек безопасности) бортовой сети автомобиля, для сопряжения с которой необходим драйвер шины CAN (поскольку напрямую микроконтроллер не может быть подключен к шине CAN). Для размыкания силовой нагрузки от аккумулятора предлагается использование силового реле, коммутирующегося под управлением устройства управление через электронный ключ (например, транзистор).

Библиографический список

1. **Скворцова О. В.** Автомобильный транспорт в транспортной системе: учебное пособие / О. В. Скворцова, Е. А. Воронина. — Тверь: Тверская ГСХА, 2022. — 139 с.

*А.М. Сеничкина, студ.; В.В. Цыгина, студ.;
рук. М.С. Ковалева, асс.,
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ЭЛЕКТРОННЫЙ ПРЕДСКАЗАТЕЛЬ ПОГОДЫ НА БАЗЕ ARDUINO

В настоящее время благодаря развитию микроконтроллерных технологий стало возможным создание компактных и доступных электронных устройств для прогнозирования погоды. Одним из таких решений является электронный предсказатель погоды на базе платформы Arduino, который осуществляет сбор и обработку данных в автоматическом режиме.

Разрабатываемое устройство функционирует на основе измерения атмосферного давления с заданной периодичностью (каждые 10 минут). Полученные данные сравниваются с предыдущими значениями за определённый временной интервал (1 час), после чего выполняется их аппроксимация.

На основании анализа изменения давления формируется прогноз погоды. При увеличении давления прогнозируется улучшение погодных условий, при снижении — ухудшение. Результат отображается с помощью стрелочного индикатора, управляемого сервоприводом.

Использование ArduinoNano упрощает разработку и программирование устройства, а датчик BMP180 обеспечивает необходимую точность измерений [1]. Применение литий-ионного аккумулятора делает устройство автономным, а сервопривод позволяет реализовать удобный способ отображения информации (рис. 1).

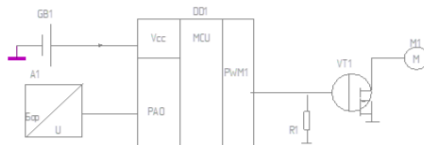


Рисунок 1 – Схема электрическая функциональная

Результаты показывают, что выбранные элементы обеспечивают надёжную, безопасную и долговечную работу устройства. Разработанная система может быть использована в учебных целях, а также в качестве простого бытового прибора для прогнозирования погодных условий.

Библиографический список

1. Официальный сайт «ARDUINO NASTER» [Электронный ресурс], - Режим доступа: <https://arduinomaster.ru/>

*А.А. Гуля, студ.
(АмГУ, г. Благовещенск)*

ЦИФРОВЫЕ ПОДСТАНЦИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА РЗА В УСЛОВИЯХ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭНЕРГОСИСТЕМЫ АМУРСКОЙ ОБЛАСТИ

Энергосистема Амурской области в составе ОЭС Востока требует поэтапной замены изношенного оборудования РЗА. По данным сетевых компаний региона, доля электромеханических и полупроводниковых реле превышает 55–60%, что при росте промышленных нагрузок и сложных погодных режимах снижает селективность защит и увеличивает время ликвидации аварий [1]. Переход на цифровые подстанции стандарта МЭК 61850 объединяет первичное оборудование и интеллектуальные устройства (IED) в единое информационное пространство с обменом данными в реальном времени.

Монтаж терминалов РЗА с самодиагностикой и дистанционной настройкой сокращает время срабатывания на 25–30 % и исключает ложные отключения от помех [2]. Опыт пилотного внедрения в филиалах ПАО «Россети» подтверждает снижение эксплуатационных расходов на 20–25% и повышение коэффициента готовности оборудования до 0,995 [3]. Для Приамурья целесообразны решения с резервированными оптоволоконными каналами и защитой от летних грозových перенапряжений.

Расчёты показывают, что при сроке службы 15–20 лет затраты на модернизацию окупаются за 8–10 лет. Интеграция подстанций с системами АСУ ТП и АСКУЭ формирует основу для развития интеллектуальных сетей региона в рамках Программы цифровизации электроэнергетики РФ до 2030 года [4].

Библиографический список

1. ПАО «Россети Дальний Восток». Технический отчёт о состоянии оборудования релейной защиты и автоматики за 2023 год. Хабаровск, 2024. С. 38–44.
2. Афанасьев В.В., Бахматов А.Г. Цифровые подстанции: принципы построения и опыт эксплуатации // Электричество. 2023. № 5. С. 12–19.
3. ГОСТ Р 58669-2019. Подстанции цифровые. Общие технические требования. М.: Стандартинформ, 2019. 28 с.
4. Минэнерго России. Программа цифровизации электроэнергетики Российской Федерации на период до 2030 года. М.: Минэнерго России, 2021. 64 с.

*А.В. Хрустиков, И.Н. Фролов, студ.; рук. В.В. Малышкин, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННАЯ СИСТЕМА ЛАЗЕРНОЙ ТЕРАПИИ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Современная лазерная медицина переходит к интеллектуальным системам с селективным воздействием на ткани. Актуальность работы связана с необходимостью минимизации термического повреждения здоровых структур при фотокоагуляции [1]. Предлагаемая концепция базируется на интеграции канала рамановской спектроскопии в рабочую головку аппарата. Применение кремниевых фотодиодов с повышенной чувствительностью в ближнем ИК-диапазоне увеличивает глубину регистрации спектрального отклика. Интеграция дифференциальных схем включения излучателей позволяет эффективно компенсировать постоянную составляющую фоновой люминесценции тканей.

В рамках модели зондирующий лазер (785 нм) сканирует зону воздействия, а блок на основе нейросетевых моделей аппроксимирует степень малигнизации в реальном времени [2]. Это позволяет модулировать мощность лечебного излучателя (1064 нм) при достижении границ новообразования. Для компенсации стохастических помех используется адаптивная фильтрация на базе фильтра Калмана [3]. Алгоритмы глубокого обучения способны восстанавливать форму спектральных пиков даже при критически низком отношении сигнал/шум. Использование предиктивной аналитики на базе ПЛИС сокращает время отклика системы на изменение морфологии ткани до 5 мс.

Использование ПЛИС позволяет реализовать модули быстрой деконволюции спектров. Разработанные протоколы аппаратного самотестирования исключают подачу ненормированной энергии при деградации лазерных диодов. Динамическая модуляция мощности удерживает температуру в пограничной зоне на уровне 42–45°C. Внедрение подобных интеллектуальных систем мониторинга существенно снижает риск послеоперационных осложнений в онкологии. Предложенный метод объективизирует аппаратный контроль дозы облучения [4].

Библиографический список

1. **Webster J.G.** Design of Optical Medical Devices. N.Y.: Wiley, 2022. 312 p.
2. **Vogl T.J.** et al. // CardioVasc Intervent Radiol. 2022. Vol. 45. Iss. 8.
3. **Short M.** et al. // Journal of Biomedical Optics. 2023. Vol. 28. No. 4.
4. IEEE Xplore. Sensors and Signal Processing in Laser Medicine. Reports 2025.

*Е.Н. Лукьянова, студ.; рук. А.А. Анисимов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ НЕЙРОСЕТЕВЫХ МЕТОДОВ ИДЕНТИФИКАЦИИ ПАРАМЕТРОВ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Для заданной двухмассовой мехатронной системы известной структуры требуется выполнить оперативную идентификацию параметров, необходимых для последующей настройки регулятора состояния. В работе проводится сравнительный анализ двух типов нейронных сетей — сигмоидальной и радиально-базисной — применительно к задаче идентификации параметров электромеханической системы.

Актуальной является задача настройки регуляторов состояния мехатронной системы. Для реализации эффективной настройки необходимо проводить оперативную идентификацию объекта. Формирование обучающей выборки проводилось путём генерации переходных характеристик при случайных параметрах системы. Сеть прямого распространения содержала один скрытый слой и обучалась с использованием алгоритма обратного распространения ошибки. Радиально-базисная сеть обучалась с подбором ширины радиально-базисных функций для достижения наилучшей точности.

В результате эксперимента установлено, что радиально-базисная сеть обеспечивает более высокую точность идентификации. Среднеквадратическая ошибка на 33% ниже по сравнению с сигмоидальной сетью. Скорость обучения радиально-базисной сети выше в несколько раз. При исследовании влияния шума радиально-базисная сеть показала лучшую помехозащищенность. Оптимальное количество нейронов в скрытом слое для метода прямого распространения составляет 30–50. Для радиально-базисной сети количество нейронов определяется автоматически, оптимальное значение параметра ширины радиально-базисных функций составляет 0,7, при котором формируется сеть из 31 нейрона.

Таким образом, для задач оперативной идентификации параметров электромеханических систем в реальном времени предпочтительно применение радиально-базисных сетей благодаря их высокому быстродействию, устойчивости к шуму и автоматическому определению архитектуры. Сигмоидальная сеть может быть рекомендована при необходимости моделирования сложных зависимостей и наличии достаточных вычислительных ресурсов.

*К.А. Колпаков, студ.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СХЕМЫ РЕЗЕРВИРОВАНИЯ ПИТАНИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ

Схемотехника современных электронных средств (ЭС) включает в себя микроконтроллеры. Для устойчивой и безотказной работы ЭС необходима непрерывная подача питающего напряжения заданного уровня. Нарушение подачи питающего напряжения приводит к сбою функционирования МК и всего ЭС. Для повышения надежности работы МК необходимо предусмотреть резервный источник питания, который в случае аварии (нештатной ситуации) автоматически включается в работу, без участия человека [1].

Схемы с резервированием питания основаны на применении батарей или аккумуляторов, а также устройства переключающего основной источник питания на резервную батарею. В качестве такого переключающего устройства выступают различные полупроводниковые приборы: диоды, транзисторы или интегральные микросхемы (ИМС) [1].

Диоды в схемах резервирования питания ЭС служат для развязки основного источника питания и резервного. Если два источника питания разные по величине напряжения, то основным будет тот, который имеет более высокое напряжение. В схемах резервирования питания, где необходима мощность, до 15 Вт применяют более сложные схемотехнические решения, например, с применением ИМС.

Существуют специализированные ИМС, выполняющие функцию переключения между источниками питания, лишенные недостатков схем, собранных на дискретных компонентах. Известна ИМС LTC4412, которая имеет типовое подключение, приведенное в техническом описании производителя [2]. Типовая схема может быть доработана и оснащена зарядным модулем для поддержания номинального напряжения на клеммах аккумулятора при работе ЭС от основного источника питания.

В результате разработано устройство для резервирования питания ЭС на литиевом аккумуляторе с функцией дополнительного заряда при штатной работе основного источника питания.

Библиографический список

1. Рюмик С.М. 1000 и одна микроконтроллерная схема. – М.: Додэка-XXI, 2010. – 356 с.
2. Datasheet LTC4412 URL: <https://static.chipdip.ru/lib/271/DOC025271687.pdf> (дата обращения 09.04.2026).

*А.А. Марченков, И.Н. Фролов, студ.; рук. В.В. Малышкин, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ОПТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ФОРМИРОВАНИЯ ИЗОБРАЖЕНИЯ

Современные оптико-электронные проекционные системы прошли путь от аппаратов с электронно-лучевыми трубками до компактных цифровых комплексов [1]. Разработка высокоэффективных оптических трактов требует прецизионной юстировки дихроичных зеркал для корректного разделения спектра на RGB-составляющие. Интеграция дифференциальных схем включения излучателей позволяет эффективно компенсировать постоянную составляющую фоновой засветки.

Основными технологиями модуляции света на сегодняшний день являются LCD и DLP [2]. В LCD-системах свет проходит через три независимые матрицы, где кристаллы меняют прозрачность под действием сигнала. Интеграция дифференциальных схем управления матрицами минимизирует межканальные наводки и повышает контрастность изображения. В DLP-устройствах формирование картинки происходит за счет отражения от миллионов поворотных микрорезеркал чипа DMD [3]. Алгоритмы глубокого обучения, внедренные в видеопроцессор, способны эффективно подавлять стохастические помехи и «эффект радуги» в динамических сценах.

Перспективным направлением является переход к лазерным источникам света. Использование предиктивной аналитики на базе ПЛИС позволяет корректировать мощность лазеров в реальном времени, предотвращая тепловой дрейф компонентов. Лазерные технологии обеспечивают рекордный цветовой охват и долговечность службы прибора [4]. Внедрение протоколов аппаратного самотестирования гарантирует надежность работы проекционных систем в составе автоматизированных рабочих мест. Комплексный подход к проектированию ОЭП существенно повышает качество визуализации данных в современных энергосистемах.

Библиографический список

1. Проектор // Википедия [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Проектор> (16.02.2026).
2. Как работают проекторы // Projector [Электронный ресурс]. URL: <https://707.su/5W3b> (16.02.2026).
3. Принципы устройства проекторов // Компьютерра [Электронный ресурс]. URL: <https://old.computerra.ru/> (16.02.2026).
4. Laser Projection Technology Review // IEEE Optoelectronics. 2025. Vol. 12. No. 3.

*А.А. Исайченков, студ.; рук. М.С. Ковалева, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

РАЗРАБОТКА МЕХАНИЗМА ИДЕНТИФИКАЦИИ МОНЕТ ДЛЯ ЭЛЕКТРОННОЙ КОПИЛКИ

Электронная копилка представляет собой устройство, предназначенное для автоматического приёма и подсчёта внесённых денежных средств. Ключевым элементом электронной копилки является механизм распознавания монет, от корректности работы которого зависит точность подсчёта денежных средств.

Распознавание может быть реализовано на основе измерения размера монеты во время ее движения через измерительную зону. Для регистрации прохождения монеты на каждой из таких траекторий предполагалось установить собственные отверстия необходимого под монету размера и отдельный оптический датчик [1]. Несмотря на относительную простоту реализации, данный подход обладает рядом существенных недостатков: громоздкая конструкция, система плохо масштабируется и требует механической перенастройки при изменении набора распознаваемых номиналов.

Анализ указанных ограничений привел к поиску более компактного и универсального решения: использованию единственного оптического датчика препятствия. В таком случае достаточно одного канала для перемещения монеты. Монета перемещается по узкому направляющему каналу или щели, обеспечивающему стабильную траекторию ее движения. При прохождении через измерительную область монета частично перекрывает окно датчика [2]. Поскольку монеты различных номиналов имеют разные диаметры, площадь перекрытия светового потока также оказывается различной. В результате величина сигнала, формируемого фоточувствительным элементом, зависит от размера монеты. Наиболее важным результатом эксперимента является то, что максимальные значения сигнала существенно различаются для монет разных номиналов. Это подтверждает, что площадь перекрытия светового потока напрямую связана с геометрическим размером монеты, прежде всего с ее диаметром. Полученные экспериментальные результаты позволяют сделать вывод о достаточной разрешающей способности измерительной системы для практического распознавания монет.

Библиографический список

1. Оптические датчики: виды и принцип работы [Электронный ресурс]. URL: <https://www.syl.ru/article/518261/2023> (дата обращения: 13.03.2026).
2. Щелевые оптические датчики положения для современной электронной техники [Электронный ресурс] URL: <https://www.cta.ru/articles/soel> (дата обращения: 13.03.2026)

М.П. Иванов, студ.;
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

РАЗРАБОТКА ПАСЕЧНОГО НОЖА С АВТОНОМНЫМ ПИТАНИЕМ И КОНТРОЛЕМ НАГРЕВА ЛЕЗВИЯ

В современном пчеловодстве одной из самых трудоёмких операций является распечатывание медовых сот перед процессом откачки мёда. Традиционный метод предполагает периодическое погружение ножей в ёмкость с горячей водой, либо работу электрического ножа от сети. Данные способы имеют ряд существенных недостатков: отсутствие контроля над температурой нагрева лезвия, риск попадания воды в мёд, что может привести к его брожению, а также сильная привязка к стационарному источнику тепла и электросети. Поэтому разработка автономного устройства для решения этих проблем является актуальной задачей.

Для улучшения условий откачки мёда был разработан пасечный электронный нож с автономным питанием и возможностью контроля нагрева лезвия.

В разработанном ноже сохраняется нагревательный элемент лезвия, но добавляется система питания от встроенной батареи и внешнего портативного аккумулятора. Сеть 220В понижается до 12–24В, после чего все источники объединяются в общий блок выбора питания.

Блок выбора источника реализован на электронных ключах, которыми управляет микроконтроллер. При наличии сети приоритет отдаётся питанию от сети, а батарея при необходимости заряжается. При отсутствии сети устройство переходит на питание от встроенной или внешней батареи.

Для контроля нагрева на ноже устанавливается датчик температуры, сигнал с которого считывается микроконтроллером через аналого-цифровой преобразователь. На основе полученного значения температуры микроконтроллер формирует ШИМ-сигнал и управляет ключом, регулируя среднюю мощность, подаваемую на лезвие, и удерживая температуру в заданном диапазоне. Таким образом, мощность, подаваемая на лезвие, регулируется плавно, что позволяет поддерживать температуру в заданном диапазоне.

Таким образом, разработанная модель повышает автономность и эффективность эксплуатации ножа для распечатки пчелиных сот.

А.Д. Баранов, студ.; рук. В.Н. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ ШИП-ДПТ

Управление качеством электроэнергии через поддержание высокого коэффициента мощности критически важно для энергоэффективности системы: его снижение из-за индуктивных нагрузок (двигатели) и нелинейных элементов (выпрямители) перегружает сети, вызывая потери, штрафы за реактивную мощность и рост углеродного следа. Существенным фактором является здесь высокий уровень гармонических искажений (THD) параметров мощности, ведущий к импульсным токам, перегреву и помехам, что усугубляет «загрязнение» сети и снижает общую надежность мехатронной системы [1, 3].

Рассмотрен вариант мехатронной системы ШИП-ДПТ с активным фильтром для снижения THD (рис. 1) [2].

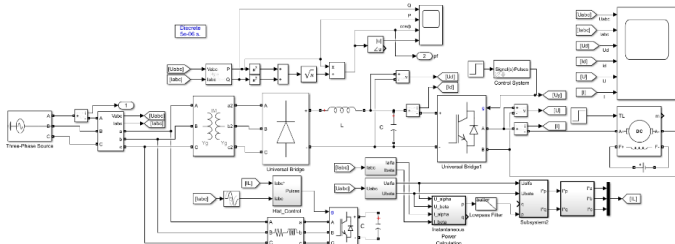


Рисунок 1 – Схема модели мехатронной системы ШИП-ДПТ с активным фильтром

Эффективность предложенного подхода подтверждена результатами моделирования: интеграция активного фильтра обеспечивает высокий коэффициент мощности (до 0,995) и низкий уровень гармонических искажений (THD 3–5%) при любых нагрузках. Фильтр служит комплексным устройством, гарантирующим высокую энергоэффективность, устойчивость работы и экологичность системы за счет «чистоты» потребляемого тока [3].

Библиографический список

1. Герман-Галкин С.Г. Цифровые электроприводы с транзисторными преобразователями / С.Г. Герман-Галкин, В.Д. Лебедев, Б.А. Марков, Н.И. Чичерин. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ие, 1986. – 248 с.
2. Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink : учебник для вузов / С. Г. Герман-Галкин. — 2-е изд., стер. — Санкт-Петербург : Лань, 2025. — 444 с. — ISBN 978-5-507-50698-9.
3. Розанов Ю.К. Справочник по силовой электронике / Ю. К. Розанов, П.А. Воронин, С.Е. Рывкин, Е.Е. Чаплыгин; под ред. д.т.н., проф. Ю.К. Розанова, Федер. Сетевая Компания Единой Энергет. Системы. — Москва: Изд. дом МЭИ, 2014. — 470, с. ил., табл.; 24. — ISBN 978-5-383-00872-0.

*А.С. Махлычев, маг.; рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СХВАТА ДЛЯ СБОРА ЯГОД

Современные хозяйства при выращивании ягодных культур оснащают теплицы роботизированными сборщиками. Роботизированный сборщик представляет собой мобильную тележку, на которой размещен манипулятор и тара для укладки снятой ягоды. Манипулятор на последнем звене имеет схват для снятия и перемещения ягод. Разработка схвата для ягод является сложной конструкторской задачей. Создание устройства для удерживания, снятия и перемещения ягоды из зоны выращивания в зону хранения без повреждения является важной и актуальной проблемой [1]. Основными требованиями для автоматизированной сборки ягод являются: минимальная нагрузка на оболочку ягоды и повышение производительности. Выполненный анализ существующих схватов и их рабочих элементов показал, что они не удовлетворяют требованиям для сбора, т.к. они осуществляют силовое воздействие на оболочку и могут привести к повреждению плодов [2]. Кроме того, возникает необходимость оснащения схвата устройством для срезаания плодоножки. На рис. 1 приведен общий вид схвата для сбора ягод.

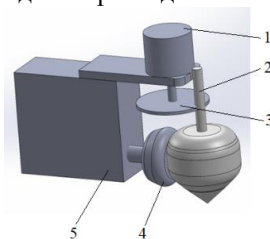


Рисунок 1 – Схват для сбора ягод

Схват для сбора клубники работает следующим образом корпус 5 закрепленный на манипуляторе перемещается в зону сбора ягод и подводится к последней. Включается вакуумный захват, и ягода фиксируется при помощи присоски 4, которая удерживает ее от смещения. Далее выдвигается привод 1 и при помощи быстровращающейся фрезы 3 плодоножка 2 срезается. Позиционирование схвата выполняется камерой, которая также при помощи микроконтроллера определяет спелость ягоды и необходимость ее сбора.

Библиографический список

1. **Махлычев А.С.** Синтез конструкции схвата для автоматизированного сбора ягод. / Кожевников С.О., Кожевникова Л.В.//Иновационный потенциал развития общества: взгляд молодых ученых: сборник научных статей 6-й Всероссийской научной конференции перспективных разработок. Том 4, - Курск: ЗАО «Университетская книга», 2025. С. 266-269.
2. **Фигурин А.В.** Структурно-параметрический синтез схватов промышленных роботов. Автореф. канд. техн. наук. Ленинград, 1988. 199 с.

*Д.Е. Мухин, студ.; рук. В.В. Аполонский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ОПЕРАЦИОННЫХ СИСТЕМ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ДЛЯ ЗАДАЧ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКИМИ ОБЪЕКТАМИ

Современные системы управления предъявляют жёсткие требования к детерминизму выполнения задач. Операционные системы общего назначения не гарантируют соблюдения временных ограничений, что делает актуальным применение ОСПВ. Цель работы – анализ архитектурных особенностей и сравнительная оценка ОСПВ для обоснованного выбора.

В теоретической части рассмотрены категории реального времени: Hard, Firm и Soft [1]. Ключевыми характеристиками ОСПВ являются латентность прерываний, джиттер и время переключения контекста. Проанализированы алгоритмы планирования RMS (фиксированные приоритеты) и EDF (динамические) [2]. По архитектуре ОСПВ делятся на монолитные (Linux с PREEMPT_RT), микроядерные (QNX) и гибридные решения.

Проведён сравнительный анализ проприетарных (VxWorks, QNX) и открытых (Linux с PREEMPT_RT, FreeRTOS) ОСПВ. VxWorks и QNX имеют сертификацию DO-178C и ISO 26262, необходимую для критической инфраструктуры. Linux с PREEMPT_RT при латентности 30–50 мкс достаточен для большинства промышленных задач, включая управление сервоприводами с периодом 250–500 мкс. FreeRTOS (менее 10 КБ) оптимальна для микроконтроллеров.

Рассмотрены области применения: Soft PLC, системы сбора данных (1–20 кГц), управление электроприводами через EtherCAT и PROFINET IRT, цифровые двойники. ОСПВ обеспечивает детерминированное выполнение циклов до 250 мкс [1].

Сформулированы рекомендации: для промышленной автоматике – Linux с PREEMPT_RT; для встраиваемых устройств – FreeRTOS; для сертифицируемых систем безопасности – QNX или VxWorks [2].

Библиографический список

1. **Древс Ю.Г.** Технические и программные средства систем реального времени. – 4-е изд. – М.: Лаборатория знаний, 2025. – 337 с.
2. **Гриценко Ю.Б.** Системы реального времени: учебное пособие. – Томск: ТУСУР, 2006. – 152 с.

*А.Л. Лямец, студ.; рук. С.П. Астахов, к.т.н., доц.
(Филиал НИУ «МЭИ», г. Смоленск)*

АНАЛИЗ ИНФОРМАТИВНОСТИ SWIR-, MWIR- и LWIR-ДИАПАЗОНОВ ПРИ ОБНАРУЖЕНИИ БВС

На сегодняшний день, в военных условиях, одной из актуальных проблем в научной сфере Российской Федерации является вопрос обнаружения иностранных беспилотных воздушных судов (далее – БВС) с целью противодействия угрозе разрушений военных и гражданских объектов, предотвращения гибели людей. Наиболее надёжным методом при распознавании БВС служит тепловое обнаружение – улавливание инфракрасного излучения, испускаемого нагретыми элементами частей корпуса БВС, а также волн, отражённых от них. В зависимости от рабочего диапазона длин волн системы обнаружения БВС подразделяются на SWIR-, MWIR- и LWIR-камеры.

SWIR-камеры функционируют в коротковолновом диапазоне отражённого от элементов БВС излучения (0,9 мкм – 3 мкм) при температуре отражающей поверхности судна в интервале 25°...60°С. Особенностью камер SWIR-диапазона является наличие инфракрасной подсветки, что позволяет формировать хорошо различимые изображения с высоким тепловым контрастом на экране наблюдения в условиях дождя, тумана, дыма, пыли и в темноте. В силу наличия ИК-подсветки SWIR-камеры имеют дорогую стоимость.

MWIR-камеры работают в средневолновом диапазоне длин волн (3 мкм – 5 мкм) излучения, испускаемого БВС. Рабочий температурный интервал составляет 10°...25°С. Большая длина волны и более высокая чувствительность, достигаемая путём применения охлаждаемого сенсора, способствуют наибольшей дальности обнаружения (30 км). Наличие криогенной системы создаёт самую высокую стоимость.

LWIR-камеры поглощают ИК-излучение в длинноволновом интервале (8 мкм – 14 мкм). Рабочий диапазон температур находится в пределах 0°...10°С. В силу отсутствия специальных систем охлаждения имеет наименьшую стоимость среди 3 типов камер и имеет видимость большую, чем у SWIR-камер, но меньшую, чем у MWIR-камер.

Библиографический список

1. **Горбачёв А.А.** Твердотельные матричные фотопреобразователи и камеры на их основе. – СПб.: НИУ ИТМО, 2013. – 98 с.
2. **Овчинников А.М.** Принцип работы и устройство активно-пиксельных датчиков. – ИПМ им. М. В. Келдыша РАН. Москва, 2003.

**В.В. Филиппов, студ.; рук. Е.А. Сапроненкова, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)**

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА МРЗ-ПЛЕЕРА

MP3-Плеер - компактное переносное устройство для прослушивания цифровой музыки.

MP3-Плеер состоит из корпуса, кнопок управления и экрана. В механическую часть входят разъёмы для наушников и зарядки, а также отсек для карты памяти. Экран (OLED или ЖК) показывает название музыки, время, громкость и заряд батареи. Управляющий блок на микроконтроллере ESP32 опрашивает кнопки, отдаёт команды аудиодекодеру и выводит данные на экран. Звуковой тракт включает микросхему VS1053 (декодирует MP3 и превращает цифру в аналоговый сигнал 1 В) и стереоусилитель NE5532 (доводит сигнал до 2,2 В для наушников). Для хранения музыки используется карта памяти microSD (FAT32). Питание обеспечивается аккумулятором 3,7 В, контроллером заряда TP4056 и стабилизатором AMS1117-3.3 (выдаёт стабильные 3,3 В). Кварцевый резонатор 12,288 МГц задаёт такт для VS1053. [1]

Перед началом прослушивания пользователь устанавливает карту памяти с музыкой, подключает наушники и нажимает кнопки (Пуск/Пауза, Следующий, Предыдущий, Громче, Тише). ESP32 распознаёт эти команды и передаёт их на VS1053. Декодер считывает нужный файл с карты, восстанавливает из сжатого состояния исходный цифровой звук, превращает его в аналоговый сигнал (1 В) и отправляет на усилитель NE5532. Усилитель повышает напряжение сигнала до 2,2 В и подаёт его в наушники. Одновременно на экране отображаются название трека, время, уровень громкости и заряд батареи. При подключении зарядного кабеля через USB микросхема TP4056 начинает заряжать аккумулятор, а встроенные светодиоды сигнализируют о процессе заряда.

Структурная схема MP3-плеера отражает его типовую архитектуру. Современные модели могут включать Bluetooth-модули, поддержку большего количества аудиоформатов или сенсорные экраны, но основной принцип остается неизменным: чтение файла с накопителя - декодирование - усиление - воспроизведение. Понимание схемы важно для проектирования, обслуживания и модернизации устройств.

Библиографический список

1. **Марстон, Р.** Популярныe аудиомикросхемы / Р. Марстон. - М. : ДМК Пресс, 2007. - 320 с. - ISBN 5-94074-325-0. - URL: <https://radiohata.ru/audio/299-marston-r-m-populyarnye-audiomikroshemy.html> (дата обращения: 20.04.2026).

*Д.В. Качинская, студ.; рук. В.А. Смолин, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СТРУКТУРА АРКАДНОГО ИГРОВОГО АВТОМАТА

Аркадные игровые автоматы – специализированные электронные устройства для развлечений. Включают механические, электронные и программные компоненты для взаимодействия с пользователями.

Аркадный игровой автомат состоит из корпуса с жёсткой рамой, облицовкой и панелью управления с кнопками и джойстиками. В механическую часть входят крепления для компонентов, механизм выдачи призов и блок ввода средств с монетоприёмником, купюроприёмником и считывателем карт. Дисплейный блок включает основной экран, индикаторы статуса и баланс, а также верхний дисплей с логотипом. Вычислительный блок содержит процессор, память, программное обеспечение, генератор случайных чисел и интерфейсы для периферийных устройств. Аудиосистема состоит из усилителя, динамиков и модуля звуковых эффектов. Блок питания включает преобразователи напряжения и стабилизаторы. Система связи и учёта связывается с сервером через Ethernet или RS-232, печатает билеты и имеет датчики состояния. Защитные элементы включают замок, антивандальную защиту и датчики несанкционированного вмешательства для технического обслуживания [1].

Пользователь вносит средства через блок ввода, что запускает игровой режим. На дисплее отображается процесс игры, управление позволяет взаимодействовать с ней, а аудиосистема сопровождает действия. По завершении раунда вычислительный блок обрабатывает результаты (выигрыш или проигрыш) и обновляет баланс. При выигрыше может быть выдан билет или физический приз. Информация о транзакциях передаётся на сервер учёта.

Структурная схема аркадного игрового автомата отражает его типовую архитектуру. Современные модели могут включать сенсорные экраны, Wi-Fi-модули и биометрические датчики, но основной принцип остаётся неизменным. Понимание схемы важно для проектирования, обслуживания и модернизации устройств.

Библиографический список

1. **Соколов, Д.В.** Аркадные автоматы / Д.В. Соколов // Большая российская энциклопедия. — 2024. — 26 ноября. — URL: [https://bigenc.ru/c/arkadnye-avtomaty-e996a5] (дата обращения: 15.04.2026).

*В.А. Чувашов, студ.; рук. И.В. Якименко д.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА «ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ ЭЛЕКТРОНИКИ»

Качественная подготовка специалистов в области электроники немыслима без глубокого погружения в практическую составляющую проектирования цифровых устройств [1]. Использование в учебном процессе стендов, базирующихся на отечественной элементной базе, способствует формированию у студентов прикладных навыков эксплуатации современных полупроводниковых изделий. Представленная разработка нацелена на решение двух ключевых образовательных задач: освоение принципов построения комбинационных логических узлов и изучение методов декомпозиции функций с использованием мультиплексоров [1]. Стенд спроектирован с учетом возможности коллективной работы в парах.

Оборудование базируется на модульном принципе построения. Входящий в состав системы блок питания осуществляет выпрямление и стабилизацию сетевого напряжения до уровня 5 В, что является эталонным для функционирования микросхем транзисторно-транзисторной логики (ТТЛ). Визуальный контроль логических состояний осуществляется посредством светодиодной индикации, а электрические соединения формируются через коммутационную панель, оснащенную защищенными гнездами. Номенклатура используемых компонентов включает в себя базовый логический базис (микросхемы серии К155), сложные узлы (дешифратор К155ИД4, трехбитный счетчик К155ИЕ5 и мультиплексор К555КП12), генераторная часть (модуль, формирующий прямоугольные импульсы).

Образовательный процесс организован через свободную коммутацию выводов микросхем, что позволяет студентам самостоятельно синтезировать требуемые устройства.

Предложенная концепция учебного стенда позволяет эффективно освоить современные методологии проектирования цифровых систем. Модульный подход и использование отечественных компонентов создают оптимальную среду для развития профессиональных компетенций будущих инженеров-разработчиков промышленной электроники.

Библиографический список

1. Угрюмов Е.П. Цифровая схемотехника. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 816 с.

*Н.С. Евневич, студ.; рук. Е.А. Сапроненкова, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ИГРОВОГО РУЛЯ С СИЛОВОЙ ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ

Игровые рули с силовой обратной связью – специализированные устройства ввода для компьютерных симуляторов вождения. Включают электромеханические, электронные и программные компоненты для имитации управления автомобилем и тактильной обратной связи.

Игровой руль состоит из корпуса с жёстким основанием, креплениями к столу и рулевым колесом. В электромеханическую часть входят ДС-мотор 150 Вт (щёточный, 12 В), ременная передача 1:6, два драйвера BTS7960 и система охлаждения из четырёх кулеров (два на драйверы, два на мотор). Вычислительный блок построен на плате Arduino Leonardo с поддержкой HID-эмуляции. Органы управления включают подрулевые лепестки: левый – понижение передачи, правый – повышение, а также педальный узел на три педали (газ, тормоз, сцепление), выполненные посредством потенциометров 10 кОм. Блок питания обеспечивает 12 В для мотора, драйверов и кулеров. Система связи с ПК реализована через USB.

Пользователь подключает руль к ПК через USB. Arduino Leonardo считывает аналоговые сигналы с потенциометров педалей и состояние подрулевых лепестков. При вращении руля или игровом событии (наезд на бордюр, удар) микроконтроллер формирует ШИМ-сигналы, которые через драйверы BTS7960 управляют ДС-мотором. Момент от мотора передаётся через ременную передачу 1:6 на вал руля, создавая усилие сопротивления. Четыре кулера отводят тепло от драйверов и мотора. Информация о положении осей и нажатиях передаётся в ПК для управления виртуальным автомобилем. При выигрыше в гонке или окончании сеанса руль возвращается в нейтральное положение. [1]

Структурная схема игрового руля отражает его типовую архитектуру. Современные модели могут включать светодиодную индикацию оборотов, вибромоторы в педалях и беспроводные модули, но основной принцип остаётся неизменным. Понимание схемы важно для проектирования, самостоятельной сборки, обслуживания и модернизации устройств.

Библиографический список

1. Arduino Leonardo Техническая документация. – URL: <https://docs.arduino.cc/hardware/leonardo> (дата обращения: 20.04.2026).

*А.Н. Марченков, студ.; рук. И.В. Якименко, д.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МЕТОДИКА ВЫБОРА ВЫСОКОЧАСТОТНОГО ШУНТИРУЮЩЕГО КОНДЕНСАТОРА ДЛЯ УВЕЛИЧЕНИЯ СРОКА СЛУЖБЫ ЭЛЕКТРОЛИТОВ DC-LINK В ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯХ ЧАСТОТЫ

Электролитические конденсаторы звена постоянного тока – наименее надежный элемент частотного преобразователя. Высокочастотные пульсации тока, протекая через электролит, нагревают его, тем самым ускоряя его старение. Данная методика позволяет перераспределить ВЧ-составляющую (высокочастотная составляющая) на себя, учитывая частоту ШИМ (широтно-импульсная модуляция) и эквивалентное последовательное сопротивление электролита (ESR) на рабочей частоте, и снизить температуру ядра электролита.

В частотных преобразователях электролитические конденсаторы звена постоянного тока протекает ток пульсаций с двумя составляющими – низкочастотной от выпрямителя и высокочастотной от ШИМ инвертора. На высоких частотах импеданс электролита определяется в основном его ESR, которое возрастает из-за скин-эффекта и диэлектрических потерь, что приводит к дополнительному нагреванию ядра электролита и сокращению его ресурса. Согласно правилу, сформулированному еще в работах М. Гаспери (1996), повышение температуры ядра на 10 °С сокращает срок службы вдвое. Наиболее опасны высокочастотные пульсации (от единиц до десятков килогерц), поскольку ESR электролита на этих частотах значительно выше, чем на частоте сети.

Методика выбора состоит из измерений и расчётов ESR электролита на частоте f (1), определения требуемого коэффициента снижения тока через электролит и расчёта необходимого сопротивления шунтирующей ветви на частоте f . (2).

$$ESR(f) = ESR_{100\Gamma\text{ц}} \cdot \sqrt{(100/f)}, \quad (1)$$

$$C_{sh} \geq (k-1)/(2\pi f_{sw} \cdot ESR_{el}). \quad (2)$$

Предложенная методика позволяет обоснованно выбрать высокочастотный шунт, минимизируя перегрев электролита. Данные расчёты могут быть реализованный в виде калькулятора для инженеров - проектировщиков.

Библиографический список

1. **Gasper M.L.** Life Prediction Model for Al Electrolytic Capacitors. IEEE IAS, 1996.
2. IEC 61071.
3. Рекомендации WIMA по выбору конденсаторов (дата обращения: 17.04.2026).

*А.Н. Марченков, студ.; рук. И.В. Якименко, д.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

СТРУКТУРНАЯ СХЕМА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО СТЕНДА ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЛИЯНИЯ ШУНТИРУЮЩЕГО КОНДЕНСАТОРА НА РЕСУРС ЭЛЕКТРОЛИТОВ DC LINK

В статье описана структурная схема лабораторной установки, позволяющей изучить, как параллельное подключение высокочастотного конденсатора к электролитическому конденсатору звена постоянного тока влияет на его нагрев и срок службы. Схема включает в себя силовые блоки, измерительные узлы и систему регистрации данных. Приведено описание каждого элемента и порядка проведения эксперимента.

Стенд включает в себя следующие основные части, перечисленные по ходу энергии от сети к нагрузке. Регулируемый источник питания - трёхфазный лабораторный автотрансформатор (ЛАТР). Он позволяет плавно изменять входное напряжение и, соответственно, напряжение звена постоянного тока. Выпрямитель - трёхфазный диодный мост на ток не менее 50 А. Он преобразует переменное напряжение в пульсирующее постоянное. Звено постоянного тока (DC-Link) - это главный исследуемый узел. Он состоит из электролитического конденсатора большой ёмкости (например, 2200 мкФБ 450 В) - основной фильтр, шунтирующего конденсатора - плёночного или керамического, ёмкостью от 1 до 100 мкФ, который подключается параллельно электролиту через переключатель, и разрядного резистора для безопасного снятия остаточного напряжения после отключения. Трёхфазный IGBT-инвертор - силовой модуль, который преобразует постоянное напряжение в переменное с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ). Нагрузка - асинхронный двигатель мощностью до 15 кВт или эквивалентная RL-цепь. Система управления - микроконтроллер (STM32 или аналогичный).

Представленное описание структурной схемы служит основой для создания реального стенда. Она позволяет наглядно увидеть, что даже небольшой шунт (10-22 мкФ) заметно уменьшает высокочастотную составляющую тока через электролит и снижает его нагрев на 5-15°C. Это даёт увеличение ресурса в 1,5-2,5 раза.

Библиографический список

1. **Gasperi M.L.** Life Prediction Model for Al Electrolytic Capacitors. IEEE IAS, 1996.
2. IEC 61071.
3. Рекомендации WIMA по выбору конденсаторов (дата обращения: 17.04.2026).

*М.А. Рыжиков, студ.; рук. В.А. Орехов, к.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В СИСТЕМАХ ПОЖАРНОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Пожары ежегодно приводят к гибели людей. ИИ в системах пожарной сигнализации повышает безопасность за счёт раннего обнаружения.

Классические методы анализируют визуальные параметры (яркость, движение пикселей), не требуют обучения, но часто дают ложные срабатывания из-за чувствительности к помехам. Современные методы сочетают машинное обучение и мультисенсорные системы.

Свёрточные нейронные сети (CNN) распознают признаки пожара на изображениях и видео, включая спутниковые снимки, но требуют больших вычислительных ресурсов и размеченных данных. Для систем раннего оповещения CNN комбинируют с рекуррентными сетями. Это позволяет одновременно анализировать пространственные и временные признаки (дым, температура, уровень CO₂). RNN «помнят» предыдущие состояния за счёт внутренней памяти [1]. Ансамблевые методы фильтруют ложные тревоги, сохраняют работоспособность при отказе сенсоров и адаптируются к помехам [2]. Для обнаружения лесных пожаров на спутниковых снимках используют модель SR-Net. Она обнаруживает дым с точностью до 96,9% даже при облачности, обрабатывая данные почти в реальном времени. Также применяются FireCNN и FireNet [3].

Применение ИИ в пожарной сигнализации обеспечивает раннее обнаружение возгораний и прогнозирование развития пожара. Однако требуется обучение персонала и регулярная корректировка алгоритмов.

Библиографический список

1. Д.А. Шестаков, Г.В. Шагрова, В.Г. Струкова, В.А. Доронин. Модель распознавания дыма на открытой местности с использованием сверточной и рекуррентной нейронной сети //Северо-Кавказский Федеральный Университет, Ставрополь, Российская Федерация URL: <https://moitvivi.ru/journal/pdf?id=1282> (дата обращения 12.03.2026)
2. И.Ф. Хафизов, Ф.Ш. Хафизов, Э.Ф. Рахматуллина, А.В. Пермяков. Прогнозирование ложных срабатываний дымовых пожарных извещателей с помощью нейронной сети //Уфимский государственный нефтяной технический университет, Уфа, Россия URL: https://vestnik.sibpsa.ru/wp-content/uploads/2025/v2/N37_111-120.pdf (дата обращения 12.03.2026)
3. М.Д. Мартынов, И.О. Яблочникова. Методы обнаружения и классификации для разработки программно-аппаратного комплекса обнаружения очагов лесных пожаров с помощью компьютерного зрения URL: <https://www.вестник-науки.pf/article/15361> (дата обращения 12.03.2026)

СЕКЦИЯ 21
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Председатель –
к.т.н., доцент **Ведерникова И.И.**

Секретарь –
к.т.н., доцент **Власов А.М.**

*А.М. Барамидзе, студ.; рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ДРОБЕСТРУЙНАЯ ОБРАБОТКА ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ВАЛОВ

Дробеструйная обработка представляет собой современный метод механической обработки поверхностей металлических деталей.

В процессе обработки реализуются: механическая очистка поверхности от загрязнений упрочнение материала за счет пластической деформации, формирование текстуры с оптимальной шероховатостью и подготовка поверхности под покрытия

Применение дробеструйной обработки является одним из лучших способов упрочнения поверхности деталей типа вал-шестерня.

Стальная дробь производится из марок белого чугуна с добавлением кремния (0,4-1,2%), углерода (0,8-1,2%), марганца (0,4-1,2%) и минимального количества серы с фосфором (до 0,05%). Применяется для подготовки деталей к анодированию, покраске, получения матовой поверхности и удаления загрязнений.

Чугунная дробь используется для очистки металлических изделий и создания эффекта наклепа, что улучшает физические характеристики материала.

Алюминиевая дробь предназначена для обработки изделий из алюминия и его сплавов, обеспечивая чистую, ровную поверхность с небольшой шероховатостью.

Керамическая дробь применяется для финишной обработки в авиационной и космической промышленности благодаря высокой износостойкости.

Электрокорунд используется для обработки поверхностей с сильными загрязнениями и коррозией, подходит для работы в различных типах установок.

Стекланная дробь является универсальным абразивом с высокой прочностью и эффективностью при многократном использовании.

Полимерные материалы (полиамид, поликарбонат) обеспечивают бережную очистку с минимальным образованием пыли и низкой токсичностью отходов.

Основным свойством, предотвращающим брак, является создание остаточных напряжений сжатия в поверхностном слое металла. При ударе абразивных частиц происходит пластическая деформация поверхностного слоя, что формирует защитный сжимающий слой вместо растягивающих напряжений.

*А.А. Валатина, студ.; рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КВАРЦЕВЫЕ ФОРМОВОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

Литье с использованием кварцевого формовочного материала отличается высокой огнеупорностью (до 1713°C) и химической инертностью к расплавам металлов. Формовочная смесь на основе кварцевого песка обеспечивает качественную газопроницаемость и не смачивается металлом.

Для изготовления кварцевого формовочного материала используют природный кварцевый песок с минимальным содержанием примесей. В процессе производства применяется специальное оборудование: оттирочные машины, промывочные установки, гидрогрохоты и системы просеивания.

Использование кварцевого песка и смесей на его основе при изготовлении крупногабаритных отливок является одним из основных направлений развития и совершенствования технологии изготовления форм.

Крупнозернистые пески (зерно более 0,24 мм) — используются для изготовления крупных и толстостенных отливок. Характеризуются высокой огнеупорностью и газопроницаемостью, содержат не менее 93% SiO₂, минимальное количество примесей.

Среднезернистые смеси (зерно 0,18-0,24 мм) — применяются для производства средних по размеру корпусных деталей. Обеспечивают хорошее качество поверхности и достаточную прочность формы.

Тощие смеси с пониженным содержанием глины (до 12%) — используются для литья чугунных корпусов. Обеспечивают необходимую податливость формы при усадке.

Жирные смеси с повышенным содержанием глины (12-50%) — применяются для сложных корпусных отливок, требующих высокой прочности формы.

Связующими материалами в кварцевых смесях являются различные органические вещества и добавки, подбираемые с учетом требований к прочности формы, газопроницаемости и условий эксплуатации литейной

Благодаря высокой газопроницаемости (150-200 единиц) кварцевые смеси эффективно пропускают газы, образующиеся при заливке и кристаллизации металла, что позволяет избежать образования газовых раковин, составляющих до 35% всего литейного брака.

А.А. Жуков, асп.; рук. А.М. Власов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОБЛЕМЫ И ПЕРСПЕКТИВЫ ЛАЗЕРНОЙ ПОЛИРОВКИ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИИ ИЗ СПЛАВА AlSi10Mg

Аддитивные технологии лазерного плавления порошков (LPBF) широко применяются для изготовления деталей сложной геометрии из алюминиевых сплавов, включая AlSi10Mg. При этом характерна повышенная шероховатость поверхности, ухудшающая эксплуатационные характеристики.

Лазерная полировка, основанная на кратковременном переплавлении поверхностного слоя, при оптимальных режимах обеспечивает снижение шероховатости металлических поверхностей.

Основное внимание в современных исследованиях уделяется влиянию технологических параметров (мощность излучения, скорость обработки, диаметр пятна, условия теплообмена) на глубину переплавления и формирование микрорельефа.

Однако при обработке изделий сложной геометрии существенное влияние оказывают геометрические факторы. Ориентация поверхности и экранирование излучения элементами конструкции ограничивают эффективность, а в ряде случаев делают отдельные участки недоступными для прямого воздействия [1].

Актуальным направлением является разработка методов прогнозирования эффективности лазерной полировки на основе цифровых моделей геометрии. Использование STL-представления и методов вычислительной геометрии позволяет анализировать ориентацию поверхности, оценивать доступность лазерного излучения и распределение энерговыделения.

Развитие подобных подходов позволяет прогнозировать эффективность лазерной полировки ещё на этапе проектирования изделия и технологической подготовки производства. Дальнейшие исследования в данной области могут быть направлены на учёт отражения лазерного излучения в узких полостях, оптимизацию ориентации лазерного луча, а также разработку комплексных моделей, связывающих геометрию поверхности, параметры лазерной обработки и качество поверхности.

Библиографический список

1. Leitz K.-H., Redlingshöfer B., Reg Y., Otto A., Schmidt M. Laser polishing of metal surfaces // *Physics Procedia*. 2011. Vol. 12. P. 230–238.

Н.А. Будагов, студ.; рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИЛ ПРИ РЕЗАНИИ СТАЛИ 40Х

Цель работы: исследование тангенциальной (P_z) и осевой (P_x) сил резания при токарной обработке стали 40Х в зависимости от режимов резания, а также сравнение экспериментальных значений с теоретическими.

Условия эксперимента: материал заготовки - сталь 40Х, диаметр d 50 мм, глубина резания 1 мм. Обработка проводилась при трёх значениях подачи (s , 0,23; 0,39; 0,87 мм/об). Эксперименты выполнялись в двух условиях: без охлаждения и с применением водная СОТС (концентрация 1%).

По каждому режиму резания проводились многократные замеры сил P_z и P_x , по результатам которых вычислялось среднее значение. Данные приведены на графике (рис. 1).

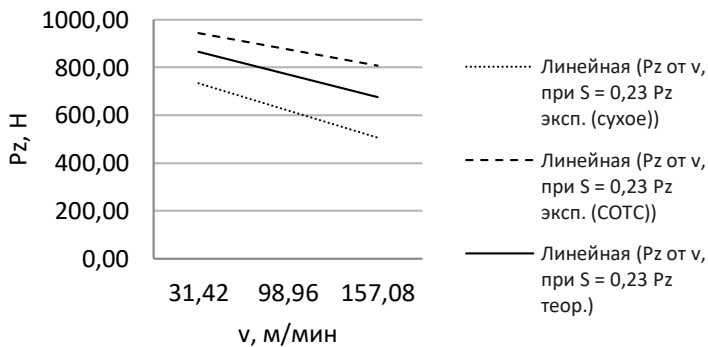


Рисунок 1 – Зависимость силы резания от скорости для различных способов охлаждения

Таким образом, силы резания при охлаждении превосходят силы резания без охлаждения по причине повышения прочности обрабатываемого материала, а теоретические значения находятся между экспериментальными. Для составляющей силы резания P_x наблюдаются те же события и для других подач так же.

В результате резания с охлаждением возрастает прочность материала, стружка получается более хрупкой и это способствует лучшему стружкоотделению.

*М.К. Файзуллоев, студ.; рук. С.А. Егоров., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИННОВАЦИОННЫЕ РЕШЕНИЯ В ОБЛАСТИ ПОДАЧИ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

В современном машиностроении эффективность обработки металлов во многом зависит от оптимального подвода смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) в зону резания. СОЖ играют критическую роль в снижении трения, отводе тепла, удалении стружки и абразивной пыли, что напрямую влияет на стойкость инструмента, качество обрабатываемой поверхности и производительность процесса.

Наиболее критичным является применение СОЖ при шлифовании, хонинговании и чистовых операциях лезвийной обработки, поэтому большое количество работ направлено на изменение способа подачи СОЖ в зону резания.

Предлагаемые устройства повышают надежность и стабильности работы, в частности, на предотвращение засорения в процессе шлифования, когда в охлаждающую жидкость попадают абразивная пыль и продукты износа. Устройство содержит корпус с патрубком для подвода жидкости и регулируемую выходную щелевую насадку, образованную двумя упругими пластинами.

Известны способы подачи СОЖ в виде пара. СОЖ в виде пара обеспечивает эффективное охлаждение и смазку. Устройство автоматически регулирует уровень: Поплавковая система непрерывно контролирует уровень жидкости, предотвращая как полное выкипание, так и переполнение, что гарантирует постоянную интенсивность парообразования.

Предлагается не непрерывная, а импульсная и селективная подача СОЖ, при которой жидкость подается дозированными порциями только в те каналы инструмента, зубья которого в данный момент времени непосредственно контактируют с заготовкой.

Можно повысить эффективность применения СОЖ за счет подачи непосредственно в активную зону резания, что повышает эффективность охлаждения. Подача СОЖ синхронизирована с вращением инструмента, обеспечивая точное направление потока.

Предлагается способ попеременной подачи СОЖ с двух сторон инструмента, синхронизированный с его возвратно-поступательным движением, где сложно обеспечить доступ СОЖ в зону контакта раздвижных абразивных брусков со стенкой заготовки.

Д.Р. Гулин, студ.; рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СТРУЖКООБРАЗОВАНИЕ ПРИ РЕЗАНИИ СТАЛИ

Процесс механообработки детали при точении состоит из сложных физических явлений: из пластической деформации обрабатываемого металла, из трения резца, и теплообразования.

Обработка данных производилась на основе двух серий опытов при точении. Серия 1 - "Воздух", где обрабатываемый металл точился в воздушной среде без дополнительного охлаждения; и Серия 2 - "Ивнетикс", где металл точился с дополнительным охлаждением ивнетиксом.

Испытания проводились на токарно – винторезном станке 1К62. В качестве обрабатываемого материала использовалась сталь 40Х диаметром 50 мм с твёрдостью HRC41. Режимы резания варьировались в следующих диапазонах; частота вращения шпинделя “n”: 200, 400, 630 об/мин; подача “s”: 0.089 мм/об ; глубина резания “t”: 1 мм.

В ходе эксперимента фиксировалась экспериментальная толщина стружки “а” и ширина “b”, а затем, рассчитывали коэффициент утолщения.

Зависимость коэффициента утолщения от изменения скорости двух экспериментов, наглядно представлена на рис. 1.

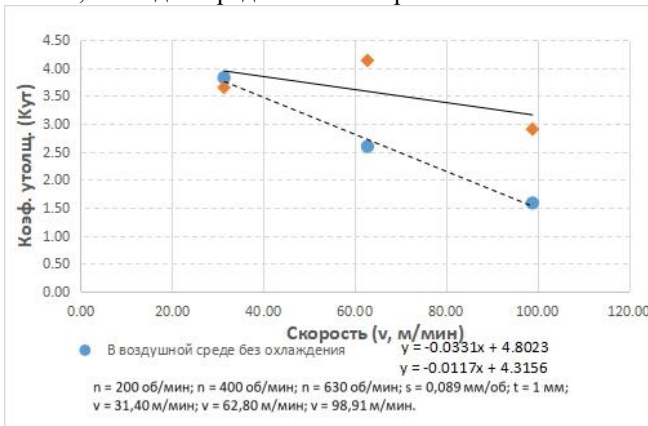


Рисунок 1 – График зависимости усадки стружки от скорости резания

Полученные результаты могут быть использованы для назначения оптимальных режимов резания, обеспечивающих баланс между производительностью обработки и стойкостью режущего инструмента.

*А.В. Романов, студ.; Д.А. Ноздрин, студ.;
рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ОСНАТКИ

В курсовом проектировании по дисциплине «Технологическая оснастка в машиностроительном производстве» используются универсально-сборные приспособления (УСП), которые выбираются из каталога стандартных деталей. Т.к. этих деталей практически нет в стандартных библиотеках программы Компас-3D, каждому студенту надо вновь заниматься созданием чертежей и трехмерных моделей. Поставлена задача автоматизировать проектирование технологической оснастки.

Для решения поставленной задачи разработаны: 1) стандартизированные именованные, которые включают наименования, тип, размер и материал детали УСП, например для базовой плиты УСП-12 из стали 12ХН3А – это USP_12_BP_480x240x60_st12ХН3А; 2) структура каталога; 3) трехмерные модели наиболее востребованных деталей. Для деталей УСП, которые имеют несколько типоразмеров использовалась параметризация, когда размеры являются переменными, внесенными во внешние таблицы Excel.

Разработанная библиотека применяется для создания трехмерной сборки станочного приспособления (рис. 1). Параметрические библиотеки стандартных элементов УСП обеспечивают устранение ошибок, которые могут возникнуть при ручном вводе данных, сокращают время проектирования оснастки.

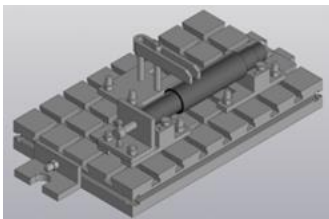


Рисунок 1 – Приспособление для фрезерования вала

Библиографический список

1. **Расчет на прочность** деталей станочного приспособления с применением программы КОМПАС-3D / Комиссаров Д.А., Н.Л. Павлюкова // Энергия-2023. Том 4. Электромехатроника и управление: восемнадцатая Всероссийская (десятая Международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых, 16-18 мая 2023 г., г. Иваново; материалы конференции: в 6 т. – Иваново: ФГБОУВО "Ивановский государственный энергетический университет". – 2023. – Т.4. – С.84 – 84.

*К.Д. Щербаков, студ.; А.В. Романов, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ НАПРЯЖЁННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ШЛИЦЕВОГО ВАЛА КОРОБКИ ПЕРЕДАЧ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ДЕТАЛИЗИРОВАННОЙ КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ

Представлены расширенные результаты численного исследования шлицевого вала коробки скоростей, нагруженного комбинацией крутящего момента, сил тяжести и реакций подшипниковых опор. Геометрическая модель вала с упрощёнными колёсами (для снижения вычислительной нагрузки) построена в КОМПАС-3D, расчёты выполнены в модуле АРМ FEM. В отличие от предыдущего этапа, использована более густая конечно-элементная сетка, обеспечивающая лучшее разрешение локальных напряжений и деформаций.

Получены детальные картины распределения полных перемещений и эквивалентных напряжений по длине вала. Установлено, что максимальные смещения (до 0,373 мм) локализуются в выходной части вала, что указывает на необходимость усиления конструкции или применения демпфирующих элементов в этой зоне. График смещений вдоль продольной оси вала демонстрирует участки снижения деформации вблизи опорных шеек, что соответствует физическим ожиданиям.

Анализ напряжённого состояния показал, что суммарные напряжения с учётом всех нагрузок превышают значения, полученные при расчёте только на кручение, однако остаются в пределах допустимых для стали 40Х (коэффициент запаса прочности не менее 1,3–2,0). Выявлены локальные концентраторы напряжений в области впадин шлицев и галтелей, требующие контроля при проектировании.

Подтверждено, что применение программного комплекса позволяет автоматически учитывать даже малые радиальные силы, которые при ручном проектировании обычно игнорируются. Это способствует более достоверной оценке прочности и жёсткости узла, сокращает время на выполнение проектных расчётов и повышает эксплуатационную надёжность коробки передач в целом. Результаты могут быть использованы для оптимизации геометрии шлицевых соединений и назначения допусков.

*Д.А. Ноздрин, студ.; А.В. Романов, студ.;
рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОЙ ПРОДУКЦИИ

В настоящее время стандартом проектирования машиностроительной продукции является параметрическое моделирование. Оно используется для создания твердотельных моделей разного уровня сложности. Принципы, заложенные в данный подход, позволяют проектировать детали и сборки не по фиксированным координатам, а по параметрам (переменным) и соотношением между ними, что позволяет ускорить процесс за счет подстановки значений при изменении исходных данных. Переменные могут быть связаны математическими формулами (например, при изменении размера наружного диаметра изменяется высота и внутренний диаметр) или ассоциативными связями (геометрические зависимости, например параллельность).

Новым направлением в проектировании является генеративный дизайн, при котором можно задать параметры изделия (назначение, массу, материал, места крепления, испытываемую нагрузку, метод изготовления), а алгоритм искусственного интеллекта предлагает множество вариантов изделия. При таком подходе роль инженера состоит в задании параметров и выбора оптимального варианта из множества для последующей проработки. Такие поиски можно повторять большое количество раз (от 10 до 100 итераций), вводя дополнительные критерии и выбирая лучшие варианты. Такой подход позволяет находить неочевидные решения, которые позволяют проводить оптимизацию, например снижение массы, повышение жесткости конструкции и т.п. Такими возможностями уже обладают программы Autodesk Fusion 360, Dassault Systèmes 3DEXPERIENCE, Siemens NX и др. Применение методов генеративного дизайна и искусственного интеллекта при проектировании являются новым перспективным направлением, при котором система на основе заданных ограничений автоматически генерирует оптимальные конструктивные решения.

Генерировать изображения позволяет отечественная сеть Kandinsky в GigaChat. Сгенерированные модели, сохраненные в формате .stl можно использовать для работы в САПР. Большинство отечественных программ (Компас-3D, T-FLEX CAD, nanoCAD) обладают развитой системой параметризации, но еще не подготовлены к внедрению генеративных моделей. Важным преимуществом отечественных САПР по-прежнему остается их поддержка ГОСТ и ЕСКД.

*А.В. Романов, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КАЧЕСТВА СВЕРЛЕНИЯ ПАКЕТОВ «АЛЮМИНИЙ–УГЛЕПЛАСТИК» С ПРИМЕНЕНИЕМ ФРАКТАЛЬНОЙ ДИАГНОСТИКИ ОСЕВОЙ СИЛЫ И КОМБИНИРОВАННОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Исследована технологическая задача сверления гибридных слоистых структур, состоящих из алюминиевого сплава Al 2024-T3 (толщина 2 мм) и углепластика CFRP с эпоксидной матрицей (толщина 3 мм). Основные дефекты: заусенцы на выходе из металлического слоя и межслойное расслоение композита при превышении критической осевой силы (~280 Н). Традиционные подходы (двухэтапная обработка или использование стандартного инструмента) не обеспечивают стабильного качества.

Разработан комбинированный инструмент типа «сверло-зенкер» диаметром 6,0 мм, включающий: пилотную часть (диаметр 4,8 мм) с подточкой поперечной кромки для обработки алюминия (передний угол уменьшен, материал – твёрдый сплав К30) и ступенчатый переход с режущими кромками, оптимизированными для композита (передний угол 12°, задний угол 15°, двойная заточка для подрезки волокон). Зенкерующий участок с углом 90° снимает фаску и предотвращает сколы кромок.

Для оперативной диагностики расслоения в реальном времени применён фрактальный анализ временного ряда осевой силы (метод Хигучи, скользящее окно 0,2 с). Экспериментально установлено: при стабильном резании фрактальная размерность $D = 1,35-1,45$; начало микрорасслоений вызывает рост до 1,55–1,70. При превышении порога система адаптивно снижает подачу на 30 %, после чего размерность возвращается в норму. Фрактальный анализ также позволил автоматически определять момент перехода инструмента из металла в композит по скачкообразному увеличению D , что использовалось для переключения режимов резания (V_c с 50 до 80 м/мин, подача 0,06 мм/об).

Сравнительные испытания (три серии по 30 отверстий) показали: комбинированный инструмент снижает коэффициент расслоения F_d до 1,09 (против 1,28 у стандартного сверла и 1,15 при двухэтапной обработке), уменьшает высоту заусенца на алюминии с 0,28 до 0,08 мм и сокращает долю отверстий со сколами кромок с 23 % до 3 %. Общее время обработки одного отверстия уменьшилось с 8,2–12,5 с до 6,8 с.

*А.В. Романов, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ МАРШРУТНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В ЕДИНИЧНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ С ПРИМЕНЕНИЕМ ГРАФОВОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ И ГИБРИДНОГО ИИ-ПОДХОДА

Разработана интеллектуальная САРР-система для синтеза маршрутных технологий в единичном и мелкосерийном производстве, сочетающая прецедентный анализ (CBR) и графовые нейронные сети (GGNN с механизмом внимания).

Деталь преобразуется из САD-модели (STEP или КОМПАС-3D) преобразуется в графовую структуру: вершины – элементарные поверхности (плоскость, цилиндр, конус, резьба и т.д.) с атрибутами (размеры, шероховатость, допуски, материал); рёбра – пространственные отношения (сопряжение, соосность, параллельность, перпендикулярность, расстояние). Распознавание элементов выполняется автоматически в среде КОМПАС-3D с экспортом в JSON.

База знаний содержит более 1200 прецедентов с утверждёнными маршрутами. Поиск аналогов ведётся по взвешенной схожести графов; при совпадении выше 0,85 выдаётся готовый техпроцесс. При отсутствии аналогов нейросеть предсказывает последовательность операций (обучена на 900 примерах, валидация на 300). Система реализована как веб-приложение с возможностью дообучения на основе корректировок технолога. Апробация на 100 деталях показала среднюю точность 82,5% (87% для типовых, 72% для нестандартных) и сокращение времени разработки в 2,7 раза (до 20–30 минут на нестандартную деталь).

Система также подсвечивает критические элементы (тонкие стенки, глубокие отверстия), помогая технологу сосредоточиться на узких местах. Ограничения связаны с качеством распознавания литейных уклонов и радиусов, а также с необходимостью большого объёма размеченных данных на начальном этапе. Перспективы: автоматическое выявление функциональных баз, интеграция с расчётом режимов резания.

*А.В. Романов, студ.; Д.А. Левинский, студ.;
рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАВИСИМОСТЬ КОЛИЧЕСТВА УПРАВЛЯЕМЫХ ОСЕЙ ТРАНСПОРТНЫХ УСТРОЙСТВ ПОДАЧИ ИНСТРУМЕНТА ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОЙ ОРГАНИЗАЦИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СКЛАДОВ В ГИБКИХ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ КОМПЛЕКСАХ

В работе исследуется влияние архитектуры автоматизированной системы инструментообеспечения (АСИО) гибкой производственной системы (ГПС) на минимально необходимое число степеней свободы) транспортных средств доставки инструмента (ТСТИ). Установлено, что избыточная подвижность ведёт к увеличению длительности транспортно-го цикла, росту стоимости оборудования, усложнению алгоритмов управления и снижению общей надёжности комплекса.

Предложено формализованное правило определения минимального числа степеней свободы при перемещении инструмента между гнездами центрального инструментального склада (ЦИС) и магазинами станков. Правило включает пять этапов: 1) выбор единой прямоугольной системы координат 2) совмещение инструментов как материальных точек линейными перемещениями; 3) фиксация числа использованных линейных координат; 4) добавление одного вращательного движения; 5) учёт дополнительных степеней свободы.

В табличной форме приведены траектории перемещений для восьми типовых вариантов взаимной ориентации инструментов, показывающие, что минимальное число управляемых координат может составлять от 2 до 4. Графические пояснения иллюстрируют возможность сокращения числа степеней свободы за счёт поворота руки манипулятора с двумя захватами вокруг оси.

Практическая значимость работы заключается в том, что рациональная компоновка АСИО и правильная пространственная ориентация инструментов в ЦИС позволяют уже на ранних стадиях проектирования обоснованно применять более простые, дешёвые и надёжные технические средства транспортирования. Это снижает капитальные затраты на создание ГПС, повышает производительность за счёт сокращения вспомогательного времени и упрощает интеграцию системы в общий контур управления.

*А.В. Романов, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ВИБРОУСТОЙЧИВОСТИ ПЯТИОСЕВОВОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА НА ОСНОВЕ КАРТ УСТОЙЧИВОСТИ И АДАПТИВНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ПОДАЧИ

Исследована проблема регенеративных автоколебаний при высокоскоростном фрезеровании тонкостенных деталей сложной формы на примере лопатки компрессора из титанового сплава Ti-6Al-4V. Исходная заготовка – штамповка с припуском 2,5 мм. Обработка велась на пятиосевом фрезерном центре DMG MORI DMU 80 ($n_{\max} = 18\,000$ об/мин) концевой фрезой $\varnothing 12$ мм с покрытием.

Динамическая податливость технологической системы определена двумя методами: экспериментально (ударный молоток + акселерометр) и конечно-элементным моделированием в ANSYS. Наиболее опасными оказались низкочастотные изгибные моды лопатки в диапазоне 150–400 Гц. На основе частотной характеристики построены карты устойчивости по методике Альтентаса, учитывающей регенеративный эффект. Карты выявили «окна» стабильной работы на частотах вращения 10 200 об/мин и 13 500 об/мин, где допустимая глубина резания может быть увеличена с традиционных 0,5 мм до 0,9–1,1 мм.

Разработана система адаптивного управления подачей с обратной связью по сигналу трёхосевого акселерометра PCB Piezotronics. Блок сбора данных NI PXIe выполняет быстрое преобразование Фурье в скользящем окне 0,5 с. При превышении пороговой амплитуды на критических частотах система через ПЛК снижает подачу на 20 %; после стабилизации вибраций подача постепенно восстанавливается.

Дополнительные меры повышения виброустойчивости: применение фрез с переменным шагом винтовых канавок (разница углов 5°) и зажимных тисков с вибродемпфирующими вставками из металлорезины (увеличение коэффициента потерь на 0,07–0,10). Эксперимент на партии из 20 лопаток показал: основное время сократилось с 32,4 до 24,2 мин (на 25 %), средняя глубина резания выросла с 0,5 до 0,78 мм, шероховатость Ra снизилась с 1,2–1,8 мкм до 0,6–0,9 мкм, вибрационные следы на деталях отсутствовали. Система адаптивного управления успевала среагировать за 0,3 с, предотвращая развитие автоколебаний.

*А.В. Романов, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЦИФРОВОЙ ДВОЙНИК ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ АРХИТЕКТУРА, КАЛИБРОВКА МОДЕЛЕЙ И АДАПТИВНОЕ УПРАВЛЕНИЕ В РЕАЛЬНОМ МАСШТАБЕ ВРЕМЕНИ

Предложена концепция построения цифрового двойника (ЦД) процесса механической обработки, функционирующего синхронно с физическим процессом и обеспечивающего прогнозирование силовых, тепловых и вибрационных характеристик. Архитектура ЦД включает три компонента: 1) геометрическую и кинематическую модель (CAD-модели, траектории ЧПУ); 2) физическую модель; 3) модель данных и управления (датчики: акселерометр PCB Piezotronics, датчик тока, инфракрасный пирометр; протокол связи OPC UA/EtherCAT).

Для обеспечения работы в реальном времени использован гибридный подход: конечно-элементное моделирование (ANSYS) применяется только для калибровки аналитических зависимостей, а в оперативном контуре расчёт ведётся по упрощённым формулам с использованием предварительно вычисленных таблиц коэффициентов. Идентификация параметров выполнена на основе экспериментальных замеров динамометром Kistler 9257B и модального анализа ударным молотком.

Апробация на операции фрезерования паза в стали 45 (фреза $\varnothing 10$ мм, $V_c = 125$ м/мин, $f_z = 0,1$ мм/зуб, $a_p = 2$ мм) показала: максимальное отклонение расчётной силы резания от измеренной в установившемся режиме – 6–8 %, в переходных режимах – до 12 %; отклонение температуры – 8 % в установившемся режиме, до 15 % при врезании/выходе. Цифровой двойник прогнозировал шероховатость R_a в диапазоне 0,8–1,2 мкм при фактических значениях 0,9–1,1 мкм.

При подключении к ЧПУ через OPC UA реализовано адаптивное управление: при превышении температуры 250 °С ЦД снижал подачу на 15 % до стабилизации теплового режима. Это позволило повысить стойкость инструмента на 30 % без заметного увеличения времени обработки. Обозначены ограничения: необходимость перенастройки моделей при смене материала, вычислительная нагрузка в реальном времени. Перспективы связаны с дополнением физических моделей нейросетевыми корректорами и автоматизацией построения ЦД на основе CAD-модели и технологического маршрута.

*К.Д. Щербаков, студ.; А.В. Романов, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКОЛОГИЧЕСКИ ОРИЕНТИРОВАННЫЕ СТРАТЕГИИ МЕХАНООБРАБОТКИ: СНИЖЕНИЕ РАСХОДА СОЖ, ЭНЕРГОЗАТРАТ И ОБЪЁМА ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ОТХОДОВ

Проведён системный анализ трёх составляющих экологического следа процессов резания: потребление смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ), энергопотребление и образование отходов (стружка, изношенный инструмент). Затраты на приобретение, обслуживание и утилизацию СОЖ могут достигать 15–20 % себестоимости операции, а на этапе эксплуатации станка на долю энергии приходится до 90 % углеродного следа. Рассмотрены альтернативные технологии: сухое резание, минимальное количество смазки (MQL) и криогенное охлаждение жидким азотом.

Экспериментальная часть включала: – точение заготовок из стали 45 (HRC 30) и алюминиевого сплава АМг6 пластинами с покрытием TiAlN; сравнивались эмульсия (5 л/мин), MQL (рапсовое масло, 20 мл/ч) и сухое резание; – фрезерование пазов в титановом сплаве Ti-6Al-4V концевой фрезой Ø12 мм ($V_c = 60$ м/мин, $f_z = 0,08$ мм/зуб, $a_p = 1$ мм); сравнивались эмульсия, MQL и криогенное охлаждение (жидкий азот, внешнее сопло).

Установлено: для алюминиевых сплавов сухое резание предпочтительно как по экологическим, так и по технологическим показателям (отсутствие налипания, повышение стойкости). Для стали MQL восстанавливает стойкость инструмента практически до уровня эмульсии при сокращении расхода СОЖ в 250 раз. Для титанового сплава криогенное охлаждение повышает стойкость в 1,7 раза, снижает шероховатость поверхности и уменьшает энергопотребление на 12 % за счёт снижения силы резания. Экономический расчёт на 100 деталей показал, что MQL даёт снижение затрат на 8 % относительно эмульсии, а криогенная обработка при оптимизации режимов может стать экономически эффективной.

Дополнительно показано, что оптимизация режимов и автоматическое отключение насосов СОЖ и освещения при простое обеспечивают экономии энергии до 15 %. Комплексный подход к выбору экологичной технологии позволяет не только снизить негативное воздействие на окружающую среду, но и получить реальный экономический эффект.

Выполненный опытный образец гусеничного хода робота-гида в настоящее время проходит испытания. Коллективная работа студентов электромеханического факультета над данным проектом продолжается.

*Д.А. Ноздрин, студ.; Н.А. Овсянников, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМАТИКА И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ ОТЕЧЕСТВЕННОГО МАШИНОСТРОЕНИЯ

Машиностроение играет ключевую роль в экономике, обеспечивая создание основных фондов для сельского хозяйства, строительства, транспорта и энергетики. Россия обладает значительным потенциалом в этой сфере благодаря природным ресурсам, квалифицированным кадрам и производственным мощностям. Но недостаточное финансирование, технологическое отставание, износ оборудования, слабое взаимодействие науки и бизнеса - серьезные препятствия для роста отрасли. Цель работы – анализ перспективных направлений развития машиностроительных производств.

Проведя патентный поиск выявлено шесть важнейших аспектов развития машиностроения. Во-первых, автоматизация и роботизация производства: доля роботизированных участков на крупных заводах Европы и Азии превышает 30%, ежегодный прирост составляет около 5%. Во-вторых, аддитивные технологии, позволяющие ускорить прототипирование, и выпускать малые партии специализированной продукции. В-третьих, экологичность и ресурсосбережение: создание двигателей с высоким КПД, снижение выбросов и расхода топлива. В-четвертых, интеграция информационных технологий для мониторинга и прогнозирования отказа оборудования. В-пятых, применение легких и прочных композитов и сплавов в авиации, космосе, автомобилестроении для снижения веса и повышения долговечности. В-шестых, повышение надежности продукции за счет износостойких покрытий, антикоррозионных сплавов и специальных режимов термообработки.

Главные задачи развития отрасли - анализ ее текущего состояния, определение приоритетов модернизации, разработка методических рекомендаций по внедрению инноваций, оптимизация кадровой политики, формирование механизмов стимулирования инвестиций, оценку возможностей диверсификации продукции и выхода на новые рынки, а также разработку стратегии взаимодействия предприятий с научно-исследовательскими институтами. Выполнение этих задач позволит повысить научно-технический уровень производств и увеличить их конкурентоспособность на мировом рынке.

*Д.А. Ноздрин, студ.; А.В. Волков, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА КАЧЕСТВО ПОВЕРХНОСТИ

В современном машиностроении к ответственным деталям предъявляются высокие требования по износостойкости, твердости, прочности и вязкости. Обеспечить такое сочетание свойств можно только путем формирования различных характеристик поверхности и сердцевины детали, что достигается применением химико-термической обработки, в отличие от традиционной термической обработки, которая не позволяет создавать на поверхности твердые соединения (карбиды, нитриды, карбонитриды).

Цель данной работы – исследование влияния параметров процесса нитроцементации на свойства поверхностного слоя детали и оптимизация этой операции.

Нитроцементация – метод насыщения поверхности стали азотом и углеродом при низких температурах, повышающий твердость и износостойкость. Преимущества метода: минимальные деформации, коррозионная стойкость, увеличение срока службы. Ограничения: малая глубина насыщения, высокая стоимость оборудования, необходимость точного контроля процесса. Параметры процесса (температура, время, состав среды) комплексно влияют на глубину и фазовый состав диффузионного слоя.

Методика исследования включает планирование эксперимента, контроль параметров, определение глубины слоя (металлография, микротвердость) и анализ фазового состава (рентгеноструктурный анализ, электронная микроскопия). При исследовании нитроцементации стали 20X13 (820–950 °С, до 6 часов) установлено формирование трех зон: поверхностной корки карбонитридов, заэвтектоидной зоны с включениями карбонитридов и переходной зоны с твердым раствором.

Для оптимизации параметров предложены термодинамическое моделирование (прогноз фазового состава), диффузионное моделирование (расчет профилей концентрации) и системный анализ для разработки стратегий управления процессом. Результаты могут быть использованы для назначения рациональных режимов нитроцементации деталей, работающих в условиях интенсивного износа.

*Д.А. Ноздрин, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПОВЫШЕНИЮ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТА ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Стойкость режущего инструмента — ключевой фактор эффективности машиностроительного производства. В условиях роста скоростей резания, ужесточения требований к качеству поверхностей и применения труднообрабатываемых материалов проблема повышения стойкости становится особенно актуальной. Цель работы — системный анализ современных методов повышения стойкости режущего инструмента.

Выделены четыре основных направления: модификация поверхностного слоя (покрытия, микротекстурирование, высокоэнергетическая обработка); оптимизация материалов и геометрии (керметы, сверхтвердые материалы); совершенствование СОТС (нано-СОТС, MQL, активированные среды); гибридные и комбинированные методы.

PVD-покрытия $ZrTiCrAlSiN$ обеспечивают десятикратное увеличение стойкости при точении стали 316L. Технология CSSL (электронно-лучевая обработка) формирует композитный слой 20–30 мкм и повышает стойкость твердосплавного инструмента в 1,5–3 раза.

Биомиметическое микротекстурирование снижает коэффициент трения на 24,5% и температуру резания на 15–20%. Керметы на основе $Ti(C,N)$ увеличивают стойкость при чистовой обработке стали на 30–50%. Легирование WC оксидом иттрия повышает прочность материала в 1,5 раза.

Нано-СОТС увеличивают стойкость на 30–50%, активация присадок коронным разрядом — дополнительно на 30%. MQL снижает силы резания на 15–25% и повышает стойкость в 1,5–2 раза. Сухое электростатическое охлаждение дает прирост стойкости до 20%.

Стандартные покрытия повышают стойкость в 2–3 раза, многослойные нанокompозитные покрытия и новые материалы — в 3–5 раз, гибридные методы — в 5–10 раз. Перспективные направления: интеллектуальные покрытия, цифровые двойники, нейросетевая оптимизация, гибридные технологии, искусственный интеллект для диагностики инструмента. Наибольший эффект достигается при комплексном применении материаловедческих, технологических и цифровых подходов.

*Д.А. Ноздрин, студ.; Н.А. Овсянников, студ.;
рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ РЕШЕНИЯ В МАШИНОСТРОИТЕЛЬНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ

Современное российское машиностроение находится в стадии активного приспособления к новым рыночным условиям, однако санкции и негативные факторы создают серьезные преграды для устойчивого развития отрасли. Цель работы – анализ причин упадка машиностроительных производств и определение путей повышения их конкурентоспособности.

Основные причины упадка: износ и моральное устаревание оборудования, нехватка квалифицированных кадров и отрыв образования от реального производства; недостаточность инвестиций в НИОКР; низкие объемы продукции, соответствующей мировым стандартам; санкционные ограничения, затрудняющие поставки комплектующих и сбыт продукции. Несмотря на это, российское машиностроение сохраняет потенциал для роста благодаря природным ресурсам, географическому положению и высокому внутреннему спросу.

Международный опыт Германии и Японии показал, что активная государственная поддержка и подготовка кадров позволяют развивать машиностроительные комплексы даже при ограниченных ресурсах. Мировые тенденции, такие как роботизация, альтернативное топливо и др. открывают дополнительные возможности для модернизации.

Проанализированы лучшие практики: в России – внедрение CAD/CAM-систем в группе компаний «Силловые машины» и использование аддитивного производства на Казанском авиационном заводе; за рубежом – система бережливого производства Toyota (TPS, Kaizen, Just-In-Time).

Практические рекомендации включают в себя разработку единого стандарта конструкторско-технологической подготовки производства, соответствующего международным нормам; внедрение CAD, CAM и ERP-систем; создание центра коллективного пользования оборудованием для малых и средних предприятий; проведение отраслевых конференций и семинаров. Реализация предложенных мероприятий позволит повысить конкурентоспособность российских машиностроительных предприятий, улучшить качество продукции и расширить их долю на мировых рынках.

*Д.А. Ноздрин, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ ПОКРЫТИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЛЕКСНЫХ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ

В современном машиностроении актуальной проблемой является повышение износостойкости режущего инструмента, требующее совершенствование методов упрочнения. Цель работы – классификация методов упрочнения режущего инструмента с покрытием и обоснование эффективности комбинированных технологий.

Режущий инструмент с покрытием широко применяется при обработке конструкционных и нержавеющей сталей. Традиционные методы упрочнения (механические, химико-термические, физические, CVD и PVD-покрытия) обеспечивают рост стойкости в 1,5–2,5 раза, но имеют ограничения: дефекты покрытий, образование хрупких фаз, недостаточная прочность адгезионной связи.

Проведена классификация методов упрочнения на две группы: первая – изменение структуры и состава поверхностного слоя (механическое упрочнение, ХТО, лазерная и электронно-лучевая обработка, ионная имплантация); вторая – нанесение покрытий (плазменные, детонационные, CVD, PVD). Предложена комбинированная упрочняющая обработка (КУО): сначала нанесение покрытия (TiN, (Ti,Zr)N или (Ti,Zr)CN) методом PVD, затем лазерная обработка с варьируемой плотностью мощности. Для двухслойных покрытий TiN–TiCN и TiCN–TiN исследовано влияние соотношения толщин слоев.

Экспериментально (точение сталей 30ХГСА и 12Х18Н10Т инструментом МК8 и Р6М5К5) установлено, что кривые зависимости интенсивности износа от плотности мощности лазерного излучения и толщины покрытия имеют минимум, определяющий оптимальные параметры КУО. Получен цифровой макет зависимостей и таблица рекомендуемых режимов. Наибольший эффект достигнут для покрытия TiCN–TiN после лазерной обработки: повышение стойкости в 3,67 раза по сравнению с традиционным TiN.

*Д.А. Стрелов, студ.; рук. В.Н. Коносов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ ДЕТАЛИ

В машиностроении надежность и долговечность оборудования зависит от состояния поверхностного слоя деталей, именно поверхность подвергается трению, износу, коррозии и нагрузкам. Упрочнение поверхностного слоя позволяет повысить твердость, износостойкость и предел выносливости без существенного удорожания всей детали. Современная промышленность предлагает множество методов упрочнения, каждый из них обладает своими техническими, экономическими и эксплуатационными характеристиками.

Целью данной работы является выбор наилучшего способа упрочнения поверхности для детали типа «вал-шестерня». Актуальность темы обусловлена необходимостью применения методики, позволяющей производить объективный и воспроизводимый выбор технологии упрочнения.

В работе использованы три метода исследования. Метод экспертных оценок позволяет структурировать проблему, сформировать перечень значимых критериев выбора и сравнить на основе полученных знаний. Метод выбора эффективных по Парето решений служит инструментом количественного отсева, исключая из рассмотрения варианты, которые по всем критериям уступают другим. Метод многокритериальной оптимизации с использованием обобщенного аддитивного критерия позволяет собрать разнообразные критерии в единую числовую оценку для финального ранжирования оставшихся альтернатив.

В качестве основных критериев для сравнения были выбраны два показателя: качество упрочнения и экономичность процесса. Оценка каждого метода производилась по 11-балльной шкале. В результате экспертной оценки и последующей Парето-фильтрации из множества рассмотренных технологий были исключены заведомо неконкурентоспособные варианты. После исключения остались два метода: алмазное выглаживание и центробежно-шариковая обработка.

Для окончательного выбора между этими двумя методами был рассчитан интегральный аддитивный критерий с учетом всех оценок, полученных от экспертов. В ходе сравнения вариантов по критериям «качество» и «экономичность» большую оценку получил метод алмазного выглаживания.

Таким образом, оптимальным методом упрочнения для детали «вал-шестерня» признан метод алмазного выглаживания.

*П.В. Пучков, к.т.н., доц.; А.А. Покровский, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

ПОПЛАВКОВОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ВСАСЫВАЮЩЕГО РУКАВА

Для тушения пожаров часто забор воды пожарным насосом производится из открытых водоемов, что нередко приводит к попаданию в насос посторонних включений, таких как мелкие частицы песка, грязи, глины, ила, мелкого щебня или другого абразивного материала. Твердые частицы приводят к преждевременному износу насоса. Предлагаемое устройство (рис. 1а и 1б) позволит удерживать всасывающий рукав в поверхностных слоях водоема и не позволит ему опуститься на дно. В устройстве предлагается применить надувной поплавок, который прикреплен хомутом к всасывающему пожарному рукаву. На поплавке размещен фонарь, позволяющий видеть положение устройства при работе пожарных в ночное время. Достоинствами предлагаемого устройства являются простота конструкции, компактность (когда из камеры сдувается воздух), возможность его изготовления из подручных материалов, низкая стоимость, наличие фонаря для работы в ночных условиях.

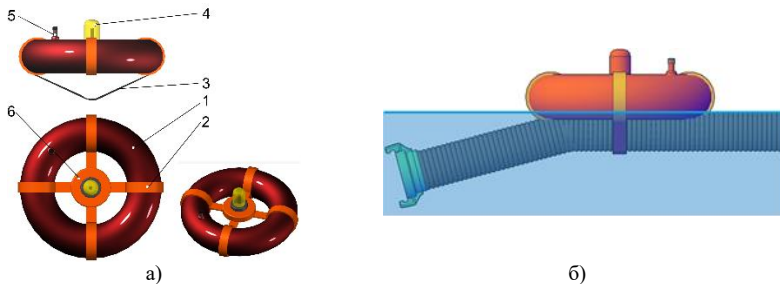


Рисунок 1 – Поплавковое устройство: а – конструкция устройства; б – устройство с прикрепленным всасывающим рукавом: 1 – камера резиновая; 2 – ребра жесткости; 3 – хомут; 4 – фонарь; 5 – ниппель.

Библиографический список

1. **Разработка технических решений** по восстановлению работоспособности напорных пожарных рукавов / В. Е. Иванов, П. В. Пучков, И. А. Легкова, А. А. Покровский // Современные проблемы гражданской защиты. – 2021. – № 3(40). – С. 30-37.
2. **Иванов, В. Е.** Разработка рациональной конструкции зажима для восстановления работоспособности напорных пожарных рукавов / В. Е. Иванов, П. В. Пучков, И. А. Легкова // Современные проблемы гражданской защиты. – 2020. – № 2(35). – С. 54-60.

**П.В. Пучков, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)**

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПЛАСТМАССОВЫХ ДЕТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Для восстановления уникальных и дорогостоящих деталей из пластмассы можно использовать аддитивные технологии (3D-печать). На рис. 1 представлена крышка от гидравлического аварийно-спасательного инструмента, у которой произошло выкрашивание торцевой поверхности и образование трещины на боковой стенке. Сложность в изготовлении реплики данной детали заключается в 3D – моделировании четырехзаходной резьбы. Достаточно сложно соблюсти в 3D- модели точные геометрические размеры витков резьбы. Поэтому было принято решение изготовить наружный корпус простой формы и вклеить в него разрушенную крышку (рис. 1в). Вес напечатанного внешнего корпуса составил 22 г., а стоимость затраченного PLA пластика составила 44,50 руб. Достоинством данного метода восстановления уникальных деталей из пластмассы является: невысокая себестоимость изготовления, оперативное восстановление утраченных (разрушенных) деталей, а соответственно и работоспособности устройства в целом, низкая трудоемкость создания 3D – модели.



Рисунок 1 – Крышка с четырехзаходной резьбой: а – крышка разрушенная; б – корпус без резьбы, распечатанный на 3D-принтере; в – крышка восстановленная

Библиографический список

1. **Иванов, В. Е.** Применение современного программного продукта для трехмерного моделирования деталей и узлов пожарной техники / В. Е. Иванов, И. А. Легкова, П. В. Пучков // Пожарная и аварийная безопасность. – 2017. – № 2(5). – С. 53-65.

2. **Иванов, В. Е.** Разработка рациональной конструкции устройства для разбивания автомобильных стекол при аварии / В. Е. Иванов, П. В. Пучков // Сборка в машиностроении, приборостроении. – 2023. – № 5. – С. 195-198.

*А.А. Каприльянц, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТ ИНТЕГРИРОВАННОЙ ЛИНИИ ПЕРЕРАБОТКИ ПЛАСТИКА

Переработка пластика является одним из приоритетных направлений машиностроения. Существующее на рынке оборудование в основном представлено азиатскими и европейскими производителями. Такое оборудование имеет высокую цену, при этом возникают сложности сервисного обслуживания и отсутствует гибкость, необходимая для решения задач предприятий малого и среднего бизнеса. Поставлена задача разработки простой модульной конструкции оборудования, которое можно объединить в линию по переработки пластика полного цикла.

Линия включает в себя три модуля: 1) машина для измельчения пластмасс: конструкция состоит из двухвальной системы предварительного дробления, шнекового узла окончательного измельчения, позволяет перерабатывать жесткие и пленочные отходы [1]; 2) вертикальный гидравлический термопластавтомат (ТПА) шприцевого типа: конструкция имеет возможность быстрой переналадки для изменения габаритных размеров рабочей зоны за счет изменения длины опорных элементов, что делает установку универсальной, адаптивной и масштабируемой; 3) ленточный конвейер: имеет оптимизированную конструкцию редуктора и натяжного устройства, расчеты которых произведены в АРМ FEM САПР Компас-3D. Трехмерные модели модулей спроектированы в программе Компас-3D.

Объединение модулей в автоматическую линию предполагает не простое их соединение, а проверку собираемости и проверку на отсутствие коллизий в работе на этапе проектирования общей сборки, синхронизацию процессов измельчение пластика, транспортировки и загрузка в ТПА, получения литых деталей из пластмасс. Оснащение автоматической линии системами технического зрения и искусственного интеллекта на этапах сортировки пластика, контроля качества готовых деталей позволит сделать данное оборудование конкурентоспособным в условиях Industry 4.0.

Библиографический список

1. **Павлюкова Н.Л.** Разработка конструкции машины по переработке пластика / Н.Л. Павлюкова, А.А. Каприльянц// Надежность и долговечность машин и механизмов, 2025: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. – 2025. – С. 287 – 290.

*П.К. Куатбаев, Ш.Т. Отепбергенов; рук. Б.Т. Сейтмуратов, доц.
(КТУ, г. Нукус)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ DC-СТАНЦИЙ БЫСТРОЙ ЗАРЯДКИ НА ОСНОВЕ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ И ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ

В последние годы стремительный рост числа электромобилей привёл к значительному увеличению потребности в зарядной инфраструктуре. В частности, станции быстрой зарядки постоянного тока (DC) из-за своей высокой мощности создают значительную нагрузку на электрические сети. Это, в свою очередь, может негативно сказываться на стабильности и эффективности функционирования энергосистемы [1].

Ключевым преимуществом систем быстрой зарядки постоянного тока является возможность передачи высокой мощности, что позволяет значительно сократить время зарядки электромобилей. Однако такой режим работы требует существенного потребления электроэнергии из сети. В результате в периоды пиковых нагрузок могут возникать падения напряжения и дополнительные энергетические потери [2].

Проведённые исследования показали, что предложенная интегрированная модель обладает рядом преимуществ по сравнению с традиционными системами DC-зарядки:

- снижение максимальной нагрузки на электрическую сеть;
- сглаживание пиковых нагрузок за счёт использования накопителей энергии;
- повышение доли использования возобновляемых источников энергии;

Интеграция возобновляемых источников энергии и интеллектуальных систем управления в станции быстрой зарядки постоянного тока является эффективным способом повышения энергоэффективности. Данный подход способствует снижению нагрузки на электрическую сеть, оптимизации энергетических потоков и обеспечению устойчивой работы зарядной инфраструктуры.

Библиографический список

1. **Barman, P., Dutta, S., Chowdhury, S., & Bhattacharya, S.** (2023). "Electric vehicle charging infrastructure with renewable energy integration: A review". *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 173, 113065.
2. **Luo, Y., Zhang, Y., & Xu, Z.** (2022). "Optimal scheduling of electric vehicle charging with renewable energy sources and energy storage systems". *Applied Energy*, 305, 117899.

М.О. Одаренко, студ.; рук. К.С. Маслова, асс.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СХЕМЫ ПРОИЗВОДСТВА РАСТВОРИМОГО ГОРЯЧЕГО ШОКОЛАДА

Оптимизация производства растворимого шоколада является актуальной проблемой. Технологическая схема предусматривает следующие процессы: просеивание, смешивание рецептурных компонентов, грануляцию, измельчение, сортировку и фасовку, основные проблемы возникают на этапе гранулирования. Применение распылительных сушилок обеспечивает высокое потребление электроэнергии, процесс сопровождается значительной распыляемостью (потери до 8–10 %), готовые продукты имеют невысокое качество, низкие растворимость и смачиваемость, склонность к слеживанию [1]. Одним из направлений оптимизация производства растворимого горячего шоколада является использование высокоэффективного оборудования. Применение гранулятора-агломератора RC-R позволит сократить производственный цикл, исключив из него распылительную сушилку и вибропосеиватель (табл. 1) [2].

Таблица 1 – Сравнительный анализ оборудования

Параметры / Оборудование	Распылительная сушилка	Агломератор RC-R
Размер частиц, мкм	40	250
Пористость	Микропоры (<1 мкм)	Макропоры (30–70 мкм)
Насыпная плотность, г/см ³	0,65	0,38
Время растворения, с	42 (часть комкуется)	12 (однородно)
Потери с пылеуносом, %	8,0–10,0	<1,0

Изменение технологической схемы позволит повысить качество продукции, получив более крупные, пористые частицы, обладающие хорошей растворимостью, снизить потери сырья при пылеуносе и повысить взрывобезопасность процесса [3]. Снижение потерь сырья на 6 – 8% позволит окупить замену оборудования за 12–18 месяцев и получить стабильный экономический эффект.

Библиографический список

1. **Аксенова, О. И.** Обоснование технологических решений при производстве продуктов питания повышенной биологической ценности / О. И. Аксенова, М. Г. Куликова // Агротехнологическая экономика. – 2017. – № 6. – С. 40-48. – EDN YUDCZF.
2. **Техническая документация Granulator RC-R.** – ООО «ПромТехнологии» – 2023. – 160 с.
3. **Патент № 2731038 С1** Российская Федерация, МПК G01N 15/02, G01N 21/64. Способ определения размеров частиц размолотого продукта: № 2019140406: заявл. 09.12.2019; опубл. 28.08.2020 / М. В. Беяков, В. Л. Жбанова, М. Г. Куликова [и др.]; заявитель ФГБОУ ВО "Национальный исследовательский университет "МЭИ" (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"). – EDN QYZNXX.

*А.А. Круковский, студ.; О.И. Миронычева;
рук. В.Н. Денисов, д.т.н, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ РЕЗОНАНСНЫХ И ПРЯМЫХ ВИБРАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ СНИЖЕНИЯ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ВИБРОГРОХОТОВ

Вибрационные грохоты — одни из самых энергоёмких машин в переработке сыпучих материалов. Традиционные инерционные грохоты расходуют энергию на преодоление инерции всей массы короба. Альтернативой выступают резонансные двухмассовые системы и прямые вибрационные технологии, способныекратно снизить потребляемую мощность.

Ключевая идея двухмассного резонансного грохота заключается в следующем: вибратор воздействует не на сам короб с ситом, а на дополнительную опорную раму, соединённую с коробом пружинами. При резонансе инерционные силы двух масс взаимно уничтожаются, и энергия привода тратится только на преодоление трения [1]. Расчёт показывает, что при таком подходе мощность, необходимая для получения нужной амплитуды колебаний короба снижается в 4,3 раза. Эта схема реализована в грохотах Flip-Flop, где при скромной мощности достигается ускорение сита до 50g. Вместо вибрации всего короба высокочастотные колебания прикладываются непосредственно к ситу (электромагнитными головками или малыми дебалансными двигателями). Корпус статичен, потери на раскачку тяжёлых элементов исключены. Это позволяет снизить энергопотребление до 65% по сравнению с традиционными грохотами. Ускорение сита достигает 15g, эффективность сепарации высокая даже на мелких сетках.

Дальнейшее развитие оборудования связано с параметрическим резонансом (использование многократных резонансных режимов), интеллектуальными системами управления (автоматическая подстройка по току двигателя) и гибридными схемами (сочетание двухмассовой системы с прямым возбуждением) [2].

Библиографический список

1. Патент на полезную модель № 182465 U1 Российская Федерация, МПК В01F 11/00, В01F 7/18. Роторный смеситель с электромеханическим вибровозбудителем : № 2018122260 : заявл. 19.06.2018 : опубл. 20.08.2018 / В. Н. Денисов, С. П. Курилин, М. Г. Куликова, Т. М. Хрисаненкова; заявитель (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"). – EDN VXVGUC.
2. Куликова, М. Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTWQEV.

*А.А. Круковский, студ.; рук. В.Н. Денисов, д.т.н, доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ОЦЕНКА ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА КАЧЕСТВО И ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОСЕИВАНИЯ МУКИ НА ВИБРАЦИОННЫХ ГРОХОТАХ

Просеивание муки является критически важной технологической операцией. Основные цели просеивания: аэрация, удаление посторонних примесей (металломагнитных частиц, комков, ворса), разрушение комковатой структуры, а также усреднение гранулометрического состава. [1]. Качество просеивания оценивается двумя основными критериями:

1. полнота просеивания (эффективность) — отношение массы прошедшего через сито продукта к массе целевой фракции в исходной смеси.
2. производительность — количество муки, обрабатываемое в единицу времени.

Данные критерии находятся в противоречии: повышение производительности часто ведет к снижению качества очистки.

Качество просеивания муки на виброгрохоте представляет собой сложную функцию, зависящую от совокупности факторов [2]. Наиболее значимыми являются:

1. Кинематика: необходимо соблюдение баланса между амплитудой и частотой для создания виброускорения в пределах 4–6g.
2. Геометрия сита: приоритет следует отдавать ситам с высоким живым сечением и квадратными ячейками из нержавеющей стали, которые обеспечивают минимальную адгезию.
3. Подготовка сырья: входной контроль влажности муки является обязательным; при превышении значения 14,5% технологический регламент должен предусматривать снижение подачи сырья или установку устройств активной очистки сит.

Оптимизация данных факторов позволит достичь эффективности просеивания не менее 98,5% при максимальной производительности оборудования, что обеспечит выпуск продукции с гарантированным уровнем качества и безопасности.

Библиографический список

1. Куликова, М.Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTWQEV.
2. Патент на полезную модель № 182465 U1 Российская Федерация, МПК В01F 11/00, В01F 7/18. Роторный смеситель с электромеханическим вибровозбудителем : № 2018122260 : заявл. 19.06.2018 : опубл. 20.08.2018 / В. Н. Денисов, С. П. Курилин, М. Г. Куликова, Т. М. Хрисаненкова; заявитель (ФГБОУ ВО "НИУ "МЭИ"). – EDN VXVGUC.

*А.А. Каприльяни, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНСТРУИРОВАНИЕ ЗУБОРЕЗНОГО ИНСТРУМЕНТА В САД СИСТЕМЕ КОМПАС – 3Д

Проектирование и оформление конструкторской документации металлорежущего инструмента со сложным геометрическим профилем сопряжено с выполнением большого объема довольно трудоемкой вычислительной работы. В связи с этим актуальной является автоматизация данного процесса с использованием современных САД-систем. К особенностям проектирования червячных фрез в компас 3Д относится: 1) Средствами системы могут быть спроектированы любые нестандартные червячные фрезы (например, для изготовления цилиндрических колес с эвольвентным профилем могут быть спроектированы фрезы с нестандартным модулем, с различными углами зацепления и т. д.); 2) Расчет фрезы напрямую связан с расчетом передачи или шлицевого соединения. Параметры передачи или соединения являются исходными данными для расчета фрезы. Если расчет выполнен, его результаты следует загрузить. Если расчет передачи или шлицевого соединения еще не выполнялся, то его можно запустить из окна ввода исходных данных параметров фрезы; 3) Если для изготовления зубчатых колес или шлицев выбран стандартный инструмент, то поля ввода параметров фрезы заполняются стандартными значениями и недоступны для редактирования. Если на основе стандартной фрезы необходимо спроектировать нестандартную, например, другой длины, то в качестве инструмента для изготовления зубчатых колес или шлицев следует выбрать нестандартную фрезу, при этом ввести параметры, соответствующие стандартной фрезе. Фреза со стандартными параметрами будет считаться нестандартной, и некоторые ее параметры будут доступны для редактирования.

Проектирование инструментов основным образом базируется на ранее проведенном расчете зубчатой передачи. Используя библиотеку валы и механические передачи 2D, был запущен модуль проектирования зуборезного инструмента (червячной фрезы), в котором был выбран объект построения вал – шестерня, после чего были автоматически подгружены данные проведенных расчетов касаемые вал – шестерни. Затем был запущен расчет червячной фрезы. После того как был спроектирована червячная фреза для вала – шестерни, по той же самой последовательности был спроектирован долбяк с хвостовым типом крепления.

*А.А. Каприльянц, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛА – ШЕСТЕРНИ Ц2-028 ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Закалка токами высокой частоты — это метод поверхностного упрочнения стальных деталей, основанный на нагреве металла индукционными токами с последующим быстрым охлаждением. Метод позволяет повысить твердость и износостойкость поверхности, сохраняя вязкую сердцевину. Процесс отличается высокой скоростью, экологичностью и возможностью автоматизации.

Сущность процесса закатки при нагреве токами высокой частоты (ТВЧ) заключается в том, что на специальной установке производят нагрев детали с помощью выполненного по форме закаливаемой детали медного индуктора, через который пропускают переменный ток высокой частоты. При пропускании через индуктор переменного тока высокой частоты создается магнитное поле, под действием которого в обрабатываемом изделии появляется индуцированный ток той же частоты.

Проанализировав типы и конструкции индукторов на предмет рациональности применения для закалки детали, можно сделать вывод о том, что неразъёмные индуктора являются не предпочтительными из – за конструкции детали, так как, применяя неразъёмный тип индуктора, придётся использовать индукторы разных диаметров, что влечёт за собой периодическую их замену, а также переустановку детали для закалки недоступных (из-за конструкции индуктора) поверхностей, которые необходимо подвергнуть закалке. Применение разъёмного индуктора «снимает» проблему с переустановкой детали и «снимает» проблему применимости индукторов разных диаметров, следовательно, использование данного типа индуктора делает технологический процесс закалки относительно оптимальным. Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что разъёмный тип индуктора является самым относительно оптимальным вариантом, исходя из конструкции вал – шестерни, следовательно необходимо применить разъёмный тип индуктора с диаметром под максимальный диаметр детали (диаметр вершин зубьев шестерни) и закаливать каждый подвергаемый закалке участок с соответствующим для него временем нагрева, так как увеличение зазора между индуктором и обрабатываемой поверхностью рассеивает заданную мощность нагрева, что можно компенсировать увеличением времени нагрева.

*А.А. Каприльянц, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНСТРУИРОВАНИЕ ШЕСТЕРЕН

Данная работа посвящена такой теме как проектирование в САПР зубчатых колес влияет на их долговечность.

Расчет зубчатой передачи будет произведен в КОМПАС-3D при помощи библиотеки GEARS. Расчет будет произведен для двух вариантов: 1) $\beta = 15^\circ$, данное значение угла наклона шестерни назначено как одно из возможных; 2) используя модуль оптимизации цилиндрических эвольвентных зубчатых передач с помощью приложений «Валы и механические передачи 3D».

Расчет шестерни для $\beta = 15^\circ$ показал, что зубчатое колесо имеет хоть и допустимый, но подрез, что сказывается на работе шестерни. Расчет при помощи библиотеки «Валы и механические передачи» показал, что спроектированная шестерня имеет более прочное и тем самым более долговечное. Для того чтобы проверить и визуализировать установленный результат используя библиотеку APM FEM, был проведен прочностной анализ (см. рис.1).

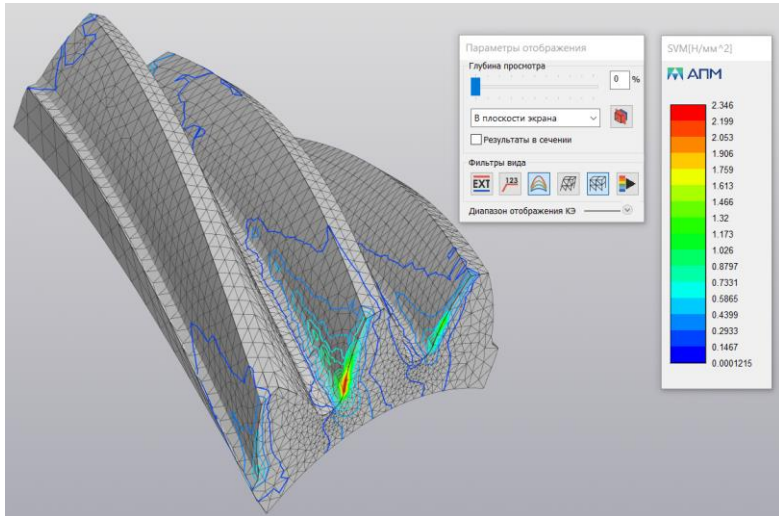


Рисунок 1 – Карта результатов шестерни $\beta = 29^\circ 32' 29''$

*А.А. Каприльянц, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ДОЛГОВЕЧНОСТЬ

Под прочностью деталей машин понимают способность сопротивляться разрушению и необратимым (пластическим) деформациям под действием внешних нагрузок. Прочность деталей машин прямо пропорционально влияет на количественно – качественные эксплуатационные показатели, а, следовательно, имеет место проведение мероприятий, направленных на повышение прочности. Одним из таких способов, направленных на повышение прочности детали, является температурное воздействие на материал в определенном режиме или иначе термическая обработка.

Для количественно – качественной оценки влияния метода термической обработки на прочность детали проводится ряд прочностных расчетов, соответствующих линейной комбинации варьируемых параметров (свойств стали и методов термической обработки).

Для наглядной визуализации влияния метода термической обработки на прочность детали был проведен прочностной анализ в приложении APM FEM в САПР Компас 3Д.

На рис.1 представлен результат прочностного расчета для закалки токами высокой частоты.

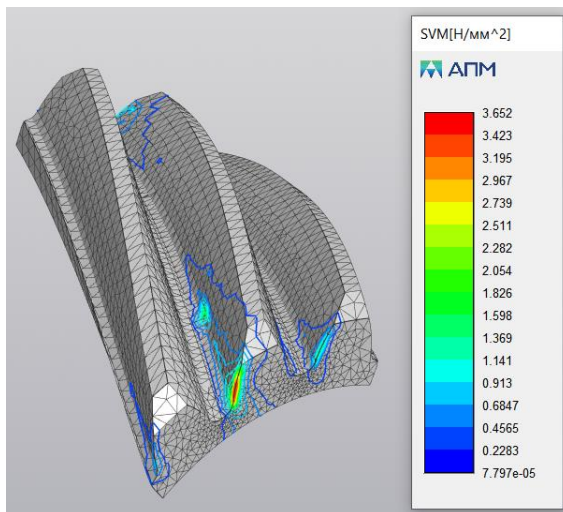


Рисунок 1 – Результат прочностного расчета

*А.А. Каприльянц, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАВИСИМОСТЬ КОНСТРУКТИВНОГО ИСПОЛНЕНИЯ И ВЛИЯНИЯ НА ПРОЧНОСТЬ ОТ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ФИНИШНОЙ ОБРАБОТКИ

Изучив элементы конструкции вала – шестерни, в качестве объекта проведения анализа технологичности можно выделить такие элементы как: технологичность вала – шестерни для проведения термической обработки, финишной обработки, технологичность вала – шестерни для обработки зубьев.

Проведя визуальный анализ технологичности вала – шестерни для проведения термической обработки, было установлено, что: деталь не имеет резких изменений формы (вырезов, подрезов и тому подобное); деталь не имеет острых углов, тонких концов и выступов; требование к деталям, подвергаемым местной закалке, выполнено (назначены только две зоны: закаленная, а затем отпущенная до определенной температуры и не закаленная).

Следовательно, можно утверждать о том, что вал – шестерня технологична для проведения термической обработки.

Проведя анализ технологичности вала – шестерни для проведения финишной обработки и обработки зубьев было установлено то, что финишная лезвийная обработка технологичнее нежели абразивная и обработка зубьев с зарезами и закладыванием галтели в конструкции детали, положительно скажется на прочности детали.

Для оценки влияния элемента (канавки и галтели) конструкции детали на ее прочность необходимо рассчитать относительное изменение предела прочности детали по нормальным и касательным напряжениям соответственно, в зависимости от элемента (канавки и галтели):

$$\Delta\sigma_{-1D} = \frac{\sigma_{-1DГ} - \sigma_{-1DК}}{\sigma_{-1DК}} \cdot 100\% = \frac{1,269 - 1}{1} \cdot 100\% = 26,9\%$$

$$\Delta\tau_{-1D} = \frac{\tau_{-1DГ} - \tau_{-1DК}}{\tau_{-1DК}} \cdot 100\% = \frac{1,791 - 1}{1} \cdot 100\% = 79,1\%$$

В заключение следует отметить важность влияния технологической операции на конструктивное исполнение элементов детали что влияет на прочность и долговечность детали и изделия в целом.

*Р.Н. Селивохин, студ.; рук. М.А. Новикова, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЛИЯНИЕ ПРОЦЕССА ФИЛЬТРОВАНИЯ НА ОРГАНОЛЕПТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПИВА

Фильтрация — ключевая операция пивоварения для отделения взвешенных частиц (дрожжей, белково-полифенольных комплексов, остатков хмеля). Основные цели: достижение товарной прозрачности, биологической и коллоидной стабильности, формирование вкуса, аромата, цвета и пенообразования [1]. Качество фильтрации оценивается двумя критериями:

1. степень прозрачности — отношение оптической плотности фильтрованного пива к исходному;
2. сохранность органолептического профиля — способность фильтрационной системы удалять нежелательные компоненты без потери ценных ароматических и вкусовых веществ.

Данные критерии противоречивы: чрезмерно интенсивное фильтрование снижает полноту вкуса и аромата, ведёт к потере горечи и «тела» пива. Оптимизация этого баланса — актуальная задача.

Влияние процесса фильтрации на органолептические характеристики пива представляет собой сложную функцию, зависящую от совокупности факторов [2]. Наиболее значимыми являются:

1. Параметры фильтрации: баланс скорости потока и перепада давления для предотвращения разрушения ароматических соединений. Рекомендуемая линейная скорость — не более 0,5–0,8 м/ч.
2. Тип фильтрующего материала: приоритет за картонами или мембранами с пористостью 1–5 мкм, обеспечивающими максимальное сохранение изо- α -кислот и сложных эфиров.
3. Подготовка пива: обязателен контроль содержания дрожжей и белков;

Оптимизация данных факторов позволит достичь прозрачности не менее 98% при сохранении органолептического профиля на уровне не менее 90% от нефильтрованного образца, что обеспечит выпуск пива с гарантированным качеством и стабильностью.

Библиографический список

1. **Куликова, М. Г.** Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTWQEV.
2. **Главачек Ф.** Пивоварение [Текст] / Ф. Главачек, А. Лхотский // пер. с чешского. – М.: Пищевая промышленность, 1977 – 623 с.

*Р.Н. Селивохин, студ.; рук. М.А. Новикова, ст. преп.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ВЛИЯНИЕ АВТОМАТИЗАЦИИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ПРОИЗВОДСТВА ФИЛЬТРОВАННОГО СВЕТЛОГО ПИВА НА КАЧЕСТВО ГОТОВОЙ ПРОДУКЦИИ

Автоматизация производства фильтрованного светлого пива — ключевое направление повышения стабильности качества. Основные цели: поддержание параметров на всех этапах, минимизация человеческого фактора, воспроизводимость органолептических показателей [1]. Качество автоматизации оценивается двумя критериями:

1. точность поддержания параметров (температуры, давления, рН, кислорода) — отклонение не более $\pm 0,5\%$;
2. снижение варибельности между партиями — коэффициент вариации основных показателей (цвет, горечь, спирт) не более 2–3%.

Влияние автоматизации на качество — сложная функция факторов [2]. Наиболее значимые:

1. Уровень контроля на этапе фильтрования: необходимо автоматическое регулирование перепада давления на фильтре и расхода фильтрующей среды (кизельгура) для предотвращения проколов фильтрационного слоя и попадания взвесей.

2. Стабилизация температуры при дображивании: автоматическое поддержание температуры в пределах $0 \pm 0,2$ °С обеспечивает предсказуемое созревание пива, снижение образования диацетила и сохранение коллоидной стойкости.

3. Контроль кислорода на розливе: обязательной является автоматическая дозировка диоксида углерода и деаэрированной воды; при превышении растворённого кислорода выше 0,05 мг/л система должна инициировать остановку линии и корректировку режима деаэрации.

Оптимизация этих факторов в автоматизированной системе обеспечивает стабильность органолептики на уровне не менее 98% от эталона. Это гарантирует выпуск пива по стандартам EBC и ASBC.

Библиографический список

1. **Куликова, М.Г.** Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / М. Г. Куликова, Л. В. Кончина // Естественные и технические науки. – 2017. – № 5(107). – С. 126-127. – EDN YTWQEV.
2. **Главачек Ф.** Пивоварение [Текст] / Ф. Главачек, А. Лхотский // пер. с чешского. – М.: Пищевая промышленность, 1977 – 623 с.

*А.М. Соколова, студ.; рук. Л.А. Тимошенко
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПЕРСПЕКТИВЫ МОДЕРНИЗАЦИИ НОЖЕЙ КУТТЕРА ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРОЦЕССА ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ ЗЕЛЕНИ

Куттер – ведущее оборудование в производстве функциональных напитков, таких как смузи. Зелень трудно поддается измельчению, эффективность ее обработки зависит от характеристик используемых куттеров, в особенности их ножей. Для возможности разработки новых ножей проанализируем актуальные исследования в области повышения эффективности измельчения продуктов.

В своей работе А.А. Шрейдера доказывает и обосновывает использование новой конструкции ножа, акцентируя внимание на рационализации формы режущей кромки и углов установки. Эта форма улучшает кинематику резанья и равномерно распределяет по длине режущей кромки, что способствует снижению износа [1].

Исследования А.Л. Желудкова, С.В. Акуленко и К.К. Гуляева посвящены общим закономерностям измельчения сырья в куттере. Рассматриваются механизмы разрушения структуры продукта и влияние технологических параметров на качество измельчения [2].

В другой работе изучается влияние геометрических параметров ножей. В ходе исследования выявлены важные параметры, которые влияют на дисперсность продукта и энергоёмкости (угол заточки, форма режущей кромки, конфигурация ножевого блока) [3].

На основе анализа работ, делаем вывод, что для повышения эффективности измельчения следует выбрать: улучшение конструкции и геометрических параметров с износостойкими покрытиями.

Библиографический список

1. **Шрейдер, А.А.** Обоснование новой конструкции ножа куттера / А.А. Шрейдер // Инженерное обеспечение сельского хозяйства: проблемы, достижения, перспективы : Материалы I Международной научно-практической конференции, Барнаул, 22–23 октября 2024 года. – Барнаул: Алтайский государственный аграрный университет, 2024. – С. 290-292.
2. **Желудков, А.Л.** Измельчение сельскохозяйственного сырья в куттере / А.Л. Желудков, С. В. Акуленко, К. К. Гуляев // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2018. – № 1(24). – С. 103-108.
3. **Желудков, А.Л.** Влияние геометрических параметров ножей на процесс измельчения мясного сырья в куттерах / А.Л. Желудков, С.В. Акуленко, К.К. Гуляев // Вестник Могилевского государственного университета продовольствия. – 2018. – № 2(25). – С. 113-119.

*П.М. Трбина, студ.; рук. А.О. Блинов
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ МЕТОДЫ ИНТЕНСИФИКАЦИИ ЭКСТРАКЦИИ РАСТИТЕЛЬНОГО СЫРЬЯ

Экстракция – основной процесс переработки растительного сырья для выделения ценных компонентов пищевого и фармацевтического назначения. Традиционные способы проведения данного процесса энергозатратны и длительны, что негативно влияет на качество извлекаемых веществ. Поэтому разрабатываются более эффективные способы экстракции, сохраняющие качество продукта.

Одно из результативных направлений – воздействие механических колебаний. Вибрация способствует перемещению частиц сырья в жидкой среде, улучшает контакт фаз и ускоряет перенос растворимых соединений в экстрагент. Благодаря этому возможно уменьшение времени обработки и повышение степени извлечения целевых веществ [1].

Другой перспективный метод – ультразвуковая обработка. Ультразвуковые волны создают в жидкости микропузырьки, разрушение которых вызывает импульсы давления. Это облегчает выход веществ из клеток сырья и ускоряет массообмен, позволяя проводить экстракцию при более мягких температурах и сохранять биологическую ценность продукта [2].

Повысить эффективность процесса позволяет пульсационное и электромагнитное воздействие. Пульсационные экстракторы обеспечивают обновление поверхности контакта фаз и равномерное распределение температуры [3]. Электромагнитное СВЧ-воздействие способствует внутреннему нагреву сырья и интенсификации выхода веществ.

Физические методы воздействия существенно повышают эффективность экстракции, позволяя совместить высокую производительность процесса с сохранением качества извлекаемых компонентов.

Библиографический список

1. **Горлов, М.Д.** Разработка и исследование вибрационного массообменного аппарата для экстрагирования плодово-ягодного сырья : дис., к.т.н. / М.Д. Горлов. – Кемерово, 2005.
2. **Дьякова, Н.А.** Экспериментальный подбор оптимальных технологических параметров ультразвуковой экстракции инулина / Н.А. Дьякова // Вестник Смоленской государственной медицинской академии. – 2021. – Т.20, №4.
3. **Иовлев Д.П.** Модернизация действующих цикорных заводов с применением пульсационных экстракторов непрерывного действия / Д.П. Иовлев, М.И. Фарахов, Р.Р. Акберов [и др.] // Новые технологии. – 2022. – Т.18, №1.

П.М. Требина, студ.; рук. А.О. Блинов
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭКСТРАКЦИИ НА ВЫХОД САХАРОЗАМЕНИТЕЛЯ ИНУЛИНА

Наиболее важный этап получения инулина – это процесс экстракции, эффективность которого определяется условиями его проведения. Целью работы являлось определение наиболее рационального режима экстракции инулина при минимальных энергетических затратах.

Для исследования были подготовлены три образца измельчённого сырья массой по 25 г. Экстракцию проводили водой при гидромодуле 1:2 в течение 60 мин при следующих режимах: 1) 35°C без вибрации; 2) 80°C без вибрации; 3) 35°C с вибрацией 25 Гц.

После завершения процесса экстракты фильтровали, высушивали при 80°C до постоянной массы и определяли выход сухого остатка.

По полученным данным была построена диаграмма зависимости выхода инулина от режимов проведения процесса экстракции.

Результаты эксперимента показали различие в эффективности режимов. При 35°C без вибрации выход составил 8,3%. Повышение температуры до 80°C увеличило показатель до 9,9%. Наибольший выход получен при вибрационном воздействии при 35°C – 10,6%. Следовательно, эффективность экстракции при воздействии температуры повысилась на 19%, а при воздействии вибрации – на 28%.

Вибрация обеспечивает более интенсивное извлечение растворимых веществ, чем повышение температуры, за счёт ускорения массообмена между сырьём и экстрагентом. Результаты эксперимента полезны для выбора энергосберегающих режимов экстракции.

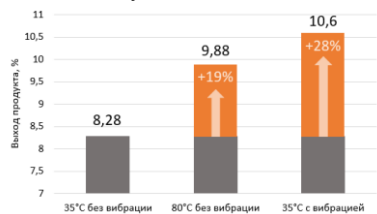


Рисунок 1 – Выход инулина при различных режимах экстракции

Библиографический список

1. Назаренко М.Н. Совершенствование технологий получения инулина и фруктозо-глюкозного сиропа из топинамбура и их применения в производстве функциональных молочных продуктов. [Текст]: дис., канд. техн. наук, утв. 30.10.13 / Назаренко Максим Николаевич. - Краснодар., 2014. – 4-5 с.
2. Экстракты [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://studfile.net/preview/6761345/page:67/> (дата обращения: 15.04.2026).

СЕКЦИЯ 22
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Председатель –
к.т.н., доцент **Ноздрин М.А.**

Секретарь –
к.т.н. **Огурцов Ф.Б.**

В.О. Герасимов, студ.; рук. М.А. Шилов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ СТЕРЖНЕВОЙ МОДЕЛИ ДЛЯ ОПИСАНИЯ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ АНТИКОРРОЗИОННОГО ПОКРЫТИЯ

В современных промышленных отраслях — таких как энергетика, машиностроение, металлургия и др. наблюдается постоянный рост эксплуатационных нагрузок на оборудование. Это приводит к ускоренному износу, коррозии и разрушению деталей. В связи с этим актуальность приобретают технологии, направленные на восстановление и продление срока службы ключевых узлов, определяющих долговечность техники.

Одним из эффективных методов является нанесение защитных покрытий, который позволяет не только восстановить геометрию изношенных деталей, но и придаёт им новые эксплуатационные свойства. Ключевым фактором успеха здесь является грамотный выбор как материала покрытия, так и технологии его нанесения. С целью прогнозирования физико-механических характеристик были рассмотрены несколько моделей материалов. Анализ литературных данных показал, что применение стержневой модели покрытия позволяет наиболее просто учесть отклонения макроформы поверхностей контакта от простейшей плоскости, и дает возможность рассмотреть ряд контактных задач для объектов, для которых аналитическое решение в принципе не могло быть раньше построено. Основные допущения: поверхность покрытия плоская, деформируемое покрытие соединено с гладким плоским жестким полупространством (рис. 1). Плоскости поверхности покрытия и основания параллельны.

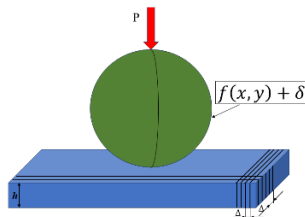


Рисунок 1 – Вдавливание недеформируемого индентора в стержневую модель деформируемого покрытия

Формальное определение напряжений в области контакта без учета реологических эффектов имеет вид основания Винклера:

$$\sigma_z(x, y, 0) = \mathfrak{F}(\varepsilon(x, y, 0)) = \mathfrak{F}\left(\frac{\varepsilon(x, y, 0)}{h}\right) \text{ при } (x, y) \in \bar{S} \quad (1)$$

*Е.И. Герцева, студ.; рук. Ф.Б. Огурцов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ПОДШИПНИКА КАЧЕНИЯ

Эксперименты показывают, что частота ковровых импульсов слабо зависит от скорости вращения подшипника и определяется его конструкцией, что противоречит распространенному объяснению ударами о микронеровности [1]. В связи с этим предполагается, что импульсы возникают из-за автоколебаний тел качения на собственных частотах сепаратора.

Целью работы является разработка упрощённой динамической модели сепаратора подшипника качения и анализ процессов, возникающих при его вращении.

В процессе работы было построение одномерной модели сепаратора как замкнутой цепочки упруго связанных тел, численное моделирование динамики выполнялось в среде Simulink и интерпретация полученных колебательных процессов (рисунок 1).

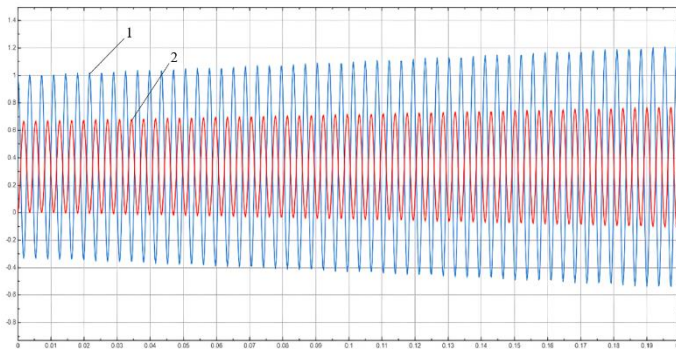


Рисунок 1 – Результаты моделирования динамических процессов: 1 – противофазное движение ведущих ТК; 2 – синхронное движение ведомых ТК.

По данным эксперимента, сигнал виброускорения на наружном кольце подшипника качения имеет вид высокочастотной синусоиды, модулированной по амплитуде по случайному закону. Предложенная модель объясняет появление гармонической вибрации, причем случайный характер амплитуды как минимум обусловлен изменением радиальной нагрузки в процессе работы подшипника.

Библиографический список

1. **Барков А.В.** Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В.Барков, Н.А.Баркова, А.Ю.Азовцев. – СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000. –159 с.

М.А. Тельманова, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Для анализа конструкций теплообменных аппаратов выбраны две инновационные разработки, демонстрирующие разные подходы к интенсификации теплообмена.

Теплообменник с каплевидными микровыемками [1] использует нанесение на поверхность углубления с переменной кривизной стенок (рис. 1). Это позволяет усилить теплообмен и снизить гидравлические потери для газовых теплообменников, где затраты на преодоление трения сопоставимы с передаваемой тепловой энергией. Областью применения являются энергетика, промышленность.

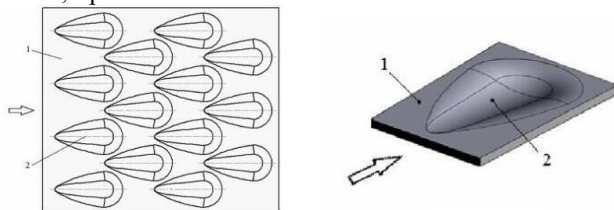


Рисунок 1 – Теплообменная поверхность с каплевидными выемками

Теплообменник с графеновым покрытием [2] для охлаждения воздуха содержит сборку плоских трубок с покрытием из материала, включающего графен и барийсодержащий компонент, нанесенный на алюминиевый корпус трубок. Барит придает микрошероховатость, за счет чего вода задерживается на поверхности, увеличивая время теплообмена. Областью применения являются системы охлаждения серверов и вычислительной техники, системы кондиционирования.

Представленные разработки ориентированы на энергосбережение через оптимизацию микрогеометрии поверхности и решают комплекс проблем долговечности. Эти разработки имеют большой потенциал для импортозамещения и повышения энергоэффективности российской промышленности.

Библиографический список

1. Патент RU 2848571. Российская Федерация, МПК F28D7/00. Теплообменник / Попов И.Н., Гогуа В.В.; патентообладатель — Российская Федерация. — заявл. 10.01.2023; опубл. 29.01.2024.

2. Патент RU 2825805. Российская Федерация, МПК F28D7/00. Теплообменник / Мариничев Д.Н., Гогуа В.В.; патентообладатель — Российская Федерация. — заявл. 21.02.2023; опубл. 29.08.2024.

*М.А. Скворцова, студ.; рук. М.А. Шилов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЁТ ПОДШИПНИКА СКОЛЬЖЕНИЯ ГИДРОЦИЛИНДРА ПОДЪЁМА СТРЕЛЫ

В работе выполнен расчёт радиального сферического подшипника скольжения гидроцилиндра подъёма стрелы крана грузоподъёмностью 75 т с целью проверки его работоспособности по динамической грузоподъёмности и ресурсу [1].

Выбран подшипник GE120EW-2RS (рис.1). Проверка показала выполнение условия прочности: $1724 \text{ кН} < 2685 \text{ кН}$.

Рассмотрены 4 режима нагрузок с разной длительностью.

С учётом коэффициентов условий работы рассчитан теоретический срок службы: $27961 \text{ ч} > 8000 \text{ ч}$ [2].

Таким образом, подшипник GE120EW-2RS обеспечивает необходимую грузоподъёмность и ресурс, а также рекомендуется к применению.



Рисунок 1 – Сферический подшипник скольжения

Библиографический список

1. **Полимерные** композиционные материалы: учебное пособие / Л.И. Бондалетова, В.Г. Бондалетов; Томский политехнический университет. – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2013. – 111 с.

2. **Thompson**, Mary Kathryn, and John M. Thompson. 2017. Introduction to ANSYS and Finite Element Modeling., 1–9. doi:10.1016/b978-0-12-812981-4.00001-0.

Д.И. Худов, студ.; рук. С.Ф. Смирнов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОЧНОСТНОЙ АНАЛИЗ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИИ МОСТОВОГО КРАНА

Прочностной анализ металлоконструкции мостового двухбалочного крана грузоподъемностью 25 т выполнен с учетом статических и динамических нагрузок [1].

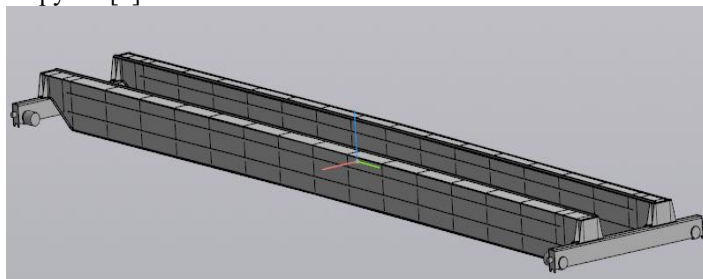


Рисунок 1 – Внешний вид главных балок мостового крана

Несущая балка рассматривается как изгибаемый элемент с сосредоточенными силами. Максимальный изгибающий момент определяется по расчетной схеме и достигает наибольшего значения в середине пролета. Геометрические характеристики сечения: момент инерции I и момент сопротивления W . Прогиб балки определяется суммой прогибов от собственного веса и внешней нагрузки: $f = f_1 + f_2$ [1, 2].

При проверочном расчете учитываются расчетные нагрузки с коэффициентами: φ — динамичности, γ — надежности. Определены реакции опор и нагрузки на ходовые колеса.

Дополнительно выполнена оценка выносливости конструкции при циклическом нагружении. Напряжения в опасных сечениях не превышают предела выносливости. Рассмотрены конструктивные решения с размещением рельса над стенкой балки, обеспечивающие более эффективное использование материала.

Конструкция обеспечивает требуемую прочность, жесткость и устойчивость при заданных условиях эксплуатации.

Библиографический список

1. Жегульский, В.П. Проектирование и расчет крановых металлических конструкций: учебное пособие / В. П. Жегульский, В. И. Миронов, О.А. Лукашук ; под общ. ред. канд. техн. наук, доц. О.А. Лукашук ; Мин-во науки и высш. образования РФ.— Екатеринбург : Изд.-во Урал. ун-та, 2019.— 184 с. ISBN 978-5-7996-2771-3

2. Глотов, В.А. Расчет и проектирование металлической конструкции мостового крана: учебное пособие / В. А. Глотов, В. В. Каргышкин. — Москва; Берлин: Директ-Медиа, 2020. — 136 с.

С.Ю. Коробенин, студ.; рук. С.Г. Степанов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА РАСЧЁТНОЙ СХЕМЫ НАГРУЖЕНИЯ ПОВОРОТНОЙ РАМЫ АВТОКРАНА КС-55713-5

Нагрузки на поворотную раму автокрана КС-55713-5 формируются от стрелы, гидроцилиндра подъёма стрелы и механизма подъёма груза, кабины крановщика, противовесов. Их значения принимаются по данным [2] для заранее заданного случая нагружения. Сведения о конструкции и компоновке узлов получены из руководства по эксплуатации [1].

В расчётной схеме нагрузки заданы в виде сосредоточенных сил, приложенных в характерных узлах конструкции: в местах крепления стрелы, в шарнирном узле крепления гидроцилиндра, в зонах расположения лебёдки, кабины крановщика и противовесов.

Для анализа была создана конечно-элементная модель в программном комплексе ANSYS Mechanical [3] (рис. 1). Закрепления задавались в местах соединения рамы с опорной частью конструкции.

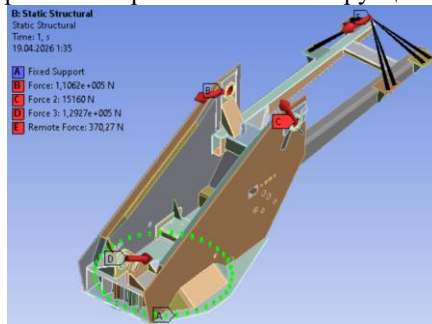


Рисунок 1 – Расчётная модель поворотной рамы с указанием приложенных нагрузок и заделок.

Принятая расчётная схема позволяет адекватно описать условия нагружения поворотной рамы и может быть использована для дальнейшего анализа её напряжённо-деформированного состояния.

Библиографический список

1. Кран автомобильный КС-55713-5. Руководство по эксплуатации КС-55713-5.00.000-4 РЭ. — Галич: АО «Галичский автокрановый завод».
2. Кран автомобильный. Силовой расчёт КС-55713-1В.00.000 ПР1. — Галич: ОАО «Галичский автокрановый завод», 2008.
3. ANSYS, Inc. ANSYS Mechanical User's Guide. — 2021.

*Д.М. Рогожин, студ.; рук. В.И. Каравеев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА НАВЕСНОГО РЕЖУЩЕГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ПЕРЕРАБОТКИ ДРЕВЕСНО- РАСТИТЕЛЬНЫХ ОТХОДОВ

Проблема обращения с древесно-растительными отходами (ДРО) в зонах индивидуальной жилой застройки обусловлена их низкой насыпной плотностью и высоким удельным объёмом. Наиболее распространённым, но экологически опасным методом является сжигание, приводящее к выбросам токсичных загрязнителей и создающее повышенные риски пожаров. Кроме того, вывоз неподготовленных ДРО крайне неэффективен: коэффициент использования грузоподъёмности транспорта не превышает 20–30% [1].



Рисунок 1 – Загрузка кузова неподготовленными древесно-растительными отходами (низкая плотность укладки)

Предлагается технологическое решение — мобильный комплекс на шасси грузового автомобиля, осуществляющий подготовку отходов к транспортировке непосредственно в месте их образования. В результате обработки разрозненные отходы преобразуются в компактные партии, что позволяет повысить коэффициент использования грузоподъёмности.

В рамках предварительных исследований выполнен анализ конструктивных сталей для режущего органа. На основе сравнительной оценки механических свойств выбран материал — сталь 65Г, обладающая высокой прочностью и ударной вязкостью. Изготовлен экспериментальный образец ножа, подготовлена методика определения усилий разрубания на гидравлическом прессе [2].

Библиографический список

1. **Карпова Л.М.** Комплексная переработка древесных отходов : учебник для среднего профессионального образования / Л. М. Карпова. — Москва : Издательство Юрайт, 2026. — 66 с. — (Профессиональное образование).
2. **Глебов И.Т.** Резание древесины : учебное пособие. — Екатеринбург : УГЛТУ, 2020. — 184 с.

*Я.А. Скороходова, студ.; рук. Ю.А. Фёдоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УТОЧНЁННОЕ АНАЛИТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ КОЛЕБАНИЙ КРЫШКИ БАКА ТРАНСФОРМАТОРА С УЧЁТОМ КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ

Проведено уточнённое аналитическое моделирование собственных изгибных колебаний крышки масляного трансформатора с установленными вводами. Исходная аналитическая модель на основе метода Бубнова-Галеркина (пластина постоянной толщины, отверстие учтено только через уменьшение массы) давала расхождение с численным расчётом (МКЭ, Ansys) до 85% по первой собственной частоте [1].

В уточнённой модели впервые комплексно учтены: переменная толщина пластины с круглым отверстием радиусом 293 мм, снижение изгибной жёсткости в зоне отверстия и изгибная жесткость патрубков вводов как коротких консольных балок. Для каждой конструктивной особенности получены аналитические выражения — добавки к матрицам масс и жесткости в рамках метода Бубнова-Галеркина с четырьмя базисными формами [2].

Учёт снижения жёсткости в зоне отверстия уменьшил расчётные значения жёсткости для первых двух форм на 4,3% и 5,5% соответственно.

Таблица 1 – Сравнение собственных частот (Гц) для различных моделей

Форма колебаний	Базовая аналитика	Уточнённая аналитика	МКЭ (Ansys)	Погрешность уточн. модели, %
1 – я	2,96	15,2	16,95	10,3
2 – я	4,74	30,8	31,91	3,5
3 – я	19,2	74,6	63,49	17,5
4 – я	23,6	107,9	87,64	23,1

Библиографический список

1. Тимошенко С.П., Янг Д.Х., Уивер У. Колебания в инженерном деле. — М.: Машиностроение, 1985. — 472 с.
2. Преображенский И.Н. Устойчивость и колебания пластинок и оболочек с отверстиями. — М.: Машиностроение, 1981. — 192 с.

*Д.О. Фролова, студ.; рук. С.Ф. Смирнов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ ДИСКОВЫХ РАБОЧИХ ОРГАНОВ НА ПРОЧНОСТЬ И ИЗНОС

В настоящее время в РФ используется достаточно много импортной сельскохозяйственной техники. Поэтому актуальной является задача ее импортозамещения. В частности, это касается дисковых рабочих органов, применяемых для создания определенной структуры почвы, необходимой для выполнения дальнейших операций технологического процесса выращивания растениеводческих культур. Они используются в плугах, лущильниках, сеялках, боронах и т.д. [1].

Целью работы является расчет на прочность и износ дисков, входящих в почвообрабатывающую и посевную технику фирмы Rabe (Германия) (рис. 1) в процессе эксплуатации.



Рисунок 1 – Почвообрабатывающий комплекс Rabe и диск «Ромашка» (Германия).

Диски являются самой уязвимой частью машины из-за влияния на них повышенной нагрузки и абразивного воздействия почвы. Интенсивность абразивного изнашивания рабочей поверхности диска во многом определяется давлением почвы в различных точках рабочего органа, свойствами материала дисков, физико-механическими свойствами почвы и скоростью перемещения абразивных частиц по поверхности диска. Установлено [2], что одной из основных причин выхода из строя дисковых рабочих органов с геометрической формой типа «Ромашка» является износ вершин зубьев.

В работе предполагается рассчитать напряжения и истирание дисков типа «Ромашка» при различных вышеуказанных факторах, определяющих их прочность и износ, используя пакет программ COMSOL Multiphysics и определить марки стали для изготовления дисков на отечественных предприятиях.

Библиографический список

1. **Шовкопляс А.В.** Дисковые рабочие органы борон: технологии изготовления и восстановления//Лесотехнический журнал. 2016. №1. С.203-211.
2. **Михальченко А.М., Тюрева А.А., Филин Ю.И., Синяя Н.В.** Статистический анализ износов дисков дисковых орудий//Техника и оборудование для села .2016. №7. С.42-46.

*Е.Э. Ильина, асп.; Д.С. Беззубов, студ.;
рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АДДИТИВНОЕ ИЗГОТОВЛЕНИЕ СКАФФОЛДОВ НА ОСНОВЕ ТРИЖДЫ ПЕРИОДИЧЕСКИХ МИНИМАЛЬНЫХ ПОВЕРХНОСТЕЙ

В докладе рассматриваются экспериментальные модели скаффолдов, применяемые в регенеративной медицине при лечении крупных костных переломов. Скаффолды создавались с содержанием воздушной фазы 35, 50, 65 и 80% с помощью аддитивных технологий из биосовместимого резорбируемого полилактида PLA+. Внутренняя архитектура пористого имплантата моделируется с помощью структур, основанных на неявных математических уравнениях трижды периодических минимальных поверхностей (ТПМП): Schwarz-P, Schwarz-D, Gyroid и I-WP [1]. Преобразование уравнений позволяет получать структуры скелетного и пластинчатого типа, имеющие уникальные морфометрические характеристики, которые находятся в прямой зависимости от процентного содержания поровых каналов в объеме скаффолда. Полученные значения позволили определить решетки, непригодные для создания методом FDM-печати. Используемое в стандартной конфигурации 3D-принтера сопло экструдера с диаметром 0.4 мм не позволяет с необходимой точностью воспроизвести минимальные по диаметру (образцы с пористостью 35%) и по толщине стенок (образцы с пористостью 80%) поровые каналы. Проведенный анализ готовых изделий показал, что при одинаковых значениях пористости образцы на основе ТПМП-D обладают максимальной площадью поверхности, а ТПМП-P, напротив, минимальной. При этом ТПМП-G имеют площадь поверхности в 1.5 раза меньше, чем ТПМП-D, однако их массы различаются всего на 0.07 г. Также стоит отметить, что объем твердой фазы ТПМП-D показывает минимальное значение при максимальной массе скаффолда, что делает его лидером по плотности. Для каждого типа ячеек пластинчатые структуры обладают площадью поверхности и массой в 1.2-2 раза больше, чем скелетные.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 25-21-20118.

Библиографический список

1. **Gupta A., Babu S.L.** Triply periodic minimal surfaces: an overview of their features, failure mechanisms, and applications. *J Mines Met Fuels*, 2022. Vol. 70, no. 10A. P. 215-225. doi:10.18311/jmmf/2022/31230.

А.А. Кочетова, асп.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЕРЕГОРОДОК НА КПД ТЕПЛООБМЕННИКА

Целью работы является подбор оптимальной конструкции модели теплообменного аппарата с подвижными элементами, способного утилизировать отработанное тепло загрязнённых сточных вод. На основе расчета МКЭ спроектирована модель, имеющая четыре непрерывно вращающиеся вертикальные панели [1] с неподвижными перегородками. Модель 3D реализуется в программном комплексе SOLIDWORKS Flow Simulation (рис. 1).

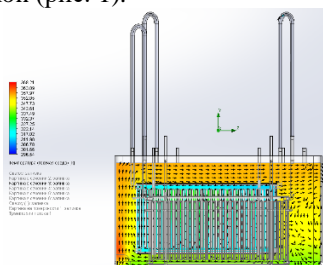


Рисунок 1. Распределение температур в сечении в направлении потока в панели 2

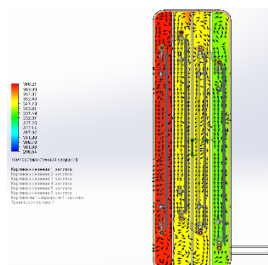


Рисунок 2. Распределение температур (Вид сверху. Сечение по середине)

Проведены расчеты для нескольких режимов работы, а именно: без перегородок, одна перегородка с разных сторон, три перегородки из разных материалов (стекло, полистирол, сталь, ПВХ) и разной толщиной (5 мм, 40 мм). Изменялись скорости движения панелей (0,15 м/с, 0,6 м/с, 0,9 м/с), давление холодной воды, положения отверстий на перегородках при разных точностях сетки (рис. 2). Результаты показывают значительное влияние на теплообмен количества перегородок, в то время как материал практически не влияет на конечные температуры, как и толщина [2]. Увеличение скоростей панелей приводит к более эффективному теплообмену.

Библиографический список

1. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин: учебное пособие / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов; под ред. О. А. Ряховского — 13-е изд., испр. и доп. — М: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2017. — 564 с.: ил.
2. Михайлишина А.А., Ноздрин М.А. Расчет модели конструкции теплообменного аппарата // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XVI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 17 апреля 2025 г. – Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2025. – 475 с.(272 с.).

*В.М. Седов, асп.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО РАЗРУШЕНИЯ ПЕРВИЧНОГО МЕТАЛЛИЧЕСКОГО БАРЬЕРА В РЕЗЕРВУАРАХ ХРАНЕНИЯ СПГ

Резервуары для хранения сжиженного природного газа относятся к числу ответственных инженерных сооружений, для которых надежность первичного барьера имеет определяющее значение с точки зрения промышленной и экологической безопасности. Актуальность исследования обусловлена необходимостью повышения надежности систем хранения СПГ и предупреждения аварийных ситуаций, связанных с нарушением герметичности резервуара. Особое значение имеет оценка прочности конструктивных элементов первичного барьера при совместном действии низких температур (до -165°C) и механических нагрузок: статическое/динамическое давление СПГ, деформации корпуса резервуара. Выявление наиболее опасных зон концентрации напряжений. Эти проблемы актуальны для всех видов резервуаров как для наземных [1], так и для кораблей, перевозящих СПГ [2]. Первичный металлический барьер (ПМБ) представляет собой лист нержавеющей металла из стали 304L толщиной 1.2 мм (рис. 2). Для решения проблемы термомеханического разрушения ПМБ ставится задача расчета термомеханического напряженного состояния пластины в упругопластической постановке методом конечных элементов.



Рисунок 1 – Тестовый резервуар хранения СПГ

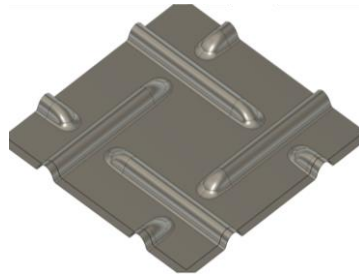


Рисунок 2 – Модель элемента первичного металлического барьера

Библиографический список

1. ГОСТ Р 58032–2017/EN 14620-2:2006 Проектирование и производство на месте вертикальных цилиндрических стальных емкостей с плоским дном для хранения охлажденных сжиженных газов с рабочей температурой от 0°C до -165°C часть 2 металлоконструкции
2. Правила по мембранным системам хранения сжиженного природного газа. Российский морской регистр судоходства.

*Л.А. Барчишина, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТЕЛЛАЖНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Стеллажные конструкции становятся все более актуальными из-за роста электронной коммерции и необходимости эффективного хранения товаров, что способствует быстрой обработке заказов. Они оптимизируют использование пространства на складах и магазинах, обеспечивая гибкость и удобный доступ к товарам. Помимо этого стеллажи должны отличаться высокой прочностью, чтобы обеспечить безопасное и надежное их использование.

Изучены и спроектированы модели фронтального, полочного и консольного стеллажа [1]. Для расчета на прочность и жесткость выбрана модель фронтального стеллажа.

Полученные результаты с помощью программ ANSYS и Компас-АРМ (рис. 1) сопоставлены с данными эксперимента, в рамках которого аналогичный стеллаж подвергался нагрузке и оставлялся на определенном период для измерения прогиба.

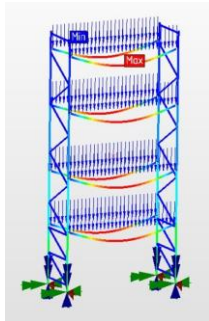


Рисунок 1 – Перемещение балок фронтального стеллажа в программе Компас-АРМ

Численное решение с использованием программы ANSYS дает перемещение балки 8,6 мм, что отличается от эксперимента на 16,5%, а с использованием программы АРМ отличается от эксперимента на 9,3%.

Библиографический список

1. Стеллажи. Основы расчета. – М.: Изд-во стандартов, 1991. – 19 с.

*Я.О. Коровина, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПРЕССОВАННОГО РЕШЕТЧАТОГО НАСТИЛА

Задача работы - экспериментальным и численным методами определить максимальную нагрузку, при которой прогиб настила достигает 4 мм. Этот предельный прогиб выбран как критический порог, гарантирующий безопасность, комфорт и соответствие требованиям ГОСТ. Экспериментальные исследования проводились на испытательной машине УТС111, а численное моделирование выполнено в программных комплексах Компас-3D [1], SolidWorks и Ansys (рис. 1).

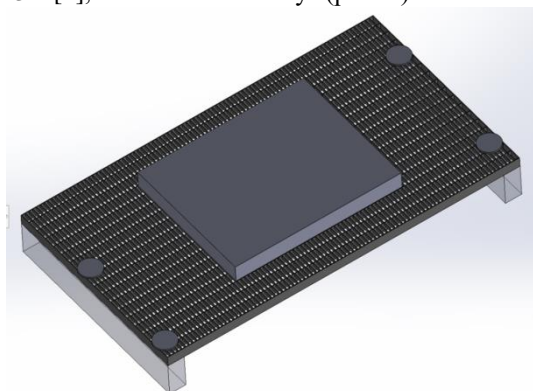


Рисунок 1 – Моделирование конструкции (настил 33x11мм с нагрузкой 500x400мм)

Сравнение результатов показало, что значения критических нагрузок, полученные численным методом, на 12-17% ниже экспериментальных данных. Это расхождение объясняется идеализацией модели, упрощениями в описании контактных взаимодействий и физических свойств материалов. Однако численное моделирование подтвердило общую корректность экспериментального подхода и позволило выявить зоны концентрации напряжений в конструкции настила, что важно для его дальнейшего совершенствования.

Библиографический список

1. **Тихонов В.В.** Лабораторный практикум по освоению программного продукта «Компас»: Учеб. Пособие ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 156 с.

Р.П. Чекунов, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА СТРЕЛЫ АВТОКРАНА

Расчет напряженно-деформированного состояния стрелы автокрана состоял в следующем. Разработана модель элемента стрелы автомобильного крана. В программе КОМПАС – 3D построена модель в оболочечном виде для упрощения дальнейшего расчета (рис. 1).

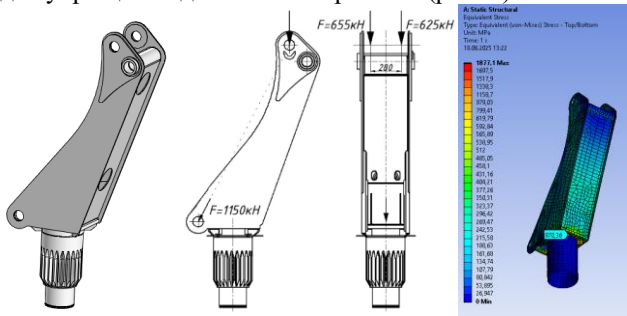


Рисунок 1 - 3D модель и схема нагрузки элемента стрелы крана и отображение напряжений Ansys WorkBench

Модель перенесена в программу ANSYS WorkBench [1]. В разделе «Model» задали толщину поверхностей, силы и жесткую заделку в основании стрелы.

Для отображения результатов выведем «Total deformation» всей конструкции и по осям в отдельности. Выведем «Equivalent stress» для отображения напряжений (рис. 2).

Наибольшее напряжение в основании конструкции около 700 МПа. Присутствуют концентраторы напряжений от приложенных сил [2]. Даны рекомендации по усилению конструкции при основании с помощью добавления ребер жесткости.

Библиографический список

1. Федорова Н.Н. Основы работы в ansys 17: Учебное пособие / Вальгер С.А. Данилов М.Н. Захарова Ю.В., М, 2016. – 266 с.
2. Скопинский В.Н. Сопротивление материалов: учебное пособие / В.Н. Скопинский А.А. Захаров., М, МГИУ, 1999 – 128 с.

Д.О. Фролова, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЧИСЛЕННЫЙ АНАЛИЗ ПРОЦЕССА ВЫДАВЛИВАНИЯ ЖИДКОСТИ ИЗ ЕМКОСТИ ПУТЕМ ПОДАЧИ ВОДЫ

Экспериментальный стенд (рис. 1) предназначен для анализа процессов выдавливания борного раствора из емкости (сосуда), полностью заполненной холодной водой, путем подачи горячей воды в емкость. Целью работы является определение распределения температур во времени для нескольких точек емкости.

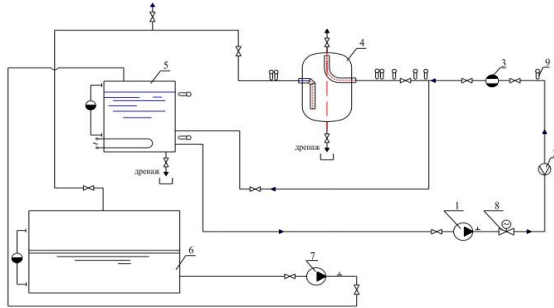


Рисунок 1 – Схема гидравлического контура: 1 – циркуляционный насос; 2 – расходомерная диафрагма; 3 – электромагнитный расходомер; 4 – модель емкости; 5 – бак горячей воды объемом $1,5 \text{ м}^3$; 6 – бак холодной воды объемом 25 м^3 ; 7 – подпиточный насос; 8 – задвижки; 9 – термоэлектрические преобразователи.

Проктирование модели, задание граничных и начальных условий [1], а также расчет для получения результатов произведен в ПП ЛОГОС – системе автоматизации инженерных расчетов для моделирования и анализа технических объектов. Для этого создан внутренний объем емкости, для которого получена поверхностная и объемная сетки. Далее заданы начальная температура, а также температура и скорость воды, поступающей в емкость.

В результате моделирования процесса выдавливания холодной воды из емкости с помощью подачи горячей воды установлено, что средняя температура внутри емкости достигает 548 К примерно за 19 секунд. Распределения температур по высоте, сечению и времени позволяют оценить динамику нагрева и вытеснения воды, а графики безразмерных температур и минимальных значений свидетельствуют о постепенном выдавливании холодной воды, завершившемся к 40 секундам.

Библиографический список

1. Петухов, Г.С. Теплообмен в ядерных энергетических установках: учебное пособие для вузов / Г. С. Петухов, Н. Г. Генин, С. А. Ковалев. – М, Атомиздат, 1974 – 407 с.

*Я.А. Скороходова, студ.; Д.М. Рогожин, студ.;
рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКТОРСКОЙ ДОКУМЕНТАЦИИ УЗЛА «УСТАНОВКА ЗАГЛУШКИ» ДЛЯ МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Проведена модернизация конструкторской документации (КД) сборочного узла «Установка заглушки».

Первый этап работы - детальный анализ КД. В процессе анализа выявлены зоны, требующие доработки: необходимость добавления новых исполнений деталей, отсутствие параметризации данных, потребность в актуализации видов и обозначений на чертежах в соответствии с последними редакциями ГОСТ.

Созданы новые 3D-модели деталей в программном комплексе SolidWorks: крышка, уплотнительный фланец и герметизирующий штуцер (рис. 1 и 2). Для каждой детали разработано несколько исполнений.

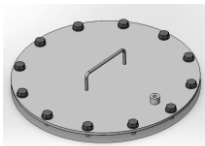


Рисунок 1 – Первое исполнение сборочного узла «Установка заглушки»



Рисунок 2 – Второе исполнение сборочного узла «Установка заглушки»

После трехмерного моделирования выполнен выпуск КД в соответствии с требованиями ЕСКД [1]. Для всех деталей созданы чертежи, разработан сборочный чертеж и спецификация сборки.

Библиографический список

1. ГОСТ 2.305-2008. Единая система конструкторской документации. Изображения – виды, разрезы, сечения.

*Д.С. Антипин, студ.; рук. М.А. Шилов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТРИБОЛОГИЧЕСКИХ СВОЙСТВ В ПОДШИПНИКАХ КАЧЕНИЯ

В выпускной квалификационной работе рассматривается задача энергоэффективности и износостойкости шариков в подшипниках качения. Решению может способствовать более подробный анализ процессов, протекающих в условиях гидродинамического и смешанного трений.

Объект исследования - система с трением в условиях смазочных материалов. Предмет исследования - стесывание поверхности тела качения подшипника подтекающим в область контакта с дорожкой смазочного масла, напряжения в области деформации сферы подшипника.

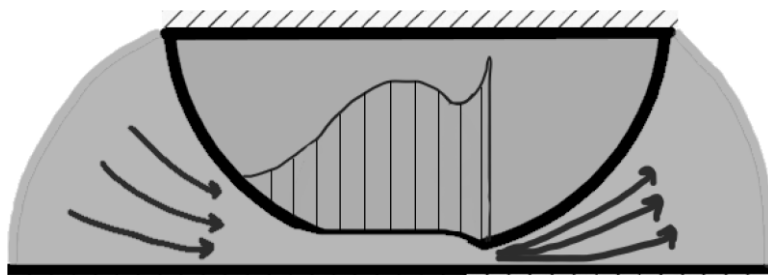


Рисунок 1 – Эскиз процесса истирания с предварительным относительным напряжением

В соответствии с рисунком (Рис. 1), видно, что поток смазочных материалов деформирует подшипник, создавая истонченный участок, в соответствии с формулами сопротивления материалов [1], на участках низкой площади возникает большее напряжение, что отображено в виде эпюры.

Дальнейшие исследования в работе направлены на то, чтобы расширить и уточнить механические и прочностные свойства системы.

Библиографический список

1. Александров А.В., Потапов В.Д. Сопротивление материалов. – М.: Высшая школа, 1995. – 560 с.

*П.А. Воробьев, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМНЫЕ УЗЛЫ КОНСТРУКЦИЙ РЕКУПЕРАТИВНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Наиболее актуальные рекуперативные теплообменные аппараты такие как кожухотрубные (рис. 1), пластинчатые, кожухопластинчатые, элементные, погружные, оросительные, и аппараты воздушного охлаждения имеют ряд конструктивных недостатков. Наиболее острыми проблемами являются подверженность коррозии и эрозии трубок, разрушение сварных соединений, деформация пластин, старение прокладок и уязвимость к большим перепадам давления и циклическим нагрузкам [1].

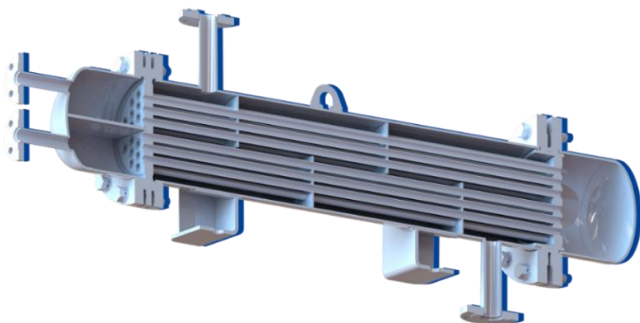


Рисунок 1 – Схема кожухотрубного теплообменника

Совершенствование перечисленных теплообменных аппаратов может быть достигнуто за счет трех основных подходов. Первый подход связан с оптимизацией геометрии теплообменных поверхностей и каналов, позволяющей снизить гидравлическое сопротивление и повысить эффективность теплообмена. Второй подход предполагает использование аддитивных технологий, которые дают возможность создавать конструкции сложной геометрии. Третий подход заключается в применении новых материалов, сочетающих термостойкость, коррозионную стойкость и износостойкость.

Библиографический список

1. **Бажан П.И., Каневец Г.Е., Селиверстов В.М.** Справочник по теплообменным аппаратам. — М.: Машиностроение, 1989.

К.А. Шумилов, студ.; Д.С. Антипин, студ., рук. Л.Н. Крайнова, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ПОНТОНА

При проектировании понтонных сооружений одним из ключевых факторов является обеспечение их устойчивости. Понтон 24-01/2015-1-АС (разработчик ООО «ТПСК») на трубных поплавках с настилом совершает вертикальную качку и под воздействием внешних сил получает боковой крен θ , в результате чего возникает боковая качка. Уравнение движения понтона приводится к уравнению Матье [1]:

$$\frac{d^2\theta}{d\tau^2} + (a - 2q\cos(2\tau))\theta = 0,$$

где параметр a зависит от собственной частоты вертикальной и боковой качки, q – от характеристик понтона на «тихой воде», θ – угол крена, τ – безразмерное время.

Для анализа устойчивости используем диаграмму Айнса – Стретта (Рис. 1). Области неустойчивости заштрихованы.

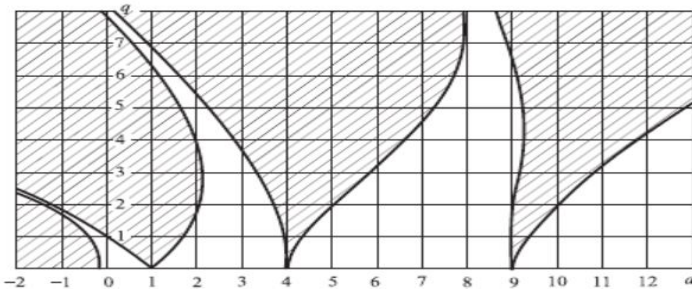


Рисунок 1 – Диаграмма Айнса – Стретта

Определенные параметры a и q для рассматриваемого понтона находятся в области устойчивости диаграммы Айнса-Стретта.

Библиографический список

1. Черданцев, С. В. Анализ математической модели устойчивости понтона в процессе его вертикально-боковой качки в зумпфе угольного разреза / С. В. Черданцев, Н. В. Черданцев // Вестник Кузбасского государственного технического университета. — 2015. — № 4 (110). — С. 83-91.

*К.М. Филиппова, студ.; рук. М.А. Шилов, к.т.н., доц.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К ВОПРОСУ ОБ ОПРЕДЕЛЕНИИ НДС КОНСТРУКЦИЙ УЛЬТРАЗВУКОВЫМ МЕТОДОМ

Принцип работы метода основан на акустоупругом эффекте – зависимости скорости распространения ультразвуковых волн от приложенных механических напряжений. В работе использовались продольные ультразвуковые волны, генерируемые дефектоскопом УД2-70 с прямым раздельно-совмещенным преобразователем. Измерение скорости волны в нагруженном и ненагруженном состоянии позволяет по формуле $(2/K) \cdot (\Delta V/V_0) = \sigma$ рассчитать напряжения, где K – акустоупругий коэффициент, зависящий от модуля Юнга и коэффициента Пуассона материала.

Решалась задача определения напряженно-деформированного состояния (НДС) стальной пластины трапециевидной формы при внецентренном растяжении. Толщина пластины – 20 мм. Контроль проводился методом эхо-сигнала. Обрабатывались продольные волны.

Эксперимент выполнен на разрывной машине Мор и Федерاف (50 т) при нагрузках от 1000 до 4000 кгс. Одновременно с ультразвуковыми измерениями проводилось тензометрирование для верификации результатов. Аналитический расчет выполнен по формуле внецентренного растяжения $\sigma_z = N/A + (M_y/I_y) \cdot y$.

Установлено, что ультразвуковой метод позволяет определять напряжения с погрешностью не более 5% по сравнению с тензометрией и аналитикой. Наибольшие значения напряжений (растяжение до 50,85 МПа) зафиксированы у края пластины, сжатие до -29,06 МПа – у противоположного края. Выявленная высокая сходимость результатов подтверждает применимость ультразвукового метода для оценки НДС конструкций.

Библиографический список

1. **Белевич А.В.** Основы технологической механики: текст лекций. – Владимир: Владимирский государственный университет, 1999.
2. **Бадалян В.Г., Воилкиин А.Х.** Радиография или ультразвук – что лучше? – Б.м., б.г.

*П.А. Воробьев, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СТРУКТУРА И МЕТОДЫ ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ ПО ДИНАМИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКЕ РОТОРА В СОБСТВЕННЫХ ОПОРАХ

Разработана основная структура лабораторной работы по проведению динамической балансировки ротора в собственных опорах, которая предполагается гибкой, а это значит то, что в работу могут входить разные методы одно- или двухплоскостной балансировки, которые выбирает преподаватель.

Изучены и освоены пять методов балансировки, которые могут быть использованы для проведения лабораторной работы:

1. Метод амплитуд (одноплоскостная балансировка);
2. Метод амплитуд и фаз (одноплоскостная балансировка);
3. Одноплоскостная балансировка с помощью виброанализатора СД-23 и встроенной в него программы «Балансировка» [1];
4. Метод единичных масс (двухплоскостная балансировка);
5. Двухплоскостная балансировка с помощью виброанализатора СД-23 и встроенной в него программы «Балансировка».

В объем готового задания по лабораторной работе входит:

1. При созданном дисбалансе ведущего вала на стенде ВАСТ ТС-2 выполнение виброанализатором СД-23 в режиме вне маршрута измерений в контрольных точках: временного дампа вибрации; прямого спектра виброперемещения или виброскорости; фазы виброперемещения или виброскорости.

2. Изучение одного из методов ручной аналитической балансировки, сбор необходимых параметров вибрации в соответствии с методом балансировки и расчет пробных масс и угла, на который они устанавливаются.

3. Освоение технологии (методики и практики) динамической балансировки в одной или двух плоскостях с помощью встроенной программы «Балансировка» виброанализатора СД-23.

Библиографический список

1. Виброанализатор СД-23, СД-23В. Руководство по эксплуатации ВАРБ.411711.103 РЭ-изм.12. – СПб.: ООО Ассоциация ВАСТ, 2018. – 178 с.

*К.А. Шумилов, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛАБОРАТОРНАЯ РАБОТА ПО ДИАГНОСТИРОВАНИЮ ДИСБАЛАНСА ВАЛА

Определение методами вибродиагностики распространенного дефекта роторной системы – дисбаланса ведущего вала (ротора условного электродвигателя) в модели привода на стенде ВАСТ ТС-2 с использованием виброанализатора СД-23, а также программы «DREAM32 v.5», следуя :

1. Выполнение внемаршрутных измерений общих параметров вибрации виброметром СМ-21М на стенде ВАСТ ТС-2 в двух состояниях привода:

- бездефектное состояние;
- состояние с искусственно созданными видами дисбаланса ведущего вала

2. Анализ результатов и установление первичных диагностических признаков дисбаланса [1, 2] (постановка первоначального диагноза).

3. Проведение измерений вибрации в контрольных точках в состоянии с созданным ранее видом дисбаланса с помощью виброанализатора СД-23 в режиме внемаршрутных измерений с последующим анализом характеристик вибрации [1, 2]:

- временной дамп вибрации;
- прямой спектр виброперемещения или виброскорости;
- фаза виброперемещения или виброскорости,

для подтверждения первоначального и установления окончательного диагноза.

4. Анализ результатов, установление закономерных связей диагностических признаков с дефектом, подготовка отчета по результатам работы. Анализ должен быть произведен путем установления причинно-следственных и логических связей дефекта и вибрационных параметров его проявления.

5. Дополнительно (по указанию преподавателя) произвести выгрузку результатов измерений из виброанализатора СД-23 в программу DREAM32 v.5, запустить модуль диагностики и сравнить результаты диагнозов.

Библиографический список

1. **Колобов А.Б.** Вибродиагностика: теория и практика: учеб. пособие / А.Б.Колобов. – М.: Инфра-Инженерия, 2019. – 252 с.
2. **Колобов А.Б.** Вибромониторинг промышленных машин: учебное пособие / А.Б.Колобов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.

СЕКЦИЯ 23
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Председатель –
д.т.н., профессор **Жуков В.П.**

Секретарь –
д.т.н., доцент **Беляков А.Н.**

*А.А. Грызунов, маг.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМАЛЬНОЕ РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ И ТЕПЛОВОЙ НАГРУЗОК МЕЖДУ ТУРБИН ТИПА ПТ НА ТЭЦ

Более половины тепловой энергии, выделяемой при сжигании топлива на тепловых электрических станциях, выбрасывается в атмосферу, что в значительной мере способствует тепловому загрязнению окружающей среды. Существенное снижение загрязнения среды обеспечивают теплоэлектроцентрали, на которых часть энергии используется для горячего водоснабжения и теплофикации [1, 2]. Изменение условий функционирования энергетических предприятий, обусловленное реструктуризацией отрасли, приводит к необходимости работать с существенно переменными графиками отпуска энергии. Сложность системы ТЭЦ, с одной стороны, и ее работа в переменных режимах, с другой, делает актуальной задачу выбора состава и режимов работы оборудования ТЭЦ с точки зрения наиболее эффективной ее работы. На теплоэлектроцентралях задача распределения заданной нагрузки между турбоагрегатами для обеспечения надежной и экономичной работы оборудования является безусловно актуальной.

В работе представлена постановка задачи оптимального распределения нагрузки между турбинами типа ПТ при заданных значениях отпуска теплофикационного, производственного отборов турбин и электрической мощности станции. В качестве целевой функции рассматривается суммарный расход пара, необходимый для обеспечения заданной нагрузки.

Для решения сформулированной задачи предложено математическое описание и алгоритм. Разработанная программа в среде MATLAB осуществляет поиск минимального значения целевой функции, при котором обеспечивается заданная нагрузка станции.

Библиографический список

1. Жуков В.П., Беляков А.Н. Барочкин А.Е. Матричное моделирование технологических систем: Учеб. пособие по курсу «Математическое моделирование» для студентов направления подготовки 13.04.01 «Теплоэнергетика и теплотехника» / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2020. – 88 с.
2. Ледуховский, Г.В. Оптимизация режимов работы ТЭС / Г. В. Ледуховский, А. А. Борисов, А. А. Поспелов, Е. В. Барочкин, В. П. Жуков // Вестник ИГЭУ. – 2005. – Вып. 4. – С. 17.

*Е.Е. Смирнова, студ., рук. В.Н. Денисов, д.т.н., доц.
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МКЭ-МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В ХЛЕБОПЕКАРНОЙ ПЕЧИ В ПРОГРАММНОМ ПАКЕТЕ ELCUT

Для создания цифрового двойника процесса выпечки базируется на описании стационарного процесса теплопередачи в печи на основе уравнения теплопроводности с переменными по координатам характеристиками вида:

$$\frac{\partial}{\partial x}(\lambda_x \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y}(\lambda_y \frac{\partial T}{\partial y}) = q(x, y) \quad (1)$$

где T – температура точек объекта, λ_x, λ_y – коэффициенты теплопроводности, $q(x, y)$ – функция источников тепла[1].

Численные решения уравнения теплопроводности находятся методом конечных элементов (МКЭ) с использованием программного пакета ELCUT. При моделировании процесса выпечки учитываются теплофизические характеристики печи, воздушной среды и теста. Благодаря симметричности геометрии оборудования и выпекаемого образца задача теплопереноса сводится к анализу осевого сечения: исследуемая область разделяется на участки посредством расчётной сетки, как указана на рисунке. Построенная модель позволяет наглядно представить распределение тепловых потоков между печью, воздухом и тестом [2]. На основе полученных в ELCUT решений оптимизируются параметры выпечки – минимизируются температурные градиенты в тесте, что способствует повышению качества готовой продукции.

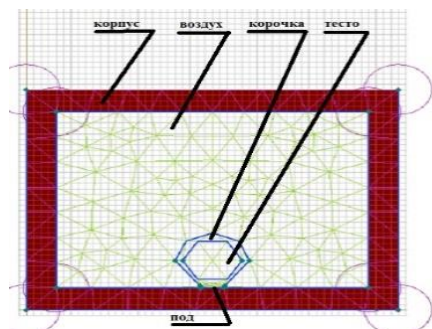


Рисунок 1 – Сетка МКЭ для цифрового двойника

Библиографический список

1. Туранский Д.В. Разработка и внедрение цифровых двойников для оптимизации хлебопекарных линий / Туранский Д.В. // Хлебопечение России. 2024. Т. 68. № 3. С. 134–143.
2. Куликова М.Г. Моделирование технологического оборудования в пищевой промышленности / Куликова М.Г., Кончина Л.В.// Естественные и технические науки. 2017. №5. С. 126-127

*С.А. Смирнов, асп.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ УСТАНОВКИ ДВИЖЕНИЯ ПУЗЫРЬКА ГАЗА В СЛОЕ ЖИДКОСТИ

Целью разработки экспериментальной установки является проведение исследования закономерностей движения пузырька газа при его всплытии в неподвижном слое жидкости, включая определение скорости движения, характера колебаний и влияния различных параметров (размера пузырька, свойств жидкости) на динамику процесса. Особое внимание уделяется изучению колебаний скорости пузырька, так как они существенно влияют на эффективность процессов тепло- и массообмена в газожидкостных системах.

Экспериментальная установка включает следующие основные элементы:

1. Вертикальная колонна (емкость). Вертикальный полукруглый канал заполнен водой, с одной стороны закрыт плоским стеклом, что обеспечивает визуальное наблюдение за движением пузырька. Плоское стекло обеспечивает меньшее искажение картинки, по сравнению с круглым каналом.
2. Система генерации пузырьков газа представляет собой капилляр/сопло на дне установки, через которое формируются пузырьки заданного диаметра.
3. Измерительная система включает: видеокамеру, обеспечивающая высокоскоростную съемку для регистрации траектории движения; отградуированную по высоте колонны линейку для определения координаты пузырька.
4. Система обработки данных. Компьютер с программным обеспечением для анализа движения пузырька, определения скорости, ускорения и размеров пузырька.

Принцип работы установки. Газ подается через сопло в нижней части колонны, формируя одиночные пузырьки, которые всплывают в жидкости под действием силы Архимеда. Движение пузырька регистрируется измерительной системой, после чего полученные данные используются для анализа скорости всплытия и ее колебаний.

*А.Д. Колмыкова, студ.; рук. А.М. Дунаев, к.х.н., доц.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ СГЛАЖИВАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ МАСС- СПЕКТРОМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

При обработке данных высокотемпературной масс-спектрометрии корректное выделение полезного сигнала из массива данных, включающего суммарный спектр (открытая ячейка Кнудсена) и фоновый спектр (закрытая заслонкой ячейка) является важнейшей математической задачей фильтрации и выделения экстремумов. Решение этой задачи необходимо для последующего определения ионного состава пара и количественной оценки интенсивностей.

В работе реализованы четыре метода сглаживания: Лоренца, скользящего среднего, Савицкого-Голея и Гаусса. Для оценки качества обработки использовались два критерия: гладкость результирующей кривой и сохранение формы исходных пиков. Для каждого метода были подобраны оптимальные параметры, обеспечивающие наилучшее соотношение между подавлением шума и сохранением полезного сигнала.

Сравнительный анализ проведён на пяти характерных пиках в широком диапазоне масс. Полученные результаты показали, что метод Гаусса обеспечивает наименьшую относительную погрешность восстановления интенсивности на всём диапазоне исследованных масс, что объясняется оптимальным соотношением между подавлением шума и сохранением формы сигнала. Метод скользящего среднего, напротив, приводит к наибольшим искажениям, особенно для пиков малой интенсивности.

Разработанное программное обеспечение позволяет обоснованно выбирать метод и параметры сглаживания в зависимости от характеристик входного сигнала и может быть использовано для автоматизированной обработки масс-спектрометрических данных в технологических задачах.

Работа выполнена при поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках Государственного задания (Проект № FZZW-2026-0005).

*А.С. Шмелев, асп.; рук. А.В. Огурцов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

БАРАБАННЫЙ СЕПАРАТОР ДЛЯ ФРАКЦИОНИРОВАНИЯ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ СМЕСИ

Для фракционирования полидисперсной песчаной смеси был разработан экспериментальный барабанный сепаратор (рис. 1). Установка изготовлена методом FDM 3D-печати из термопластика PLA, что обеспечило гибкость проектирования и снижение производственных затрат. Рабочим элементом является вращающийся цилиндрический барабан, внутренняя полость которого разделена продольными рёбрами на изолированные отсеки. Каждый отсек предназначен для накопления определённой фракции материала по мере его движения внутри барабана. Частота вращения барабана является ключевым конструктивным параметром, определяющим интенсивность и характер процесса сепарации.

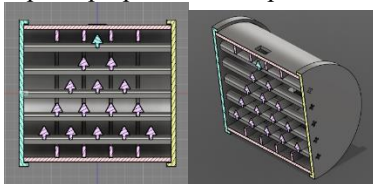


Рисунок 1 — Барабанный сепаратор для фракционирования полидисперсной смеси.

Разделение частиц осуществляется за счёт совместного действия гравитационных сил и центробежного эффекта, возникающего при вращении барабана. Смесь подаётся во вращающийся барабан, где частицы различного размера и плотности приобретают различные траектории движения: крупные и тяжёлые фракции под действием центробежных сил отбрасываются к стенкам и захватываются продольными рёбрами, распределяясь по соответствующим отсекам. Угловая скорость барабана управляет эффективностью сепарации.

Библиографический список

1. Капелович Б.Э. Эксплуатация паротурбинных установок. М.: Энергия, 1975. 288 с.

*А.М. Соколова, студ.; О. И. Миронычева; рук. Л.А. Тимошенко
(Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Смоленске)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПОЛУЧЕНИЯ СМУЗИ

Популярность смузи, содержащих пряные травы обуславливается полезностью и функциональными свойствами. Достижение однородности затрудняется разнообразностью компонентов, входящих в рецептуру продукта. Моделирование процесса измельчения дает возможность учитывать рецептуру и свойства компонентов. В куттере реализуется процесс скользящего резания, когда лезвие движется под углом [1,2].

$$P = \sqrt{P_n^2 + P_t^2} \quad (1)$$

где P_n^2 - нормальная составляющая силы резания, P_t^2 - касательная составляющая.

Затрачиваемая мощность на измельчение:

$$N = P \cdot v = P_n \cdot \frac{v}{\sin\theta} \quad (2)$$

где θ - угол скользящего резания, v - скорость резания.

Согласно исследованиям, скорость распространения деформации зависит от уруго-пластических свойств измельчаемых продуктов [3].

Критерий однородности можно представить в виде функций:

$$H = f(\omega, z, \alpha, \rho_i, \lambda_i) \quad (3)$$

где ω - угловая скорость, z - количество ножей, α - угол заточки ножа, ρ_i - плотность компонента, λ_i - коэффициент прочности сырья.

С учётом разными физико-механическими свойствами продуктов рецептуры введём поправки в модель резания:

$$P_n^{\text{сум}} = \sum_{i=1}^k \varphi_i \cdot P_{n,i} \quad (4)$$

где φ_i – массовая доля компонента в смеси.

Библиографический список

1. **Кондратьев, Д.Г.** Модель гидромеханического измельчения фруктов вращающимся ножом / Д. Г. Кондратьев, М. Г. Куликова, Ю. В. Синявский // Естественные и технические науки. – 2021. – № 6(157). – С. 178-179. – EDN MJRIMR.
2. **Кравцова Е.В., Алексеев Г.В., Гончаров М.В.** Определение оценочных величин критической нагрузки для формы лезвийного инструмента // Технологии пищевой и перерабатывающей промышленности АПК – продукты здорового питания. 2017. № 3(17). С. 59–65.

Р.А. Соломин, асп.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н., доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРОБЛЕМА МОДЕЛИРОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕННЫХ ПРОЦЕССОВ В ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНЫХ УСТАНОВКАХ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Процессы сжигания и газификации топлива в кипящем слое являются перспективной технологией благодаря интенсивному теплообмену, низким выбросам вредных веществ и возможности сжигать разнообразные виды твёрдых топлив, включая биомассу и отходы. Наряду с достоинствами, данная технология имеет и недостатки, такие как унос топлива из слоя, высокий абразивный износ поверхностей нагрева, а также агломерация частиц, являющаяся одной из причин нарушения работы котлов с кипящим слоем [1].

До настоящего времени исследования кипящего слоя проводились в основном экспериментально, соответственно, полученные зависимости носят эмпирический характер. Эти данные играют важную роль для понимания происходящих процессов, однако для дальнейшего внедрения данной технологии необходимо обобщение полученных результатов и разработка наиболее общих теоретических принципов работы аппаратов кипящего слоя на основе методов математического и численного моделирования. Математическое моделирование поможет спрогнозировать различные негативные эффекты, которые могут возникнуть в ходе эксплуатации, облегчить проектирование и совершенствование аппаратов кипящего слоя [2].

Исходя из вышесказанного, разработка адекватных математических моделей разнообразных процессов, происходящих в кипящем слое, является важной задачей для решения которой предлагается использовать подходы для описания систем с распределёнными параметрами на основе дискретных математических моделей.

Библиографический список

1. **Рябов Г.А., Литун Д.С.** Агломерация при сжигании и газификации топлив в кипящем слое // Теплоэнергетика. – 2019. - №9. – с. 42-59.
2. Моделирование теплообмена в реакторах с полидисперсным кипящим слоем / А.В. Митрофанов, В.А. Огурцов, В.А. Магницкий, В.Е. Мизонов, Н. Berthiaux // Вестник Ивановского государственного энергетического университета. – 2022. - № 4. – с. 62-66.

Гилев Н.А., студ.; рук. Е.А. Шуина, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЕ НЕЙРОСЕТЕЙ НА МУЗЫКАЛЬНУЮ СФЕРУ: АНАЛИЗ ПРЕИМУЩЕСТВ И ОГРАНИЧЕНИЙ

Целью работы является количественная оценка изменения качества и разнообразия музыкального контента при использовании нейросетевых технологий генерации и обработки.

В настоящее время нейросети позволяют автоматизировать сочинение музыки, мастеринг и реставрацию записей. Это повышает производительность, однако ведёт к риску стандартизации и потери уникальности произведений. Для формализации введём две метрики.

Качество звучания Q определяется как:
 $Q = 1 - \sigma / \sigma_{\max}$, где $\sigma = \sqrt{(1/N) * \sum (x_i - \mu)^2}$.

Разнообразие D определяется через энтропию:
 $D = - \sum p_j \log_2 p_j$.

Процесс генерации моделируется по зависимостям:
 $Q(t) = Q_{\max}(1 - e^{-(t/\tau_q)}) - \beta t$
 $D(t) = D_0 e^{-(t/\tau_d)} + \gamma t e^{-(t/\tau_\gamma)}$.

Параметры модели: $Q_{\max}=0.95$, $\tau_q=5$, $\beta=0.01$; $D_0=0.85$, $\tau_d=8$, $\gamma=0.2$, $\tau_\gamma=3$.

На рис. 1 представлена зависимость $Q(t)$ и $D(t)$.

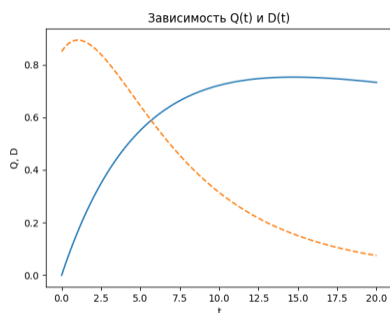


Рисунок 1 – Зависимость качества $Q(t)$ (сплошная линия) и разнообразия $D(t)$ (пунктир) от числа тактов.

Таким образом, нейросети повышают качество на начальном этапе, однако при длительном использовании наблюдается снижение разнообразия и частичное ухудшение качества.

Библиографический список

1. Huang C.-Z. A., Vaswani A. et al. Music Transformer: Generating Music with Long-Term Structure. – ICLR, 2023.
2. Briot J.-P., Hadjeres G., Pachet F. Deep Learning Techniques for Music Generation. – Springer, 2020.
3. Шуина Е.А., Гилев Н.А. Оценка разнообразия музыкальных фрагментов. – 2025.

*И.С. Счастнев, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

На атомных электрических станциях (АЭС) в районах с дефицитом водных ресурсов для охлаждения циркуляционной воды часто используются башенные градирни. Неисправность градирни или отклонение ее режимных параметров от номинальных значений могут приводить к существенному снижению показателей эффективности работы станции [1-2]. Наряду с нарушениями режимов работы оборудования возможно также увеличение потерь циркуляционной воды с капельным уносом, что создает дополнительные проблемы особенно при эксплуатации электрических станций в районах с дефицитом водных ресурсов. Разработка модели и методики диагностики состояния оборудования систем оборотного охлаждения (СОО) с выявлением причин отклонения от номинального состояния представляется актуальной темой исследований.

Решение прямых и обратных задач диагностики СОО выполняется в рамках математических моделей оборудования, построенных на основе балансовых уравнений энергии и массы.

На основе матричного подхода выполнено моделирование, постановка и решение обратных задач диагностики распределения потоков воды и воздуха по сечению градирни с учетом капельного уноса охлаждающей воды и режимов работы оборудования СОО. На базе полученных решений предложены рекомендации по устранению обнаруженных дефектов. Разработаны алгоритмы диагностики, которые предполагается реализовать в информационном программном комплексе мониторинга состояния оборудования систем оборотного охлаждения.

Для совершенствования и доведения информационной системы до практического использования необходима организация обмена актуальными данными со штатными измерительными приборами реального энергетического оборудования.

Библиографический список

1. **Рыжкин В.Я.** Тепловые электрические станции. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 328 с.
2. **Исаченко В.П.** Теплообмен при конденсации. – М.: Энергия, 1977. – 240 с.

*И.А. Кокулин, асп; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЗАГРЯЗНЕНИЯ ДИСТИЛЛЯТА В ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

На тепловых и атомных электрических станциях широко используются термические способы подготовки воды, которые имеют ряд экологических и экономических преимуществ. Термические способы часто реализуются в испарительных установках, которые позволяют получать дистиллят при использовании низкопотенциального тепла, что делает эти установки перспективным направлением подготовки воды на тепловых и атомных электрических станциях. Следует отметить, что капельный унос жидкости в испарительных установках существенным образом влияет на качество дистиллята. Молекулярный пар практически не содержит примесей, однако при повышении интенсивности подвода энергии и парообразования возможен унос капель жидкости с паром, что приводит к загрязнению готового продукта. Для выбора эффективных режимов работы и конструктивных параметров испарительной установки разработка математической модели теплообмена с учетом капельного уноса жидкости приобретает особую актуальность.

В рамках работы предложена матричная модель многоступенчатой испарительной установки, учитывающая капельный унос жидкости при испарении и соответствующее загрязнение примесями готового продукта.

Разработанная модель процесса теплообмена применительно к многоступенчатым испарительным установкам мгновенного вскипания позволяет формулировать и решать задачи по эффективной организации процессов теплообмена в МИУ различного назначения, что служит, в свою очередь, основой для постановки и решения задач по выбору оптимальных конструктивных и режимных параметров водоподготовительных установок с МИУ.

Библиографический список

1. Назмиев Ю.Г., Лавыгин В.М. Теплообменные аппараты ТЭС. – М.: Энергоатомиздат, 1998. – 288 с.
2. Справочник по теплообменникам: в 2 т. Т. 1: пер. с англ. / под ред. О.Г. Мартыненко и др. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 560 с.
3. Жуков В.П., Кокулин И.А., Виноградов В.Н. Моделирование и расчет процесса теплообмена в многоступенчатых многопоточных испарителях мгновенного вскипания // Вестник ИГЭУ. – 2023. – Вып. 1. – С. 71–78.

И.Д. Аксаковский, асп.;
рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.; Д.С. Бараковских, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕШЕНИЕ ОБРАТНОЙ ЗАДАЧИ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ В ЗАМКНУТОМ ЦИКЛЕ СО СТРУЙНОЙ МЕЛЬНИЦЕЙ

Измельчение порошков в струйных мельницах позволяет получать чистые продукты для химической, фармацевтической и других отраслей промышленности. Для обеспечения требований к гранулометрическому составу готового порошка возникает необходимость организовывать работу мельницы в замкнутом цикле с классификатором для выделения готовых наработанных фракций, не допуская их переизмельчения. Сказанное обуславливает актуальность разработки математических моделей замкнутых циклов измельчения со струйными мельницами, которые позволяют ставить и решать задачи проектирования и диагностики состояния таких систем. Разработка адекватных математических моделей и методов диагностики замкнутых циклов струйного измельчения является актуальной научной и практической задачей.

В рамках проведенных исследований разработана математическая модель замкнутого цикла струйного измельчения с произвольной структурой связей между элементами. С использованием полученных экспериментальных данных проведена идентификация матричной модели струйного измельчения. В рамках представленной модели предложен подход к постановке и решению обратных задач диагностики систем струйного измельчения для эффективной наработки порошков с заданными характеристиками.

В результате моделирования, проведенных расчетных и экспериментальных исследований измельчения порошков в ТСИ со струйной мельнице получено адекватное описание измельчения, что позволило перейти к решению обратных задач диагностики и проектирования данных установок.

Библиографический список

1. **Mizonov V., Zhukov V., Bernotat S.** Simulation of Grinding: New approaches. – Ivanovo, 1997. – 108 p.
2. **Сиденко П.М.** Измельчение в химической промышленности. – М.: Химия, 1977. – 368 с.
3. A simulation model for an air-swept ball mill grinding coal / L.G. Austin, P.T. Luckie, K. Shoji, et al. // Powder Technology. – 1984. – Vol. 38, Issue 3. – P. 255–266.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 18 АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ	3
Д.А. Дюжев, Разработка рук-манипуляторов сервисного робота-гида 4	
Г.А. Богомоллов, Автономное зарядное устройство на основе электромеханического преобразователя	5
Е.А. Варигин, И.А. Жуков, Разработка роботизированного манипулятора с элементами машинного зрения для прохождения полосы препятствий.....	6
А.Б. Васенин, С.Е. Степанов, Пуск электропривода вентилятора АВО газа	7
Р.Б. Туганов, Е.В. Бычков, Интегрированные электроприводные турбокомпрессоры в монокорпусе	8
Е.С. Подшивалов, В.А. Ипполитов, Электромагнитная совместимость электроприводов с активными фильтрами при резонансах в электроснабжении	9
И.А. Жуков, М.О. Ешкутов, Проектирование аппаратно-программного комплекса управления гусеничным роботом.....	10
В.А. Занозин, Особенности применения синхронных электродвигателей серии ДБМ.....	11
В.Д. Аронова, Синтез нечеткой системы позиционирования крана... 12	
А.Р. Воронин, Разработка системы автоматики высоковольтного преобразователя частоты	13
К.Д. Рогожников, Модернизация электропривода трубопроводной арматуры технологической системы АЭС	14
Е.М. Синельщиков, Система управления и программно-аппаратная реализация стенда с беговыми барабанами для испытания мототехники на усталостную прочность	15
И.М. Корешкова, Синтез трехпалого схвата манипулятора.....	16
А.Р. Воронин, Разработка человеко-машинного интерфейса высоковольтного преобразователя частоты.....	17
Д.С. Зайцев, Моделирование бездатчиковой системы векторного управления СДПМ в среде MATLAB Simulink	18
Степашкин Д.Е., Моделирование элементов системы управления электропривода	19
И.М. Корешкова, Разработка мехатронного стенда управления линейным перемещением	20
А.А. Соколов, Проектирование многомерных электромехатронных систем с использованием нелинейных моделей	21
Н.Н. Иванова, Диагностирование электроприводной арматуры на основе анализа электрических параметров	22

Д.Е. Быков, Сравнительный анализ и оптимизация гибридного нейро-ПИД-регулятора для манипулятора типа SCARA	23
М.Д. Худяков, Изучение возможностей пульта оператора станка с ЧПУ в рамках лабораторного практикума	24
И.А. Коновалов, Исследование электропривода поглощающих стержней атомного реактора	25
Н.П. Ингликов, Применение нейросетевых регуляторов в системах управления электроприводами	26

СЕКЦИЯ 19 ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

М.А. Голубев, И.А. Палилов, Численное конечно-элементное моделирование электромеханических процессов в системе двух асинхронных двигателей, работающих на общую нагрузку	28
Д.А. Ульянов, Исследование удельных моментных характеристик индукторного двигателя в зависимости от величины воздушного зазора	29
Е.А. Курлаков, Исследование синхронного реактивного двигателя для привода скважинных насосов	30
Р.С. Захаров, Повышение эффективности моделирования электромеханических процессов в асинхронных машинах при испытаниях методом взаимной нагрузки	31
А.А. Миронова, Разработка схемы замещения для токов через подшипник электродвигателя	32
Д.С. Голодюков, Оптимизация питающего напряжения вентильно-индукторного двигателя	33
Е.Р. Соловьев, Учет гистерезиса в имитационной модели трансформатора тока	34
Н.С. Гусев, Погружной электродвигатель для привода скважинных насосов	35
А.С. Глумов, Нелинейная имитационная модель асинхронного двигателя для виброустановки	36
В.Д. Бакланов, Влияние статичных магнитных полей на удерживаемый перепад давлений	37
В.Р. Хусанов, Конструирование устойчивых к модификации 3D моделей электрических машин	38

СЕКЦИЯ 20 МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Д.Д. Ильин, Синтез системы управления положением на базе компьютерного зрения	40
---	----

И.С. Бабошин, Нейро-нечёткое регулирование в асинхронном электроприводе	41
Н.С. Рыбин, Акустическая мишень для пневматики: принцип работы и математическое описание	42
М.С. Баранова, Пульт дистанционного управления с нестандартной системой команд	43
И.А. Мякинин, Микроконтроллерная система поддержания температурного режима в ёмкостном реакторе	44
А.Д. Баранов, Ю.А. Кутузова, Коррекция коэффициента мощности для мехатронной системы с ШИП-ДПТ	45
М.В. Бодунов, Обзор методов оптимизации скорости срабатывания и чувствительности ёмкостного датчика касания	46
Р.И. Ефименков, Устройство мониторинга параметров электропитания цеха для предприятия	47
Р.А. Дашков, Идентификация параметров электромеханических систем с применением искусственных нейронных сетей	48
В.М. Васильев, Применение искусственных нейронных сетей в задачах идентификации параметров объектов управления в замкнутом контуре	49
М.А. Квашнин, Идентификация параметров математической модели асинхронного двигателя при помощи нейросети	50
В.Ю. Федоров, Проблемы бюджетных зарядных устройств для литий полимерных аккумуляторов и методы их решения	51
Н.С. Успенский, Разработка дозиметра-радиометра	52
М.Д. Кантан, Вибрационная диагностика кепстральным анализом	53
П.Е. Редькин, Концепция стенда для исследования потоков жидких сред с использованием метода PIV	54
Е.А. Макарова, Разработка макета городской среды с функционирующей пожарной частью	55
И.Н. Фролов, Анализ перспективных ОЭП оксиметрии на основе зарубежного опыта	56
Н.А. Скребов, Разработка устройства для измерения силы тока привода смесителя	57
А.С. Корнев, Синтез двухуровневой системы управления климат-контролем теплицы	58
И.Р. Пузаненков, Устройство автоматического отключения автомобильного аккумулятора при аварии	59
А.М. Сеничкина, В.В. Цыгина, Электронный предсказатель погоды на базе Arduino	60
А.А. Гуля, Цифровые подстанции и интеллектуальные устройства РЗА в условиях модернизации энергосистемы Амурской области	61

А.В. Хрустикова, И.Н.Фролова, Оптико-электронная система лазерной терапии с обратной связью	62
Е.Н. Лукьянова, Сравнительный анализ нейросетевых методов идентификации параметров двухмассовой электромеханической системы.....	63
К.А. Колпаков, Разработка схемы резервирования питания микроконтроллеров.....	64
А.А. Марченков, И.Н. Фролов, Сравнительный анализ оптических систем формирования изображения.....	65
А.А. Исайченков, Разработка механизма идентификации монет для электронной копилки	66
М.П. Иванов, Разработка пачечного ножа с автономным питанием и контролем нагрева лезвия.....	67
А.Д. Баранов, Повышение энергоэффективности мехатронной системы ШИП-ДПТ	68
А.С. Махлычев, Разработка схвата для сбора ягод.....	69
Д.Е. Мухин, Анализ операционных систем реального времени для задач управления техническими объектами	70
А.Л. Лямец, Анализ информативности SWIR-, MWIR- и LWIR-диапазонов при обнаружении БВС	71
В.В. Филиппов, Структурная схема MP3-плеера	72
Д.В. Качинская, Структура аркадного игрового автомата	73
В.А. Чувашов, Структурная схема лабораторного стенда «Основы цифровой электроники».....	74
Н.С. Евневич, Структурная схема игрового руля с силовой обратной связью	75
А.Н. Марченков, Методика выбора высокочастотного шунтирующего конденсатора для увеличения срока службы электролитов DC-Link в преобразователях частоты	76
А.Н. Марченков, Структурная схема экспериментального стенда для исследования влияния шунтирующего конденсатора на ресурс электролитов DC Link.....	77
М.А. Рыжиков, Применение искусственного интеллекта в системах пожарной сигнализации.....	78
СЕКЦИЯ 21 ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ.....	79
А.М. Барамидзе, Дробеструйная обработка при изготовлении валов	80
А.А. Валатина, Кварцевые формовочные материалы при литье в песчаные формы.....	81
А.А. Жуков, Проблемы и перспективы лазерной полировки поверхностей сложной геометрии из сплава AlSi10Mg	82

Н.А. Будагов, Исследование сил при резании стали 40Х.....	83
М.К. Файзуллоев, Инновационные решения в области подачи смазочно-охлаждающих жидкостей.....	84
Д.Р. Гулин, Стружкообразование при резании стали	85
А.В. Романов, Д.А. Ноздрин, Автоматизированное проектирование технологической оснастки	86
К.Д. Щербаков, А.В. Романов, Анализ напряжённо-деформированного состояния шлицевого вала коробки передач с использованием детализированной конечно-элементной модели.....	87
Д.А. Ноздрин, А.В. Романов, Современные подходы к проектированию машиностроительной продукции.....	88
А.В. Романов, Обеспечение качества сверления пакетов «алюминий-углепластик» с применением фрактальной диагностики осевой силы и комбинированного режущего инструмента	89
А.В. Романов, Автоматизация построения маршрутных технологических процессов в единичном производстве с применением графового представления деталей и гибридного ИИ-подхода.....	90
А.В. Романов, Д.А. Левинский, Зависимость количества управляемых осей транспортных устройств подачи инструмента от пространственной организации инструментальных складов в гибких производственных комплексах.....	91
А.В. Романов, Повышение виброустойчивости пятиосевого фрезерования лопаток компрессора на основе карт устойчивости и адаптивного регулирования подачи	92
А.В. Романов, Цифровой двойник технологического процесса резания архитектура, калибровка моделей и адаптивное управление в реальном масштабе времени.....	93
К.Д. Щербаков, А.В. Романов, Экологически ориентированные стратегии механообработки: снижение расхода СОЖ, энергозатрат и объема производственных отходов	94
Д.А. Ноздрин, Н.А. Овсянников, Проблематика и перспективные направления развития отечественного машиностроения.....	95
Д.А. Ноздрин, А.В. Волков, Оценка влияния химико-термической обработки на качество поверхности.....	96
Д.А. Ноздрин, Современные подходы к повышению износостойкости инструмента для механической обработки	97
Д.А. Ноздрин, Н.А. Овсянников, Современные технологические решения в машиностроительном производстве.....	98
Д.А. Ноздрин, Повышение износостойкости инструментальных покрытий на основе комплексных методов упрочнения.....	99

Д.А. Стрелов, Выбор метода упрочнения поверхностного слоя детали	100
П.В. Пучков, А.А. Покровский, Поплавковое устройство для всасывающего рукава	101
П.В. Пучков, Восстановление пластмассовых деталей с помощью аддитивных технологий.....	102
А.А. Каприльянц, Проект интегрированной линии переработки пластика.....	103
П.К. Куатбаев, Ш.Т. Отепбергенов, Повышение энергоэффективности ДС-станций быстрой зарядки на основе возобновляемых источников энергии и интеллектуального управления	104
М.О. Одаренко, Оптимизация технологической схемы производства растворимого горячего шоколада.....	105
А.А. Круковский, О.И. Миронычева, Анализ резонансных и прямых вибрационных технологий для снижения энергопотребления виброгрохотов.....	106
А.А. Круковский, Оценка факторов, влияющих на качество и эффективность просеивания муки на вибрационных грохотах	107
А.А. Каприльянц, Конструирование зуборезного инструмента в САД системе КОМПАС – 3Д.....	108
А.А. Каприльянц, Оптимизация термической обработки вала – шестерни Ц2-028 токами высокой частоты	109
А.А. Каприльянц, Конструирование шестерен.....	110
А.А. Каприльянц, Влияние термической обработки на долговечность.....	111
А.А. Каприльянц, Зависимость конструктивного исполнения и влияния на прочность от технологического процесса финишной обработки	112
Р.Н. Селивохин, Влияние процесса фильтрации на органолептические характеристики пива.....	113
Р.Н. Селивохин, Влияние автоматизации технологического процесса производства фильтрованного светлого пива на качество готовой продукции.....	114
А.М. Соколова, Перспективы модернизации ножей куттера для повышения эффективности процесса измельчения зелени.....	115
П.М. Требина, Перспективные методы интенсификации экстракции растительного сырья.....	116
П.М. Требина, Влияние режимов экстракции на выход сахарозаменителя инулина	117

СЕКЦИЯ 22 ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ.....	118
В.О. Герасимов, Применение стержневой модели для описания напряженного состояния антикоррозионного покрытия.....	119
Е.И. Герцева, Анализ динамики подшипника качения	120
М.А. Тельманова, Анализ конструкций теплообменных аппаратов.	121
М.А. Скворцова, Расчёт подшипника скольжения гидроцилиндра подъёма стрелы	122
Д.И. Худов, Прочностной анализ металлоконструкции мостового крана	123
С.Ю. Коробенин, Разработка расчётной схемы нагружения поворотной рамы автокрана КС-55713-5.....	124
Д.М. Рогожин, Разработка навесного режущего устройства для переработки древесно-растительных отходов	125
Я.А. Скороходова, Уточнённое аналитическое моделирование колебаний крышки бака трансформатора с учётом конструктивных особенностей.....	126
Д.О. Фролова, Расчет дисковых рабочих органов на прочность и износ	127
Е.Э. Ильина, Д.С. Беззубов, Аддитивное изготовление скаффолдов на основе трижды периодических минимальных поверхностей	128
А.А. Кочетова, Анализ влияния теплотехнических свойств перегородок на КПД теплообменника	129
В.М. Седов, Проблема термомеханического разрушения первичного металлического барьера в резервуарах хранения СПГ.....	130
Л.А. Барчишина, Проектирование и расчет на прочность стеллажных конструкций	131
Я.О. Корovina, Исследование деформации прессованного решетчатого настила.....	132
Р.П. Чекунов, Расчет напряженно-деформированного состояния элемента стрелы автокрана.....	133
Д.О. Фролова, Численный анализ процесса выдавливания жидкости из емкости путем подачи воды	134
Я.А. Скороходова, Д.М. Рогожин, Модернизация конструкторской документации узла «Установка заглушки» для масляного трансформатора.....	135
Д.С. Антипин, Исследование трибологических свойств в подшипниках качения.....	136
П.А. Воробьев, Проблемные узлы конструкций рекуперативных теплообменных аппаратов	137

К.А. Шумилов, Д.С. Антипин, Исследование устойчивости понтона	138
К.М. Филиппова, К вопросу об определении НДС конструкций ультразвуковым методом.....	139
П.А. Воробьев, Структура и методы лабораторной работы по динамической балансировке ротора в собственных опорах	140
К.А. Шумилов, Лабораторная работа по диагностированию дисбаланса вала.....	141
СЕКЦИЯ 23 МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ	142
А.А. Грызунов, Оптимальное распределение электрической и тепловой нагрузок между турбин типа ПТ на ТЭЦ.....	143
Е.Е. Смирнова, МКЭ-моделирование теплопередачи в хлебопекарной печи в программном пакете ELCUT.....	144
С.А. Смирнов, Разработка экспериментальной установки движения пузырька газа в слое жидкости.....	145
А.Д. Колмыкова, Сравнительный анализ методов сглаживания при обработке масс-спектрометрических данных	146
А.С. Шмелев, Барабанный сепаратор для фракционирования полидисперсной смеси.....	147
А. М. Соколова, О. И. Миронычева, Математическое моделирование процесса получения смузи.....	148
Р.А. Соломин, Проблема моделирования тепломассообменных процессов в высокотемпературных установках кипящего слоя	149
Гилев Н.А., Влияние нейросетей на музыкальную сферу: анализ преимуществ и ограничений	150
И.С. Счастнев, Моделирование и диагностика состояния башенной градирни	151
И.А. Кокулин, Моделирование загрязнения дистиллята в испарительных установках	152
И.Д. Аксаковский, Решение обратной задачи измельчения в замкнутом цикле со струйной мельницей.....	153
СОДЕРЖАНИЕ	154

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

**XXI ВСЕРОССИЙСКАЯ
(XIII МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2026»**

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 4

Печатается в авторской редакции

*Составитель: Сороковник М.Е.
Компьютерная верстка: Сороковник М.Е.*

Подписано в печать 19.06.2026. Формат 60x84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л. 9,42
Тираж электронное издание.
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ