

Министерство науки и высшего образования РФ
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»

**ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ**

«ЭНЕРГИЯ-2023»

ВОСЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕСЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 16 - 18 мая 2023 года

ТОМ 4

ИВАНОВО

ИГЭУ

2023

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ//

Восемнадцатая всероссийская (десятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия–2023»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2023. – 116 с.

ISBN 978-5-00062-559-0
ISBN 978-5-00062-563-7(Т.4)

Тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых учёных, помещенные 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: проректор по научной работе, д.т.н., проф. **В.В. ТЮТИКОВ**.

Зам. председателя: начальник управления НИРС и ТМ, к.т.н., доц. **А.В. МАКАРОВ**

Члены оргкомитета по направлению: декан электромеханического факультета – к.т.н. **Л.Н. Крайнова**, зав. кафедрой ЭиМС – к.т.н., доц. **И.А. Тихомирова**, зав. кафедрой ТМ – к.т.н., доц. **И.И. Ведерникова**, зав. кафедрой ЭиАПУ – к.т.н., доц. **М.С. Куленко**, зав. кафедрой ЭМ – к.т.н., доц. **С.А. Нестеров**, зав. кафедрой ТиПМ – д.ф.-м.н., доц. **Л.Б. Маслов**, зав. кафедрой ПМ – д.ф.-м.н., проф. **В.П. Жуков**, зам. декана ЭМФ по студенческой науке – к.т.н., доц. **В.В. Аполонский**.

Ответственный секретарь: к.т.н., доц. **Аполонский В.В.**

СЕКЦИЯ 20
АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

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

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

*Е.В. Балбушина, студент; К.К. Ермаков, аспирант;
рук. А.Б. Виноградов, д.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

АНАЛИЗ ТЕКУЩЕГО СОСТОЯНИЯ И ТЕНДЕНЦИЙ РАЗВИТИЯ ЭМТ КАРЬЕРНЫХ САМОСВАЛОВ

В современном мире наиболее перспективным и востребованным методом добычи ископаемых, обеспечивающим наиболее безопасное и эффективное извлечение из недр земли, является добыча полезных энергоресурсов открытым способом. В России, на момент написания работы, данным образом ведется добыча 91% железных руд, порядка 70% цветных металлов и 60% угля [1].

Карьерный автомобильный транспорт является наиболее востребованным способом доставки горной массы со дна карьера до места разгрузки. Большие затраты на стоимость транспортировки определяют существующие тенденции сокращения автомобильного парка с одновременным увеличением средней грузоподъемности используемых автосамосвалов.

Преобладающие сейчас в разрезах самосвалы с тяговыми приводами постоянного тока уже не удовлетворяют современным требованиям по надежности, экономичности и качественным показателям движения, повсеместно уступая автотранспорту на базе ЭМТ переменного тока. На момент написания работы на рынке России представлены карьерные самосвалы производства компаний: БелАЗ, Caterpillar, Komatsu, Hitachi, Terex, Liebherr. Из отечественных представителей ЭМТ стоит выделить крупносерийных: АО «Силовые машины», ООО «Русэлпром».

Соответственно, для успешного продвижения своих решений, производителям ЭМТ требуется постоянная разработка и интеграция новых эффективных алгоритмов управления ЭМТ для повышения качества управления самосвалом при различных дорожных условиях, снижение эксплуатационных расходов.

Таким образом, в рамках программы разработки и интеграции новых технологий существует необходимость в разработке новых алгоритмов как верхнего, так и нижнего уровней управления ЭМТ карьерного самосвала, позволяющих повысить конкурентоспособность отечественных карьерных самосвалов как на внутрироссийском, так и на мировом рынке.

Библиографический список

1. Камышьян А.М. Структура и алгоритмы управления бесконтактным тяговым электроприводом карьерных самосвалов: «Электротехнические комплексы и системы»: Диссертация на соискание кандидата технических наук / Камышьян, А. М.; Санкт-Петербургский горный университет. — Санкт-Петербург, 2019. — 141 с.

Д.Э. Судаков, студент; рук. А.А. Алексеев (ИГЭУ, Иваново)
**СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ
ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА CUTTER GT**

Cutter GT (рис. 1) – малогабаритный станок с числовым программным управлением (ЧПУ), обладающий пятью управляемыми осями и высокоскоростным шпинделем. Наличие пяти управляемых осей и высокоскоростного шпинделя позволяет станку обрабатывать детали из различных материалов и со сложной формой, обеспечивать высокую точность и качество обработки, а также быстро обрабатывать материалы, благодаря чему существенно увеличивается производительность станка и количество деталей, обрабатываемых за единицу времени.

Станок работает под управлением отечественной системы ЧПУ IntNC Pro, в состав которой входит контроллер IntServo, сервоусилители IntAmp и пульт оператора IntOP. Данная система достаточно надежна и стабильна, благодаря чему может обеспечиваться бесперебойная работа станка. Несмотря на то, что IntNC Pro имеет множество функций, она обладает удобным интерфейсом, с которым достаточно просто разобратся.

Целью работы является исследование системы управления электроприводами станка Cutter GT. На всех осях установлены синхронные двигатели YMPС 60ST мощностью 400 Вт. Ось Y при этом является портальной, управляемой одновременно двумя двигателями. В качестве привода главного движения выступает асинхронный бездатчиковый мотор-шпиндель GDF80-24Z мощностью 1.5 кВт с номинальной скоростью 24000 об/мин.

Предполагается, что станок такого типа будет использоваться для выполнения лабораторных работ на кафедрах электропривода (ЭПиАПУ) и технологии машиностроения (ТМС) ИГЭУ.



Рис. 1. Станок Cutter GT с ЧПУ IntNC Pro

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

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА ВОДОПРОВОДНОЙ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

В докладе рассматривается электропривод и автоматика насосной станции АО «Водоканал» г. Иваново.

Насосная станция содержит два насосных агрегата, каждый из которых состоит из центробежного насоса и электропривода с асинхронным короткозамкнутым двигателем (рис.1).

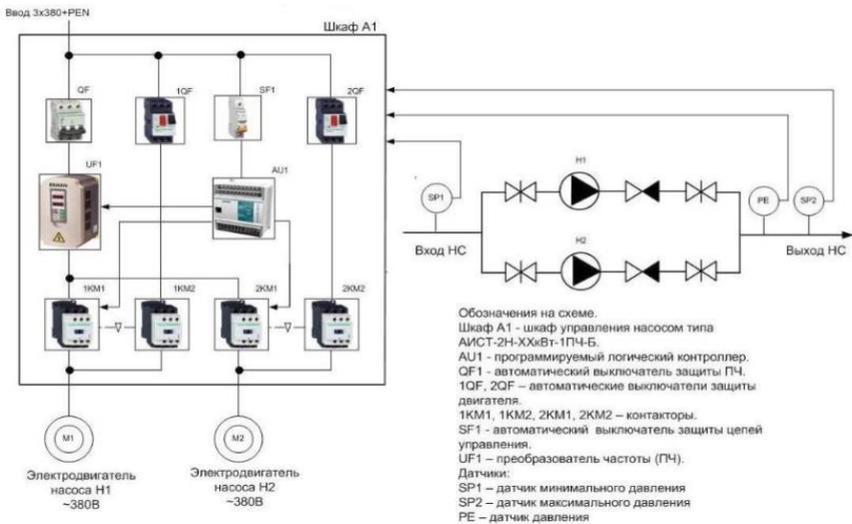


Рис. 1. Оборудование насосной станции

В состав оборудования станции входит также шкаф управления насосами (см. рис. 1), содержащий программируемый логический контроллер AU1, преобразователь частоты UF, автоматические выключатели защиты преобразователя частоты QF1, защиты двигателей 1QF, 2QF и цепей управления SF1, а также коммутационную аппаратуру – контакторы 1KM1, 1KM2, 2KM1, 2KM1.

Структура системы управления обеспечивает работу насосов как в ручном, так и в автоматическом режимах. В автоматическом режиме замкнутая система частотно-регулируемого электропривода с помощью датчиков давления SP1, SP2, PE (см. рис. 1) поддерживает заданное давление в системе водоснабжения.

*М.Ю. Красильников, студент, А.А. Алексеев, аспирант;
рук. В.В. Тютиков, д.т.н., проф (ИГЭУ, Иваново)*

БЕЗДАТЧИКОВАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫМ ШПИНДЕЛЕМ

Технология высокоскоростной обработки (ВСО) позволяет добиться наиболее сложных форм поверхностей, уменьшения нагрева заготовки, а также дает возможность применять инструменты меньшего размера, что ускоряет производственный процесс и увеличивает его качество [1]. Для ВСО необходимы шпиндели, способные стабильно работать в области высоких скоростей (от 12000 об/мин), а также система управления (СУ), которая будет способна обеспечить высокие динамические и статические характеристики.

Основной проблемой в применении высокоскоростных шпинделей является отсутствие доступных датчиков скорости (положения), способных нормально функционировать на высоких скоростях. Поэтому возникает потребность в СУ, которая сможет поддерживать скорость шпинделя без датчика скорости (положения). Кроме того, система должна иметь высокие динамические и статические характеристики, приближенные к системам с датчиком.

Существуют различные подходы к решению данной проблемы. Был выбран метод построения СУ с адаптивным наблюдателем. В адаптивных наблюдателях скорость определяется с помощью некоторого закона адаптации (часто связанного с ПИ-регулятором), который компенсирует неопределённость в механической части привода [2]. Данный подход позволяет работать на средних и высоких скоростях, но при работе на низких скоростях точность оценки сильно падает, что ведет к неустойчивости системы. Для решения данной проблемы был разработан безударный переход между частотно-токовым управлением и управлением по наблюдателю.

В рамках исследования было проведено математическое моделирование СУ в комплексе Matlab Simulink и реализация алгоритма управления на контроллере движения IntServo.

Библиографический список

1. **Цейтлин А.** Высокая скорость обработки. Антикризисные рецепты от CSoft: InvectorCAM // CADmaster. 2009. № 2-3. С. 46-55.
2. **J. Holtz.** Sensorless Control of Induction Motor Drives // Proceedings of the IEEE. 2002. Vol. 90, No. 8. P. 1359-1394.

*И.И. Газизов, студент; рук. А.А. Алексеев
(ИГЭУ, Иваново)*

СРАВНЕНИЕ И ВЫБОР ЯЗЫКА ПРОГРАММИРОВАНИЯ ПЛИС ДЛЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ INTAMP-55

При разработке силового преобразователя IntAmp-55 для приводов главного движения металлорежущих станков одной из задач является выбор вычислительной платформы, на которой будут реализованы алгоритмы управления, опроса датчиков, защиты и т.п. При выборе вычислительной платформы предпочтение было отдано программируемым логическим интегральным схемам (ПЛИС), так как они обладают высоким быстродействием и возможностью одновременного выполнения нескольких функций.

Для реализации алгоритмов управления требуется выбрать язык программирования: VHDL, Verilog или SystemVerilog.

В Verilog и VHDL инженеры могут представить необходимую функциональность в виде текста программы. Затем модель симулируется для проверки, что дизайн работает так, как требуется. В модели могут быть подкорректированы любые проблемы, и симуляция проверит эту коррекцию.

VHDL это богатый, строго типизованный и строго детерминистический язык, более подробный, чем Verilog. В результате проекты, написанные на VHDL, считаются самодокументированными. Синтаксис сильно отличается от стиля языка C, и инженеры, работающие в VHDL, постоянно сталкиваются с необходимостью явного преобразования из одного типа данных в другой. VHDL часто сразу показывает ошибки, которые пропускает Verilog. VHDL имеет подчеркнута однозначно недвусмысленную семантику, и поэтому легче переносится между разными системами разработки.

Verilog слабо проверяет типы, и более краткий, с эффективной нотацией. Он также детерминистический. Все типы данных в заранее определены в Verilog, и каждый из них имеет битовое представление.

SystemVerilog включает ряд расширений Verilog HDL с целью помочь инженерам в разработке и проверки больших и более сложных проектов. Фактически многие наблюдатели в сфере индустрии считают SystemVerilog первым языком типа Hardware Description and Verification Language (HDVL), потому что он объединяет в себе функции VHDL и Verilog, связанные с Hardware Verification Language (HVL) и поддерживает объекты.

Из-за своей структуры VHDL отлавливает больше ошибок уже на ранних стадиях процесса разработки. С другой стороны, Verilog позволяет инженерам быстро описывать модели. SystemVerilog пытается взять лучшие функции из обоих языков, и включает в себя функции HVL для поддержки разработки тестов производительности и техник формальной проверки. По этой причине в качестве языка программирования ПЛИС IntAmp-55 был выбран SystemVerilog.

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

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА ПРОМЫШЛЕННОЙ ЦЕНТРИФУГИ

В докладе рассматривается частотно-регулируемый электропривод шнека и автоматика центрифуги ALDEC (рис.1), используемой в системе водоподготовки на предприятии по производству аммиака компании «ЕвроХим».



Рис. 1. Внешний вид центрифуги ALDEC:

1 – станина; 2 – электродвигатель привода барабана; 3 – тонкостенная оболочка;
4 – электродвигатель привода шнека

Центрифуга ALDEC приводится в действие двумя асинхронными электродвигателями, которые пускаются и регулируются отдельными частотными преобразователями ABB ACS880 и управляются контроллером Simatic S7-400H.

В качестве исполнительных электродвигателей частотно-регулируемых электроприводов барабана 2 и шнека 4 (рис.1) применяются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором мощностью 55 кВт и 11 кВт.

Особенностью электроприводов барабана и шнека центрифуги является вращение их двигателей в одну сторону с разными скоростями, благодаря чему обеспечивается непрерывная выгрузка осадка. Разность скоростей, называемая дифференциальной скоростью, регулируется автоматически от 3 до 50 мин⁻¹.

Приведены результаты расчета необходимой мощности электродвигателя шнека центрифуги с учетом особенностей ее конструкции и технологического процесса центрифугирования.

*М.Э. Павленко, студ. А.А. Соколов, студ.;
рук. М.А. Захаров, ст. преподаватель (ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА “ЧАСТОТНЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ПЕРЕКАЧИВАЮЩЕГО НАСОСА”

В современном мире водоснабжение является одной из важных задач для инженеров. Вода нужна не только для нормальной жизни людей, но и для охлаждения устройств, использования в качестве сырья. Помимо этого для обеспечения нормальной работы всевозможных устройств, применяют различные полезные жидкости, такие как трансмиссионные масла для электроприводов и др. Работа должна осуществляться при заданной подаче и напоре, чтобы устройства функционировали без осечек. Однако могут произойти аварийные ситуации, которые в большинстве случаев приведут к остановке работы всей водной системы. Получение практических навыков работы с технологическим оборудованием должно быть приоритетным направлением при обучении студентов. Лабораторные стенды являются неотъемлемой частью для обучения с целью демонстрации осуществления теории [1] на практике и получения необходимых навыков для работы в подобных ситуациях. При изучении вопроса была выявлена проблема отсутствия подобных лабораторных стендов электроприводов насосов, а в наличии только аналоговое с бытовыми гидросистемами. Целью работы является создание лабораторного стенда для проведения экспериментов, на базе которого можно построить систему управления насосами и следить за состоянием носителя в системе.

Была разработана схема параллельного подключения контуров, включающих в себя 2 насоса с электроприводом [2]. Данная конструкция дает возможность сравнивать преимущества и недостатки различных способов построения системы управления для различных систем и режимов нагрузки.

В дальнейшем планируется сборка стенда и проведение на нем исследовательской деятельности.

Библиографический список

1. **Чугаев Р. Р.** Гидравлика. Техническая механика жидкости/ Энергоиздат, Ленинградское отделение. – 1982. – 672с.
2. **Свешников В. К.** Станочные гидроприводы/ Свешников В. К., Усов А. А.// Машиностроение. – 1982. – 464с.

*К.В. Быкова, студ.; Н.А. Курицына, студ.;
рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ИНТЕРПОЛЯТОРА ДЛЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА

Известно, что точность работы системы числового программного управления (ЧПУ) металлорежущего станка определяется дискретностью работы интерполятора, который вычисляет промежуточные точки заданной траектории движения рабочего органа станка. Чем меньше шаг дискретизации, тем ближе полученная траектория к заданной.

Обычно для синтеза линейного и кругового интерполяторов в системах ЧПУ применяется метод оценочной функции.

Применяя методы математического моделирования, в программном комплексе MatLab разрабатывается математическая модель линейного и кругового интерполяторов для управления электроприводами подачи металлорежущего станка, синтезированных по методу оценочной функции.

Планируется, что модель интерполятора будет управлять электроприводами механизмов подачи металлорежущего станка по трем осям – X , Y , Z .

На вход интерполяторов подаются следующие сигналы:

- информация от управляющей программы;
- информация о положении рабочего органа.

В качестве выходной информации интерполяторов будут управляющие сигналы, подаваемые на входы соответствующих электроприводов подачи металлорежущего станка, математические модели которых были разработаны ранее [1].

После разработки математической модели интерполятора планируется провести эксперимент, в котором будут сравниваться траектории движений, полученных методом математического моделирования и непосредственно на металлорежущем станке, и определяться погрешность.

Таким образом, с помощью полной математической модели металлорежущего станка можно будет оценить погрешности движения рабочего органа металлорежущего станка.

Библиографический список

1. **Фирстова, К.В.** Математическое моделирование электропривода металлорежущего станка / К.В. Фирстова, Н.А. Курицына, П.В. Вилков // Электромеханотроника и управление: Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых учёных “Энергия-2022”, Т. 4, г. Иваново, 11 – 13 мая 2022 года – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2022. – С. 11.

*А.А. Чепига, асп.; рук. С. В. Петренко, д.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», ЦАО «НПО «Алмаз»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ РАДИОЛОКАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА

Ресурс радиоэлектронных систем на сегодняшний день достигает 100 тыс. часов и более (15 лет эксплуатации), а традиционные для севера дизельные электростанции требуют сервисного обслуживания каждые 250 часов, что делает их применение непригодными для использования в автономных системах.

Данная статья посвящена принципам построения комплексов преобразования электроэнергии, входящих в состав автономной системы на основе газотурбинной установки с прямым приводом электрогенераторов.

В установках с прямым приводом генератора и преобразованием электроэнергии скорость вращения генератора зависит от разности раскручивающего момента и моментом сопротивления на валу генератора [1]. Для генерации электроэнергии с максимальным КПД во всем диапазоне нагрузок необходимо управлять скоростью вращения вала генератора. Эту функцию выполняет преобразователь генератора. Управляя моментом на валу генератора и поддерживая заданную скорость, он обеспечивает заряд конденсатора в звене постоянного тока.

Напряжение на этом конденсаторе стабилизируется в зависимости от режима работы установки сетевым или аккумуляторным преобразователем. Напряжение в звене постоянного тока стабилизируется на необходимом уровне двунаправленным преобразователем аккумулятора, а преобразователь сети формирует требуемое выходное напряжение (например, 220/380 В, 50 Гц). Преобразователь аккумулятора находится в буфере и помогает обеспечить баланс мощности в динамике. Если энергии потребляется больше, чем вырабатывается – он разряжается, а если наоборот – то заряжается.

Библиографический список

1. F. Blaabjerg, Z. Chen and S. Kjaer, "Power electronics as efficient interface in dispersed power generation systems," IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 19, no. 5, pp. 1184 - 1194, 2004.

*В.С. Монин, П.Н. Глуценко, студ.; рук. А. А. Чепига, инж. 1 кат.
(МГТУ имени Н.Э. Баумана, ЦАО «НПО «Алмаз»)*

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ РЕГУЛИРОВАНИЯ ДВУНАПРАВЛЕННОГО 3-Х ФАЗНОГО DC/DC ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В электроприводах, имеющих нестандартные источники питания, такие как контактная сеть, аккумуляторные батареи и другие, применяют преобразователи постоянного напряжения (DC/DC), задача которых – создать стабильное напряжение уровня, необходимого для питания инвертора [1].

Так, например, он может являться важным элементом преобразовательного комплекса автономной газотурбинной энергоустановки. Среди известных топологий преобразователей в автономных системах наиболее распространен многофазный двунаправленный преобразователь [2].

Если проанализировать топологию данного преобразователя – можно заметить, что она похожа на двигатель постоянного тока. Дроссель подобен обмотке якоря двигателя, выходное напряжение – противоЭДС, а выходная емкость – механической инерции. Соответственно, подход при синтезе системы управления может быть аналогичен – как и для двигателя постоянного тока. Поэтому в данной работе предлагается синтезировать двухконтурную систему регулирования двунаправленного многоканального DC/DC преобразователем.

В результате работы была предложена оригинальная структура системы управления DC/DC – преобразователем с двухконтурным регулированием, корректность которой была проверена в среде моделирования SimInTech.

Будущие исследования будут направлены на экспериментальную проверку данного алгоритма управления на испытательном стенде автономной газотурбинной энергоустановки.

Библиографический список

1. D. Schumacher, B. Bilgin, and A. Emadi, “Inductor design for multiphase bidirectional DC-DC boost converter for an EV/HEV application,” in Proc. IEEE Transportation Electrification Conference and Expo (ITEC), Chicago, IL, Jun. 2017, pp. 221–228.

2. A. Emadi, S. Williamson, and A. Khaligh, “Power electronics intensive solutions for advanced electric, hybrid electric, and fuel cell vehicular power systems,” IEEE Transactions on Power Electronics, vol. 21, no. 3, pp. 567–577, May 2006.

*П.Н. Глуценко, В.С. Монин, студ.; рук. А. А. Чепига, инж. 1 кат.
(МГТУ имени Н.Э. Баумана, ЦАО «НПО «Алмаз»)*

РАЗРАБОТКА ОБРАТНОХОДОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМЫ РОЗЖИГА ГАЗОТУРБИНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Классические схемы зажигания не обладают достаточной мощностью разряда для воспламенения топливной смеси в газотурбинной установке [1]. Зачастую в данных топологиях накопление энергии происходит в индуктивности. При протекании электрического тока катушка запасает энергию в своем магнитном поле. При прекращении этого тока ЭДС самоиндукции генерирует в обмотках катушки импульс с высоким напряжением, достаточным для пробоя [2]. Для увеличения мощности пробоя была реализована идея накопления энергии в дополнительных емкостных элементах. [3].

Целью данной работы было создание схемы неклассического накопителя энергии, основанного на обратноходовой топологии, для достижения на выходе пробоя 6 киловольт с частотой 5 Гц и энергией 1.2 Дж.

Работа в импульсном режиме позволяет снизить массогабаритные характеристики и повысить КПД. Поэтому топология обратноходового преобразователя была усовершенствована добавлением демпфирующей цепи, что позволило снизить броски тока на транзисторе. Для снижения затрат мощности при переключении и устранения потерь на управление был использован MOSFET. В ходе разработки была достигнута высокая стабильность частоты искрового разряда за счет введения контура обратной связи. В целях упрощения системы управления были использованы вентили с неполным управлением.

Данная схема имеет широкие возможности по модернизации схемы под конкретные задачи, например, изменение частоты и энергии пробоя.

Библиографический список

1. **Поликарпов А.Г., Сергиенко Е. Ф.** Однотактные преобразователи напряжения в устройствах электропитания РЭА. М.: Радио и связь 1989. 160 с.
2. **Мелешин В. И.** Транзисторная преобразовательная Техносфера, 2005. 632 с.
3. **Мелешин В.И., Овчинников Д. А.** Управление техника. М.: транзисторными преобразователями электроэнергии. М.: Техносфера, 2011. 576 с.

*И.А. Латвис, А.А. Соколов, студенты; рук. Н.Е. Гнездов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛАБОРАТОРИЯ МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СРЕДСТВ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Выпускники профиля «Электропривод и автоматика» должны быть способны участвовать в проектировании электроприводов, что является одной из их основных компетенций. Для этого им нужно получить знания и навыки программирования микроконтроллеров (МК) типа *Motor Control*, являющихся базой абсолютного большинства современных систем управления электроприводами (СУ ЭП). На кафедре ЭП и АПУ ИГЭУ сформирован обширный набор отладочных плат таких МК с разными типами ядер и от разных производителей, измерительного (осциллографы, мультиметры и т.д.) и вспомогательного (блоки питания, ЖТАГ-эмуляторы, конвертеры интерфейсов) оборудования. Разработан и изготовлен Лабораторный Стенд для Исследования Контроллеров [1], который в отличие от известных решений [2] включает не только отладочную плату (набор, *kit*), но и измерительное и отладочное оборудование, размещённое на специальной установке, обеспечивает безопасность и удобство работы с разными платами.

Цель данной работы - создание лаборатории микроконтроллерных средств управления электроприводами для проведения лабораторных практикумов по последовательности взаимосвязанных учебных курсов, образующих систему обучения студентов программированию МК СУ ЭП. Выполнено размещение в отдельной аудитории 8-ми изготовленных лабораторных стендов, всего набора отладочных плат, измерительного и вспомогательного оборудования. Изготовлены интерфейсные кабели, доработаны некоторые платы под задачи лабораторных работ, разработаны методики и программное обеспечение. В сентябре-ноябре 2022г. проведены пробные занятия в новой лаборатории.

Библиографический список

1. Латвис И.А., Соколов А.А. Создание лабораторного стенда микроконтроллерных средств в электроприводе // Энергия-2022 : 17-я всероссийская (9-я междунар.) науч.-техн. Конф. студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. – Иваново: ИГЭУ, 2022. – Том 4, С. 14.

2. Попов, С. А. Обзор существующих решений и разработка собственных учебных курсов и стендов по программированию микроконтроллеров PIC16, STM32, Arduino / С. А. Попов, В. Х. Абдрахманов // Инженерное образование в контексте будущих промышленных революций - СИНЕРГИЯ-2020 : Сборник научных статей междунар. сетевой научно-практической конференции, Казань, 03 сентября – 04 2020. – Казань: Казанский национальный исследовательский технологический ун-т, 2020. – С. 199-208.

СЕКЦИЯ 21
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И
МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

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

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

*М.В. Филиппова, студ.; В. А. Филиппов, к.т.н. доц.,
рук. С.Ю. Тюрина, к.фил.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ISSUES ON MAGNETIC DENSITY SEPARATION

This paper is devoted to the use of magnetic density separation (MDS) technology that is used for recycling domestic and industrial waste. This is an important topic as domestic and industrial waste occupy large areas, poison water, soil, and air. Every year the volume of discarded household appliances, cars, and electronic devices is increasing.

Efficient waste processing reduces environmental pollution, recycles non-ferrous and precious metals, saves and conserves natural resources. Magnetic density separation is a promising way to separate materials. Thus, I have studied scientific articles on this issue.

Article [1] says that magnetic density separators allow separating non-magnetic materials from a mixture into fractions by density. A magnetic fluid (special fluid consisting of liquid-carrier, ferromagnetic particles and surfactants) is located in the gap of the separator. When exposed to a non-uniform magnetic field, the effective density of the magnetic fluid changes. This makes it possible to separate non-magnetic particles by density. It should be noted that a change in the intensity of the magnetic field leads to a change in the effective density of the magnetic fluid. And when using several coils in the excitation system that create fields in different planes, you can get a horizontal force component that will move the source material along the separation zone.

The authors of the article [2] focus their attention on the problems of extraction of microplastics from the soil using magnetic density separation methods. The steps of the soil separation and cleaning sequence are described. So one of the stages is the treatment of a soil sample with a liquid containing ferromagnetic particles and passing it through a high-gradient magnetic separation system.

Thus, we can say that the topic of cleaning up the environment from waste with the help of magnetic density separation method is very important and scientists from different countries are working on it.

References

- 1. Koose J., Rem P.** Optimum Coil-System Layout for Magnet-Driven Superconducting MDS, 2021
- 2. Ramage S. J. F.F., Pagaling E., Haghi R. K.** Rapid extraction of high- and low-density microplastics from soil using high-gradient magnetic separation, 2022

Д.С. Смирнов, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЬ С СОВМЕЩЁННЫМИ ОБМОТКАМИ

Одним из способов повышения энергоэффективности - КПД и коэффициента мощности трехфазных асинхронных двигателей (АД) является применение вместо стандартных 6-зонных совмещённых 12-зонных обмоток (рис. 1). Такие обмотки состоят из двух трехфазных обмоток, соединённых одна – «звездой», другая – «треугольником». Совмещенные обмотки обеспечивают снижение высших пространственных гармоник магнитодвижущих сил, повышение обмоточного коэффициента и энергоэффективности АД [1, 2]. Однако анализ обычно проводится лишь для параллельно соединённых совмещенных обмоток с измененными обмоточными проводами для обеих обмоток. В условиях дискретного изменения размеров существующего сортамента обмоточного провода, невозможности целочисленного соблюдения требуемого соотношения чисел витков обмоток, из-за возникающей несимметрии активных и индуктивных сопротивлений двух обмоток при параллельном их соединении, в замкнутых контурах возникают уравнивательные токи.

В последовательно соединённых совмещенных обмотках уравнивательные токи отсутствуют, обмоточный провод для «звезды» может быть выбран ранее используемый. Рассмотрен АД 8 кВт с $2p=6$ с последовательно соединёнными совмещенными обмотками. Принято для «звезды» $q = 2$, для «треугольника» $q = 1$. Электромагнитный расчёт, выполненный в среде Ansys Electronics Desktop, показал повышение энергоэффективности АД, улучшение пусковых свойств.

Библиографический список

1. Мощинский Ю.А., Соколова Е.М. Преимущества и недостатки совмещенной обмотки «славянка» // Электричество. - № 11, 2018. – С. 23-31.
2. Кравале И.А., Казаков Ю.Б. Полевой анализ электромагнитных свойств обмоток асинхронных двигателей с совмещенной обмоткой типа «СЛАВЯНКА» // Тезисы 15 межд. н.-т. конф. студ., асп. и мол. уч. «ЭНЕРГИЯ – 2020». – Иваново: ИГЭУ, 2020. - Т.4. - С. 27.

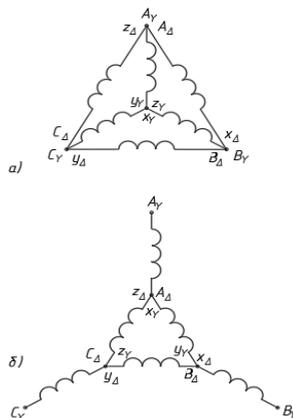


Рис. 1. Совмещённые обмотки параллельно (а) и последовательно (б) соединённые

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

ТУРБОГЕНЕРАТОР ДЛЯ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Турбогенераторы (ТГ) для атомных электростанций (АЭС) являются сложным видом электрических машин, к которым предъявляются жесткие требования по безопасности, надежности работы и сроку службы. При их разработке применяются передовые достижения науки в области материалов, используются современные методы моделирования и проектирования. Отличием ТГ АЭС от ТГ тепловых электростанций (ТЭС) является то, что они обычно выполняются четырех полюсными. Это обуславливается тем, что пар, вырабатываемый на АЭС, имеет более низкие параметры по сравнению с паром на ТЭС, поэтому более высокий КПД турбины достигается при частоте вращения 1500 об/мин.

Достоинствами ТГ АЭС с более тихоходными турбинами (1500 об/мин) по сравнению быстроходными турбинами (3000 об/мин) являются большая на 2 % экономичность, повышенная надежность за счет более низких механических напряжений в конструктивных элементах, лучшая эрозийная стойкость рабочих лопаток турбин, более высокая вибрационная надежность валопровода турбины за счет низкой чувствительности конструкции к небалансу за счет более низких скоростей на периферии лопаток.

По доработанной методике [1] с использованием материалов [2, 3] для АЭС разработан 4 полюсный ТГ с водородно-водяным охлаждением мощностью 1000 МВт, с частотой вращения 1500 об/мин, номинальным напряжением 24 кВ и отношением короткого замыкания 0.4 о.е. Разработанный алгоритм реализован в системе Mathcad 15.0 (64-bit).

В ходе разработки ТГ АЭС определены конструктивные и обмоточные данные ТГ, построена диаграмма Потье, рассчитаны характеристики холостого хода, угловые, U-образные, внешние и регулировочные характеристики, выходные электромагнитные параметры, энергетические и тепловые данные.

Библиографический список

1. **Константинов, Г.Г.** Турбогенераторы для тепловых и атомных электростанций: учебное пособие / Г.Г. Константинов. — Иркутск: ИРНТУ, 2018. — 332 с.
2. **Баклин, В.С.** Электромеханика. Расчет двухполюсных турбогенераторов: учебное пособие по курсовому проектированию / В.С. Баклин; Томский политехнический университет. — Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. — 144 с.
3. **Извеков, В.И.** Проектирование турбогенераторов / В.И. Извеков, Н.А. Серихин, А.И. Абрамов. — М.: Изд-во МЭИ, 2005. — 440 с.

*О.В. Чванов, студ.; М.А Киселев, асп.; рук. Ю.Б. Казаков, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УТОЧНЕННЫЙ ПОЛЕВОЙ АНАЛИЗ ОБРАЩЕННОГО МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ

Интенсивное развитие электротранспорта вызывает необходимость разработки высокоэффективных тяговых электродвигателей, способных обеспечить режимы разгона, движения, реверса, торможения в затрудненных условиях эксплуатации, широком диапазоне температур. Обращенные магнитоэлектрические двигатели обеспечивают высокие показатели вращающего момента и полезной мощности при малых габаритах. Внешний ротор позволяет увеличить площадь поверхности магнитов более чем в 2 раза, возрастает электромагнитный момент и окружная скорость ротора.

Исследован обращенный двигатель 16 кВт, 2700 об/мин с моментом 56 Н.м (рис. 1). Двигатель через контроллер питается от литий-ионного аккумулятора напряжением 48 В и емкостью 40 Аh. Особенности двигателя являются 16 полюсный внешний ротор и зубцовая обмотка внутреннего статора с 18 зубцами. Выполнено численное моделирование электромагнитных полей, уточненный полевой анализ (рис. 2), определены характеристики двигателя в системах Matlab и Maxwell. При той же мощности двигатель имеет на 40% меньшие размеры, КПД достигает 94 %, двигатель успешно разгоняется за 20 мс.



Рис. 1. Обращенный магнитоэлектрический двигатель

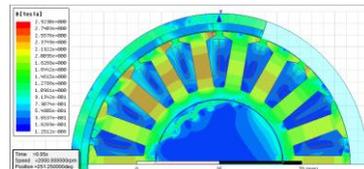


Рис. 2. Распределение магнитного поля

Библиографический список

1. Чванов О.В., Казаков Ю.Б. Исследование характеристик обращенного магнитоэлектрического двигателя транспортных средств / Матер. V Всерос. науч.-практ. конф. - Самара: СамГТУ, 2022. – С. 335-338.
2. Чванов О.В., Казаков Ю.Б. Исследование динамических режимов магнитоэлектрического двигателя малого электротранспорта // Матер. 17 Всерос. (9 между.) науч.-техн. конф. студ., асп. и мол. уч.: «ЭНЕРГИЯ-2022». – Иваново: ИГЭУ, 2022. Т.4. С. 33.

*Е.А. Курлаков, студ.; рук. В.П. Шишкин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ВЕЛИЧИНЫ КОЭФФИЦИЕНТА ПОЛЮСНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО КОНДЕНСАТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время синхронные реактивные двигатели применяются в малых приводах механизмов и системах автоматики. Современные синхронные реактивные двигатели большой мощности снабжаются частотным преобразователем для осуществления частотного пуска. В случае двигателей малой мощности, когда стоимость частотного преобразователя соизмерима со стоимостью самой машины, двигатель оснащается алюминиевой пусковой обмоткой для асинхронного пуска.

Коэффициент полюсного перекрытия имеет большое влияние на характеристики двигателя. При изменении коэффициента меняются размеры машины, так как в формуле диаметра присутствует α . В работе исследуется коэффициент \square величиной 0.6, 0.7 и 0.8. При большем коэффициенте полюсного перекрытия меньше масса двигателя и меньше объём машины. Коэффициент полезного действия падает при α равном 0.7, но значительно увеличивается при α равном 0.8. Коэффициент мощности остается неизменным при данных значениях α . Также при увеличении коэффициента полюсного перекрытия увеличивается нагрев обмотки статора, но не выходит за допустимые пределы.

В итоге лучшие характеристики синхронного реактивного двигателя получаются при наибольшем исследуемом значении коэффициента полюсного перекрытия.

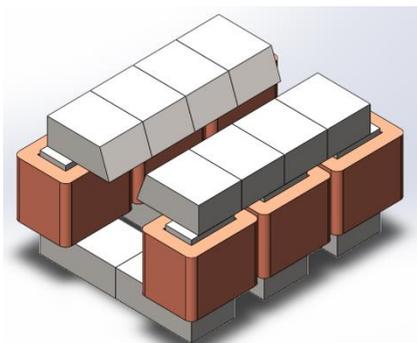
Библиографический список

1. **Шишкин, В. П.** Конденсаторные синхронные реактивные двигатели малой мощности: Учеб. пособие для вузов / В. П. Шишкин. - Иваново, 2022. - 108 с.
2. **Копылов, И.П.** Проектирование электрических машин: Учеб. Для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозкин, Б. Ф. Токарев

*В.Е. Шоронов, студ.; рук. В.А. Филиппов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЕРЕМЕННЫЙ ТОК В СИСТЕМЕ ВОЗБУЖДЕНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО СЕПАРАТОРА

Магнитожидкостная сепарация является относительно новой и перспективной технологией разделения немагнитных материалов при этом, имея преимущество по точности разделения в сравнении с традиционными методами сепарации [1]. В классическом варианте магнитожидкостный сепаратор (МЖС) работает на постоянном токе.



*Рисунок 1 – 3D модель исследуемого прототипа
МЖС*

Данная работа посвящена исследованиям возможности применения переменного тока в системе возбуждения МЖС. Переменный ток более доступен и распространён. При его использовании создастся дополнительная переменная составляющая силы [2], помогающая продвижению сепарируемого материала тем самым, исключая его «залипание» к полюсам магнитной системы. Однако возникает необходимость в использовании

шихтованной магнитной системы, чтобы снизить потери в стали и как их следствие нагревание стали, что может негативно сказаться на свойствах магнитной жидкости [3] и энергетических показателях.

Исследования проводятся на созданном прототипе МЖС. На рисунке 1 представлена 3D модель прототипа.

Библиографический список

1. Казаков, Ю.Б. Расчет силы, действующей на немагнитное тело в магнитной жидкости в присутствии неоднородного магнитного поля / Ю.Б. Казаков, Ю.И. Страдомский, В.А. Филиппов // Сборник научных трудов междуна. н.-т. конф. "Состояние и перспективы развития электротехнологии" - Иваново: ИГЭУ, 2011. Том 3. С. 158-161.
2. Морозов, Н.А. Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. - Иваново: ФГБОУВПО ИГЭУ, 2011. - 264 с. ISBN 978-5-89482-772-8.
3. Страдомский, Ю.И. Основы феррогидродинамики: учебное пособие / Ю. И. Страдомский. - Иваново: ИГЭУ, 2004. - 108 с.

*И.А. Грачев, студ.; рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЯВЛЕНИЕ ЭКСЦЕНТРИСИТЕТА РОТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Во время проведения эксперимента на кафедре электромеханики по проявлению повреждений обмотки возбуждения синхронного генератора во внешнем магнитном поле (ВМП), было замечено, что в случае, когда все катушки работали исправно, поле все равно пульсировало, что объясняется наличием эксцентриситета. Таким образом, по внешнему магнитному полю можно определить величину эксцентриситета и использовать тот же самый коэффициент несимметрии поля, что и для контроля повреждения обмоток возбуждения, который равен отношению значения средней линии кривой к амплитуде её пульсации. Использование этого коэффициента намного проще, по сравнению со спектральным анализом. [1, 2, 3]

В настоящее время ведется работа по проведению экспериментального исследования ВМП синхронного турбогенератора при контролируемом эксцентриситете ротора, так как для использования этого метода необходима чёткая корреляция между значениями эксцентриситета, положения его оси при разных режимах работы генератора и проявлением его во внешнем поле.

Стоит задача определения количества датчиков и их расположения для получения надёжных результатов диагностики эксцентриситета. Наиболее сложной задачей явится выявление динамического эксцентриситета.

Библиографический список

1. **Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, А.П. Океанский.** Диагностика электромагнитных несимметрий по внешнему полю электрических машин, ФГБОУ ВО «Тольяттинский гос. ун-т», Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 376-380.
2. **Океанский, А.П.** Диагностика электромагнитных несимметрий синхронных машин на основе анализа внешнего электромагнитного поля, М.: ООО «Центр полиграфических услуг Радуга», 2018. – С. 359.
3. **Морозов, А.Н.** Коэффициент несимметрии поля при повреждениях обмотки возбуждения неявнополюсной синхронной машины, Иваново, 2021. – Т. 3. Электротехника. С. 196-198.

*И.С. Блинов асп.; П.С. Воробьев асп.; Е.О. Сенаторова с.н.с.;
рук., доцент каф. ЭПЭ Е.А. Елисеичев
(РГАТУ имени П. А. Соловьева, г. Рыбинск)*

ВЫБОР МИКРОПРИВОДОВ ДЛЯ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-20095, <https://rscf.ru/project/22-19-20095/>.

В рамках выполнения гранта по разработке биопротеза возникла потребность в выборе микропривода для управления протезом. Целью исследований было изучить возможные варианты микроприводов для робототехнических систем, сравнить их характеристики и экспериментально проверить возможность их использования в конечном изделии.

После изучения научной литературы и выявления основных параметров разрабатываемого протеза были определены следующие необходимые характеристики микропривода: диаметр не более 12 мм, длина не более 60 мм, масса не более 50 г, номинальный крутящий момент не менее 5 мНм, скорость вращения 60 – 400 об/мин, создаваемый шум, не более 55 дБ. Также обязательным требованием к системе управления протезом является использование приводов с энкодером, который позволит системе определять положение пальцев пространстве.

Ведущими производителями микроприводов для робототехнических систем являются европейские компании. Однако в связи с текущей геополитической ситуацией, данные микропривода недоступны на российском рынке. Поэтому в рамках исследований рассматривались устройства азиатских производителей, представленные в таблице 1. Экспериментальная проверка микроприводов осуществлялась с помощью технологического комплекта, разработанного в рамках проекта.

Таблица 1 – Основные характеристики исследуемых микроприводов

Микропривод	Габариты $\varnothing \times L$, мм	Скорость, об/мин	Момент, мНм	Наличие энкодера
1024R1-01AL1-6.0EMG (Langyi)	10×55.3	190	17	есть
1048M7-M256MP64-6.0-0019 (Constar)	10×55.6	181	7.84	есть
0841M5-M256MP64-6.0-0013 (Constar)	8×47.9	114	17.44	есть
ECG1220-LP12-0187 (Vishan)	12×43.5	160	157	нет
ECG1230-LP12-0071 (Vishan)	12×50.7	285	158	нет
ZWMD012012-256 (Zhaowei)	12×43.8	36	34.7	нет

*А.Ф. Доржинкевич, студ.; рук. В.Н. Караулов к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПАРАМЕТРИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С КОРОТКОЗАМКНУТОЙ ОБМОТКОЙ РОТОРА

Синхронные реактивные двигатели (СРД) с ТЛА-ротором с короткозамкнутой обмоткой перспективны в различных промышленных направлениях благодаря высоким надежности, энергоемкости и энергоэффективности [1], а также способности к асинхронному пуску.

Конфигурации роторов СРД с магнитными барьерами и короткозамкнутой обмоткой сложны и разнообразны.

Актуальной является задача разработки параметрической модели СРД с короткозамкнутой обмоткой ротора, предназначенной для расчета установившихся и переходных режимов работы двигателя. Представленная в работе основанная на теории двух реакций якоря параметрическая модель синхронной машины учитывает насыщение стальных участков ротора.

В работе представлен метод расчета параметров модели СРД с короткозамкнутой обмоткой ротора, который может быть применен к роторам различных сложных конфигураций. Для расчета индуктивных сопротивлений реакции якоря с учетом насыщения стали и для расчета сопротивлений короткозамкнутой обмотки ротора используются полевые модели двигателя при продольном и поперечном положении ротора. Приведены формулы для расчета рабочих характеристик и дифференциальные уравнения, используемые для расчета процессов в СРД. С помощью параметрической модели рассчитаны пусковой процесс и установившийся режим работы машины.

Результаты расчетов сопоставлены с результатами полевого моделирования СРД в среде Ansys Maxwell.

Библиографический список

1. Kim H, Park Y, Oh S-T, Jang H, Won S-H, Chun Y-D, Lee J. A Study on the Rotor Design of Line Start Synchronous Reluctance Motor for IE4 Efficiency and Improving Power Factor. *Energies*. 2020.

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

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО УСТРОЙСТВА МАГНИТОЖИДКОСТНОЙ ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Магнитная жидкость обладает уникальным сочетанием свойств текучести и сильного взаимодействия с приложенным внешним магнитным полем [1], используя которые возможно наблюдать распределение магнитных полей в пространстве. Магнитная система разработанного устройства состоит из стального диска с сердечниками и размещёнными на них катушками управления, как показано на рис. 1, образующих семь электромагнитов на общем основании и герметичного сосуда с магнитной жидкостью в несмешиваемой с ней жидкой среде.

Для рационального выбора геометрии устройства и алгоритмов управления электромагнитами разработана численная конечно-элементная модель магнитного поля. Проведен анализ распределения магнитного поля для различных комбинаций включения катушек управления и модификаций магнитной системы.

Поочерёдное включение катушек управления позволяет изменять направление векторов магнитной индукции, а магнитная жидкость, перетекая в области с большей намагниченностью, выстраивается в занимательные фигуры.

После проведённой оптимизации магнитной системы, была изготовлена установка магнитожидкостной визуализации магнитного поля. Процесс коммутации катушек автоматизирован с помощью микроконтроллерной платы на базе Arduino nano.

Полученное устройство призвано привлекать внимание потенциальных абитуриентов как к электромеханике в целом, так и к магнитной жидкости в частности.

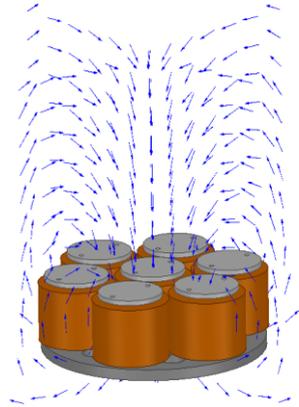


Рис. 1. Магнитная система.

Библиографический список

1. Орлов Д.В., Михалёв Ю.О. Мышкин Н.К. Подгорков В.В., Сизов А.П. Магнитные жидкости в машиностроении. – Москва: Машиностроение, 1993. – 275 с.

**С.Х. Курбонов, В.Н. Караулов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, Иваново)**

РАСЧЁТ ПАРАМЕТРОВ КАТУШЕК С ШИХТОВАННЫМ И МАССИВНЫМ СЕРДЕЧНИКОМ

Имеется значительный практический и научный интерес к электрическим машинам, магнитопроводы которых включают в себя шихтованные и массивные сердечники. Примером таких машин являются асинхронные двигатели с массивным ротором. При разработке параметрической модели асинхронного двигателя с массивным ротором необходимо уметь рассчитывать параметры катушек с шихтованным и массивным сердечником.

В настоящей работе рассмотрены параметрические модели катушек с шихтованным и массивным сердечником. Приведены формулы для расчёта параметров моделей катушек с учётом характеристик намагничивания сердечника, потерь в стали и вытеснения магнитного потока в массивном сердечнике. Представлены характеристики холостого хода катушек и зависимости параметров катушек от величины тока в катушке. Представлен анализ полученных характеристик. Выполнен полевой расчёт магнитного сопротивления шихтованного и массивного сердечников в среде ELCUT. Результаты полевого расчёта сопоставлены с результатами параметрического моделирования.

Библиографический список

- 1. Нейман Л.Р.** Поверхностный эффект в ферромагнитных телах: Учеб. 1949.
- 2. Копылов, И.П.** Проектирование электрических машин: Учеб. Для вузов / И. П. Копылов, Б. К. Клоков, В. П. Морозки, Б. Ф. Токарев

СЕКЦИЯ 22
МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ

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

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

*Е.А. Варигин, студ.; К.К. Ермаков, аспирант;
рук. А.И. Терехов, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА НОСИМОГО УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННЫМИ СИСТЕМАМИ

С развитием технологий, роботизированные системы в различных своих проявлениях стали обыденностью и присутствуют практически во всех сферах деятельности человека. Хоть человечество сделало огромный шаг в области робототехники, вопрос создания удобного устройства управления до сих пор является актуальным, таким устройством может послужить разрабатываемая перчатка [1].

При разработке прототипа устройства не применялись дорогостоящие и сложные микроконтроллеры и датчики. Поэтому в качестве управляющего модуля использована общедоступная платформа Arduino Nano. Для создания каркаса перчатки выбран метод печати пластиковых деталей на 3Д принтере. За основу устройства взята текстильная перчатка, к которой с помощью текстильных застежек крепится каркас устройства. Материал основы и способ крепления обоснован условиями эксплуатации изделия. При загрязнении или повреждении оператор может как выстирать, так и полностью заменить основу, сняв при этом каркас с электроникой. Управляющая часть представляет собой микроконтроллер, соединенный с датчиками Холла, закрепленными на подвижных пластиковых пластинах. При использовании данных компонентов денежные затраты будут минимальны, что не мало важно при реализации проекта студенческим объединением.

В ходе работы над проектом решена задача создания 3Д моделей каркаса перчатки, с учетом размера руки оператора и расположения датчиков. Выполнена печать и сборка компонентов в единое устройство, выполнена регулировка датчиков относительно магнитов. На языке C++ написана программа, предназначенная для определения положение пальцев оператора, путем считывания показаний с датчиков и последующей передачей данных на управляемое устройство.

Дальнейшая работа над проектом предполагает реализацию связи с роботизированной рукой и настройку их взаимодействия, а также предоставление возможности настройки устройства под руку пользователя для большего удобства при использовании.

Библиографический список

1. Сычков В.Б. Анализ способов взаимодействия оператора с антропоморфными манипуляторами // Сборник трудов VII Всероссийской научной конференции, г.Ставрополь, 2019 г. – Уфа: Изд-во УГФТУ, 2019. – С. 190-195.

*Холодков М.И. студ.; Ермаков К.К. аспирант;
рук. И.А. Тихомирова, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА ПРОТОТИПА ЭКЗОПЕРЧАТКИ КАК УСТРОЙСТВА УПРАВЛЕНИЯ РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКИ.

В настоящее время представлено большое число различных устройств управления, имеющих в своем функционале обратную связь от управляемого объекта. Обычно данные средства контроля выполняются в привычной форме джойстика, но все больший отклик получают носимые гаджеты, среди которых выделяются тактильные и экзо перчатки. В данной работе рассматривается процесс создания прототипа экзо перчатки, как устройства управления роботизированной рукой. Данная разработка не является новаторской как в России, так и за рубежом. В основном такого рода проекты предполагают использование конечного изделия в VR технологиях. Ярким примером отечественного устройства ввода является разработка – PULSO [1]. Основной недостаток проекта – отсутствие обратной связи, а предложенная конструкция не позволяет выполнить доработку прототипа в обозначенном направлении. В зарубежных решениях от HaptX [2] и DextaRobotics [3] реализован максимально возможный функционал и основной акцент проектов сделан на тактильные ощущения оператора. Перенасыщение устройства различными технологиями и системами приводит к значительному удорожанию изделия исключая возможность применения в повседневной сфере. Соответственно, авторами разработки принято решение выполнить собственное устройство управления роботизированной рукой в виде носимого гаджета. В итоге устройство получится достаточно простым и дешёвым в реализации, при этом прототип будет оснащен обратной связью управляемого объекта. Данный проект реализуется участниками студенческого научно-технического общества «Вектор» Ивановского государственного энергетического университета имени В.И. Ленина.

Проект предполагает считывание движения пальцев оператора и передачу данных на контроллер системы управления (СУ) роботизированной руки. В свою очередь роботизированная рука повторит движение руки оператора.

Для обеспечения работы прототипа не требуется высокая точность снимаемых показаний. Поэтому при создании модели не применялись высокоточные датчики положения и дорогие микроконтроллеры. В связи с этим в проекте была использована общедоступная аппаратная платформа Arduino и набор датчиков к ней. Кроме того, в качестве основы для

создания корпусных деталей и механизмов экзоперчатки был выбран метод печати пластиковых деталей на 3D принтере, так с помощью этой технологи можно быстро напечатать деталь практически любого размера и формы. К тому же, используя данные компоненты денежные затраты будут невысоки, что не мало важно при реализации проекта в рамках студенческого объединения.

В ходе работы над проектом была решена задача создания 3D моделей прототипа экзоперчатки, с учетом компоновки датчиков и механизмов на ней. Выполнена печать и сборка компонентов в единое устройство, сделана настройка механики движения управления датчиками.

На языке C++ написана программа считывания показания с датчиков, установленных на прототипе, которые в последствие будут использованы для управления роботизированной рукой.

Проведена разработка прототипа экзоперчатки, а также его сборка и наладка. Дальнейшая работа над проектом предполагает настройку взаимодействия роботизированной руки и перчатки, а также тестирование обратной связи на различных предметах, позволяющие понять габариты объекта, находящегося в захвате прототипа.

Возможна реализация проекта отдельно, как самостоятельное изделия для использования в обучении VR и AR технологиям, однако всё таки основная задача проекта это управление роботизированной рукой.

Библиографический список

1. URL: <https://vrdigest.ru/vr-in-russia/pulso-pertchatka-virtualynoy-realynosti-ot-rossiyskogo-razrabottchika/>(Дата обращения: 16.02.2023)
2. URL: <https://haptx.com/>(Дата обращения: 16.02.2023)
3. URL: <https://www.dextarobotics.com/>(Дата обращения: 16.02.2023)

*Е.А. Алексеев, к.т.н., Н.М. Хабибулин, студ.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ХИМИЧЕСКИМ РЕАКТОРОМ

Химический реактор относится к одним из наиболее распространённых аппаратов химико-технологической системы. Целью функционирования реактора является получение конечного продукта из исходных компонентов при соблюдении требований максимальной эффективности процесса. Исследования, направленные на разработку эффективных систем управления технологическими параметрами химических реакторов, являются актуальными.

В данной работе объектом исследования является реактор идеального смешения с рубашкой, в котором протекает экзотермическая реакция. В рубашку поступает жидкофазный хладагент. Цель работы заключается в разработке микропроцессорной системы поддержания температуры реакционной смеси на заданном уровне в условиях действия возмущений.

Применяя методы системного анализа, была получена полная математическая модель реактора, содержащая уравнения материального и теплового баланса. С использованием данного описания была получена формализованная модель аппарата по каналам управления и возмущения.

Для регулирования температуры в работе предлагается использовать одноконтурную систему на базе астатического полиномиального регулятора минимального порядка. Параметры регулятора были определены методом модального управления.

Предложенная в работе система регулирования была реализована на программно-техническом комплексе (ПТК), включающем в себя программируемый логический контроллер ОВЕН ПЛК 154 и рабочую станцию, соединённые 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.

*Горбенко А.С., студ.; рук. Анисимов А.А.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Важным этапом при построении системы автоматического управления является идентификация объекта. При идентификации необходимо максимально точно передать особенности объекта для построения надежной и робастной системы автоматического управления и для синтеза регуляторов. Существует множество методов идентификации.

Одним из эффективных способов идентификации является идентификация с помощью искусственной нейронной сети. Важными особенностями данного способа идентификации является высокая точность определения параметров и устойчивость к шуму.

Для того, чтобы искусственная нейронная сеть показывала отличные результаты, ее необходимо оптимизировать. В работе предлагается оптимизация по критерию сигнал – шум. Для расчета отношения сигнал – шум рассчитывается невязка между номинальными параметрами и отклоненными на 50%. Затем, анализируя получившиеся значения, выбирается оптимальный набор выходов, имеющих максимальную чувствительность к вариациям параметров.

В заключение синтезируется регулятор состояния.

Библиографический список

- 1. Анисимов А.А.,** Тарарыкин С.В. Структурно – параметрический синтез, оптимизация и настройка систем управления технологическими объектами / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2015. – 296 с.
- 2. Вентцель Е.С.** Теория вероятностей: Учебник для студ. вузов / Елена Сергеевна Вентцель. – 10-е изд., стер. – М: Издательский центр «Академия», 2005. – 576 с.

*М. Ю. Красильников, студ., Е.А. Давыдов, студ.,
рук. А. М.Аббясов, стар. пр. (ИГЭУ, г. Иваново)*

КОДОГЕНЕРАЦИЯ АЛГОРИТМА УПРАВЛЕНИЯ БАЛАНСИРУЮЩЕГО РОБОТА

Классический подход к разработке предполагает проектирование устройства разработчиками из разных отделов, результатом работы которых является пакет документации. Эта документация передается в отдел производства, после чего будет собран прототип, и сделаны его первые тесты. При несоответствии технических характеристик прототипа техническому заданию (ТЗ) возвращается на предыдущие этапы, пока на выходе не получат готовое устройство, удовлетворяющему ТЗ.

Такой подход имеет ряд недостатков, так как разработчики руководствуются своей главой ТЗ, а программная часть выполняется вручную, что негативно отражается на времени разработки и качестве написанных алгоритмов.

Можно устранить вышеперечисленные проблемы, ведя работу в единой среде разработки. Программа управления при этом синтезируется на основе созданных конструкторами математических моделей, а выявление ошибок происходит в процессе моделирования системы. Данное решение устраняет рассогласование, между разработчиками и исключает влияние человеческого фактора.

Используя MATLAB было проведено моделирование балансирующего робота и его системы управления [1]. Созданная модель, обрабатывает приложенные возмущающие воздействия, сохраняя при этом свой баланс. Это говорит о её устойчивости, которая должна быть заложена корректной программой управления.

Следовательно, дальнейшим шагом стало получения кода для микроконтроллера, реализующего систему управления. Применяв Simulink Coder и Embedded Coder была произведена кодогенерация алгоритма управления. Программная часть, выполненная таким образом синтезируется быстрее, а вероятность появления логических ошибок уменьшается.

Библиографический список

1. «ЭНЕРГИЯ-2022» Стабилизация балансирующего робота [Электронный ресурс] URL:http://ispu.ru/files/Energiya-2022_Tom_4_0.pdf, 46 с.
2. **NXTway-GS** (Self-Balancing Two-Wheeled Robot) Controller Design [Электронный ресурс] // Сайт обмена информацией сообщества пользователей MATLAB и Simulink. URL: <https://www.mathworks.com/matlabcentral/fileexchange/19147-nxtway-gs-self-balancing-two-wheeled-robot-controller-design>

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

ОБОСНОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ СХЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТОМ

Ферромагнитные жидкости (ФМЖ) – коллоидные системы, состоящие из ферромагнитных частиц, находящихся во взвешенном состоянии в несущей жидкости. ФМЖ широко применяются в электронике, машиностроении, медицине, авиакосмической отрасли и др.

Особенностью ФМЖ является взаимодействие с внешним магнитным полем. Управление направлением магнитного поля и его интенсивностью позволит перемещаться магнитной жидкости по заданной траектории.

Управление положением ФМЖ осуществляется с помощью электромагнитов и микроконтроллера, формирующего управляющие импульсы полупроводниковых ключей по разработанной программе.

Для выбора марки полевого транзистора в среде Ni Multisim была собрана модель силового ключа (рис. 1).

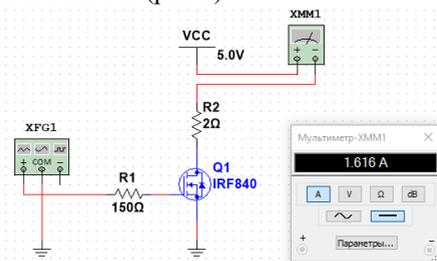


Рис. 1 – Результат моделирования силового ключа

Подбором различных транзисторов из встроенной библиотеки компонентов была выбрана марка транзистора IRF840 и номиналы резисторов R1 и R2.

На следующем этапе был собран прототип силового ключа и выполнена проверка на нагрев выбранного транзистора. Выполненный эксперимент показал, что при заданной нагрузке в 2 Ом, нагрев транзистора не превысил 42,5 °С.

Таким образом, температура корпуса устройства управления ФМЖ не превысит 50°С и для изготовления корпуса по технологии FDM 3D-печати можно использовать самый доступный PLA-пластик.

*К.Е. Соколов, асп.; рук. А.А. Анисимов, д.т.н., доцент,
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА СИНТЕЗА РОБАСТНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С НАБЛЮДАТЕЛЯМИ СОСТОЯНИЯ НА ОСНОВЕ ГРАМИАННОГО МЕТОДА

Одной из ключевых при синтезе систем управления (САУ) с наблюдателями состояния (РНС) является проблема обеспечения робастности, т.е. сохранения устойчивости и приемлемого качества управления в условиях вариации параметров [1, 2]. При этом низкая чувствительность системы к вариациям параметров РНС достигается выбором структуры и формированием темпа подстройки наблюдателя, при котором исключаются положительные обратные связи как в контуре управления, так и в контуре подстройки [3].

В работе [4] предлагается метод формирования оптимальной структуры наблюдателя, основанный на сингулярном разложении грамианов управляемости G_c и наблюдаемости G_o :

$$G_c = \int_0^{\infty} e^{At} B B^T e^{A^T t} dt \text{ и } G_o = \int_0^{\infty} e^{At} C C^T e^{A^T t} dt,$$

где A , B , C и – матрицы состояния, входа и выхода объекта с размерностями $n \times n$, $n \times 1$, $1 \times n$.

Для автоматизации процессов синтеза и анализа робастных систем с РНС был разработан программный комплекс (ПК), позволяющий пользователю применять указанный метод синтеза САУ без трудоёмких вычислений. ПК имеет интуитивно понятный интерфейс пользователя, возможности вывода и сохранения результатов работы программы в виде графиков и таблиц.

Библиографический список

- 1. Подчукаев В.А.** Аналитические методы теории автоматического управления. М.: ФИЗМАТЛИТ, 2002. 256 с.
- 2. Поляк Б.Т., Щербakov П.С.** Робастная устойчивость и управление. - М.: Наука, 2002. 303 с.
- 3. Анисимов А.А.** Особенности синтеза параметрически грубых систем модального управления с наблюдателями состояния / А.А. Анисимов, С.В. Тарарькин // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2012. - №5. - С. 3-14.
- 4. Anisimov A.A.** Synthesizing Parametrically Robust Control Systems with State Controllers and Observers Based on Gramian method / S.V. Tararykin, A.A. Anisimov, A.A. Gerasimov // International Journals of Control, Automation and Systems. – 2019. – Vol. 17. – No. 10. – P.2490-2499.

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

СТЕНД ДЛЯ КАЛИБРОВКИ ГИРОСКОПОВ

Особенность эксплуатации различных летательных аппаратов накладывают специфические требования к комплектующим компонентам авионики. В частности, к навигационному оборудованию, включающему в себя гироскопы и акселерометры. Наиболее распространенными являются волновые твердотельные гироскопы (ВТГ). К специфическим условиям эксплуатации летательных аппаратов относят повышенную или пониженную температуру, влажность, атмосферное давление, а также изменение в динамике вышеперечисленных условий.

Перед установкой в приборы гироскопы и акселерометры нуждаются в тестировании и калибровке. Калибровка ВТГ и других типов гироскопов выполняется на специализированном прецизионном оборудовании. Выполненный обзор существующих конструкций показал, что предлагаемое оборудование имеет повышенную материалоемкость и габаритные размеры, а также высокую стоимость. Кроме того, существующие калибровочные стенды не позволяют выполнять калибровку датчиков ВТГ в экстремальных условиях.

В современных реалиях импорт зарубежного калибровочных стендов практически невозможен и неизбежно встает вопрос о разработке импортозамещающего оборудования.

Концепция современного калибровочного стенда для определения параметров ВТГ с учетом сложных климатических условий состоит из прецизионного вращающегося стола и климатической камеры. Датчик ВТГ надежно закрепляется на поворотном столе, исключая его перемещение во время испытаний. Наличие климатической камеры позволяет моделировать различные температурные режимы, которые могут возникнуть при его эксплуатации.

Работа стенда осуществляется следующим образом. Калибруемый датчик закрепляется на поворотном столе. Поворотный стол накрыт сверху кожухом, образует вместе с ним внутреннюю полость и может свободно вращаться. Герметичность внутренней полости обеспечивается лабиринтным уплотнением. Воздух подготавливается в климатической камере и подается во внутреннюю полость вентилятором по нагнетательному воздуховоду. Воздух непрерывно отводится в климатическую камеру по воздуховоду за счет работы вентилятора, создающего разрежение. В зависимости от заданных условий калибровки температура в климатической камере может нагреваться или охлаждаться. Управление клима-

тической камерой и приводом поворотного стола осуществляется с ЭВМ посредством платы сопряжения.

В исходном положении корпус стенда устанавливается таким образом, чтобы его система координат была ориентирована на север. Затем процесс калибровки гироскопа ВТГ выполняется в соответствии с разработанным алгоритмом.

Дальнейшим развитием концепции калибровочного стенда является решение следующих задач:

- разработка концепции стенда;
- создание и исследование математической модели калибровки гироскопа;
- разработка алгоритма калибровки;
- разработка функциональной схемы управления;
- разработка программного обеспечения.

Таким образом, создание калибровочного стенда является актуальной задачей, которая будет решаться в рамках будущих работ.

*М.С. Дорожкин, магистрант; рук. В.В. Аполонский, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УПРАВЛЕНИЯ СОСТОЯНИЕМ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ С УПРУГИМИ КИНЕМАТИЧЕСКИМИ ЗВЕНЬЯМИ

Наличие упругих кинематических звеньев и соответствующих механических резонансов в зоне полосы пропускания современных мехатронных систем (МС) требует перехода к системам, строящимся на базе регуляторов состояния (РС).

Классические мехатронные САУ постоянного и переменного тока с РС строятся с измерителем упругого момента (ИУМ) кинематической передачи. Но сложность установки, высокая стоимость и низкая надежность таких устройств делает их использование нерациональным.

При отсутствии ИУМ обратную связь по упругому моменту M_y можно заменить разностью угловых перемещений вала электродвигателя (ЭД) и рабочего органа (РО), приведенного к валу ЭД:

$$M_y = C_{12} \cdot (\varphi_1 - \varphi_2).$$

Однако, при недостаточно точном приведении РО к валу ЭД в процессе работы МС интеграторами будет накапливаться паразитная разность угловых перемещений РО и ЭД, которая может привести к потере устойчивости САУ.

Альтернативным решением может быть МС, где реализуется обратная связь не по реальному M_y , а по его оценке, определяемой как:

$$M_y = M - J_1 \cdot d\Omega_1/dt.$$

Система оказывается работоспособной, но, из-за наличия производной по скорости в составе регулятора, приобретает повышенную чувствительность к помехам и, при определенных условиях, к вариациям внутренних параметров ОУ.

Вторым альтернативным решением МС может быть структура, полученная путем исключения M_y из состава измеряемых координат и использования расширенного вектора состояния в виде:

$$\mathbf{X} = [M, \Omega_1, \varphi_1, \Omega_2, \varphi_2].$$

Данная версия системы обладает астатическими свойствами, менее чувствительна к помехам и параметрических возмущениям, но имеет повышенную сложность РС. Таким образом, использование того или другого варианта МС должно определяться разработчиком в зависимости от конкретных задач по управлению объекта.

*Ю.А. Кутузова, студ.; В.Н. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ИСТОЧНИКА ПИТАНИЯ НА СПЕКТРАЛЬНЫЙ СОСТАВ НАПРЯЖЕНИЯ ШИП ПОСТОЯННОГО ТОКА В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ

В настоящее время общепринятой считается концепция адаптивного регулирования в условиях неполной информации о моделях объекта и воздействиях внешней среды на систему управления [1].

При моделировании мехатронных систем с ШИП и ДПТ практически всегда применяется источник постоянного тока в виде электрической батареи [1],[2],[3], на практике в большинстве случаев постоянный ток получают от выпрямителей. Поэтому, при разработке мехатронной системы для металлообрабатывающего станка одной из задач был выбор схемы питания преобразователя. В качестве критериев были приняты коэффициент пульсаций выпрямленного напряжения и показатели частотного спектра его пульсаций, существенно влияющие и на энергоэффективность системы.

На начальном этапе в среде Matlab-Simulink были рассмотрены модели электроприводов постоянного тока с питанием ШИП:

- от электрической батареи;
- от неуправляемых выпрямителей.

Результаты частотного анализа имитационных моделей электроприводов постоянного тока позволили выбрать в качестве источника питания ШИП в системе управления ДПТ трёхфазную мостовую схему выпрямления с фильтром и подобрать параметры Г-образного LC-фильтра.

В последующем предполагается рассмотреть вопросы качества регулирования в системе с выбранным вариантом схемы электропитания ШИП, а также вопросы энергоэффективности такой мехатронной системы.

Библиографический список

1. Краснодарец Л.А., Олейников А.М. ПИД регулятор как платформа для реализации адаптивных законов управления электроприводом. - Мехатроника, автоматизация, управление. Том 17, № 12, 2016. - с.809.

2. Сологубов А. Виртуальная имитационная модель электромеханической системы на примере азимутального привода постоянного тока для исследования гелиоэнергетических установок. - Силовая электроника, №1, 2018.-с.74.

3. Герман-Галкин С.Г. Виртуальные лаборатории полупроводниковых систем в среде Matlab-Simulink: Учебник. - СПб: Издательство «Лань», 2013. - 448с.,ил.

*О.Р. Голубев, студ.; рук. Л.Г. Копылова, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г.Иваново)*

НОВЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАСКРОЕ МЕТАЛЛИЧЕСКОГО ЛИСТА

Несмотря на целый ряд преимуществ применения специального оборудования, не оставляются попытки создавать универсальные инструменты, и один из возможных вариантов — это применение одного и того же лазера для целого спектра технологий. Спрос на универсальный и гибкий инструмент — это огромный шанс для лазера.

В области лазерных технологий резки в последние годы произошел скачок в повышении мощности лазерных источников: с 3–6 кВт до 12 кВт, например, от известных зарубежных производителей: BYSTRONIC, BLM GROUP, BODOR, TRUMPF, AMADA, MAZAK, PRIMA POWER и др. Кроме повышения производительности увеличена и максимальная толщина разрезаемых сталей: с 15 до 30 мм. А сегодня уже происходит повышение мощности лазеров до 15–25 кВт в машинах для лазерной резки сталей толщиной до 30–70 мм, вытесняя плазменную резку.

Повышение мощности в машинах лазерной резки соответственно повышает требования к чистоте оптических элементов в режущих головках. Малейшая грязь на линзах при лучевой мощности более 6 кВт (особенно при использовании волоконных лазеров) приводит к их перегреву, деформациям и выходу из строя.

Проект AZULa («Automated separation of reactor pressure vessel installations using underwater laser technology») будет включать разработку процесса лазерной резки и создание компактной режущей головки для использования в радиологической, активированной и загрязненной подводной среде. Система должна включать прямой демонтаж ядерных установок (сосудов реактора под давлением).

Библиографический список

1. **Буров Н.В., Игнатов А.Г.** Мировой рынок фотоники и лазерных технологий: 2010–2019 // Ритм машиностроения. 2019. No 4.С. 60–67
2. **Буров Н.В., Игнатов А.Г.** Рынок лазеров в России и странах СНГ // Ритм машиностроения. 2019., No 5.С. 32–43.
3. **Bodor Laser 25000W** сверхмощная лазерная резка, мировая премьера // URL: <https://ru.bodor.com/News/317.html>, 20/05/2019.
4. **Резать лучше всех толстолистовые плиты** // URL: <http://лазер.пф/2019/06/13/13328/>, 13/06/2019.
5. **Новые тенденции в лазерном раскрое металла** // URL: <https://lenlasers.ru/novosti-i-stati/novye-tendentsii-v-lazernom-raskroe-metalla/>, 17/10/2019.

*Д.В. Чистяков, магистрант; К.К. Ермаков, аспирант;
И.А. Тихомирова, к.т.н., доцент (ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА РОБОТА ДЛЯ РИСОВАНИЯ ЛОГОТИПА ПО ЗАДАННОЙ ТРАЕКТОРИИ МАРКЕРОМ

В рамках программы ОКБ” Аэрокосмические системы” была поставлена задача сконструировать робота для рисования логотипа по заданной траектории.

Поэтому основными задачами ставятся: сконструировать простого робота, используя общедоступные ресурсы и компоненты, с применением 3D принтера, обеспечить заданную точность для отрисовки логотипа, разработать и отладить программное обеспечение.

Для решения данной задачи был проведен анализ существующих компоновок манипулятора такие как: цилиндрическая, сферическая, прямоугольная и угловая [1]. Анализ показал, что для достижения лучшего результата необходимо спроектировать манипулятор, работающий в декартовой системе координат. Детали для выбранного манипулятора были напечатаны на 3D принтере [2]. Для движения будут использоваться шаговые двигатели Nema 17HS4401 для перемещения по осям X и Y, сервопривод SG90 для управления подъема и спуска рабочего органа, для связи с компьютером и плоттером используется плата Arduino, а для связи плата-шаговые двигатели драйверы[3].

Таким образом выполнена разработка двухосевого прототипа плоттера, наладка и тестирование алгоритмов для перевода цифрового изображения на лист А4. У данного прототипа есть несколько проблем, а именно: зависимость от компьютера и неустойчивое положение оси Y из-за недостатка жесткости. Дальнейшее изучение будут касаться автономности робота, то есть переход на альтернативное управление с использованием платы ESP32 (позволяющая управлять роботом с телефона), либо установки собственного управления.

Библиографический список

- 1. Электронный** ресурс «Bstude» Доступ: https://bstudy.net/959505/tehnika/komponovki_promyshlennyh_robotov
- 2. Электронный** ресурс «CNC-text.ru» Доступ: <https://cnc-tex.ru/news/44/samodelnyichpu-plotter-na-arduino-4xidraw.html>
- 3. Электронный** ресурс «Инженерные решения» Доступ: <https://engineering-solutions.ru/motorcontrol/stepper/>

*И.А.Герасимов, магистрант; рук. Аполонский В.В.
(ИГЭУ, Иваново)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ЗАЗОРОВ В РЕДУКТОРНОЙ ПЕРЕДАЧЕ НА КАЧЕСТВО УПРАВЛЕНИЯ ДВУХМАССОВОЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМОЙ.

В станках с числовым программным управлением важную роль играют дополнительные координатные оси контурно-позиционного перемещения рабочих органов.

В подобных конструкциях для преодоления наибольшего момента при резании, а также обеспечения заданных динамических и статических характеристик движения исполнительного органа с большим моментом инерции зачастую применяются редукторы.

Использование редукторных устройств характеризуется наличием зазоров которые при определенных условиях, существенно усложняют регулирование координат электропривода.(Рис.1)

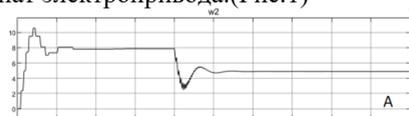


Рисунок 1 – Графики скорости системы а) с зазором

Одним из способов выборки зазора является использование системы с электромеханическим торсионом.

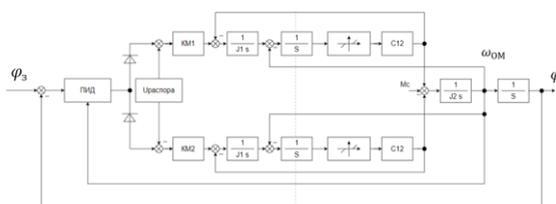


Рисунок 2 – модель с торсионом

Целью данной работы является разработка и исследование цифровой системы контурно-позиционного управления редукторными электроприводами в условиях зазоров и упругих передач кинематических цепей.

Библиографический список

1. **Иванков В.А.,** Тарарыкин С.В., Красильникьянц Е.В. Системы контурно-позиционного управления редукторными электроприводами многоцелевых металлорежущих станков / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина».- Иваново,2009.-188 с.

*Р.Н. Валиев, маг. ; рук. А.А. Анисимов проф
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ АВТОМАТИЧЕСКОЙ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

В настоящее время, для автоматизированных систем управления, одной из проблем, является влияние внешних воздействий и неопределённость характеристик объекта управления (ОУ).

Например, для линейки производства плёнки, неполнота априорной и текущей информации об ОУ, обуславливается такими факторами как изменение режимов работы оборудования, нестабильность работы двигателей подачи материалов по линии и нестабильность заготовок, отклонение параметров материала.

Влияние подобных факторов может привести как к снижению качества готовой продукции, так и срока службы оборудования

На рис. 1, представлена модель системы с контуром адаптации и эталонной моделью, контур адаптации которого синтезирован с помощью метода Ляпунова.

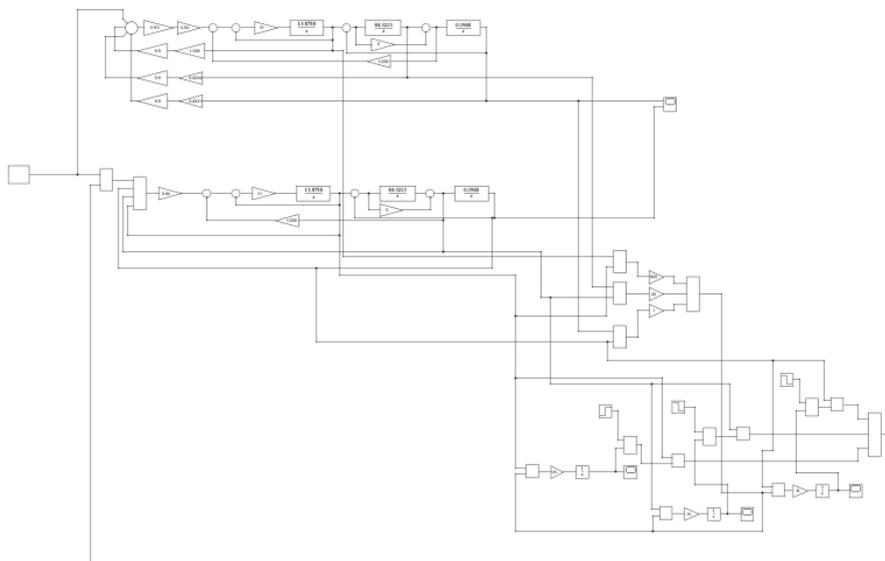


Рис. 1. модель системы с контуром адаптации и эталонной моделью

*И.А. Сеницын, студ.; рук. В.В. Аполонский, доцент.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММНЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Автомобильный дифференциал – это механизм, осуществляющий распределение мощности и момента от двигателя между колесами ведущей оси. На автомобилях с двигателями внутреннего сгорания применяется механический дифференциал. Электромобили, в зависимости от особенностей тяговой установки, могут иметь как механический, так и программный дифференциал.

Программный дифференциал реализуется на электромобилях, в тяговую установку которой входят два двигателя на ведущей оси. Ярким представителем таких является Tesla Model S. Она имеет два двигателя на задней оси, не связанные друг с другом механически. Управление распределением момента в таких автомобилях осуществляют электронные системы.

Применение программного дифференциала имеет следующие преимущества:

- программное управление распределением момента позволяет автомобилю наиболее эффективно двигаться по нужной траектории;
- отсутствие механического дифференциала уменьшает массу автомобиля;
- программный дифференциал лишен главного недостатка механического дифференциала – проблемы пробуксовки колеса, потерявшего контакт с поверхностью дорожного полотна;
- электромобили, оснащенные тяговой установкой с числом двигателей (например, Rivian R1T), равным числу колес, обладают возможностью разворота на месте – так называемого «танкового» разворота.

Библиографический список

1. <https://habr.com/ru/articles/488000/>
2. <https://ddcar.ru/blog/poleznoe/differencial-v-avtomobile-dlya-chego-nuzhen-i-kak-rabotaet?ysclid=lgupm80jo800783389>

*П.С. Сальников, студ.; рук. В.В. Аполонский к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО АППАРАТА ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ.

Промышленность, набирая обороты, с каждым годом добавляла и по сей день добавляет в свой состав различные технологические процессы, разнообразие коих очень велико. Каждый из этих процессов требует не меньшего количества методов, способных содействовать в реализации управления им. Если говорить о традиционных схемах управления, то можно выделить несколько, твердо закрепившихся как на страницах учебников, так и на практике. Такими схемами являются пропорциональное (П), пропорционально-интегральное (ПИ) и пропорционально-интегрально-дифференциальное (ПИД) управление, управление с самонастройкой, ПИД-управление с самонастройкой, обобщенное прогнозирующее управление (ОП) и управление на базе нечеткой логики (НЛ).

Зачастую, процессы в реальных системах имеют нелинейные характеристики, а сами системы состоят из динамических элементов, моделирование которых вызывает большие трудности. Помимо этого, реализацию управления такими системами затрудняют неконтролируемые шумы и помехи. Принципы линеаризации системы – на этом понятии базируется современная теория управления. Такой подход ведет к предварительной разработке математических моделей линеаризованных систем, которые не всегда адекватно отражают физические свойства реальных или отражают их с недостаточной точностью. Все это приводит к тому, что на практике применяются только модели с низкой чувствительностью по параметрам, что для нелинейных систем осуществить достаточно сложно.

Одной из альтернатив существующим методам является нейроуправление на базе математического аппарата искусственных нейронных сетей. Оно обладает рядом основных преимуществ, относительно традиционных систем управления. Ниже представлен перечень данных преимуществ:

1. Любые гладкие функции могут быть аппроксимированы посредством нейронных сетей.
2. Применяя нелинейные функции активации в многослойной нейронной сети, можно добиться эффективной реализации гибких нелинейных преобразований.
3. Нейронные сети могут обучаться, а иногда даже способны к самообучению.

4. Производительность вычислений обеспечивается высокой степенью параллельности нейронных сетей при использовании соответствующих аппаратных средств.

5. Нейронная сеть может продолжать функционировать даже при повреждении ее отдельных элементов.

Из недостатков нейросетевых регуляторов можно выделить потребность в высоких вычислительных мощностях, необходимость в предварительном обучении и сложность выбора структуры модели нейронной сети, а также параметров обучения.

Нейросетевой регулятор лучше подходит для работы с нелинейным объектом, так как его характеристики слежения, реакции на возмущения, сглаживание управляющего сигнала и реакции на изменения параметров выше, чем у конкурентов.

На рисунке 1 представлена схема нейронного управления с самонастройкой. Нейросеть, в данном случае, является аналогом человека-оператора, настраивая обычный контроллер.



Рисунок 1 Схема нейронного управления с самонастройкой.

Библиографический список

1. **Омату С.** Нейроуправление и его приложения М.: ИПРЖР, 2000. 272 с.

И. Ю. Сушин, студент (ИГЭУ, г. Иваново)
РАЗРАБОТКА РОБАСТНОЙ СИСТЕМЫ

Эффективным способом преодоления присутствия упругих кинематических звеньев в механической части мехатронных систем (МС) может служить управление по состоянию на базе соответствующих регуляторов состояния (РС) полного порядка [1], однако при высокой собственной частоте упругих механических колебаний наблюдается снижение управляемости МС. Полученная количественная оценка степени управляемости объекта в виде нормы матрицы преобразования из канонической формы управляемости к форме реальных координат $\|P_U\|_1 = 3.434 \cdot 10^3$ позволяет прогнозировать низкие робастные свойства синтезируемой системы.

Расчет параметров РС при задании характеристического полинома Ньютона $D(s) = (s + 90)^5$ дает значения: $K = [-0.2 \ 0.2 \ 2.6 \ -1.5 \ -31.6]$, но наличие положительных обратных связей свидетельствует о высокой чувствительности МС к вариациям параметров.

Исключить положительные обратные связи РС удастся путем выбора желаемого характеристического полинома со среднегеометрическим корнем $\Omega_0 = 180 \text{ с}^{-1}$. В этом случае получаем: $K = [-0.42 \ -25.99 \ -141.4 \ 4.68 \ -792.21]$. Полученный вектор позволяет повысить робастные свойства синтезированной системы, но приводит к сокращению размеров линейной зоны ее работы.

В этих условиях рациональным является сохранение робастных свойств МС и ее исходного быстродействия путем дополнения безынерционных обратных связей гибкими обратными связями (ГОС) по производным координат состояния согласно методике, предложенной в [2], что в нашем случае дает следующий вектор ГОС: $K' = [-0.016911 \ -1.4202304 \ -23.181677 \ 0.719406 \ -19.524938]$.

Полученные переходные характеристики МС иллюстрируют улучшение робастных свойств при сохранении заданного быстродействия и уровня форсировок исполнительного устройства в переходных режимах работы.

Библиографический список

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства / Н.Т. Кузовков. – М.: Машиностроение, 1976.-184 с.
2. Тютиков В.В. Робастное модальное управление технологическими объектами / В.В. Тютиков, С.В. Тарарькин; ИГЭУ.– Иваново, 2006.-256с.

СЕКЦИЯ 23
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

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

А.С. Абахтимова, студ.; рук. Е.В. Башмакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА МЕТАЛЛОВ

Ультразвуковая обработка появилась из-за невозможности воздействовать на материалы непроводящего и непрозрачного типа привычным механическим методом. Ультразвук способен справиться с любыми материалами.

Суть процесса сводится к тому, что в рабочий сектор (пространство между заготовкой и вибрирующим торцом инструмента) оборудования вливается абразивное вещество. От колебания абразивные зерна бьются об поверхность металла, что способствует повреждению верхнего слоя.

При ультразвуковой обработке (Рис.1.) используется и жидкость – для подачи абразива. В качестве жидкости всегда применяется вода.

В качестве оборудования применяются специальные станки, которые являются универсальными ультразвуковыми агрегатами и могут быть использованы для промышленности и небольших предприятий.

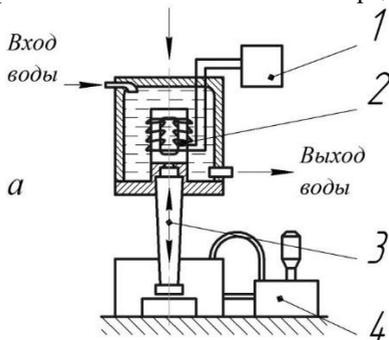


Рис.1. Схема установки для ультразвуковой обработки: 1 – генератор; 2 – акустический преобразователь; 3-ультразвуковая колебательная система; 4 – система подачи охлаждающей жидкости и суспензии с абразивом

Библиографический список

1. Алтунин К.А. Концепция создания информационного обеспечения интеллектуальной системы автоматизированного проектирования процессов резания в технологии машиностроения: монография / К.А. Алтунин, М.В. Соколов – Тамбов; Студия печати Павла Золотова, 2015-112с.

*А.В. Баскакова, студ.; рук. Е.В. Баимакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

Сварка взрывом — сравнительно новый перспективный технологический процесс, позволяющий получать биметаллические заготовки и изделия практически неограниченных размеров из разнообразных металлов и сплавов, в том числе тех, сварка которых другими способами затруднена.

На сегодняшний день сварка взрывом проводится без применения точных режимов и расчетов. Это связано с тем, что технология пока до конца не разработана

Существует две схемы сварки взрывом. Первый вариант: основная заготовка располагается на опорном фундаменте. Для гашения взрывной волны создается песчаная подушка. Технология предусматривает перемещение второго листа металла, который располагается под углом 3-10 % относительно первой. По длине второго листа равномерно распределяется взрывчатка. Для взрыва требуется детонатор. После контролируемого взрыва второй лист перемещается в течение нескольких долей секунд. За счет сильного удара происходит соединение отдельных металлических листов [1].

Вторая технология касается плавки труб по стыку. В этом случае также применяется сварка с взрывом. На место стыка закладывается взрывчатое вещество, которое должно располагаться в виде кольцеобразной полосы. Для того чтобы исключить вероятность деформации самой трубы внутрь вставляется металлический сердечник. Если этого не сделать, то труба может сплюснуться.

Обе технологии могут привести к повреждению заготовки, если неправильно выбрать количество и тип взрывчатки. Именно поэтому нужно проводить точные расчеты.

Данная технология требует дальнейшего изучения и подробного рассмотрения. На сегодняшний момент сварка взрывом применяется для соединения деталей из различных металлов, в частности для плакирования.

Библиографический список

1. **Лысак, В.И.** Сварка взрывом / В.И. Лысак, С.В. Кузьмин. – М.: Машиностроение, 2005. – 544 с.

*С.В. Горшков, студ.; рук. Е.В. Башмакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

На сегодняшний день многие отрасли промышленности обладают возможностями изготовления изделий различных форм, конструкций, механизмов, благодаря широкому распространению аддитивных технологий и цифрового оборудования. Внедрение аддитивных технологий в машиностроении позволяет производить как прототип проектируемого изделия, так и для изготовления конечного продукта.

Существуют несколько методов аддитивного производства, одним из самых популярных методов является лазерная стереолитография или метод SLA.

Основой SLA технологии является ультрафиолетовый лазер, луч которого отверждает тонкий слой жидкого полимера в местах прохождения, после чего платформа опускается и процесс повторяется.

Технология фотополимеризации позволяет получить высокоточные детали сложной формы без постобработки. Это достигается малой толщиной наносимого слоя (10 микрон) и свойств материала, который отвердевает.

Технологии аддитивного производства имеют существенные преимущества над традиционными методами, поэтому сейчас их активно внедряют в различные отрасли промышленности, такие как машиностроение и автомобилестроение. Лазерная стереолитография применяется для изготовления прототипов, позволяя предприятию сократить и упростить технологический процесс производства нового оборудования. Также её нередко применяют для получения точных мастер-моделей для литья, мембран (клапанов) высокой точности.

На основе всего вышесказанного можно сделать вывод, что аддитивное производство является перспективным направлением развития промышленности. Эту технологию можно применять для прототипирования механического оборудования высокой точности в кратчайшие сроки, что позволяет снизить расходы и повысить эффективность производства.

Библиографический список

1. <https://blog.iqb.ru/sla-technology/>
2. https://3dtoday.ru/wiki/SLA_print
3. <https://formlabs.com/ru/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>

*И.Д. Калашиников, студ.; рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

БЫСТРОТВЕРДЕЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ ПРИ ЛИТЬЕ В ПЕСЧАНЫЕ ФОРМЫ

Литье в песчаные формы начинается с ее создания. Отличительной особенностью песчаной оснастки является то, что ее можно использовать только один раз, а для получения новой детали необходимо снова изготовить форму.

Для изготовления песчано-глинистых форм и стержней используют смеси, приготовленные из формовочных материалов, такие как формовочный песок и глина. Формовочные пески состоят в основном из зерен кварца и глинистых примесей, которые называют соответственно зерновой и глинистой составляющими. Глина — второе связующее вещество, обеспечивающее прочность и пластичность формовочной смеси.

Использование быстротвердеющих и самотвердеющих смесей при изготовлении крупногабаритных отливок является одним из основных направлений развития и совершенствования технологии изготовления форм.

Хромомагнетитовые формовочные смеси на жидком стекле обладают высокой термохимической устойчивостью и применяются для изготовления форм крупногабаритных отливок из нержавеющей и жаропрочных сталей.

Основу сульфитных смесей составляют лигносульфонаты, процесс твердения которых связан с поликонденсацией. Твердение таких смесей осуществляется за счет тепловой обработки или за счет введения добавок, например, окислителей.

Песчано-жидкостекольные смеси часто используются в единичном и серийном производстве форм и стержней. Благодаря термической сушке продолжительность процесса твердения этих смесей значительно меньше, чем у песчано-глинистых.

Связующими материалами в песчано-смоляных смесях являются синтетические смолы. В зависимости от типа синтетических смол их твердение может происходить с катализаторами и без катализаторов, отверждение которых достигается тепловым воздействием.

Смеси, обладающие повышенной прочностью при высоких температурах, обеспечивают сохранение конфигурации и размеров формы при заливке сплава и во время затвердевания отливки. Повышенная прочность смесей позволяет предотвратить брак отливок по пригару, песчаным раковинам и обвалам.

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

ВЫБОР МЕТОДА УЛУЧШЕНИЯ КАЧЕСТВА ЛИТЬЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ЗАГОТОВКИ КОРПУСНОЙ ДЕТАЛИ

Существует множество различных вариантов повышения качества литья под давлением стали в направлении упрочнения пресс-форм, улучшения качества отливок, механизации и автоматизации процесса.

Актуальность темы определяет множество различных путей улучшения качества литья, исходя из которых есть возможность произвести обоснованный выбор метода.

Одним из путей повышения качества отливок является применение химически инертных, с высокой теплоаккумулирующей способностью формовочных материалов, таких как циркон, оливин, шамот, хромагнетит, магнезит и другие. Однако указанные материалы получают путем сложного и дорогого передела, поэтому применение их может быть неоправданно. К такому методу стоит прибегнуть только в том случае, когда другими способами невозможно достичь нужного качества.

Второй, наиболее распространенный путь — применение кварцевых формовочных материалов. В этом случае свойства кварцевых формовочных смесей улучшают введением специальных добавок. В литейном производстве широко используются следующие добавки: окислители, основные оксиды различных материалов, углеродистые материалы и другие.

Третий путь — применение связующих органического и неорганического происхождения. Для данного метода применяют следующие наиболее распространенные органические связующие: льняное масло, олифа натуральная. Наиболее распространенные неорганические связующие: жидкое стекло, формовочная глина и цемент. Преимущество данного метода в легкости приготовления образцов и больших возможностях изменения концентрации цеолита в матрице,

Таким образом, мы можем сравнить три метода для улучшения качества литья: метод применения химически инертных формовочных материалов, метод применения кварцевых формовочных материалов и метод применения связующих органического и неорганического происхождения. Метод применения кварцевых формовочных материалов является оптимальным вариантом улучшения качества литья, так как он наиболее универсален в использовании, достаточно простой в освоении и менее ресурсозатратный.

М. А. Коцаков, студ.; рук. Е.В. Баймакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ДИФФУЗИОННАЯ СВАРКА В ВАКУУМЕ

Диффузионная сварка (ДС) в вакууме широко используется при изготовлении изделий электронной техники и зачастую является важной технологической операцией в производственном цикле. Это объясняется тем, что ДС можно соединять между собой в твердом состоянии без ограничения соотношения толщин металлические и неметаллические материалы.

Диффузионная сварка — сварка за счёт взаимной диффузии на атомном уровне свариваемых поверхностей деталей (Рис.1).

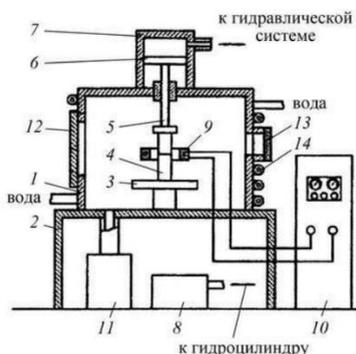


Рис. 1. Схема типовой установки для диффузионной сварки: 1 - корпус камеры; 2 - основание; 3 - стол; 4 - свариваемые детали; 5 - шток; 6 - поршень; 7- цилиндр; 8 - гидравлическая система; 9 - нагреватель; 10 - источник тока; 11 - вакуумная система; 12 - загрузочный люк; 13 - смотровое окно; 14 - система водяного охлаждения

Преимущества диффузионной сварки: высокое качество соединения, механические свойства материала в зоне сварки близки к свойствам основного материала; после диффузионной сварки не нужна механическая обработка сварного шва, получаемые изделия обладают высокой точностью; швы имеют высокие показатели механической прочности и пластичности.

Библиографический список

1. <https://osvarka.com/vidy-i-sposoby-svarki/diffuzionnaya-svarka-v-vakuume>
2. <https://studfile.net/preview/2597598/>

*А.Д. Кузнецов, студ.; рук. Е.В. Баймакова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ

Одной из современных технологий обработки деталей является электронно-лучевая обработка (ЭЛО). Электронно-лучевой метод применяют для обработки тугоплавких и легко окисляемых на воздухе металлов и сплавов: вольфрама, молибдена, титана, меди, а также неметаллических материалов: рубина, керамики, кварца, ферритов, полупроводниковых материалов.

ЭЛО основана на тепловом воздействии потока движущихся электронов на обрабатываемый материал, который в месте обработки плавится и испаряется. Столь интенсивный нагрев вызывается тем, что кинетическая энергия движущихся электронов при ударе о поверхность обрабатываемой заготовки почти полностью переходит в тепловую, которая, будучи сконцентрирована на площадке малых размеров (не более 10 мкм), вызывает её разогревание до 6000°C [1].

Электронно-лучевым плавлением получают особо чистые металлы и сплавы; испарением металлических и неметаллических материалов (окислов, карбидов, боридов) с дальнейшей отдельной или совместной конденсацией получают покрытия различного назначения (декоративные или с определенными физико-химическими свойствами).

Электронно-лучевая термообработка придает материалам нужную структуру; размерная обработка (например, высокоточное сверление или фрезерование) — заданной формы и размеров. Размерную обработку используют для прошивки отверстий диаметром 0,01 – 1 мм и прорезания пазов.

Кроме того, электронный луч широко применяют для сварки деталей из тугоплавких химически активных металлов и их сплавов (вольфрамовых, танталовых, молибденовых, ниобиевых, циркониевых и т.п.).

Библиографический список

1. **Аброян, И. А.,** Андронов А. Н., Титов А. И. Физические основы электронной и ионной технологии. М., 1984.
2. **Свистова, Т. В.** Лучевые и плазменные технологии: учеб. пособие. — Электрон. текстовые и граф. данные / Т. В. Свистова. — Воронеж: ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», 2016

*Е.В. Марков, студ.; рук. Е.В. Баимакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ГИДРОАБРАЗИВНАЯ РЕЗКА

Гидроабразивная резка – это вид обработки материала резанием, где в качестве режущего инструмента выступает струя воды с частицами абразива, подающаяся под высоким давлением со сверхзвуковой скоростью. Физическая суть процесса гидроабразивной резки состоит в отрыве и уносе из полости реза частиц материала скоростным потоком твердофазных частиц.

Любая установка гидроабразивной резки работает по следующей схеме:

1. Насосы высокой мощности создают давление воды от 3800 до 6200 бар внутри самоцентрирующейся режущей головки.

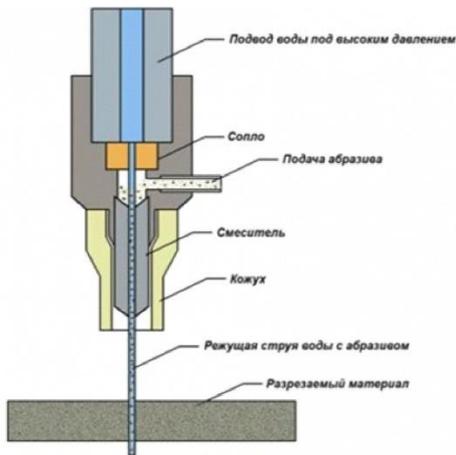


Рис. 1- Схема головки для гидроабразивной резки

2. В сопле формируется тонкая струя воды, которая под большим давлением, со скоростью выше скорости звука, подается в смеситель.

3. В смеситель аппарата из сопла подается вода, а абразивный материал – из специального бункера для абразива.

4. После смешивания вода с абразивом образуют режущую струю, которая подается на разрезаемый материал.

Помимо multifunctionality и экономической целесообразности гидроабразив является экологически чистой технологией. Станки данного типа не выделяют в атмосферу вредных газов, поэтому они абсолютно безопасны для человека, животных, растений и окружающей среды.

Библиографический список

1. <https://www.shtorm-its.ru/info/articles/tehnologiya-gidroabrazivnoy-rezki/>

К.Е. Попов, студ.; рук. Е.В. Башмакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗНОВИДНОСТИ МЕТОДОВ ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКИ

Иногда изготовить целый узел из подходящего материала по свойства является дорогостоящей и сложной задачей. Поэтому для решения таких задач используют наплавку. Наплавка – это нанесение слоя металла или сплава на поверхность изделия посредством сварки плавлением.

Одним из современных методов наплавки является плазменная наплавка. Плазменная наплавка (Plasma transfer Arc, РТА) является современным способом нанесения износостойких покрытий на рабочую поверхность при изготовлении и восстановлении изношенных деталей машин.

Данный метод совершенствуют путем изменения ввода порошка в дугу меняются и показатели. На сегодня известны несколько способов ввода порошка в лучевую дугу. Представлены на рисунке 1.

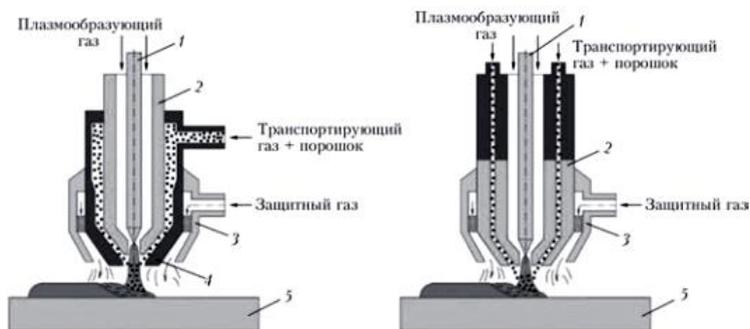


Рис.1. Схемы ввода порошка в дугу: а- внутренняя, б – внешняя (1- электрод; 2-4- соответственно сопло плазмообразующее, защитное и фокусирующее; 5-деталь)

Существует много методов и технологий наплавки, каждый из них находит свое применение. Плазменная наплавка — это наиболее актуальный и производительный процесс наплавки.

Библиографический список

1. Орнис, Н.М. Основы механической обработки металлов - Москва: Машиностроение, 1968 - с.230.

*А.В. Попруженко, студ.; рук. Е.В. Башмакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

СВАРКА ПЛАЗМЕННОЙ СТРУЕЙ

Дуговая плазменная струя — интенсивный источник теплоты с широким диапазоном технологических свойств. Сварка плазменной струи используется для сварки нержавеющей стали, вольфрама, молибдена, сплавов никеля в авиационной промышленности, приборостроении. Тепловая эффективность дуговой плазменной струи зависит от величины сварочного тока и напряжения, состава, расхода и скорости истечения плазмообразующего газа, расстояния от сопла до поверхности изделия, скорости перемещения горелки.

Техника сварки. Питание дуги, как правило, осуществляется переменным или постоянным током прямой полярности.

Плазменной струей можно сваривать практически все металлы в нижнем и вертикальном положениях. В качестве плазмообразующего газа используют аргон или гелий, которые также могут быть и защитными.

К преимуществам плазменной сварки относятся высокая производительность, малая чувствительность к колебаниям длины дуги, устранение включений вольфрама в металле шва. Без скоса кромок можно сваривать металл толщиной до 15 мм. Плазменной струей можно сваривать стыковые и угловые швы. Стыковые соединения на металле толщиной до 2 мм можно сваривать с отбортовкой. В случае необходимости используют дополнительный металл.

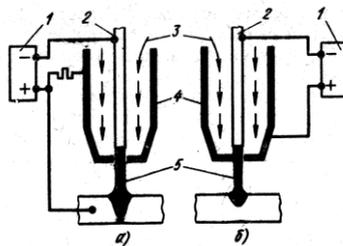


Рис.5. Схемы получения дуговой плазменной струи: а-прямого действия; б-косвенного действия;

Библиографический список

1. Айнспрук, Н.П. Плазменная технология в производстве СБИС. М.: Мир, 1987.

А.С. Проскуров, студ.; рук. Е.В. Башмакова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭЛЕКТРОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ШТАМПОВКА

Сущность электрогидравлического эффекта заключается в том, что при высоковольтных импульсных разрядах в жидкости создаются мощные гидравлические давления. Возникающие при этом ультразвуковые и кавитационные явления могут быть использованы для различных технологических целей и, в первую очередь, для штамповки сложных деталей из высокопрочных материалов [1]. Принципиальные схемы электрогидравлической штамповки и развальцовки труб показаны на рис. 1.

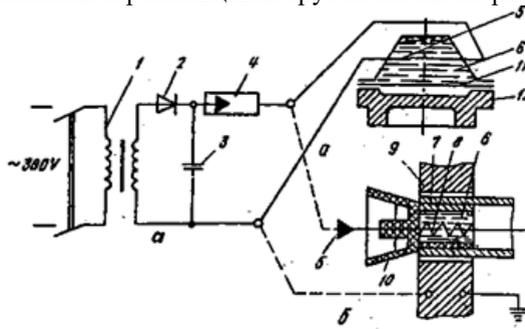


Рис.8. Принципиальная схема электрогидравлической штамповки (а) и развальцовки труб (б)

Обработке на установке могут подвергаться заготовки из различных (в том числе и труднодеформируемых) металлов и сплавов.

По сравнению со штамповкой взрывом электрогидравлическая штамповка более предпочтительна, поскольку процесс может выполняться в обычных цеховых условиях. Кроме того, более просто решаются вопросы техники безопасности, обеспечиваются точная регулировка энергии и многократное воздействие на заготовку с одной установки [2].

Библиографический список

1. Губарева, Э.М. Высокопроизводительные методы обработки металлов давлением. [Учеб. Пособие]. – Пермь: Пермский государственный технический университет, 1996.
2. Коликов, А.П., Подухин П.И., Крупин А.В. Новые процессы деформации металлов и сплавов: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высшая школа, 1986.

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

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА ПОВЕРХНОСТНОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Одним из важнейших показателей, определяющий спрос на проектируемый объект, является его качество. Обеспечение необходимого качества возможно при удовлетворении эксплуатационных требований, предъявляемых к деталям машин.

Актуальность темы определяет необходимость применения методики, позволяющей произвести обоснованный выбор метода упрочнения детали.

Эксплуатационные показатели определяются параметрами качества поверхностного слоя. Около 70% причин выхода из строя машин и механизмов связано с износом узлов трения. Одним из направлений обеспечения качества поверхностного слоя деталей является повышение износостойкости. Поэтому одной из главных задач современного материаловедения является поиск возможности изменения свойств металлов.

При производстве деталей машин широко применяются различные методы поверхностного упрочнения (механическое, лазерное, электролучевое, плазменное, ионное, химико-термическое, магнитное, ультразвуковое, наплавка).

Для обоснования выбора метода поверхностного упрочнения деталей необходимо решить следующие задачи:

- 1) Проанализировать производственную деятельность и проблемы машиностроительного производства.
- 2) Изучить существующие методы восстановления и упрочнения поверхностей.
- 3) Разработать технологический процесс восстановления и упрочнения изношенных поверхностей выбранной детали.
- 4) Выполнить экономическое обоснование предлагаемых решений.

Выполнение этих задач позволит выбрать оптимальный (для конкретного производства) вариант метода упрочнения деталей для достижения, требуемого качества изделия.

К.Д. Щербаков, студ.; рук. Е.В. Баймакова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИЗБИРАТЕЛЬНОЕ ЛАЗЕРНОЕ СПЕКАНИЕ

Селективное лазерное спекание (SLS) - важное направление аддитивных технологий. Выполняется на основе лазерных излучателей высокой мощности. Лазерный луч, направление которого варьируется подвижным зеркалом, очерчивает на нанесенном слое порошка текущее сечение модели. Поскольку лазерный луч является сфокусированным источником тепла, происходит спекание гранул материала, в результате которого на том месте, где проходил лазерный луч, образуется твердый полимер (см. рис. 1) [1].

Преимущества технологии селективного лазерного спекания:

1) Высокая производительность: SLS-принтеры не нуждаются в полном расплавлении частиц материала, что позволяет им работать гораздо быстрее других порошковых 3D-принтеров.

2) Прекрасные механические свойства готовой продукции: высокая прочность, точность построения, качественные поверхности [2].

Сфера применения SLS технологии обширна: детали силовых установок, авиастроение, машиностроение, космонавтика, оборудования для бизнеса, электрические приборы, дизайн.

Метод SLS имеет невероятные перспективы в различных областях его применения: от архитектуры до космонавтики. Остается только представить, каких высот может достичь индустрия 3D печати через несколько десятков лет.

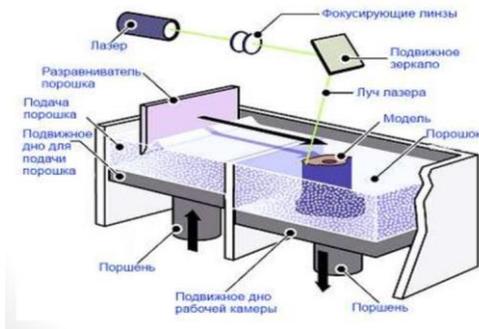


Рис 1. Селективное лазерное спекание.

Библиографический список

1. Григорьянц, А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. //Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. Пособие для вузов / Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, - 2006. - 664с.

2. Слюсар, В.И. //Фабрика в каждый дом. Вокруг света. - № 1 (2808).- Январь, - 2008. С. 96 - 102.

Х.Я. Аманов, П.И. Синодеева, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СОТС ПРИ РЕЗАНИИ

Использование СОТС может быть связано с некоторыми проблемами, такими как высокая стоимость и негативное воздействие на окружающую среду. В связи с этим, в последнее время, разрабатываются инновационные технологии СОТС, которые позволяют улучшить качество и производительность процесса металлообработки, а также сократить расходы на производство и уменьшить воздействие на окружающую среду.

Существует несколько инновационных технологий СОТС, которые позволяют решить проблемы, связанные с использованием традиционных смазочно-охлаждающих жидкостей. Нано-СОТС представляют собой новую технологию, основанную на использовании наночастиц в составе смазочно-охлаждающей жидкости. Эта технология позволяет улучшить охлаждающие свойства жидкости и уменьшить ее вязкость, что улучшает производительность процесса металлообработки. В жидкости для металлообработки наночастицы заменяют химические компоненты обычных смазочно-охлаждающих жидкостей. Эти наночастицы безвредны для человека и не создают каких-либо проблемных побочных эффектов, которые возникают, когда операции механической обработки осуществляются с использованием большого количества химикатов.

В новом составе некоторые из этих безопасных наночастиц используются для отвода тепла от зоны обработки, от точки резания в резервуар охлаждающей жидкости. Обычно охлаждающая жидкость просто отводит тепло в окружающее пространство без адресной передачи. Тогда контроль теплоотвода представляет серьезное отличие от такового в процессах резания, в которых применяется.

Использование нано-СОЖ может увеличить производительность процесса металлообработки за счет улучшения охлаждающих свойств жидкости и уменьшения ее вязкости. Это может привести к сокращению времени обработки и улучшению качества продукции. Использование инновационных СОЖ может улучшить условия работы на производстве. Например, применение нано-СОЖ и эмульсионных СОЖ может сократить количество пыли, которая образуется во время металлообработки, что улучшит качество воздуха на производстве и создаст более комфортные условия работы для работников.

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

УПРОЧНЕНИЕ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

Сверление является одним из самых распространенных способов получения отверстия. Режущим инструментом здесь служит сверло.

На сегодняшний день в машиностроительном производстве одной из задач является упрочнение режущей части инструмента. Это необходимо для продления срока службы сверла, так как оно работает с высокой нагрузкой, из-за чего происходит изнашивание рабочей части.

Для решения этой задачи есть эксплуатационные требования, предъявляемые к износостойким покрытиям:

- покрытие должно иметь твердость, в 1,5–2 раза превышающую твердость материала инструмента;
- низкую склонность к адгезии с обрабатываемым материалом и минимальную склонность к диффузионному растворению в обрабатываемом материале;
- быть устойчивым против коррозии и окисления;
- сохранять свои свойства при высоких температурах.

Однако отсутствуют научно обоснованные рекомендации по выбору оптимальных для конкретных пар трения технологических процессов из всех существующих методов упрочнения. Большинство упрочняющих методов позволяют управлять только частью параметров, требуемых для повышения износостойкости.

Нанесение износостойкого покрытия позволяет снизить силу трения стружки о кромку сверла. Следствием является снижение температуры в зоне работы режущих частей инструмента. Инструмент с покрытием обладает высокой износостойкостью за счет повышения твердости поверхностных слоев. Однако, это достигается только в том случае, если связь покрытия и материала инструмента сильная. При слабой связи возможно отслаивание покрытия, его частицы, попав в зону резания, вызовут ускоренный износ инструмента.

Следует также учитывать, что покрытия являются концентраторами напряжений и повышают вероятность поломок инструмента. Покрытия следует наносить на быстрорежущие стали. Для нанесения износостойких покрытий на режущий инструмент применяются методы химического и физического осаждения покрытий.

А.С. Захаров, П.И. Синодеева, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
СМАЗОЧНЫЕ МАТЕРИАЛЫ ДЛЯ РЕДУКТОРОВ

Слишком длительная работа под нагрузкой и низкий уровень масла в редукторе приводят к истиранию основных элементов. Смазочные материалы для червячных передач могут быть как жидкими, так и пластичными. Преимуществами смазки трансмиссий маслами являются отвод тепла и удаление продуктов износа из рабочей зоны, что важно при работе в режиме постоянной передачи мощности. Кратковременный (прерывистый) режим работы трансмиссии определяет использование смазок, которые упрощают эксплуатацию и техническое обслуживание трансмиссий, а также решают проблему утечек смазки. Метод смазки трансмиссии путем погружения червяка (колеса) в смазку или однократной смазки определяет консистенцию смазки. Очевидно, что метод погружной смазки предполагает использование полужидких смазочных материалов консистенции 00-000 в соответствии с NLGI. С другой стороны, для однократной смазки требуется более высокая консистенция смазочного материала от 0 до 2 NLGI. В этом случае важны хорошие адгезионные свойства, которые определяют стабильную смазочную пленку и устойчивость к выдавливанию смазки. Синтетические масла и смазочные материалы традиционно используются для преодоления повышенных потерь на трение, характерных для червячных редукторов. Однако, проверенные временем полиальфаолефиновые (ПАО) синтетические масла отказываются смазывать шестерни со шнеком повышенного трения. Это обстоятельство связано с их плохим смачиванием металлических и особенно бронзовых поверхностей, а также с относительно низкими трибологическими характеристиками. Никакие технологические ухищрения, связанные с применением специальных присадок, не сделали ПАО пригодным для червячных передач. Однако это относится только к трансмиссиям с высокой нагрузкой с червячными колесами с бронзовым зубчатым венцом.

Оптимальным решением вышеуказанной проблемы является использование смазочных материалов на базовых маслах с полиалкиленгликолем (ПАГ). Отличные смазывающие и вязкостно-температурные свойства, совместимость со всеми металлами и сплавами, а также высокие антиоксидантные свойства позволяют использовать масла и смазочные материалы на основе ПАГ в качестве смазочных материалов, рассчитанных на длительный срок службы.

*О. М. Муравьева, А.М. Филатов студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОДАЧА СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ПРИ РЕЗАНИИ

СОТС в процессе резания может производить смазывающее, охлаждающее, диспергирующее и моющее действия. В большинстве случаев высокие эксплуатационные характеристики охлаждающей жидкости определяются ее смазывающим и охлаждающим эффектом.

СОЖ проявляет действие смазывания в местах, где соприкасаются резцы и стружки, а также резцы и заготовки. Оно способно образовывать с поверхностями контактной области физическим, химическим и физико-химическим образом, формируя различное смазочное покрытие. В случаях при резании металлов гидродинамическими смазочными пленками, образующийся слой жидкости может быть несколько микрон и больше. В данном случае толщина физических и химических пленок может колебаться от десятков до сотен ангстрем, а вязкость жидкости должна быть оптимальной.

Есть 4 основных способа подачи СОЖ: режим полива (свободно падающая струя); напорной струей; распылением; по каналам, находящимся в режущем инструменте.

Режим полива используется чаще всего – он самый простой и экономный. Здесь СОЖ просто стекает вниз из патрубков под действием силы тяжести. Давление в этом случае составляет 0.03-0.1 Мпа.

Преимущество подачи СОЖ способом распыления в том, что химическая и физическая активность аэрозольных СОЖ выше. Кроме того, способ распыления считается экономным: при нём требуется гораздо меньшее количество жидкости.

Подача СОЖ по каналам в теле инструмента подходит не для всех инструментов. Подача СОЖ по встроенным каналам распространена при работе с глубокими отверстиями. Нанесение жидкости происходит с помощью специальных патронов и маслоприёмников.

Импульсный способ подачи СОЖ не относится к основным, так как редко используется на практике. Однако импульсная или ударная подача теплоносителя имеет ряд существенных преимуществ. Здесь СОЖ подается не сплошным потоком, а отдельными порциями.

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

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОДАТЧИКОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ ЗАМЕНЫ ИНСТРУМЕНТА

При обработке деталей на станках режущий инструмент испытывает большие нагрузки.

Своевременная смена затупившихся инструментов позволяет довести до минимума потери ценного металла (быстрорежущей стали и твердого сплава) при заточке, продлевает срок службы инструмента и приводит к экономии расхода инструмента на единицу изделия.

Износ инструмента также можно определить по возрастающему усилию на резец при обработке детали. Для определения этого усилия и определения момента замены инструмента можно использовать тензометрические датчики (тензодатчики). В качестве такого датчика можно использовать тензометрический датчик торсионного типа RTNC3LT/4,7t (рис. 1,2), установку которого можно предусмотреть в шпинделе токарного станка (для станков с креплением инструмента в шпинделе станка), либо встроить в механизм подачи токарного станка (для станков с креплением заготовки в шпинделе станка).

В плечи моста включены четыре тензорезистора, которые расположены на гибкой подложке, что обеспечивает им упругую деформацию в ходе измерений. Все резистивные элементы тензодатчика подбираются равнозначными, что обеспечивает на выходе в состоянии покоя нулевое значение разности потенциалов в точках $+S$ и $-S$. Это обозначает, что в ненагруженном идеальном тензодатчике не будет протекать ток в выходной цепи измерительного прибора. Как только к измерительному органу прибора будет приложена механическая нагрузка, гибкое основание деформируется, от чего изменятся рабочие параметры всех резисторов в цепи моста тензодатчика. В большинстве случаев попарно происходит сжатие и растяжение тензорезисторов. два резистора сжимаются, а другие два растягиваются, в результате чего происходит искажение моста. Электрическая цепь выходит из равновесия и через выход тензодатчика начинает протекать электрический ток. О чем будет свидетельствовать отклонение стрелки гальванометра или дисплей оборудования, реагирующий на изменение разности потенциалов. Как только нагрузка перестанет воздействовать на тензодатчик, гибкая пластина вернется в исходное состояние, а измерительный мост снова перейдет в состояние равновесия.

А.П. Туваков, П.И. Синодеева, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**CAD/CAM-СИСТЕМЫ ДЛЯ АНАЛИЗА НАПРЯЖЕНИЙ
ПРИ ЭКСПЛУАТАЦИИ ДЕТАЛЕЙ**

Для анализа напряжений, возникающих в процессе эксплуатации зубчатого колеса (шестерни), используется программа T-Flex.

T-Flex позволяет импортировать 3D модель изделия из других CAD-программ. Указываем материал детали.

Физические свойства стали прописываются в окне программы. Создаем сетку поверхности детали для формирования картины напряжений, возникающих на поверхности детали.

Так как шестерня крепится на валу с помощью шлицевого отверстия, то закрепляем грани модели шлицевого отверстия шестерни.

Учитывая, что:

- максимальный крутящий момент (M) в механизмах, где используется данная шестерня может достигать 800 Н·м;
- делительный диаметр шестерни – 165 мм = 0,165 м;
- делительный радиус шестерни (r) – 82,5 мм = 0,0825 м;

Рассчитаем максимальное усилие на зуб шестерни:

$$F = \frac{M}{r} = \frac{800}{0,0825} = 9697 \text{ Н}$$

Введем в программе значение силы и укажем плоскость приложения этой силы. Из результатов расчета программы видно, что наибольшие напряжения возникают у впадин зубьев: в месте примыкания боковой поверхности зуба к поверхности диаметра впадин шестерни.

Перемещения, возникающие в детали при нагрузке, обозначаются в программе также разными цветами: от наименьших (синий цвет) до наибольших (красный цвет).

Из результатов расчета программы видно, что наибольшие перемещения испытывают вершины зубьев шестерни. Соответственно, в технологическом процессе изготовления можно предусмотреть операцию по повышению износостойкости рабочих поверхностей зубьев в конкретном их месте.

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

ИОННАЯ ЦЕМЕНТАЦИЯ ПРИ ИЗГОТОВЛЕНИИ ДЕТАЛЕЙ

Химико-термическая обработка как конструкционных, так и инструментальных сталей приводит к повышению твердости, износостойкости, коррозионной стойкости и, создавая на поверхности изделий благоприятные остаточные напряжения, увеличивает их надежность и долговечность. Химико-термическая обработка является основным способом поверхностного упрочнения деталей, а также одним из основных способов модифицирования поверхностного слоя детали.

При всех достоинствах процессов химико-термической обработки они достигли предела формирования износостойкого поверхностного слоя, в результате чего в последнее время необходимы альтернативные методы повышения твердости и износостойкости поверхности деталей машин.

Одним из перспективных методов является обработка тлеющим разрядом, приводящая к структурным изменениям в поверхностных слоях материалов, прошедших химико-термическую обработку, выражающая диспергирование карбидных включений и их равномерному распределению в поверхностном слое на глубину до 30 мкм, приводящая к повышению износостойкости в 1,5-2 раза и приращению поверхностной твердости на 10-15 %, а как же сокращение времени на ХТО.

В рамках работы исследования проводились на образцах из стали 18ХГТ. Первый образец был подвергнут цементации в твердом карбюризаторе при температуре 900 °С, охлаждению на воздухе, закалке в масле. На основании электронно-сканирующей микроскопии установлено, что химико-термическая обработка формирует в сталях классическую структуру, получаемую после цементации. Второй образец был подвергнут ионной цементации в течении 45 минут с использованием электромагнитной системы.

Анализ образцов показал, что модифицирующая обработка в тлеющем разряде приводит к диспергированию карбидных включений и их равномерному распределению в поверхностном слое на глубину до 30 мкм. В случае обработки цементированной стали 18ХГТ дополнительно происходит формирование структуры мелкоигольчатого мартенсита.

К.А. Чернов, А.М. Филатов, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**МОДЕЛИРОВАНИЕ СПЕЦИАЛЬНОГО
ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ СБОРКИ**

В ходе исследований было доказано, что использование приспособления ускоряет процесс сборки, предотвращает появление брака в процессе сборки и исключает возможность травмы рабочего при использовании приспособления. Описываемое изделие является приспособлением для закрепления клипс в корпусе моторедуктора. Используется в пневматических прессах. Изделие представляет с собой ложемент с плитой, установленные на столе пресса и хвостовик с пуансонами и переходной втулкой, крепящиеся к пневмоцилиндру. Главной деталью описываемого изделия является «Ложемент». «Ложемент» спроектирован таким образом, чтобы моторедуктор можно было установить только в одном положении. После установки моторедуктора пневматический пресс опускает хвостовик и давит пуансонами на клипсы моторедуктора, защелкивая их в пазы на корпусе, тем самым закрепляя крышку моторедуктора. После закрепления клипс происходит прекращение подачи воздуха в пневмоцилиндр, возвратная пружина выталкивает поршень в изначальное положение, освобождая моторедуктор. Сборочная единица «Хвостовик» является самой нагруженной частью конструкции. В процессе работы при закреплении клипс деталь «Пуансон» давит на деталь «Основание», место соприкосновения деталей является самой нагруженной частью конструкции и используется для проведения расчетов на прочность.

Расчеты на прочность производятся при помощи САПР Компас-3D. Закрепление детали «Основание» происходит за верхнюю часть детали, нагрузки прилагаются к нижней части детали. После генерирования сетки измерений производятся расчеты нагрузок и усталости детали «Основание». Исходя из результатов расчета, можно утверждать, что отвечает приведенным техническим требованиям.

В ходе анализа данных, полученных при разработанной оснастке и сравнения их с ручным вариантом, применяемым в производстве ранее, выявлены следующие показатели:

1. Приспособление работоспособно, уменьшено количество бракованных изделий.
2. Скорость сборки моторедуктора значительно увеличилась
3. Стойкость приспособления соответствует заявленной
4. Безопасность рабочих повысилась

*Б.Ю. Грабовенко, студ., рук. А. М. Власов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ПОДШИПНИКОВ

Магнитные жидкости и магнитные смазочные материалы продолжают все более активно применяться в качестве конструкционного материала в различных механических устройствах и, в частности, в триботехнических узлах для повышения их качества и расширения области рационального применения. На основе магнитных смазочных материалов созданы радиально-упорные подшипники скольжения, которые способны эффективно работать в гидродинамическом режиме смазывания с незначительной скоростью изнашивания.

Основное достоинство магнитожидкостных подшипников заключается в том, что в широком нагрузочно-скоростном режиме они работают автономно в гидродинамическом режиме смазки за счет самоорганизующегося в магнитном поле замкнутого цикла поступления масла в зону трения. В отличие от известных подшипников, работающих при граничной смазке, в магнитожидкостных подшипниках содержится большое количество резервного масла и обеспечивается непрерывная регенерация его на фрикционном контакте. В подшипниках, например заполненных немагнитным пластичным смазочным материалом, отсутствует механизм надежной подачи его в зону трения, а в подшипниках с пористыми втулками для поступления масла из пор подшипник предварительно должен разогреться за счет фрикционного тепла, т. е. заведомо он не может работать с малым трением.

Известно, что в условиях гидростатического давления прочность тел возрастает, в частности из-за того, что после снятия внешних растягивающих напряжений происходит «схлопывание» трещины и материал как бы залечивается. Магнитная сила, действующая на стенки трещины, может аналогичным образом способствовать восстановлению прочности материалов поверхности трения подшипника.

Стабильные фрикционные характеристики, существенно больший ресурс работы и возможность более длительной работы узла без дозаправки смазочным материалом по сравнению с традиционными дают магнитным трибоузлам несомненное преимущество [1].

Библиографический список

1. Расчет ресурса вакуумных механических устройств с магнитной жидкостью/ А.Н. Болотов, О.О. Новикова, В.В.Новиков//17-я международная плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям: Сборник научных трудов, 2016. — 388 с.

*А.А. Столпяков, курсант; рук. В.Е. Иванов, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

ПРОЧНОСТНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СТЕКЛОБОЯ В ПРОГРАММЕ INVENTOR

При разработке новых конструкций устройств необходимо на этапе проектирования выявить недочеты конструкции (слабые места) и внести изменения перед созданием экспериментального образца. При проектировании устройства для разбивания автомобильных стекол при дорожно-транспортных происшествиях использовали программное обеспечение Autodesk Inventor [1, 2]. Для изготовления корпуса экспериментального образца выбран пластик PLA и метод 3D-печати. Сначала были разработаны трехмерные модели для изготовления корпуса. В программе Inventor трехмерным деталям задан материал – пластик PLA. Перед проведением прочностного расчета, после указания материала, заданы приложенные силы и места крепления. На основании проведенных расчетов конструкция была доработана, чтобы исключить концентраторы напряжений. Кроме этого, проведены прочностные исследования с пластиком PLA с применением лабораторного оборудования «Маятниковый копер». Исследования проводились с целью определения степени заполнения деталей при 3D-печати. Выявлено, что обеспечения необходимой и достаточной прочности и жесткости конструкции корпуса стеклобоيا необходимо обеспечить плотность заполнения формы при 3D-печати в пределах 60-70%. При увеличении плотности заполнения формы до 80-90% расход материала увеличивается на 10-20% соответственно, а прочность конструкции возрастает незначительно.

Экспериментальный образец стеклобоия для разбивания автомобильных стекол при авариях и ликвидации последствий ЧС изготовлен при помощи 3D-печати с заполнением деталей на 70%.

Библиографический список

1. Пучков, П. В. Исследование прочностных показателей наиболее нагруженных деталей башенной сушилки с использованием компьютерного моделирования / П. В. Пучков, В. Е. Иванов // Вестник машиностроения. – 2023. – Т. 102, № 1. – С. 85-87. – DOI 10.36652/0042-4633-2023-102-1-85-87.

2. Иванов, В. Е. Разработка конструкции устройства со стропорезом для разбивания автомобильных стекол / В. Е. Иванов, П. В. Пучков, А. В. Топоров // Современные проблемы гражданской защиты. – 2022. – № 2(43). – С. 66-71.

*К.А. Катаев, курсант; рук. В.В. Киселев, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

КЛАССИФИКАЦИЯ ШАССИ ПОЖАРНЫХ РОБОТИЗИРОВАННЫХ УСТРОЙСТВ

Пожары и стихийные бедствия сопровождаются наличием разнообразных опасных факторов – повышенных температур, взрыво- и газоопасных сред, которые несут угрозу не только здоровью, но часто и жизни пожарного. Для снижения вероятности поражения людей в настоящее время все шире находят свое применение разнообразные безлюдные технологии, в частности применяются роботизированные установки стационарные или подвижные.

Наибольшее распространение в пожарном деле получили наземные робототехнические устройства, которые применяются при тушении пожаров и проведении аварийно-спасательных работ. Отечественными производителями выпущены различные образцы такой техники.

В таблице 1 представлены выявленные в ходе изучения данного вопроса основные технико-экономические показатели, свойственные различным типам шасси роботизированных устройств.

Таблица 1. Техничко-экономические показатели шасси роботизированных устройств

Тип шасси	Техничко-экономические показатели шасси			
	Стоимость	Скорость	Проходимость	КПД
Колесное	Низкая-средняя	Высокая	Низкая-средняя	Высокий
Гусеничное	средняя	Средняя	Средняя-высокая	Средний
Шагающее	Высокая	Низкая	Потенциально очень высокая	Низкий

Считаем, что лучше для целей пожаротушения подходит гусеничный тип шасси, отличающийся высокой маневренностью и повышенной проходимостью.

Библиографический список

1. Киселев В.В., Иванов В.Е. Конструирование робототехнического комплекса легкого класса на основе модульной компоновки для мониторинга, разведки и тушения загораний // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 11. С. 483-485.

2. Павлова О.В., Киселев В.В. Пожарная статистика, как основа предупреждения ЧС / Проблемы обеспечения безопасности при ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций. 2018. Т. 1. С. 482-484.

Е.А. Тюмкина, курсант; рук. Н.А. Кропотова, к.х.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)

СНИЖЕНИЕ ПРОФЕССИОНАЛЬНЫХ РИСКОВ РЕШЕНИЕМ ИНЖЕНЕРНО-ПРИКЛАДНЫХ ЗАДАЧ

Для организации технически правильной производственной деятельности личного состава подразделений пожарной охраны уделяется внимание снижению профессиональных рисков, в частности решение прикладных задач при подготовке обучающихся. Актуальность данных решений подтверждается негативными производственными факторами, в результате которых происходит заваливание пожарной техники с дальнейшим ее опрокидыванием (рис. 1).



г. Волгоград,
май 2019 года

Рис. 1. Случай заваливания и опрокидывания техники



г. Кинешма,
декабрь 2022 года

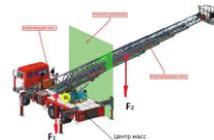


Рис. 2. Применение САПР для решения прикладных задач

Для предотвращения заваливания и дальнейшего опрокидывания грузоподъемной техники необходимо соблюдать требования безопасной ее эксплуатации и применение исключительно по назначению, а значит соблюдать политику транспортной безопасности. Для этого имеется ряд прикладных задач, решаемых с помощью инженерных механических расчетов, а также с помощью системы автоматизированного проектирования – САПР, распределяя нагрузку по осям и выполняя условие статической устойчивости (рис.2).

Решение подобных задач позволяет расширить кругозор обучающихся по профессиональной направленности, а также решение ситуационных задач способно подготовить обучающихся и профессионально адаптировать, а применение САПР позволяет сократить поиск рационального решения и снизить профессиональные риски, связанные с опрокидыванием пожарной техники.

Библиографический список

1. Кропотова Н.А. Технологическая разработка эргономичного прицепа для пожарно-спасательных подразделений // Сборка в машиностроении, приборостроении. 2021. № 12. С. 531-535.

**Б.Ю. Грабовенко, студ., А.М. Филатов, соискатель;
рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)**
УСТРОЙСТВО ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПАРА

В большинстве технологических процессов необходим перевод жидкости в парообразное состояние. В частности, для получения парообразной смазочно-охлаждающей технологической среды (СОТС). В области подачи СОЖ в зону резания известны различные установки.

Например, устройство охлаждения смазочно-водо-воздушным факелом при обработке резанием, работающее по принципу подачи распыленного СОЖ в поток сжатого турбулентного воздуха, что вызывает формирование смазочно-водо-воздушного факела [1].

Однако описанное устройство и ему подобные имеют существенные недостатки. СОТС в жидкой фазе попадая в зону резания нагревается, испаряется, что вызывает дестабилизацию температуры обрабатываемого материала и обрабатывающего инструмента. Такое воздействие приводит к ухудшению свойств обработанной поверхности, и к образованию микротрещин на поверхности инструмента, что резко снижает его стойкость.

В свою очередь применение парообразных СОТС исключает фазу испарения, что повышает проникающую способность и стабилизирует температуру в зоне резания. Также снижается расход СОТС путем увеличения объема среды [2].

Для применения парообразных СОТС было предложено устройство, которое работает следующим образом: жидкая СОТС поступает по патрубку (4) во внутренний корпус (1), путем пропускания переменного тока по жидкой фазе между электродами (3) жидкость ионизируется, испаряется и выходит через пароотводящий патрубок (2). Мощность парообразования регулируется уровнем воды, мощностью тока, а также размером электродов.



Рис. 1. Устройство для получения пара: 1- Внутренний корпус; 2- Пароотводящий патрубок; 3- Электроды; 4- Патрубок подвода СОТС.

Библиографический список

1. Патент RU 208 947 U1(МПК В23Q 11/10, Заявка: 2021128005, 24.09.2021
2. Расчет объема парогенератора для подачи СОТС в зону резания/ И.А. Сухов, С.А. Егоров// электромеханотроника и управление// шестнадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2021»: Материалы конференции. В 6 т. Т.4. — Иванов: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2021. — 142 с.

*В.Е. Жуков, студ.; рук. П.В. Пучков, к.т.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

СТЕКЛОБОЙ С РЕЗАКОМ РЕМНЯ БЕЗОПАСНОСТИ

Одной из актуальных проблем, возникающих при проведении аварийно-спасательных работ на транспорте, является необходимость разрушения автомобильных стекол для спасения людей. Для разбивания автомобильных стекол могут использоваться либо шанцевый инструмент, либо специальные инструменты – стеклобой [1]. Стеклобой с резаком ремня безопасности может выполнять две функции: первая – быстрое и безопасное разбивание автомобильного стекла изнутри для экстренного покидания транспортного средства после аварии или разбивание стекла снаружи для того чтобы помочь пострадавшему быстро покинуть аварийную машину; вторая – разрезание заклинивших ремней безопасности автомобиля для освобождения пострадавших в автомобильных авариях или безопасное разрезание одежды на пострадавшем для оказания первой неотложной помощи. На рисунке 1 представлена конструкция стеклобоя.

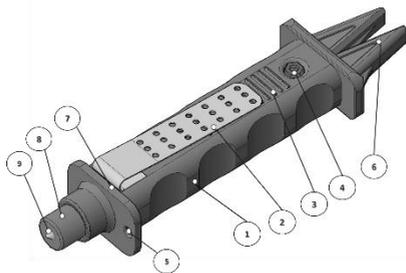


Рис. 1. Конструкция разработанного устройства: 1 – корпус устройства, 2 – зажим-клипса, 3 – насечка, 4 – винт крепежный, 5 – отверстие для крепления темляка, 6 – V-образный стропорез, 7 – гарда, 8 – корпус механизма для разбивания стекла, 9 – боек стальной.

При изготовлении опытного образца разработанной конструкции стеклобоя с резаком ремня безопасности была применена технология трехмерной печати.

Библиографический список

1. Иванов И.В., Пучков П.В. Разработка ручного инструмента для разбивания автомобильных стекол в аварийных ситуациях // Пожарная и аварийная безопасность: сборник материалов XVI Международной научно-практической конференции, посвященной проведению в Российской Федерации Года науки и технологий в 2021 году и 55-летию учебного заведения. Иваново: Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2021. С. 293-295.

Д.О. Дьяков, студ.; И.А. Смирнов, студ.;
рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)
**КАЧЕСТВО МЕТАЛЛИЧЕСКИХ ПОРОШКОВ ДЛЯ
АДДИТИВНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ**

На свойства деталей, полученных таким методом аддитивных технологий, как селективное лазерное плавление (SLM) влияют не только технологические параметры печати, но и качество мелкодисперсных порошковых металлических материалов.

Они различаются по химическому составу (на основе железа, кобальта, никелевые жаропрочные сплавы, чистый никель, титановые сплавы, вольфрамовые и молибденовые) и по диаметру сферических частиц.

Диаметр сферических частиц должен быть меньше толщины наплавляемого слоя. Форма – максимально приближена к сферической, т.к. она обеспечивает текучесть (сыпучесть) порошка, более компактную укладку порошка перед плавлением. Такую форму обеспечивает технология центробежного плазменного распыления. В отличие от газового распыления возможно добиться сферичности 80-95% порошка [1] и отсутствия таких дефекты, как сателлиты, газовые поры, кратеры и др. (рис. 1) [2], т.к. они значительно влияют на физико-механические свойства готового изделия.

Следует отметить, что в настоящее время нет никаких общих требований к металлическим порошкам, применяемых в аддитивных технологиях. Актуальной задачей является подбор марок отечественных материалов аналогичных импортным порошкам.

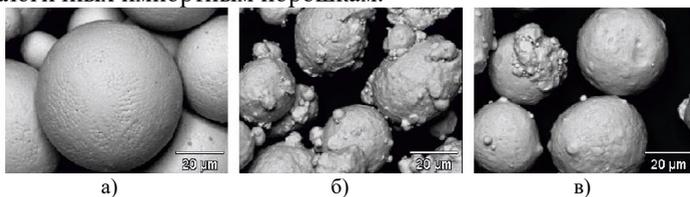


Рис. 1. Порошок стали 316L: а – партия порошка НПО «Центротех», б, в – партия аналогов

Библиографический список

1. Кубанова А.Н. Особенности материалов и технологий аддитивного производства изделий / А.Н. Кубанова, А.Н. Сергеев, Н.М. Добровольский, А.Е. Гвоздев, П.Н. Медведев, Д.В. Малий. – Чебышевский сборник. 2019. Т. 20. № 3 (71). С. 453-477.

2. Металлические порошки. НПО Центротех. Росатом [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://centrotech.ru/catalog/metallicheskie-poroshki/?lang=en> (Дата обращения 23.01.2023).

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ 3D-МОДЕЛИ СБОРКИ ПЛАНЕТАРНОГО РЕДУКТОРА

В современном мире конструкторское проектирование производится в электронном виде с использованием так называемых САД-систем, одной из которых является отечественная программа плоского и твердотельного моделирования Компас-3D от компании «АСКОН».

Разработка модели редуктора началась с разработки его отдельных деталей и узлов, данные для которых были взяты со сборочного чертежа и чертежей входящих в него сборочных единиц и деталей (рис. 1). Моделирование деталей осуществляется путем создания эскизов на плоскости с последующим переходом от них к трехмерному изображению путем применения такой функции как выдавливание, вращение и др. Все зубчатые колёса и венцы создавались на основе подпрограммы «Gears», в которой для построения необходимо задать такие данные как: число и угол наклона зубьев, модуль, ширина венца, смещение исходного контура колеса и т.д., на основе чего она создаёт полноценную 3D- модель требуемого зубчатого колеса, с возможностью дальнейшего его редактирования.

С помощью средств сборки программы детали собираютскомпануются в сборочные единицы и узлы путем добавления разнообразных сопряжений различных поверхностей деталей. Для добавления в сборки стандартных элементов в Компас-3D использовались библиотеки готовых компонентов.

Разработанная трехмерная модель планетарного редуктора используется для проектирования технологической оснастки и разработки технологии его изготовления.

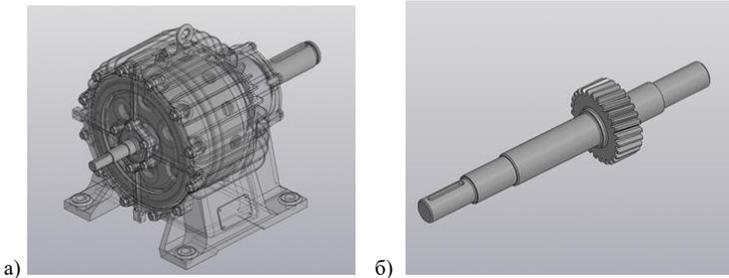


Рис. 1. Модель сборки планетарного редуктора (а), модель входного вала-шестерни (б)

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

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ДЕТАЛЕЙ СТАНОЧНОГО ПРИСПОСОБЛЕНИЯ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОГРАММЫ КОМПАС-3D

Компас-3D – система автоматизированного проектирования, которая позволяет не только быстро и качественно разрабатывать чертежи изделий, спецификации, трехмерные модели, а также проводить расчеты размерных цепей, разрабатывать управляющие программы для станков с ЧПУ и др. с помощью специальных приложений. Приложение АРМ FEM позволяет выполнять прочностной анализ, в том числе решать задачи статического расчета напряженно-деформированного состояния и визуализировать результаты.

При проектировании станочного приспособления для закрепления заготовки на фрезерную операцию (рис. 1, а) поставлена задача выполнить прочностной анализ прихвата, который наиболее нагружен при закреплении заготовки. Для решения задачи задается материал из которой изготавливается деталь – это сталь 45 (ГОСТ 1050-2013) с последующей закалкой и отпуском. Затем активируется приложение: «Приложения/Конфигуратор/Прочность/АРМ FEM». Расчет осуществляется в следующей последовательности: добавление закрепления, приложение действующей силы, генерация конечно-элементной сетки, статический расчет. На карте результатов отображаются результаты расчетов. Прихват анализировался на деформации перемещения, при учете коэффициента безопасности. Результаты расчета показаны на рис. 1, б.

Результаты расчета показали, что при нагружении прихвата силой 400 Н, максимальное смещение составляет всего 0,000388 мм, коэффициент безопасности сохраняется на всей детали и равен 10 при массе детали 0,421 кг.

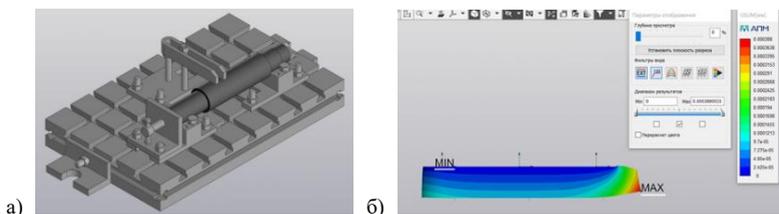


Рис. 1. Приспособление для фрезерования вала (а) и карта результатов расчета в АРМ FEM (б)

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

ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА СТАНКАХ С ЧПУ

На смену традиционным металлорежущим станкам пришли новые поколения станков с ЧПУ. Станки с ЧПУ позволяют изготовить детали сложной формы, могут обеспечить повышенную точность, а также снижают брак на 50% [1].

Качество обработки деталей на станках с ЧПУ определяется точностью станка, приспособлений и инструментов, которые применяются при обработке, системой ЧПУ и режимами обработки детали. Результирующая, действительная погрешность обработки на станках с ЧПУ определяется совокупностью погрешностей и ошибок, возникающих в корпусных деталях станка, приводах подачи и главного движения в системе управления, инструменте, заготовке, системе контроля и измерения.

При оценке точности обработки на станках с ЧПУ различают экономически обоснованную и предельно допустимую точность обработки. Повышение точности обработки в большинстве случаев замедляется из-за роста стоимости обработки, поэтому на станках с ЧПУ экономически выгодно обрабатывать детали сложной формы.

Повышение точности обработки на станках с ЧПУ является достаточно сложной задачей, включающей в себя решение конструкторских, технологических, метрологических вопросов. Важным фактором, который обеспечивает получение заданной точности обработки на станке с ЧПУ, является точное измерение промежуточных и окончательных размеров обрабатываемой детали.

Добиться повышения точности возможно за счет использования систем контроля, автоматизации, программ корректировки, адаптивных систем управления. Величина компенсаций определяется аналитическими расчетами или на основе экспериментальных данных при исследовании упругих деформаций, возникающих в системах станка, люфта в приводе подач, возникающих при резании вибраций, тепловых деформаций и т.п. Перспективным направлением повышения точности обработки деталей на станках с ЧПУ является применение технологий на базе искусственного интеллекта [1].

Библиографический список

1. Берлинер Э.М. Повышение точности обработки заготовок на станках с ЧПУ / Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2012. № 6. С. 219-222.

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

АНАЛИЗ ПРОГРАММНЫХ СРЕДСТВ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ 3D-ПЕЧАТИ

На качество трехмерной печати влияет большое количество факторов. Одним из них является выбор программного средства для подготовки модели к печати. Для этого созданы специальные программы – слайсеры (от английского slice – нарезать), которые, во-первых, разбивают 3D-модель на слои, а во-вторых генерируют G-код с учетом внесенных пользователем настроек печати.

Можно выделить универсальные слайсеры, которые подходят для большой линейки принтеров (например Ultimaker Cura, Simplify3D, IdeaMaker, PrusaSlicer и др.) и специализированные для определенных моделей (UP Studio, FlashPrint и др.). При выборе программы важно знать их достоинства и недостатки. Например, наиболее распространенная программа Ultimaker Cura имеет удобный интуитивный интерфейс, эта программа доступна даже для начинающих пользователей, так же Cura предлагает «древовидную поддержку» - похожую на разрастающееся дерево, поддерживающую точно только самые сложные участки и значительно экономящую пластик. Такой подход важен при создании сложных изделий, например, художественных.

Каждая из программ дает возможность задать множество параметров. Большинство программ позволяет работать в нескольких уровнях, которые условно можно разделить на более простой «Базовый», промежуточный «Расширенный» и наиболее сложный «Экспертный», который учитывает максимальное количество параметров печати. В настоящее время нет единых рекомендаций по настройке данных программ. Умелый подбор параметров значительно влияет на качество трехмерной печати (рис. 1).

Важно отметить, что слайсеры постоянно обновляются, расширяют и совершенствуют возможности трехмерной печати.

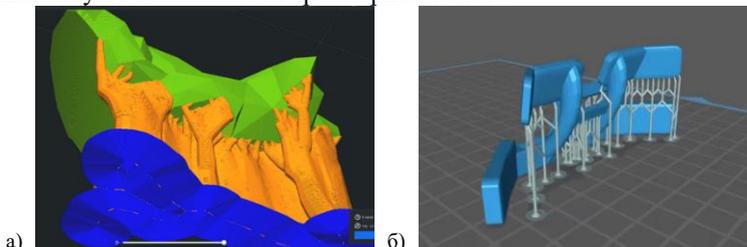


Рис. 1. Проектирование поддержек в Ultimaker Cura (а) и Chitobox Basic (б)

*Д.Н. Яковлев, В.А. Аниськович, рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ОТ СОЖ

Научно-исследовательская работа заключалась в определении зависимости температуры в зоне резания от подачи различных смазочно-охлаждающих жидкостей. В одном случае, не используем СОЖ, а в другом рассматриваем в качестве СОЖ водяной пар и воду.

Производилась обработка цилиндрической заготовки диаметром 50 мм из стали 45 на токарном станке 1К62 с помощью правого проходного резца Т5К10 25x16x140 мм, ГОСТ 18877-73. Главный угол в плане 45°, вспомогательный угол в плане 45°, передний угол 5°, главный задний угол 2°. Для подачи водяного пара и воды в зону резания использовались специально подготовленные установки.

В случае с использованием в качестве СОЖ водяного пара, были использованы: индукционная плита, парогенератор, специальная насадка для подачи СОЖ, медицинская капельница и бутылка с водой. Эксперимент проходил следующим образом:

1. Парогенератор нагревался на индукционной плите.
2. После нагрева с помощью медицинской капельницы подавалась вода в парогенератор.
3. Выходящий пар с помощью спец. насадки подавался в зону резания.

В случае с использованием в качестве СОЖ воды, была использована емкость с патрубком. Подача производилась поливом со скоростью 2 л/мин.

Были получены зависимости температуры в зоне резания от скорости и подачи. Для проведения эксперимента было проведено планирование полного факторного эксперимента, где в качестве факторов были использованы скорость резания и подача на трех уровнях. Были получены зависимости:

для охлаждения зоны резания с помощью воды:

$$y = 714,5 + 140,3x_1 + 46,1x_2;$$

для охлаждения зоны резания на воздухе:

$$y = 660,2 + 137,7x_1 + 19,4x_2;$$

для охлаждения зоны резания с помощью пара:

$$y = 541,6 + 173,8x_1 + 54x_2;$$

Проверка значимости коэффициентов по критерию Т Стьюдента показала значимость коэффициентов. Проводилась проверка адекватности модели по критерию Фишера. Сравнение наблюдаемой дисперсии с табличным значением показывает, что модель адекватна.

СЕКЦИЯ 24
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

Секретарь –
к.т.н., доцент **Огурцов Ф. Б.**

Д.Д. Молокова, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д. ф-м. н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ ТРАВЕРСЫ ФРЕЗЕРНОГО СТАНКА

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния и оценка работоспособности конструкции траверсы фрезерного станка.

Траверса представляет собой горизонтальную несущую коробчатую балку металлорежущих станков, вертикально перемещающуюся по направляющим двух стоек. На самой траверсе располагаются несущие режущие инструменты, которые в свою очередь перемещаются горизонтально по телу траверсы.

В работе создана оболочечная модель траверсы с помощью программы SolidWorks. В программном комплексе ANSYS разработана конечно-элементная сетка [1].

Для оценки адекватности результатов проведена верификация модели на основе собственных частот.

При расчетах получилось, что получившиеся напряжения 26,43 МПа много меньше 250 МПа – предела текучести, следовательно, деталь не разрушится.

Но жесткостные характеристики не удовлетворяют заявленным требованиям, что говорит о необходимости оптимизировать конструкцию внутренних ребер (рис.1).

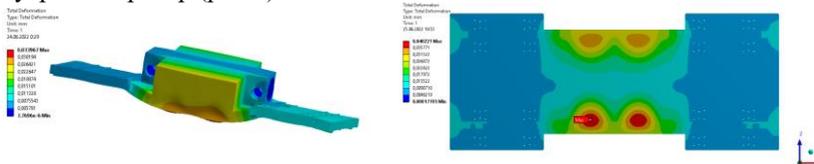


Рис. 1 – Перемещения в траверсе: А) в изометрии, В) максимальные перемещения

Однако, при оптимизации не удалось понизить значения перемещений и повысить жесткость путем изменения толщин внутренних ребер при условии, что внешние ребра неизменны. Оптимизация толщин данных ребер не дает установленных результатов при данном механическом дизайне. Соответственно, чтобы конструкция подходила под условия, конструкторам необходимо перестроить конфигурацию внутренних ребер.

Библиографический список

1. Бруяка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ./ В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЭЛЕМЕНТА СТАНКА В100 НА УСТАЛОСТНУЮ ПРОЧНОСТЬ

В работе исследуется усталостная прочность детали “Держатель” . Она предназначена для захвата и удержания хвостовика в фрезерном высокоточном станке В100. Предполагается, что пневматический манипулятор, держащий хвостовик, подбедет к жестко закрепленному держателю, после чего с усилием продавит хвостовик внутрь держателя. Исследуемый держатель должен выдержать прикладываемые нагрузки, желательно более пяти тысяч циклов. В исследуемой детали моделируются три выреза с различным количеством концентраторов напряжений. Нагрузки во всех случаях одинаковы и составляют 15кН на каждый из боковых сегментов и 20 кН на верхнюю плоскость. (рис 1, рис.2)

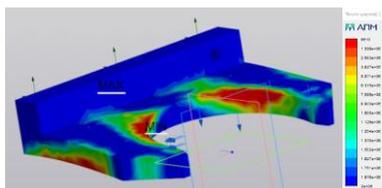


Рис.1 Усталостный расчет детали с круговым вырезом

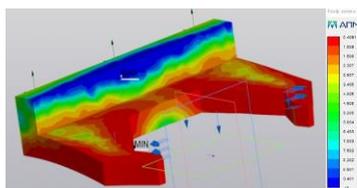


Рис.2 Усталостный расчет детали с шестиугольным вырезом

Расчеты показали, что концентраторы напряжений существенно снижают усталостную прочность деталей.

Тип выреза	Максимальные напряжения	Усталостный расчет
Круговой	528 МПа	9510 циклов
Прямоугольный	1028 МПа	221 цикл
Шестиугольный	558 МПа	0.4 цикла

Библиографический список

1. Бояршинов С.В. Основы строительной механики машин. — М.: Машиностроение, 2006. – 456 с.

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

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТА

Целью работы является численный расчет напряженно-деформированного состояния диафрагмы с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Диафрагма является составным элементом жесткости под установку механизма управления рулежным устройством передней опоры самолета Ил-114-300. Для расчета создана модель диафрагмы (рис.1). Проектирование геометрии и статический анализ реализуются в программном комплексе ANSYS [1]. После создания конечно-элементной сетки [2] и обозначения граничных условий и нагрузок проводится статический расчет диафрагмы. Нагрузкой является распределенная по боковым граням сила.

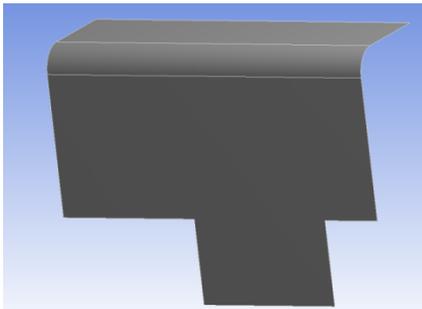


Рис.1. Модель диафрагмы

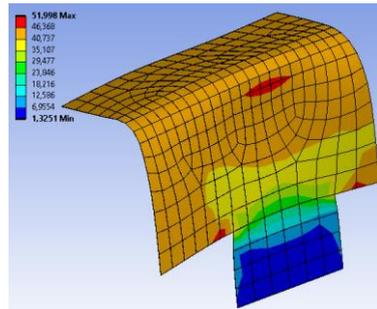


Рис.2. Распределение напряжений

Максимальные деформации распределены около боковых ребер диафрагмы не превышают 0,2 мм.

Максимальные напряжения сосредоточены в местах перегиба диафрагмы и равны 52 МПа (рис.2). Коэффициент запаса прочности больше пяти.

Библиографический список

1. БасовК. А. ANSYS и LMS Virtual Lab. Геометрическое моделирование. — М.: ДМК Пресс, 2006. —240 с.
2. Каменев С. В. Основы метода конечных элементов в инженерных приложениях: учебное пособие / Оренбургский гос. ун-т. – Оренбург: ОГУ, 2019. – 110 с.

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ СОЕДИНЕНИЙ АВИАЦИОННЫХ ПЛАСТИН

В работе исследуются напряжения в зоне стыка композитного материала и материала из алюминиевого сплава с учетом болтов и заклепок. Данная конструкция используется в фюзеляжах самолетов[1]. Для расчета спроектирована модель соединения (рис. 1). Создание геометрии и статический анализ реализуются в программном комплексе ANSYS [2]. После генерации конечно-элементной гексагональной сетки и задания граничных условий и нагрузок проводится статический расчет конструкции. Нагрузкой является сила, равная 9,9кН.

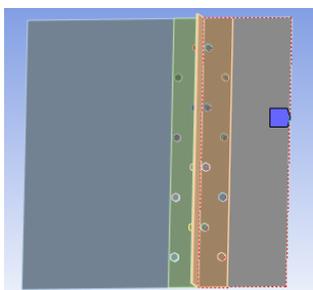


Рис.1. Внешний вид конструкции

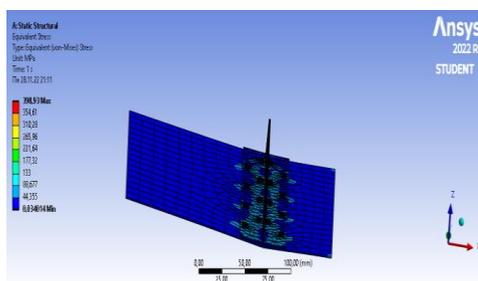


Рис.2. Распределение напряжений при соединении заклепками

В расчете при болтовом соединении максимальное напряжение достигает 770 МПа, а при соединении заклепками 399 МПа (рис.2). Поскольку напряжение в соединении заклепками меньше, чем в болтовом соединении, оно значительно надежнее. Еще один минус болтового соединения состоит в том, что корпус воздушного судна регулярно испытывает высокие нагрузки, в результате которых возникает большая вероятность раскручивания болтов.

Библиографический список

1. Гребеньков О.А. Конструкция самолетов. М.: Машиностроение, 1984. - 240с
2. Денисов М.А. Компьютерное проектирование Ansys: учеб. пособие; Екатеринбург : Изд-во Урал, ун-та, 2014. - 77 с.

*В.С. Шетемина студ; рук. М.А. Ноздрин к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ КРОНШТЕЙНА ВЕНТИЛЯТОРА ДВИГАТЕЛЯ САМОЛЕТА

Целью работы является исследование напряжений кронштейна вентилятора двигателя самолета AirbusA320. Для расчета спроектирована модель кронштейна в 3 разных случаях (изменяется толщина). Создание геометрии и статический анализ реализуются в программном комплексе ANSYS[1]. После создания конечно-элементной сетки и обозначения граничных условий и нагрузок проводится статический расчет. Нагрузкой является сила, равная 7060 Н, которая возникает при открытых створках реверса с учетом бокового ветра и является максимальной (табл.1).

Табл.1 Результаты расчетов на прочность 3-х кронштейнов

Кронштейн	σ_{\max} (кгс/мм ²)
Кронштейн 1(толщина 10 мм)	30,968 кгс/мм ²
Кронштейн 2(толщина до середины 5мм, после 10мм)	47,927кгс/мм ²
Кронштейн 3(толщина 5 мм)	61,889кгс/мм ²

Напряжения не выходят за условный предел текучести, равный $\sigma_{0.2}=97.9$ кгс/мм², для материала Inco 718 при максимальной рабочей температуре 84С.

Следовательно, все модели кронштейна являются прочными.

Библиографический список.

1. А.В. Чигарев, А.С. Кравчук, А.Ф. Смалок. ANSYS для инженеров. Справочное пособие. М.: Машиностроение, 2004-512 с

Лукин Д.Д., Попруженко А.В., студ, рук. Ноздрин М.А.
к.т.н.доц. (ИГЭУ, г. Иваново.)

АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ КОРПУСОВ ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО И КОНИЧЕСКО- ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО РЕДУКТОРОВ

Инженерное программное обеспечение стало неотъемлемой частью проектной деятельностью. В разработке корпуса такое программное обеспечение используется для проектирования, проведения расчета долговечности, прочности, подтверждения работоспособности.

Для проведения расчётов рассматриваются следующие корпусные детали: корпус цилиндрического редуктора – привода ковшового транспортера и корпус двухступенчатого коническо-цилиндрического редуктора [1].

Цель работы заключается в проведении расчета на долговечность, анализе прочности корпусных деталей цилиндрического и коническо-цилиндрического редукторов. Результаты проведённых расчётов корпусов приведены на (рис.1;2).

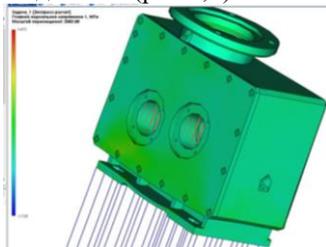


Рис.1 Результат расчёта корпуса коническо-цилиндрического редуктора

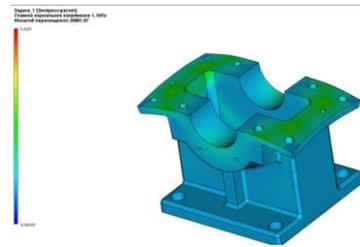


Рис.2 Результат расчёта корпуса цилиндрического редуктора

Для проведения работы были подготовлены 3D модели двух корпусных деталей, начальные и граничные условия, соответствующие моделируемой физической задаче, сведения о материалах. Проведен статический анализ двух корпусных деталей [2]. Произведенные расчеты позволили определить оптимальную толщину стенки. Сформулированы рекомендации по оптимальному способу удешевления и улучшения конструкций корпусов.

Библиографический список

1. Анфимов М. И. Редукторы. Конструкции и расчет. Изд. 4-е: «Машиностроение», 1993., - 463с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. В 2-х т. Т1 /под редакцией А.Г. Косиловой и Р.К. Мещеркова. -изд. 4-е, перераб и под-М: Машиностроение, 1985-656с.

У.О. Ларионова, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н. доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ ПРОЧНОСТИ КОСТИ ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ

Цель работы – прочностной анализ бедренной кости пациента, проходящего лечение в НМИЦ онкологии им. Н. Н. Блохина, после хирургического вмешательства. Использовался метод конечных элементов, который широко распространен в лечении травм бедренной кости [1,2].

В ходе работы построены геометрические модели в ПО Materialise Mimics.20.0. и конечно-элементная сетка в расчетном модуле DesignModeler ПО ANSYS. В программе Vonemat рассчитан модуль упругости для бедренной кости, варьирующийся от 360 до 19200 МПа. В ПО ABAQUS проведен расчет напряженно-деформированного состояния бедренной кости при различном нагружении – статическом положении пациента и динамике коленного сустава. Наибольшие напряжения наблюдаются на внешней стенке вблизи среза кости (рис.1).

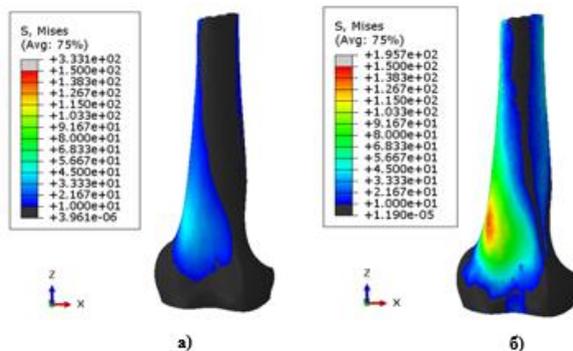


Рис. 1 - Распределение напряжений в модели при нагрузке: а) 780N; б) 2340N

Напряжения не превышают допусковых, поэтому пациент дееспособен и может обходиться без дополнительного протезирования.

Библиографический список

1. Дубров В.Э., Зюзин Д.А., Кузькин И.А., Щербаков И.М., Донченко С.В. Применение метода конечных элементов при моделировании биологических систем в травматологии и ортопедии // Российский журнал биомеханики. 2019. Т. 23, №1: 140-152
2. Uzair N. Mughal, Hassan A. Khawaja, M. Moatamedi Finite element analysis of human femur bone // The International Journal of Multiphysics 9(2):101-108

*С.М. Городова, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИБРОМОНИТОРИНГА РОТОРНЫХ МАШИН

Концепция технологии вибромониторинга (ВМ), включая вибродиагностику, роторных машин изложена в [1, 2].

Целью работы являются:

- апробация в учебных и практических целях программно-технического комплекса вибромониторинга (ПТКВ) на основе программной системы (ПС) «АГАТ-Протокол» и измерительного средства – виброанализатор АГАТ (производитель ООО «Диамех 2000»);
- отладка методики диагностирования дефектов центробежного насоса сетевой воды CR-90-3-2 Grundfos, проведение диагностики и анализ результатов.

Обучающий эффект ПТКВ должен заключаться в приобретении обучающимися навыков и умений в областях:

- измерения и анализа параметров вибрации роторных машин;
- оценки технического состояния (ТС) и диагностирования дефектов.

Система ВМ выполняется по технологии «off-line» контроля с использованием переносных измерительных средств и поддерживается ПС ведения базы данных и обработки результатов измерений.

Произведена классификация контролируемого энергомеханического оборудования, разработаны маршрутные карты контроля и выбрана нормативная база оценки вибрации.

Эффективность использования ПТКВ заключается в реализации:

- обучаемыми следующими возможностями – теоретического и практического изучения технологии «off-line» ВМ; использования информационных технологий интегрированных в среду «off-line» ВМ для выполнения оценки ТС и диагностирования дефектов основных узлов и агрегатов;
- службой эксплуатации – получение необходимой информации для организации и проведения ремонтов.

Библиографический список

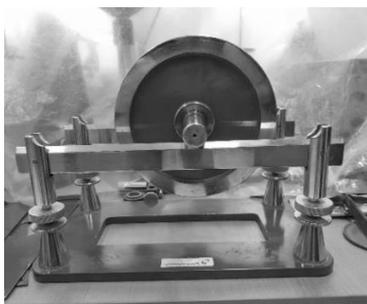
1. **Колобов А.Б.** Вибромониторинг промышленных машин: учебное пособие / А.Б.Колобов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.
2. **Колобов А.Б.** Вибродиагностика: теория и практика: учебное пособие / А.Б.Колобов. – Москва: Инфра-Инженерия, 2019. – 252 с.

К.А. Лётин, С.А. Лебедева, студ.;
рук. Ф.Б. Огурицов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

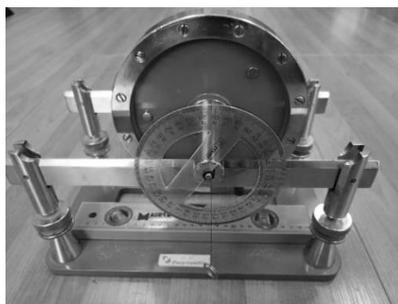
ИЗУЧЕНИЕ СТАТИЧЕСКОЙ БАЛАНСИРОВКИ

Целью работы является модернизация стенда, а именно: создание измерительной части, разработка методики проведения балансировки и апробация стенда.

Для проведения балансировки при такой постановке задачи в стенд были внесены следующие изменения. Для определения углов поворота был установлен лимб, позволяющий с помощью отвеса определять поворот маховика. Кроме того, были подготовлены места для установки пробных и балансировочных грузов. При этом, было выбрано крепление с помощью магнитов, что обеспечивает лёгкость установки и позволяют добиться точности центровки. Внешний вид стенда до модернизации и после представлен на рис.1.



до модернизации



после модернизации

Рис.1 Внешний вид лабораторного стенда

Далее модернизация стенда позволяет определить массу грузов из условий равновесия по моментам. Производится расчёт массы грузов в местах установки из условия равновесия системы сходящихся сил.

В результате проведенной апробации было установлено, что погрешность предложенной методики по определению массы дисбаланса не превышает $4\div 6\%$. Результаты внедрены на кафедру теоретической и прикладной механики ИГЭУ.

Библиографический список

1. Левит М. Е., Рыженков В. М. Балансировка деталей и узлов. — М.: Машиностроение, 1986. — 248 с., ил.

СЕКЦИЯ 25
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Председатель –
д.т.н., профессор **Жуков В. П.**

Секретарь –
д.т.н., доцент **Беляков А.Н.**

*И.А. Кокулин, асп., Г.А. Собакин студ.;
рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф. (ИГЭУ, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ КАПЕЛЬНОГО УНОСА ВЛАГИ В ИСПАРИТЕЛЬНЫХ УСТАНОВКАХ

Испарительные установки широко используются в промышленных технологиях для получения очищенной воды или концентрата, растворенных в ней веществ. Многоступенчатые испарительные установки мгновенного вскипания (МИУ МВ) по тепловой эффективности относятся к одному из наиболее перспективных видов испарительного оборудования.

Попадание перегретой воды в грязный отсек ступени с пониженным давлением приводит к ее мгновенному вскипанию, которое сопровождается интенсивным парообразованием. Вместе с паром в чистый отсек ступени может уноситься влага в виде капель. При этом капельный унос влаги сопровождается переходом примесей, содержащихся в каплях, из грязного отсека в чистый, что приводит к загрязнению и снижению качества дистиллята. Предложенная ранее модель ступени испарительной установки [1] не учитывает капельного уноса влаги с паром, а сепаратор капель, установленный между грязным и чистым отсеками, считается идеальным. Очевидно, что учет в модели капельного уноса существенным образом повышает прогностическую ценность модели.

Разработка модели МИУ МВ с учетом уноса капель при испарении выполняется в несколько этапов. На первом этапе в рамках комбинаторного подхода определяется распределение капель по размерам в зоне испарения грязного отсека. На втором этапе в рамках известного подхода к расчету сепараторов [2] с использованием вероятностей выноса капель в чистый отсек предлагается модель сепаратора, которая позволяет определить долю улавливаемых в нем капель. Эффективность улавливания капель и содержащихся в них примесей, в свою очередь, позволяет определить содержание примесей в чистом отсеке. На третьем этапе из решения уравнений теплообмена находятся потоки дистиллята и перегретой воды для каждой ступени многоступенчатой испарительной установки [1], затем вычисляется содержание примесей в этих потоках.

Библиографический список

1. Жуков В. П., Кокулин И.А., Виноградов В.Н. Моделирование и расчет процесса теплообмена в многоступенчатых многопоточных испарителях мгновенного вскипания. Вестник ИГЭУ. 2023. № 1.

2. Мизонов В.Е., Ушаков С.Г, Барочкин Е.В. Аэродинамическая классификация порошков. Иваново, 2014, 260с.

К.А. Лётин, студ.; рук. А.В. Огурцов, к.т.н., доцент,
(ИГЭУ, г. Иваново)

ТЕОРИЯ ЦЕПЕЙ МАРКОВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ РЕЗУЛЬТАТОВ ОБУЧЕНИЯ

Контроль знаний, умений и навыков должен быть на таком уровне, чтобы на основе его результатов можно было предупредить становление ошибочных заключений, обобщить выводы о методах обучения, определить степень освоения изученного материала учащимися, дать оценку их работе, изменить приёмы обучения. Для описания трансформации знаний при обучении используется матричная модель обучения, которая по известному вектору знаний до обучения позволяет рассчитать вектор знаний после него. В общем случае «вектор знаний» имеет вид:

$$f = \begin{pmatrix} 0,3 \\ 0,4 \\ 0,2 \\ 0,1 \end{pmatrix}.$$

Для описания процесса контроля знаний пользуются вероятностной характеристикой – диагональной матрицей контроля C , значения элементов которой C_{ij} показывают вероятность прохождения контроля с положительной оценкой студентами i -го класса знаний. Очевидно, что для студентов с разными знаниями (из разных классов знаний) эти вероятности будут различаться. Вектор знаний студентов после контроля может быть определен через произведение матрицы контроля на входной вектор знаний:

$$f_1 = (I - C) \cdot f',$$

$$f_2 = C \cdot f',$$

где f_1 , f_2 – векторы знаний для студентов, не прошедших и прошедших контроль соответственно; I – единичная матрица; f' – исходное распределение студентов по знаниям до контроля; C – матрица контроля.

Предложенная модель позволит прогнозировать результаты контроля обучения.

Библиографический список

1. Жуков, В.П., Беляков А.Н., Барочкин А.Е. Матричное моделирование технологических систем. ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново. – 2020. – 88 с.

*М.Д. Фомичев, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.,
А.Е. Барочкин, к.т.н., доц., (ИГЭУ, Иваново)*

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЕПЛОМАССОБМЕНА В БАШЕННЫХ ГРАДИРНЯХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

В настоящее время в атомной энергетике в связи с нехваткой маломинерализованной воды актуальной является проблема повышения эффективности теплообмена в системах оборотного охлаждения и в башенных градирнях. Моделирование теплообмена осложняется нелинейностью процессов, связанной с фазовым переходом в теплоносителях и конвективным движением воздуха внутри градирни.

Моделирование указанных нелинейных процессов предлагается выполнить на основе синтеза моделей теплообмена, разработанных в рамках матричной формализации [1], и модели конвективного движения воздуха в градирне, построенной с использованием программного комплекса ANSYS FLUENT [2].

При решении задачи в программном комплексе FLUENT воздушный поток рассматривается как непрерывная фаза, в то время как капли воды, двигающиеся в противоточном направлении, представляются как дисперсная фаза с использованием уравнения Лагранжа [2]. Численный расчет был произведен для градирни БГ-1600. В результате расчета определяется расход воздуха через градирню, который затем используется для расчета технологических параметров энергетического оборудования в рамках матричного подхода.

Согласно полученным результатам предложенный синтез математических моделей позволил получить расчетные значения, которые адекватно описывают нормативные данные [3]. Разработанная модель может быть использована для оптимизации систем охлаждения с целью определения наиболее эффективных режимов работы.

Библиографический список

1. Жуков В.П., Фомичев М.Д. и др. Моделирование и расчет процесса теплообмена в башенных градирнях систем оборотного охлаждения ТЭС и АЭС. // Вестник ИГЭУ. – 2022. – № 3. – С. 57-63.

2. FLUENT Incorporated, FLUENT Users Guide Release 12, Lebanon, New Hampshire, USA, 2009.

3. Указания по нормированию показателей работы гидроохладителей в энергетике (РД 34.09.212): утверждено зам. Начальника Главтехуправления Д. Я. Шамараковым 7.02.1980 г. – Главное техническое управление по эксплуатации энергосистем. – Москва: Южтехэнерго, 1981. – 37 с.

*К.Н. Бубнов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ДИАГНОСТИКА СОСТОЯНИЯ ПОДОГРЕВАТЕЛЯ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Во время эксплуатации паровой турбины в межремонтные периоды происходит заметное ухудшение характеристик экономичности, надежности и маневренности энергетического оборудования [1]. Целью данного исследования является разработка математической модели подогревателей высокого давления (ПВД), которая позволяет диагностировать техническое состояние ПВД, учитывая влияние накопившихся дефектов на характеристики экономичности и маневренности подогревателя.

На первом этапе исследования предложена математическая модель ПВД, позволяющая рассчитать значения температур горячего и холодного теплоносителей в характерных сечениях подогревателя. Основу предложенной модели составляют матричные модели теплопередачи [2] для охладителя пара, собственно подогревателя и охладителя дренажа. Для верификации предложенной математической модели ПВД были использованы данные из типовых энергетических характеристик [3]. Статистический анализ полученных результатов моделирования показал, что применительно к ПВД паровой турбины К-300-240 ЛМЗ математическая модель является адекватной, так как она позволяет с допустимой погрешностью определить температуры питательной воды во всем допустимом диапазоне изменения электрической нагрузки.

Кроме того, предложенная математическая модель ПВД может быть использована в качестве модуля при создании программного комплекса предиктивной аналитики энергетического оборудования.

Библиографический список

- 1. Адаптация** алгоритмов диагностирования оборудования паротурбинных установок для конкретных условий ТЭС / К.Э. Аронсон, Б.Е. Мурманский, Б.Е. Новоселов, Ю.Д. Бродов, А.Ю. Сосновский, И.Б. Мурманский, Д.А. Изотов // Теплоэнергетика. – 2020. – № 11. – С. 28-33.
- 2. Жуков В.П., Барочкин Е.В.** Системный анализ энергетических теплообменников установок. – Иваново, 2009. – 176 с.
- 3. РД 34.30.713** Типовая энергетическая характеристика турбоагрегата К-300-240 ЛМЗ (для турбин до заводского N 1198): разраб. ПО «Южтехэнерго»; утв. Минэнерго СССР 24.12.1975; введ. в действие с 24.12.1975 г

*П.А. Антонов, асп.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТРАНСПОРТНАЯ ЗАДАЧА ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

В современных условиях применение цифровых интеллектуальных систем для эффективного энергоснабжения потребителей путем оптимального сочетания различных видов энергий и энергоносителей является актуальной задачей.

Широко известны [1] подходы инновационного развития электроэнергетики на базе концепции SMART GRID и задачи оптимального электроснабжения конечных потребителей от нескольких источников с учетом различных ограничений по пропускной способности линий. Наряду с эффективным электроснабжением потребителя известна постановка и решение транспортных задач совместного снабжения конечных потребителей электрической и тепловой энергией [2].

Очевидно, что покрытие всех энергетических потребностей возможно за счет или электрической энергии, или тепловой энергии, или природного газа, или комбинацией указанных потоков энергии.

В работе предложена постановка транспортной задачи, учитывающая наряду с потоками электрической и тепловой энергии, потоки газового топлива. При этом учитывается не только транспорт потоков энергии с учетом физических ограничений по пропускной способности и экономической целесообразности, но и эффективность совместной генерации тепловой и электрической энергий на электрических станциях.

Наиболее эффективная комбинация типов энергий и режимов работы энергетической системы может выбираться как на стадии проектирования, так и при эксплуатации энергетических систем.

Библиографический список

1. Кобец Б.Б., Волкова И.О. Инновационное развитие электроэнергетики на базе концепции SMART GRID. М.: ИАЦ Энергия, 2010. .207с.
2. Оптимальная выработка и передача энергии в тепловых и электрических сетях / В. П. Жуков, Е. В. Барочкин, Д. А. Уланов [и др.] // Теплоэнергетика. – 2011. – № 8. – С. 8-12.

*Е.В. Басова, асп.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УЧЕТ НЕЛИНЕЙНЫХ ЭФФЕКТОВ ПРИ МАТЕМАТИЧЕСКОМ МОДЕЛИРОВАНИИ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ В СЛОЕ СМАЗКИ

Смазочный материал в контактной паре служит для уменьшения трения и отвода тепловой энергии из места контакта. Смазка в процессе нагрева изменяет свои теплофизические свойства и при достижении критической температуры перестает выполнять свои функции.

Целью настоящей работы является построение математической модели теплопереноса, позволяющей учитывать изменение теплопроводности и теплоемкости смазочного материала в зависимости от его температуры.

Описание теплового состояния слоя строится на основе математического аппарата теории цепей Маркова [1]. При построении модели расчетная область разбивается на конечное число ячеек и строится матрица переходных вероятностей, элементы которой зависят от теплофизических свойствами рассматриваемого материала. Эволюция процесса теплопереноса определяется по рекуррентной зависимости изменения состояния системы в дискретные моменты времени. Вероятности переходов в линейной модели принимались постоянными, независящими ни от времени, ни от теплового состояния системы.

Для учета нелинейных эффектов в модель вводятся зависимости теплопроводности и теплоемкости смазочного материала от температуры. На каждом временном шаге осуществляется перерасчет вероятностей переходов между ячейками в зависимости от ее текущей температуры. Полученные результаты тестовых численных экспериментов позволяют качественно оценить влияние нелинейных эффектов на процесс. Для моделирования процесса для реального смазочного материал необходимо учитывать его теплофизические свойства при разных температурах.

Библиографический список

1. Berthiaux, H. Application of the theory of Markov chains to model different processes in particle technology / H. Berthiaux, V. Mizonov, V. Zhukov // Powder Technology. – 2005. – Vol. 157, No. 1-3. – P. 128-137.

*Н.С. Шпейнова, асп.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново), А.В. Митрофанов, д.т.н. (ТОУ, Pavlodar)*

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВЫНОСА ЧАСТИЦ ИЗ АППАРАТА С КИПЯЩИМ СЛОЕМ

В работе выполнено построение математического описания функционирования цилиндрического аппарата с кипящим слоем сыпучего материала. Предложенная математическая модель основана на разработанных ранее схемах моделирования, базирующихся на положениях теории счетных цепей Маркова [1-2]. Качественным отличием настоящей модели является то, что она предполагает постепенный унос материала из аппарата, который представлен как набор (цепь) ячеек.

Унос материала, как правило, является нежелательным, но неизбежным явлением при переводе сыпучей среды в псевдооживленное состояние. Учет этого явления важен уже потому, что уменьшение массы слоя приводит к изменению его гидромеханических параметров, которые в свою очередь являются первоосновой для расчета теплообменных и химических процессов, реализуемых в слое. Однако в ранее разработанных моделях явление уноса исключается из рассмотрения в принципе, так как переходная матрица предусматривает «запирание» слоя в той ячейке цепи, в которой последней достигнуто гидродинамическое равновесие между скоростью осаждения и скоростью стесненного движения оживающего агента.

Новизной построений в настоящей модели является отсутствие этого ограничения, то есть задание симметричных относительно главной диагоналей вероятности диффузионного переноса по цепи для всех ее ячеек. Такая структура модели позволила предусмотреть явление уноса и спрогнозировать его непротиворечиво на качественном уровне. Однако для количественной оценки процесса необходимо экспериментальное исследование сепарационного пространства над слоем для выявления количественных закономерностей распределения твердой фазы по его объему.

Библиографический список

1. **А.В. Митрофанов**, В.Е. Мизонов, А.Н. Беляков, Н.С. Шпейнова. Разработка вероятностно-статистической модели расширения и аксиальной структуры псевдооживленного слоя частиц антрацита // Вестник ИГЭУ. 2020. №6. С.68 – 76
2. **А.В. Митрофанов**, В.Е. Мизонов, Н.С. Шпейнова, С.В.Василевич, Н.К. Касаткина. Опытнo-теоретическое исследование аксиального распределения частиц твердой фазы в кипящем слое // Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021; Вып.64(4): С. 349-362.

*К.А. Иваненко, асп.; рук. А.Н. Серов, к.т.н.
(НИУ МЭИ, г. Москва)*

ПРИМЕНЕНИЕ ФИЛЬТРАЦИИ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ЧАСТОТЫ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

Для измерения частоты электрической сети находит широкое применение метод по переходам сигнала через нуль (ПСН) [1]. Данный метод может быть применен для измерения частоты полигармонического сигнала. Главный источник погрешности метода связан с наличием входного шума. Для снижения его влияния может быть применена фильтрация сигнала.

Метод по переходу сигнала через нуль состоит в определении интервала времени между моментами перехода через нуль одного типа (переход через нуль по фронту или переход по срезу). В простейшем случае за переход сигнала через нуль берется временная метка отсчета сигнала, расположенного ближе всего к нулю. При таком подходе погрешность нахождения интервала времени ограничена шагом дискретизации. Ряд модификаций используют принцип линеаризации вблизи перехода через нуль, что позволяет повысить точность.

Особое место занимает применение фильтра скользящего среднего (ФСС). Это связано с тем, что передаточная характеристика данного фильтра имеет особые точки, для которых значение АЧХ равно нулю. Путем подбора порядка фильтра NMAF можно обеспечить равенство нулю АЧХ фильтра для частот гармоник сигнала, что позволит снизить погрешность.

С помощью программы Matlab была построена имитационная модель рассматриваемого метода измерения частоты (ПСН).

По результатам моделирования видно, что появление шума вызывает дополнительную погрешность измерения частоты, которую позволяет снизить входная низкочастотная фильтрация. Видно, что наиболее эффективно использование ФСС. Для случая применения трехкаскадного фильтра удастся добиться лучшего подавления помех и достичь меньших значений погрешности. Но время установления такого фильтра больше.

Библиографический список

1. **M.M. Begovic, P.M. Djuric, S. Dunlap, A.G. Phadke.** "Frequency tracking in power networks in the presence of harmonics," IEEE Transactions on Power Delivery, vol. 8, issue 2, 1993, pp. 480-486.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Секция 20. Анализ и синтез систем электроприводов

<i>Балбушина Е.В., Ермаков К.К.</i> Анализ текущего состояния и тенденций развития ЭМТ карьерных самосвалов; рук. <i>Виноградов А.Б.</i>	5
<i>Судаков Д.Э.</i> Система управления электроприводом фрезерного станка Gutter GT; рук. <i>Алексеев А.А.</i>	6
<i>Тихонов Д.М.</i> Электропривод и автоматика водопроводной насосной станции; рук. <i>Ширяев А.Н.</i>	7
<i>Красильников М.Ю., Алексеев А.А.</i> Бездатчиковая система управления высокоскоростным шпинделем; рук. <i>Тютиков В.В.</i>	8
<i>Газизов И. И.</i> Сравнение и выбор языка программирования ПЛИС для преобразователя INTAMP-55; рук. <i>Алексеев А.А.</i>	9
<i>Асафьев В.Р.</i> Электропривод и автоматика промышленной центрифуги; рук. <i>Ширяев А.Н.</i>	10
<i>Соколов А.А., Павленко М.Э.</i> Разработка лабораторного стенда "частотный электропривод перекачивающего насоса"; рук. <i>Захаров М.А.</i>	11
<i>Быкова К.В., Курицына Н.А.</i> Разработка математической модели интерполятора для электропривода металлорежущего станка; рук. <i>Вилков П.В.</i>	12
<i>Чепига А.А.</i> Разработка системы автономного энергоснабжения радиолокационного комплекса; рук. <i>Петренко С.В.</i>	13
<i>Монин В.С., Глуценко П.Н.</i> Синтез системы регулирования двунаправленного 3-х фазного DC/DC преобразователя; рук. <i>Чепига А.А.</i>	14
<i>Глуценко П.Н., Монин В.С.</i> Разработка обратногоходового преобразователя для системы розжига газотурбинной энергоустановки; рук. <i>Чепига А.А.</i>	15
<i>Латвис И.А., Соколов А.А.</i> Лаборатория микроконтроллерных средств управления электроприводами; рук. <i>Гнездов Н.Е.</i>	16

Секция 21. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

<i>Филиппова М.В., Филиппов В.А.</i> Issues on magnetic density separation; рук. <i>Тюрина С.Ю.</i>	19
<i>Смирнов Д.С.</i> Асинхронный двигатель с совмещёнными обмотками; рук. <i>Казаков Ю.Б.</i>	20
<i>Сергеев А.С.</i> Турбогенератор для атомной электростанции; рук. <i>Казаков Ю.Б.</i>	21
<i>Чванов О.В.</i> Уточнённый полевой анализ обращенного электрического двигателя; рук. <i>Казаков Ю.Б.</i>	22

<i>Курлаков Е.А.</i> Исследование влияния величины коэффициента полюсного перекрытия на характеристики синхронного реактивного конденсаторного двигателя; рук. Шишкин В.П.	23
<i>Шоронов В.Е.</i> Переменный ток в системе возбуждения магнитожидкостного сепаратора; рук. Филиппов В.А.	24
<i>Грачёв И.А.</i> Проявление эксцентриситета ротора электрической машины во внешнем магнитном поле; рук. Морозов Н.А.	25
<i>Блинов И.С., Воробьёв П.С., Сенаторова Е.О.</i> Выбор микроприводов для робототехнических систем; рук. Елисеичев Е.А.	26
<i>Доржжинкевич А.Ф.</i> Параметрическая модель синхронного реактивного двигателя с короткозамкнутым ротором; рук. Караулов В.Н. ...	27
<i>Бакланов В.Д.</i> Разработка электромагнитного устройства магнитожидкостной визуализации; рук. Нестеров С.А.	28
<i>Курбонов С.Х.</i> Расчёт параметров катушек с шихтованным и массивным сердечником; рук. Караулов В.Н.	29

Секция 22. Микроэлектронные и микропроцессорные информационно-управляющие системы

<i>Варигин Е.А., Ермаков К.К.</i> Разработка носимого устройства управления роботизированными системами; рук. Терехов А.И.	33
<i>Холодков М.И., Ермаков К.К.</i> Разработка прототипа экзоперчатки как устройства управления роботизированной руки; рук. Тихомирова И.А.	34
<i>Алексеев Е.А., Хабибулин Н.М.</i> Микропроцессорная система управления химическим реактором; рук. Алексеев Е.А.	36
<i>Горбенко А.С.</i> Идентификация мехатронных систем с использованием искусственной нейронной сети; рук. Анисимов А.А.	37
<i>Красильников М.Ю., Давыдов Е.А.</i> Кодогенерация алгоритма управления балансирующего робота; рук. Аббясов А.М.	38
<i>Скребов Н.А.</i> Обоснование и исследование схемы управления электромагнитом; рук. Кожевников С.О.	39
<i>Соколов К.Е.</i> Программные средства синтеза робастных систем управления с наблюдателями состояния на основе грамианного метода; рук. Анисимов А.А.	40
<i>Корытов Д.С.</i> Стенд для калибровки гироскопов; рук. Кожевников С.О.	41
<i>Дорожкин М.С.</i> Управления состоянием мехатронных систем с упругими кинематическими звеньями; рук. Аполонский В.В.	43
<i>Кутузова Ю.А.</i> Влияние источника питания на спектральный состав напряжения ШИП постоянного тока в системе управления; рук. Егоров В.Н.	44
<i>Голубев О.Р.</i> Новые тенденции в раскрое металлического листа; рук. Копылова Л.Г.	45

<i>Чистяков Д.В.</i> Разработка робота для рисования логотипа по заданной траектории маркером; рук. Тихомирова И.А.	46
<i>Герасимов И.А.</i> Анализ влияния зазоров в редукторной передаче на качество управления двухмассовой электромеханической системой; рук. Аполонский В.В.	47
<i>Валиев Р.Н.</i> Разработка методов автоматической настройки систем управления мехатронными объектами; рук. Анисимов А.А.	48
<i>Синицын И.А.</i> Программный дифференциал электромобиля; рук. Аполонский В.В.	49
<i>Сальников П.С.</i> Системы управления на базе математического аппарата искусственных нейронных сетей; рук. Аполонский В.В.	50
<i>Сушин И. Ю.</i> Разработка робастной системы.	52

Секция 23. Технология машиностроения

<i>Абахтимова А.С.</i> Ультразвуковая обработка металлов; рук. Башмакова Е.В.	55
<i>Баскакова А.В.</i> Специальные технологические процессы; рук. Башмакова Е.В.	56
<i>Горшков С.В.</i> Применение аддитивных технологий Башмакова Е.В.	57
<i>Калашиников И.Д.</i> Быстротвердеющие материалы при литье в песчаные формы; рук. Копосов В.Н.	58
<i>Кочуров А.А.</i> Выбор метода улучшения качества литья при изготовлении заготовки корпусной детали; рук. Копосов В.Н.	59
<i>Коцаков М. А.</i> Диффузионная сварка в вакууме; рук. Башмакова Е.В.	60
<i>Кузнецов А.Д.</i> Современные технологии обработки деталей; рук. Башмакова Е.В.	61
<i>Марков Е.В.</i> Гидроабразивная резка; рук. Башмакова Е.В.	62
<i>Попов К.Е.</i> Разновидности методов плазменной наплавки; рук. Башмакова Е.В.	63
<i>Попруженко А.В.</i> Сварка плазменной струёй; рук. Башмакова Е.В. ..	64
<i>Проскуров А.С.</i> Электрогидравлическая штамповка; рук. Башмакова Е.В.	65
<i>Хобта Н.Р.</i> Обоснование выбора метода поверхностного упрочнения деталей машин; рук. Копосов В.Н.	66
<i>Щербаков К.Д.</i> Избирательное лазерное спекание; рук. Башмакова Е.В.	67
<i>Аманов Х.Я., Синодеева П.И.</i> Применение инновационных СОТС при резании; рук. Ведерникова И.И.	68
<i>Белостокова А.И.</i> Упрочнение режущего инструмента; рук. Ведерникова И.И.	69
<i>Захаров А.С., Синодеева П.И.</i> Смазочные материалы для редукторов; рук. Ведерникова И.И.	70

<i>Муравьева О. М., Филатов А.М.</i> Подача смазочно-охлаждающих технологических средств при резании; рук. Ведерникова И.И.	71
<i>Туваков А.П.</i> Применение тензодатчиков для контроля замены инструмента; рук. Ведерникова И.И.	72
<i>Туваков А.П., Синодеева П.И.</i> CAD/CAM-системы для анализа напряжений при эксплуатации деталей; рук. Ведерникова И.И.	73
<i>Филатов А.М.</i> Ионная цементация при изготовлении деталей; рук. Ведерникова И.И.	74
<i>Чернов К.А., Филатов А.М.</i> Моделирование специального приспособления для сборки; рук. Ведерникова И.И.	75
<i>Грабовенко Б.Ю.</i> Преимущества применения магнитожидкостных подшипников; рук. Власов А.М.	76
<i>Столяков А.А.</i> Прочностное исследование конструкции стеклобоя в программе Inventor; рук. Иванов В.Е.	77
<i>Катаев К.А.</i> Классификация шасси пожарных роботизированных устройств; рук. Киселев В.В.	78
<i>Тюмкина Е.А.</i> Снижение профессиональных рисков решением инженерно-прикладных задач; рук. Кропотова Н.А.	79
<i>Грабовенко Б.Ю., Филатов А.М.</i> Устройство для получения пара; рук. Егоров С.А.	80
<i>Жуков В.Е.</i> Стеклобой с резаком ремня безопасности; рук. Пучков П.В.	81
<i>Дьяков Д.О., Смирнов И.А.</i> Качество металлических порошков для аддитивных технологий; рук. Павлюкова Н.Л.	82
<i>Кожин И.А.</i> Проектирование 3D-модели сборки планетарного редуктора; рук. Павлюкова Н.Л.	83
<i>Комиссаров Д.А.</i> Расчет на прочность деталей станочного приспособления с применением программы КОМПАС-3D; рук. Павлюкова Н.Л.	84
<i>Муратов Д.А.</i> Повышение точности обработки деталей на станках с ЧПУ; рук. Павлюкова Н.Л.	85
<i>Смирнов И.А.</i> Анализ программных средств, используемых при 3D-печати; рук. Павлюкова Н.Л.	86
<i>Яковлев Д.Н. Аниськович В.А.</i> Определение зависимости температуры в зоне резания от СОЖ; рук. Егоров С.А.	87

**Секция 24. Динамика, надежность и диагностика
механических систем»**

<i>Молокова Д.Д.</i> Конечно- элементный анализ прочности траверсы фрезерного станка; рук. Маслов Л.Б.	91
<i>Птицын Д.М.</i> Оценка влияния конструкции элемента станка В 100 на усталостную прочность ; рук. Ноздрин М.А.	92

<i>Рева Л.С.</i> Расчет напряженно- деформированного состояния элемента управления самолета; рук. Ноздрин М.А.	93
<i>Тихомиров А.Р.</i> Сравнительный прочностной расчет соединений авиационных пластин; рук. Ноздрин М.А.	94
<i>Штетелина В.С.</i> Прочностной расчет кронштейна вентилятора двигателя самолета; рук. Ноздрин М.А.	95
<i>Лукин Д.Д., Попруженко А.В.</i> Анализ прочности корпусов цилиндрического и коническо- цилиндрического редукторов; рук. Ноздрин М.А.	96
<i>Ларионова У.О.</i> Конечно- элементный анализ прочности кости после операции; рук. Маслов Л.Б.	97
<i>Городова С.М.</i> Разработка системы виброманиторинга роторных машин; рук. Колобов А.Б.	98
<i>Лётин К.А., Лебедева С.А.</i> Изучение статической балансировки; рук.Огурцов Ф.Б.	99

Секция 25. Математические методы в технике и технологиях

<i>Кокулин И.А., Собакин Г.А.</i> Исследование капельного уноса влаги в испарительных установках; рук. Жуков В.П.	103
<i>Лётин К.А.</i> Теория цепей маркова для контроля результатов обучения; рук. Огурцов А.В.	104
<i>Фомичев М.Д., Жуков В.П., Барочкин А.Е.</i> Расчетные исследования теплообмена в башенных градирнях с использованием имитационного моделирования; рук. Жуков В.П.	105
<i>Бубнов К.Н.</i> Математическое моделирование и диагностика состояния подогревателя высокого давления; рук. Жуков В.П.	106
<i>Антонов П.А.</i> Транспортная задача интеллектуальных систем энергоснабжения потребителей; рук. Беляков А.Н.	107
<i>Басова Е.В.</i> Учет нелинейных эффектов при математическом моделировании теплопроводности в слое смазки; рук. Беляков А.Н.	108
<i>Шпейнова Н.С.</i> Математическое моделирование процесса выноса частиц из аппарата с кипящим слоем; рук. Беляков А.Н., Митрофанов А.В.	109
<i>Иваненко К.А.</i> Применение фильтрации для измерения частоты в электроэнергетике; рук. Серов А.Н.	110
ОГЛАВЛЕНИЕ	111

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ВОСЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ДЕСЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2023»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 4

*Составители: Макаров А.В., Аполонский В.В.
Компьютерная верстка: Аполонский В.В.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать .2023. Формат 60x84 1/16 .
Печать офсетная. Усл. печ. л. .
Тираж экз. Заказ №
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина»
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ