

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

---

**ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА  
И УПРАВЛЕНИЕ**

**«ЭНЕРГИЯ-2022»**

СЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

**МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ**

**г. Иваново, 11 - 13 мая 2022 года**

**ТОМ 4**

ИВАНОВО

ИГЭУ

2022

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

**ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ**//  
Семнадцатая всероссийская (девятая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия–2022»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2022. – 120 с.

ISBN 978-5-00062-528-6  
ISBN 978-5-00062-522-4(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.**



*А.Д. Васильев, студ.; рук. Н.А. Малёв, к.т.н.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ШНЕКОВОГО ДОЗАТОРА СЫПУЧИХ ВЕЩЕСТВ**

Целью настоящей работы является исследование двухступенчатого технологического процесса дозирования сыпучих веществ и разработка системы управления электроприводом шнекового дозатора, обеспечивающей повышение производительности вертикального порционного дозирования сыпучих материалов. Алгоритм функционирования электропривода шнекового питателя предлагается проанализировать с применением скалярного, векторного и предиктивного управления.

В работе была получена математическая модель электропривода шнекового дозатора при питании от преобразователя частоты с внешним контуром веса, настроенным на линейный оптимум. Скалярное управление характеризуется сравнительно медленными переходными процессами, а наличие в контуре веса пропорционального регулятора сказывается на точности системы. Применение регулятора с интегрирующим звеном вызывает колебательный переходный процесс, что в исследуемом электроприводе недопустимо. Была предложена система предиктивного управления, обеспечивающая аperiodический переходный процесс и базирующаяся на спрогнозированной реакции объекта на разного рода помехи или воздействия. Обратная связь в предложенной системе управления используется для внесения поправки на неточности, возникающие из-за внешних помех и неточностей математической модели самого объекта.

Регулирование основывается на эмпирической модели процесса для того, чтобы предсказать последующее поведение, базирующееся на уже полученных данных. Модель объекта управления принимается линейной. В вычислительный алгоритм предлагается встроить процедуру оптимизации, реализуемую средствами квадратичного программирования, содержащимися, в частности, в инструментарии MATLAB, что позволяет использовать аperiodическое управление для построения прогнозирующих моделей.

*Д. В. Димитрюк, студ.; рук. М. В. Петрова, к. т. н., доц.  
(УлГТУ, г. Ульяновск)*

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПЕРЕХОДА ЭЛЕКТРОПРИВОДА ОТ НЕРЕГУЛИРУЕМОГО К РЕГУЛИРУЕМОМУ НА ПУТИ К ПОСТИНДУСТРИАЛЬНОМУ ОБЩЕСТВУ**

Актуальность исследования обусловлена сохранившейся с 1980–ых годов тенденцией к замещению нерегулируемого электропривода регулируемым. Электропривод представляет собой электромеханическую систему, которая предназначена “для преобразования электрической энергии в механическую” [1, с. 4]. В практическом плане ценность данного исследования заключается в значимости перспектив данного перехода при конструировании и эксплуатации электропривода. В сельском хозяйстве (аграрном обществе) “наибольшее распространение получили нерегулируемые электроприводы” [2, с. 58], а с переходом в индустриальное общество в промышленности регулируемые. Таким образом, проблема в том, какие существуют перспективы замены электропривода в условиях движения уже к постиндустриальному обществу.

Автор выделил следующие перспективы перехода электропривода от нерегулируемого к регулируемому: регулируемый электропривод позволяет экономить потребляемую электроэнергию; автоматизация, которая позволяет ускорить технологический процесс; залогом развития постиндустриального общества является высокая производительность труда, данная задача решается с помощью замены электропривода; с возросшей общественной динамикой возросла роль конкуренции предприятий, для них важно сокращение издержек, что достигается с помощью замены электропривода на регулируемый; регулируемый электропривод обеспечивает условия разнообразия технических процессов, повышает творческий подход работника.

Таким образом, новизна проведенных исследований заключается в перспективах, которые связаны с постиндустриальным обществом. Полученные данные могут быть использованы для повышения работоспособности электропривода.

### **Библиографический список**

- 1. Онищенко Г.Б.** Электрический привод: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2006. 288 с.
- 2. Устинова Л. В.** Современное состояние и перспективы развития электропривода / Л. В. Устинова, А. Б. Голик, В. С. Лузев // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. — 2003 г. — № 1. — С. 57 – 60.

*В.О. Егоров, студ.; рук. Н.А. Малёв, к.т.н.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **НАСТРОЙКА ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПОДЪЁМА КРАНА С УЧЁТОМ УПРУГИХ СВЯЗЕЙ**

Одним из наиболее распространенных способов построения систем управления электроприводов является принцип подчиненного регулирования, использующий стандартные настройки соответствующих контуров. Влияние упругих связей делает затруднительной, а зачастую невозможной реализацию в подобных системах требуемого быстродействия.

В работе предлагается способ настройки регуляторов электропривода механизма подъёма крана с учетом упругости между двигателем и исполнительным органом, обеспечивающих плавное движение последнего при заданном быстродействии. Влияние упругости на контур тока, настроенный на модульный оптимум применительно к жесткой системе, не приводит к неустойчивости контура, однако искажает вид логарифмической амплитудно-частотной характеристики (ЛАЧХ), вызывая провал ЛАЧХ замкнутого контура тока на частоте, обратно пропорциональной постоянной времени упругих колебаний  $T_u$ .

Данное обстоятельство отражается на способности токового контура демпфировать упругие колебания скорости вращения двигателя при колебаниях момента на валу, что можно использовать для увеличения быстродействия контура скорости при снижении динамического коэффициента усиления регулятора тока. Не учитывая внутреннюю обратную связь по противо-ЭДС двигателя пренебречь упругими связями при синтезе контура скорости можно в следующих случаях: 1) частота упругих колебаний  $1/T_u$  значительно выше частоты среза ЛАЧХ контура скорости; 2) быстродействие контура скорости настолько велико, что сравнительно низкочастотные колебания упругого момента не вызывают колебаний скорости двигателя. В случаях же, когда влиянием упругости пренебречь нельзя и упругие колебания не демпфируются системой, а затухают только под действием сил трения, возникает задача формирования структуры, замкнутой по вектору состояния механизма, включающего в себя упругий момент и скорость вращения исполнительного механизма, которая может быть успешно решена при соответствующем упрощении математического описания исследуемого электропривода.

К.В. Шабунова, Ю.С. Корягин, студ.; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ ЗВЕНЬЕВ ПРОМЫШЛЕННОГО МАНИПУЛЯТОРА С МОДУЛЯМИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ НА ОСНОВЕ ПИИ(Д)-РЕГУЛЯТОРОВ

Системы управления электроприводом обычно возводятся на базе применения принципа регулирования по отклонению при построении контуров регулирования момента, скорости и положения (рис.1).

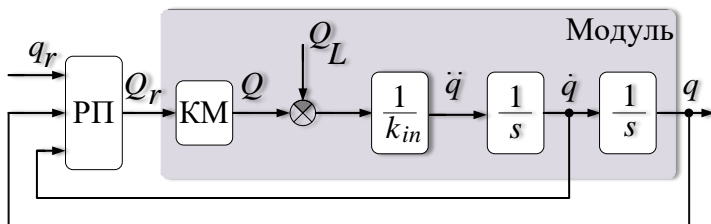


Рис. 1. Система управления движением модуля с регулятором положения

Механика манипулятора приводится в перемещение электромагнитным моментом привода  $Q$ , создаваемым системой векторного управления по заданию  $Q_r$ , механической нагрузкой модулей –  $Q_L$ . Эквивалентом контура регулирования электромагнитного момента служит инерционное звено (КМ). В структуре электромехатронной системы инерционные качества «жесткой» механики представлены инерционным коэффициентом  $k_{in}$ , который при угловом движении модуля  $q$  имеет смысл приведенного момента инерции звена манипулятора, а при линейном движении – приведенной массы звена манипулятора[2].

В качестве регулятора положения для организации движения каждого звена используется ПИИ(Д)-регулятор. Астатизм второго порядка гарантирует нулевые ошибки при постоянном и линейно-нарастающем возмущении[1]. В модифицированном регуляторе положения канал дифференцирования ошибки регулирования заменяется дополнительной обратной связью по скорости.

### Библиографический список

1. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки/ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».–Иваново, 2016.–340 с.
2. Лебедев С.К., Колганов А.Р. Кинематика и динамика электромехатронных систем в робототехнике / Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021.–352 с.



*А.А. Шакиров, студ., рук. О.В. Козелков, к.т.н., доц.  
(КГЭУ, г. Казань)*

## **ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА АСФАЛЬТОБЕТОННОГО ПОЛОТНА**

Состояние асфальтобетонного покрытия на отечественных дорогах является довольно острой проблемой в российском обществе. Сегодня для контроля дорожного полотна используются как разрушающие методы (отбор кернов для лабораторного изучения), так и неразрушающие (курвиметр, колесные станции, программно-аппаратные комплексы).

Разрушающие методы контроля асфальтобетона в условиях российских дорог являются не только затратными и малоэффективными, но и могут ухудшить состояние дорог. Вследствие этого большинство исследований начинают осуществляться с помощью неразрушающего контроля.

Самым оптимальным и распространенным комплексом для неразрушающего контроля дорожного полотна на сегодняшний день является программно-аппаратный комплекс «СВПД», представляющий собой передвижную дорожную лабораторию, включающую в себя систему сбора данных и пакет программ для отображения и оцифровки данных. Этот комплекс позволяет регистрировать и анализировать следующие данные: геометрические характеристики дороги, абсолютные координаты объектов, келейность и поперечность проезжей части, продольную ровность и другие. Однако он не имеет возможности анализа физико-механических свойств асфальтобетонного покрытия, таких как уплотненность и толщина дорожной одежды – эти свойства являются одними из ключевых параметров оценки покрытия.

Предлагается совершенствование программно-аппаратного комплекса «СВПД» путем внедрения устройства, работающего на основе метода обратнорассеянного излучения, при котором источник излучения и детектор располагают на поверхности, а также программного модуля для обработки и анализа полученных данных.

Таким образом, при применении предложенного метода, программно-аппаратного комплекса «СВПД» станет универсальным средством с полным охватом всех параметров дорожного покрытия, что позволит в дальнейшем сократить финансовые затраты на обслуживание дорог.

### **Библиографический список**

1. **Цельх Д.С.,** Привалов О.О. Устройства для анализа и оценки состояния дорожного покрытия // Молодой ученый. 2012. С. 74-78.
2. **Шакиров А.А.,** Гильфанов К.Х., Козелков О.В. Георадиолокационный контроль асфальтобетонного покрытия // New Challenges In New Science, 2021. С. 48-52.

*И.Е. Шалов, И.С. Аксенов, студенты;  
рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **УПРАВЛЕНИЕ ДВИЖЕНИЕМ SCARA ПРОМЫШЛЕННЫХ МАНИПУЛЯТОРОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ**

Промышленные роботы и манипуляторы на основе SCARA кинематических схем разрабатываются и выпускаются многими производителями промышленной робототехники в мире. SCARA (*Selective Compliance Articulated Robot Arm*) – это кинематическая схема с использованием двух соосных приводов вращения звеньев, в нашей стране такая схема носит название двойной цилиндрической или цилиндрической-ангулярной [1,2].

Авторами рассмотрены два варианта SCARA робота: с вертикальным и горизонтальным расположением осей вращения. Для реализации управления движением таких манипуляторов разработана функциональная схема системы управления движением на основе использования электро-мехатронных модулей позиционирования (ЭМП).

Большое внимание уделяется разработке кинематических моделей роботов, что позволило получить структуры и параметры прямых и обратных преобразователей глобальных координат схвата в шарнирные координаты приводов, обеспечивающих управление движением звеньев и всего манипулятора.

Получены математические модели манипуляторов, как объектов управления, что обеспечило синтез регуляторов положения ЭМП звеньев на основе динамики Бесселя [1] и выполнить имитационное моделирование SCARA роботов.

Результаты имитационного моделирования SCARA роботов в *Matlab* подтвердили обоснованность принятых авторами решений при разработке и позволяют рекомендовать результаты работы к использованию при проектировании промышленных манипуляторов и внедрению в учебный процесс кафедры ЭП и АПУ ИГЭУ.

### **Библиографический список**

1. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Кинематика и динамика электро-мехатронных систем в робототехнике / Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021.-352 с.
2. **Лебедев С.К.** Электро-механические системы позиционирования: Расчет кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов: Учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т.– Иваново, 2003.– 120 с.

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

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕТАЛЛОРЕЖУЩЕГО СТАНКА**

В настоящее время одной из главных проблем остается исследование динамики работы электроприводов металлорежущих станков в различных режимах непосредственно на оборудовании, так как его нужно оснастить многочисленными датчиками, которые давали бы необходимую информацию об электромеханической системе.

Применяя методы математического моделирования, была разработана динамическая модель электропривода переменного тока [1], имитирующая процесс работы механизма главного движения металлорежущего станка.

Благодаря полученной модели можно получить информацию:

– об угловой скорости и положении не только вала двигателя, но и самого шпинделя;

– о потокоцеплении, о фазных токах и напряжениях двигателя;

– об электромагнитном моменте двигателя и т.д.

С помощью математической модели можно проводить различные исследования электропривода не только в номинальном режиме его работы, но и в аварийных, которые затруднительно получить на дорогостоящем оборудовании.

Применяя методы оптимизации, были рассчитаны коэффициенты регуляторов скорости и тока для подчиненной системы управления электроприводом переменного тока.

Предполагается провести исследование динамики электропривода механизма главного движения при изменении полученных коэффициентов регуляторов в допустимых пределах, а также выявить те их значения, которые приводят к нестабильной работе электромеханической системы.

Таким образом, применяя математическое моделирование, можно расширить спектр возможностей для исследования электропривода, не проводя их непосредственно на оборудовании. Кроме этого, моделирование позволит спрогнозировать поведение электропривода в аварийных режимах работы, а это позволит принять необходимые меры для предотвращения его работы в этих режимах.

### **Библиографический список**

**1. Колганов А.Р.** Структурные модели элементов и систем автоматизированного электропривода / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2017. – 116 с.

*А.А. Алексеев, аспирант; рук. А.П. Бурков, к.т.н., с.н.с.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННЫМ ДВИГАТЕЛЕМ С ПОДДЕРЖАНИЕМ МАКСИМАЛЬНОГО МОМЕНТА**

В ряде применений, таких как шпиндели металлорежущих станков, электроавтомобили и электропоезда, требуется работа электропривода на больших скоростях. При проектировании таких электроприводов предпочтение отдается асинхронным двигателям. Система управления такими двигателями должна обеспечивать быстрый разгон и устойчивую работу под нагрузкой во всем диапазоне изменения скорости. Оба условия выполняются, если есть возможность поддерживать момент двигателя на максимальном для текущей скорости уровне.

Весь диапазон рабочих скоростей можно разделить на три зоны: постоянного момента, постоянной мощности и постоянного (критического) скольжения. Для каждой зоны система управления должна регулировать уровни токов (активного и намагничивания) таким образом, чтобы выполнялось условие максимального момента. В первой зоне управление идет по стратегии максимального момента за ампер (МТРА), во второй – максимальной мощности (МР), в третьей – максимального момента за вольт (МТРВ).

Традиционные системы двухзонного управления подразумевают ослабление поля либо по обратно пропорциональному закону в зависимости от скорости ротора, либо с использованием обратной связи по напряжению / противоЭДС. Первый способ не позволяет добиться максимального момента выше первой зоны, так как обратно пропорциональный закон недостаточно эффективно ослабляет поле. Для второго необходима информация о напряжении двигателя, а устойчивая работа в третьей зоне не гарантируется.

В связи с этим проводится разработка системы трехзонного управления, способной поддерживать момент асинхронного двигателя на максимальном уровне во всем диапазоне скоростей. Закон ослабления поля формируется в зависимости от текущей скорости вращения вектора потокосцепления ротора и состоит из трех частей, причем работа в каждой зоне соответствует обозначенным выше стратегиям. Система использует векторное управление с ориентацией по потокосцеплению ротора.

Моделирование системы показало высокую степень совпадения зависимостей максимального момента от скорости с теоретически возможными.

А.А. Анохина, А.Е. Жолдаякова, студ.;рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ЭЛЕКТРОПРИВОД ЦЕНТРИФУГИ

В докладе рассматривается двухдвигательный электропривод центрифуги (рис.1) фирмы Alfa Laval (Швеция), используемой в системе подготовки воды для оборудования предприятия по производству аммиака.



Рис. 1. Внешний вид центрифуги Alfa Laval:

- 1 – станина; 2 – электродвигатель привода барабана (главного электропривода);
- 3 – тонкостенная оболочка; 4 – электродвигатель привода шнека  
(вспомогательного электропривода)

Барабан центрифуги выполнен в виде цилиндра с переходом в коническую форму. Такая форма конструкции позволяет обеспечить высокую степень очистки продукта в цилиндрической части и хорошее обезвоживание твердых частиц в конической форме барабана.

В качестве исполнительных электродвигателей частотно-регулируемых электроприводов барабана 2 (рис.1) и шнека 4 (рис.1) применяются асинхронные электродвигатели с короткозамкнутым ротором мощностью 55 кВт и 11 кВт. Для управления двигателями используются частотные преобразователи фирмы ABB ACS880-01-145A и ACS880-01-025A.

Приведены результаты расчета необходимой мощности электродвигателей с учетом особенностей конструкции центрифуги и технологического процесса центрифугирования.

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

## СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА МИКРОКОНТРОЛЛЕРНЫХ СРЕДСТВ В ЭЛЕКТРОПРИВОДЕ

Современные системы управления электроприводами строятся на базе микроконтроллеров класса *Motor Control*, специализированных для задач управления электродвигателями, преобразователями напряжений [1]. В учебном плане подготовки бакалавров и магистров профиля «Электропривод и автоматика» есть набор курсов, последовательно расширяющих компетенции студентов по использованию микроконтроллерных средств.

На кафедре «Электропривода и автоматизации промышленных установок» ИГЭУ сформирован набор отладочных средств разных уровней – от простых «голых» отладочных плат до лабораторного электропривода с использованием микроконтроллеров серии *C2000* от *Texas Instruments* [2] и *K1921BK01T* от АО «НИИЭТ» [3]. При этом единого, удобного лабораторного стенда для работы с платами, адаптерами, измерительными приборами нет. Каждый раз при проведении лабораторных или исследовательских работ приходится собирать экспериментальную установку на столе. Кроме неудобства, это опасно механическим и электрическим повреждением отладочных плат.

Целью работы является создание 8-ми экземпляров лабораторного стенда для исследований микроконтроллерных систем управления электроприводами. В настоящее время определён состав стенда, разработана его конструкция, закуплены комплектующие, завершается изготовление 1-го экземпляра. Предполагается разработка технической документации на стенд, методического и программного обеспечения для лабораторных работ.

### Библиографический список

1. **Гнездов Н.Е.** Микропроцессорное моделирование электромеханотронных систем: учеб.-метод. пособие / Министерство образования и науки РФ, ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический ун-т имени В.И. Ленина». - Иваново, 2012. - 76 с.
2. **Описание** (представление) МК серии C2000: [Электронный ресурс] // Texas Instruments, 1995-2022. URL: <http://www.ti.com/microcontrollers/c2000-real-time-control-mcus/overview.html#> (дата обращения 14.02.2022).
3. **K1921BK01T.** Описание, документация, средства для программирования и отладки. URL: <https://niiet.ru/product/k1921bk01t/> (дата обращения 14.02.2022).

А.Т. Авдонин студент; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА МЕХАНИЗМА ПЕРЕДВИЖЕНИЯ ТЕЛЕЖКИ ОБЩЕПРОМЫШЛЕННОГО МОСТОВОГО КРАНА

В последнее время наметилась устойчивая тенденция к применению частотно-регулируемых электроприводов в крановом хозяйстве. Использование регулируемых приводов в крановом хозяйстве позволяет значительно повысить комфортные показатели работы крана в час и ускорения.

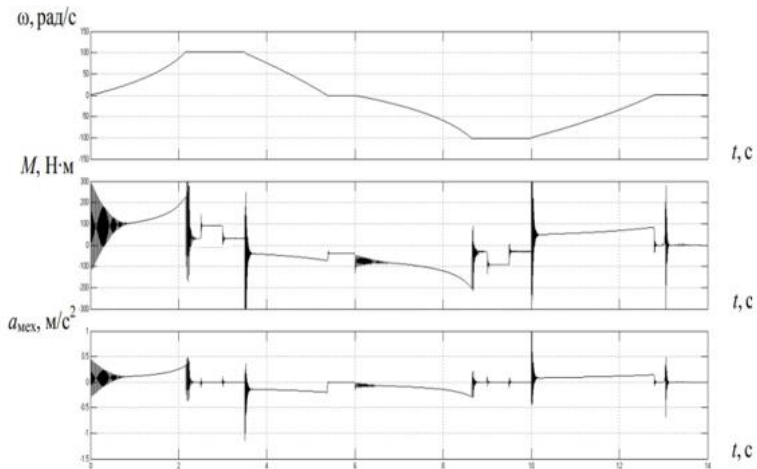


Рис. 1. Результаты моделирования системы электропривода механизма тележки

Применение частотно-регулируемых преобразователей позволяет использовать асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором общего назначения, а не специализированные асинхронные двигатели с фазным ротором[1].

### Библиографический список

1. Яуре, А.Г. Крановый электропривод: справочник / А.Г. Яуре, Е.М. Певзнер. – М.: Энергоатомиздат, 1999. – 344 с.

О.А. Лукин, студент.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ИМПУЛЬСНО-ФАЗОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД РАЗРЫВНОЙ МАШИНЫ

Разрывными машинами называются устройства, предназначенные для определения физико-механических свойств различных материалов в результате их деформирования. Современные испытательные установки обеспечивают испытания металлов, бумаги, текстиля, пленочных и других материалов на растяжение, сжатие, изгиб, перегиб, срез и др. в условиях как положительных, так и отрицательных температур. Исполнительные механизмы нагружающих устройств содержат электропривод и передаточное устройство, преобразующее вращательное движение в поступательное.

В докладе рассматривается импульсно-фазовый электропривод, разработанный для испытательной техники в ИГЭУ. Функциональная схема широкорегулируемого ИФЭП приведена на рис.1.

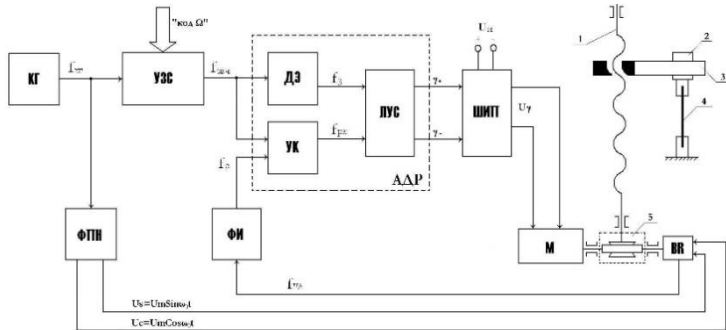


Рис. 1. Функциональная схема ИФЭП

В ходе работы был сделан расчет, в результате которого выбран редуктор и исполнительный двигатель ДПМ-0.8. В качестве базового варианта выбран импульсно-фазовый ЭП с СКВТ в качестве датчика обратной связи. Разработаны функциональная и электрическая принципиальная схемы ЭП. Рассчитаны и выбраны элементы системы управления.

### Библиографический список

1. Архангельский Н. Л., Чистосердов В.Л. Системы управления электроприводами: Практическое пособие/ИГЭУ: Иваново, 2000. -156с



*И.И. Компаниченко, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОДВИГАТЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ГРЕБНОЙ УСТАНОВКИ**

В последнее время для увеличения мощности и улучшения динамических характеристик гребных электрических установок рассматриваются системы, в которых несколько двигателей соединены общим механическим гребным валом [1].

Преимущество применения многодвигательного электропривода по сравнению с однодвигательным заключается в повышении энергетической эффективности, возможности использования унифицированных двигателей в установках различной мощности, улучшении эксплуатационных показателей всей системы в целом и т.д.

Однако применение многодвигательного электропривода имеет и ряд существенных недостатков, одним из которых является возможность неравномерного распределения нагрузки между двумя двигателями, работающими на один гребной вал.

Одним из способов выравнивания нагрузки в многодвигательном электроприводе является применение в системе управления электроприводами перекрестных связей.

Для исследования системы управления многодвигательным электроприводом была рассмотрена гребная установка, приводимая в движение двумя асинхронными двигателями, получающими питание от индивидуальных преобразователей частоты.

Для анализа динамических характеристик многодвигательного электропривода гребной установки с перекрестными связями была разработана его математическая модель. Также были определены коэффициенты регуляторов тока и скорости подчиненной системы управления электроприводом переменного тока.

В результате численного моделирования были получены переходные процессы работы многодвигательного электропривода в различных режимах его работы, которые показали, что применение перекрестных связей позволяет выровнять распределение нагрузки между двигателями и обеспечить устойчивую работу всей гребной установки.

### **Библиографический список**

**1. Морозов А.В.** Координированное управление многодвигательной гребной электрической установкой. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. – С.-Петербург, изд-во “ЛЭТИ”, 2019. – 18 с.

*М.С. Лимонов, студент; рук. М. К. Куленко, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МОДАЛЬНЫХ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ

Стремительный прогресс микропроцессорной технологии в последние годы форсировал широкое внедрение цифровой вычислительной техники в многочисленные области человеческой деятельности. По мере развития этого процесса важную роль при разработке автоматических систем управления стали играть цифровые регуляторы, которые успешно вытесняют регуляторы, создаваемые на базе аналоговых устройств. В связи с этим, большое внимание в теории и практике автоматического управления отводится методом цифрового управления.

В рамках данной работы рассматриваются два основных метода получения цифровых управляющих устройств (регуляторов) – синтез дискретных регуляторов по аналоговому прототипу (цифровое перепроектирование) и синтез дискретных регуляторов по дискретной модели объекта управления (дискретный синтез).

Целью работы является разработка и исследование модальных управляющих устройств для электромеханической системы управления положением в непрерывном и дискретном виде.

Для реализации системы управления необходимо представить объект управления в виде функциональной схемы, представленной на рис. 1.

Схема состоит из силового преобразователя (СП) напряжения, электродвигателя (ЭД) постоянного тока независимого возбуждения, связанного с рабочим органом (РО) жесткой кинематической передачей. Далее приведены номинальные параметры схемы.

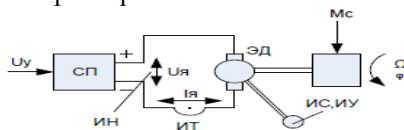


Рис. 1. Функциональная схема объекта управления

### Библиографический список

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение, 1976. – 184 с
2. Дезоер Ч., Видьясагар М. Системы с обратной связью: вход-выходные соотношения. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит.-ры, 1983. – 280 с.
3. В.В. Григорьев, Н.В. Журавлёва, Г.В. Лукьянова, К.А. Сергеев Синтез систем автоматического управления методом модального управления. Санкт-Петербург 2007. – 143 с.

*А.А. Чепига; рук. А.С. Анучин, д.т.н., проф.  
(НИУ «МЭИ»)*

## **РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МАТРИЧНЫМ МНОГОУРОВНЕВЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ**

Матричный многоуровневый преобразователь (ММП) был впервые предложен Р. Эриксоном и О. Аль-Насимом из университета Колорадо в 2001 году. Ученые работали над повышением эффективности ветроколеса, именно они предложили новую топологию, основанную на особенностях традиционного матричного преобразователя и многоуровневого преобразователя [1].

Для данной топологии преобразователей применяется распределенное управление, при котором большинство задач высокого уровня выполняются в системном контроллере, в то время как локальные контроллеры используются для решения некоторых задач низкого уровня, таких как ШИМ и защита. Однако у этой структуры есть внутренняя проблема, заключающаяся в том, что весь период управления содержит две задержки связи, которые могут сильно повлиять на производительность системы. Поэтому для уменьшения влияния задержки обычно используется высокоскоростная сеть связи.

В данной работе для улучшения традиционной схемы распределенного управления предложены три принципа проектирования:

1) Распределение задач управления в режиме реального времени в локальных контроллерах.

В дополнение к задачам управления низкого уровня, упомянутым ранее, управление более высокого уровня и в режиме реального времени также может выполняться локально. Таким образом, пропускная способность системы не будет ограничена связью.

2) Использование значения постоянного тока плюс механизм синхронизации для передачи данных переменного тока.

Отправка постоянного тока вместо прямого значения переменного тока может помочь избежать влияния фазовой задержки.

3) Снижение зависимости от сети связи.

Используя новую стратегию разделения временных измерений, данные, необходимые для обмена, значительно сократятся, что облегчит нагрузку связи.

### **Библиографический список**

1. **R. W. Erickson and O. A. Al-Naseem**, "A new family of matrix converters," *Industrial Electronics Society*, 2001. IECON '01. The 27th Annual Conference of the IEEE, Denver, CO, 2001, pp. 1515-1520 vol.2.

*Д.А.Мачкур.; К.С.Бурлаков студ.; рук., проф.А.Р. Колганов, д.т.н.;*  
*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА БИОНИЧЕСКОГО ПРЕДПЛЕЧЬЯ ЧЕЛОВЕКА**

В настоящее время в различных областях промышленности широко применяются манипуляционные роботы (МР), обладающие сложной кинематической структурой. МР отличаются сложной кинематической структурой, содержащей множество независимых либо взаимосвязанных звеньев, которые влияют на физические силы, действующие на МР(рис. 1). Опираясь на вышесказанное, целью проекта является разработка бионического предплечья человека, которое сможет найти самое широкое применение не только в промышленности, но и в других сферах. Система состоит из двух основных частей: создание на 3D-принтере МР на базе кафедры «Электропривод и автоматизации промышленных установок» ИГЭУ с управляющими приводами. Создание системы управления через плату Arduino. 3D модель создана на основе действия пальцев человеческой руки. На основе анализа действия пальцев человеческой руки можно сформулировать основные требования:

1) Необходимо обеспечить независимость движения каждого пальца.(Учтено в кинематической системе, на рисунке 1)

2) Степень свободы каждого пальца должна быть не менее трех (Наблюдаем на рисунке 2)

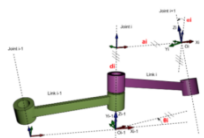


Рис.1 Кинематика пальца



Рис. 2 Установка систем координат

Управление синхронно большим числом двигателей. Также неотъемлемой задачей является синхронное управление каждого пальца, которое производится в среде Simulink.

Создание кода управления роботуки будет производиться в среде VisualStudio.

### **Библиографический список**

1. **Лебедев, С.К.**, Колганов А.Р. Управление движением промышленных манипуляторов: Учебник
2. **Колганов, А.Р.** Математические основы теории автоматического управления: учеб. пособие / А.Р. Колганов

*Беспалова А.О., Чернов А.М., студ.;  
рук. Захаров М.А., Скоробогатов А.А. к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ЧАСТОТНОГО ПРИВОДА ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ПОВРЕЖДЕНИЯ ОБМОТКИ РОТОРА ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ**

Асинхронные электродвигатели (АД) получили широкое распространение практически во всех областях промышленности. К неисправностям, которые могут стать причиной выхода из строя АД, относится обрыв стержней короткозамкнутой обмотки ротора (ОР).

Среди способов выявления обрыва стержней можно выделить способ, основанный на анализе гармонического состава тока статора в режиме пуска [1]. Диагностическим признаком повреждения ОР является резкое увеличение амплитуд гармоник от фиктивной обмотки ротора (ФОР). Представленный способ имеет ряд ограничений, главное из которых связано с требуемой длительностью пуска больше 1 с. В ряде механизмов без привлечения системы управляемого электропривода невозможно создать условия для увеличения времени пуска. Применение преобразователя частоты (ПЧ) как элемента системы диагностирования позволило бы производить контроль состояния ОР по пусковому току для всего ряда АД вне зависимости от длительности их пуска.

Выявление диагностических режимов произведено на лабораторной установке, состоящей из АД с двумя роторами (исправным и с оборванным стержнем), ПЧ и преобразователя аналоговых сигналов с встроенными в него датчиками тока. ПЧ позволяет регулировать частоту, напряжение и задавать различные зависимости  $U=f(\text{func}(f))$ . Благодаря этому является возможность производить процедуру диагностики при штатном пуске АД.

Результаты обработки пусковых сигналов тока статора АД, полученных на лабораторной установке, показали, что затягивание пуска с помощью ПЧ позволяет выделить гармоники от ФОР и определить наличие оборванных стержней в ОР.

### **Библиографический список**

**1. Назарычев А.Н.** Метод контроля состояния обмоток роторов асинхронных электродвигателей при пуске по току статора / А.Н. Назарычев, Е.М. Новоселов, Д.А. Полкошиников, А.С. Страхов, А.А. Скоробогатов // Дефектоскопия. – 2020. – № 8. – С. 49–55.

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

## **ПРОГРАММНО-АППАРАТНЫЕ СРЕДСТВА ДЛЯ РЕАЛИЗАЦИИ АЛГОРИТМОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ**

До конца прошлого века в построении систем управления электроприводов доминировал традиционный подход с использованием классических законов управления, но развитие силовой электроники и вычислительной техники в последние десятилетия позволило создавать современные электропривода, в которых все чаще стали использоваться интеллектуальные системы управления, способные к «пониманию» и обучению. Так например, алгоритмы управления на основе методов нечеткой логики могут быть использованы для решения проблем, где применение традиционных методов управления затруднено или неэффективно. Именно поэтому изучение и использование программных средств для представления нечеткой исходной информации позволяет строить модели, которые наиболее адекватно отражают различные аспекты неопределенности, постоянно присутствующей в окружающей нас реальности [1].

В работе рассмотрен алгоритм управления лектромеханическим устройством на базе нечеткой логики с помощью микроконтроллера TMS320F28335. Для реализации данного алгоритма была использована среда имитационного моделирования MATLAB/Simulink с использованием пакета расширения Fuzzy Logic Toolbox, инструмента Embedded Target Simulink Matlab, а также интегральная среда проектирования CCStudio [1,2].

В работе большое внимание уделено соблюдению базовых условий для получения конечного файла прошивки микроконтроллера. Так же выполнена проверка точного воспроизведения алгоритмов моделируемой системы в микроконтроллере.

В результате, получен проект программного кода, компиляция которого в среде CCStudio, привела к созданию конечного файла прошивки микроконтроллера TMS320F28335, ориентированного на отладку математического алгоритма управления объектом [2]. Это позволяет рекомендовать результаты работы к использованию при исследовании алгоритмов системы в микроконтроллере и рекомендации по их применению в микропроцессоре системах управления промышленными электромехатронными модулями, а также внедрению в учебный процесс.

### **Библиографический список**

1. **Леоненков А.В.** Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH / Александр Леоненков. - СПб. : БХВ-Петербург, 2003. - 719 с. ISBN 5941570872
2. **Гнездов Н.Е.** Микропроцессорное моделирование электромеханотронных систем: Учеб.-метод. пособие / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2012. – 76 с.

**СЕКЦИЯ 21**  
**ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И**  
**МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА**

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

Секретарь –  
к.т.н., доцент **Караулов В. Н.**





Палилов И.А., к.т.н, доц.  
(Иваново, ИГЭУ)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ МЕТОДА ВЗАИМНОЙ НАГРУЗКИ АСИНХРОННЫХ МАШИН

Проектирование новых асинхронных машин определяет интерес к развитию методов их испытаний. При испытании тяговых асинхронных машин большой мощности потребляется существенное количество электроэнергии, и для её экономии часто используются метод взаимной нагрузки[1].

В этой связи, актуальным являются исследования с целью поиска оптимального алгоритма нагружения испытуемых машин, что потребовало, в частности, разработать уточненные математические модели испытаний асинхронных машин методом взаимной нагрузки в полевой постановке, и провести опытную верификацию этих моделей.

Для верификации алгоритмов и программ расчета переходных и установившихся режимов в асинхронных машинах с общим валом, построенных на основе прямых расчетов электромагнитных полей, в ИГЭУ разработана опытная установка, схема которой показана на рисунке 1.

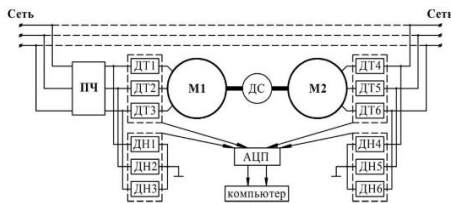


Рис. 1. Схема установки для испытаний асинхронных машин методом взаимной нагрузки

Данный опытный стенд и экспериментальные исследования асинхронных машин по методу взаимной нагрузки позволили подтвердить точность разработанных полевых моделей системы испытаний, что дает основания использовать их в дальнейшем для исследования способов повышения энергоэффективности метода взаимной нагрузки.

### Библиографический список

1. Гольдберг О.Д. Испытания электрических машин: учебное пособие / О.Д. Гольдберг. — М.: МГОУ, 2001. — 221 с.

*И.С. Егоров, асп.; Н.А. Морозов, к.т.н., доцент;  
С.А. Нестеров, к.т.н., доцент;  
рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф., (ИГЭУ, Иваново)*

## **ВЫБОР ОПТИМАЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИИ И РАЗМЕРОВ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ДЕМПФЕРА**

Все больший интерес в последнее время уделяется управляемым электромеханическим магнитожидкостным демпфирующим устройствам, основным достоинством которых является возможность изменения силовой характеристики при помощи воздействия на их рабочее тело магнитным полем, что предполагает актуальность исследования таких демпферов.

В работе [1] показываются различные варианты исполнения демпферов в зависимости от предъявляемых к ним эксплуатационных требований. Из исследования становится ясно, что достаточно мало изучены демпферы, позволяющие поглощать колебания и вибрации малой частоты и амплитуды, но развивающие относительно большие компенсирующие усилия. Принцип их работы основывается на использовании магнитной жидкости на начальном участке её реологической кривой. В работе [2] рассматривается одна из возможных моделей такого демпфера. Однако такая конструкция обладает достаточно малой поверхностью рабочего зазора с магнитной жидкостью.

Основной задачей исследования является определение конструкции магнитной системы стационарной части и определении конструкции подвижного элемента таким образом, чтобы было обеспечено большое усилие гашения при малых амплитудах колебаний. Для этого необходимо, чтобы магнитное поле в рабочем зазоре, в котором располагается магнитная жидкость, было равномерным, площадь рабочего зазора была большой, а величина самого зазора – относительно малой.

Исходя из поставленных задач, была выбрана и оптимизирована наиболее подходящая конструкция электромеханического магнитожидкостного демпфера.

### **Библиографический список**

**1. Казаков, Ю.Б.** Влияние эксплуатационных требований на конструкцию магнито-жидкостных демпферов / Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, И.С. Егоров // Материалы международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии» (XXI Бенардосовские чтения): сб. статей, 3 том. – Иваново, ФГБОУВО ИГЭУ, 2021. – С. 234-237.

**2. Adjerid, Kh.** A Study on the Dynamic Characterization of a Tunable Magneto-Rheological Fluid-Elastic Mounts in Squeeze Mode Vibration: Master of Science In Mechanical Engineering Dissertation, Virginia Polytechnic Institute, Blacksburg, Virginia, 2011. – 121 p.

*Г.С. Шеременда, маг.: рук. В.П. Шишкин, к.т.н., профессор  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **О ВЛИЯНИИ НАСЫЩЕНИЯ МАГНИНОЙ ЦЕПИ НА РАСЧЕТНЫЙ КОЭФФИЦИЕНТ ПОЛЮСНОГО ПЕРЕКРЫТИЯ В КОНДЕНСАТОРНЫХ СРД**

Общим свойством синхронных реактивных двигателей является равенство в рабочем режиме скорости вращения ротора и скорости вращения магнитного поля статора. Термин «реактивный» обусловлен тем, что главным рабочим потоком здесь является поток реакции якоря.

Двигатели находят широкое применение в устройствах, где требуется строгое постоянство скорости вращения ротора в определенном диапазоне изменения момента нагрузки на валу машины: электрочасах, лентопротяжных механизмах и т.п.

Такие двигатели выполняются с двумя обмотками на статоре, сдвинутыми в пространстве на  $90^0$ . Одна обмотка включается в сеть непосредственно, другая – через конденсатор. Ротор имеет пусковую обмотку типа «беличьей» клетки. В сердечнике ротора выполняются внутренние немагнитные пазы для создания разной магнитной проводимости по продольно  $d$  и поперечной  $q$  осям машины. [1], [2].

Магнитное поле конденсаторного СРД исследуется с помощью пакета *ELCUT 5.10*.

Были рассмотрены 2-х и 4-х полюсные двигатели с одним и двумя немагнитными каналами на половине полюсного деления ротора. При этом, чтобы учесть влияние только немагнитных каналов, паз статора и ротора принимались закрытыми. Показано, что с увеличением насыщения расчетный коэффициент полюсного перекрытия возрастает от 0,7 до 0,85.

### **Библиографический список**

- 1. Осин, И.Л.** Синхронные электрические двигатели малой мощности: учеб. пособие / И.Л. Осин, Издат. Дом МЭИ 2006. - 213 с.
- 2. Электрические** машины малой мощности / Под ред. Д.А. Завалишина. – Госэнергоиздат, 1963. - 431 с.

*А.А. Суриков, В.П. Шишкин, к.т.н., профессор  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **О ВЫБОРЕ КОЛИЧЕСТВА И ФОРМЫ НЕМАГНИТНЫХ КАНАЛОВ В КОНДЕНСАТОРНЫХ СРД**

В электроприводах небольшой мощности широкое применение получили конденсаторные синхронные реактивные двигатели (СРД), питающиеся от однофазной сети. Такие двигатели выполняются с двумя обмотками на статоре, сдвинутыми в пространстве на  $90^{\circ}$ . Одна обмотка включается в сеть непосредственно, другая – через конденсатор. Ротор имеет пусковую обмотку типа «беличьей» клетки. В сердечнике ротора выполняются внутренние немагнитные пазы для создания разной магнитной проводимости по продольно  $d$  и поперечной  $q$  осям машины. [1], [2].

Магнитное поле конденсаторного СРД исследуется с помощью пакета *ELCUT 5.10*.

Поскольку в синхронном реактивном двигателе магнитное поле статора и тело ротора вращаются с синхронной скоростью, они неподвижны друг относительно друга, поэтому задачу исследования магнитного поля можно отнести к классу задач магнитостатики. Для нас представляет интерес влияние количества и формы немагнитных каналов ротора на характер поля и основные показатели СРД.

Были рассмотрены 2-х и 4-х полюсные двигатели с одним и двумя немагнитными каналами на половине полюсного деления ротора. Показано, что двигатели с двумя каналами обладают большей разницей между  $x_d$  и  $x_q$ , что способствует большей перегрузочной способности машины.

### **Библиографический список**

- 1. Осин, И.Л.** Синхронные электрические двигатели малой мощности: учеб. пособие / И.Л. Осин, Издат. Дом МЭИ 2006. - 213 с.
- 2. Электрические** машины малой мощности / Под ред. Д.А. Завалишина. – Госэнергоиздат, 1963. - 431 с.

Д.А. Маширина, студ.; рук. А.И.Тихонов, д.т.н., профессор  
(ИГЭУ, Иваново)

## РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТРЕХОБОМОТЧНОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Современная электроэнергетика ставит новые задачи по усовершенствованию расчетов, одной из которых является уточнение моделирование многообмоточных трансформаторов.

Схема замещения трехобмоточного трансформатора, выполненная в среде MatLab Simulink SimPowerSystem представлена на рис. 1.

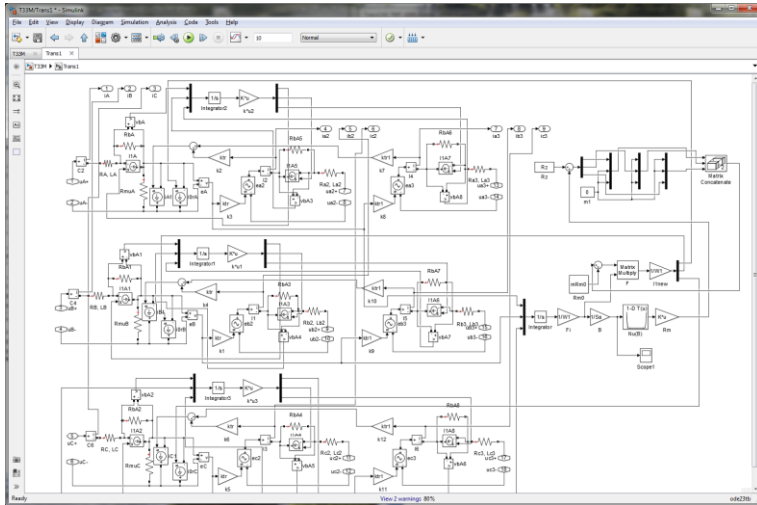


Рис. 1. Имитационная модель трехобмоточного трансформатора в среде MatLab Simulink SimPowerSystem

Она строится на основе трех идеальных трансформаторов, дополненных параметрами обмоток и ветвей намагничивания. Намагничивающие токи рассчитываются из системы уравнений магнитной цепи. Для учета взаимного влияния магнитных полей за пределами магнитопровода используется схема замещения, в которой решается система из трех уравнений для каждой фазы.

### Библиографический список

1. Снитько И.С., Тихонов А.И., Стулов А.В., Мизонов В.Е. Разработка модели переходных режимов с учетом взаимной индуктивности полей рассеяния для реализации цифрового двойника трансформатора // Вестник ИГЭУ. – 2021. – Вып. 4. – С. 47-56.

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

## **МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ**

В работе рассматриваются синхронные реактивные двигатели (СРД). СРД обладают простой конструкцией и высоким значением коэффициента полезного действия. Ротор СРД имеет различную магнитную проводимость по продольной и поперечной оси за счет наличия воздушных барьеров.

Актуальной является задача определения характеристик СРД, так как количество исследований в этой области значительно меньше в сопоставлении с аналогичными исследованиями, затрагивающими другие типы электродвигателей. В данной работе представлена методика определения параметров ротора и характеристик СРД. В ходе работы в результате полевого расчета ротора СРД в среде «Elcut» и последующего расчета по инженерной методике были получены угловые характеристики и выполнено их сопоставление с угловыми характеристиками, полученными в результате полевого расчета СРД в среде «Ansys Maxwell».

Также в работе осуществлен частотный пуск и проанализированы результаты полевого расчета СРД при другой конфигурации обмотки статора.

Результаты исследования могут быть использованы для развития и совершенствования методики проектирования СРД.

### **Библиографический список**

1. **Осин И. Л. Шакарян Ю.Г.** Электрические машины: синхронные машины: Учебное пособие для вузов / Под редакцией И.П. Копылова – М.: «Высшая школа», 1990. – 304 стр.

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

## **ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО ЗАПОЛНЕНИЯ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА МАГНИТОЖИДКОСТНОГО СЕПАРАТОРА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ**

Магнитожидкостная сепарация является одним из способов разделения материалов по плотности, которая может быть использована для обогащения минерального сырья в горноперерабатывающей промышленности, разделения цветных и драгоценных материалов при переработке вторсырья и пр. [1, 2].

Рабочим телом магнитожидкостного сепаратора является магнитная жидкость, которая находится в зазоре магнитожидкостного сепаратора и удерживается градиентным магнитным полем. Стоимость магнитной жидкости весьма велика, а неверный выбор высоты столба магнитной жидкости, пропорциональный объему заполняющего рабочий зазор сепаратора, может привести к снижению эффективности работы всей установки [3, 4]. Так, недостаточный объем приведет к снижению точности разделения, а избыточный – к увеличению расхода магнитной жидкости и снижению производительности установки [5]. Поэтому выбор оптимального объема магнитной жидкости, заполняющей рабочий зазор сепаратора является актуальной задачей.

В работе разработаны математические модели позволяющие определить оптимальную высоту столба магнитной жидкости в зазоре магнитожидкостного сепаратора при различных сочетаниях разделяемых продуктов. Также разработанные модели позволяют подобрать оптимальные эксплуатационные параметры, позволяющие добиться максимальных производительности и энергоэффективности.

### **Библиографический список**

- 1. Гуляхин Е.В., Солоденко А.Б. Бочкарев Г.Р.** Сепарация минерального сырья в псевдоутяжеленных средах. – Новосибирск: Наука, 1984. – 140 с.
- 2. Н.Д. Кравченко, В.И. Карамзин.** Магнитная сепарация отходов цветных металлов. М.: Металлургия, 1986, - 129 с.
- 3. Пелевин А. Е.** Магнитные и электрические методы обогащения. Магнитные методы обогащения: учебник / Пелевин А. Е.; Урал. гос. горный ун-т. – Екатеринбург: Изд-во УГ-ГУ, 2018. – 296 с.
- 4. Л.С. Стрижко, Ю.Ю. Костюхин, Г.В. Кружкова, Е.А. Иванова.** Извлечение цветных и благородных металлов из электронного лома: экономические показатели и стратегия ценообразования // Известия вузов. Цветная металлургия № 3. 2013. С. 28 - 33
- 5. Филиппов, В.А.** Повышение эффективности электромагнитных магнитожидкостных сепараторов немагнитных материалов: дисс. канд.техн. наук. 05.09.01 / Иваново, ИГЭУ. - 2020. - 128 с.

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

## **ОДНОФАЗНОЕ ПИТАНИЕ ТРЁХФАЗНОГО АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ**

Асинхронный двигатель является наиболее распространённым типом электродвигателей. Не редко по тем или иным причинам возникает необходимость питания трёхфазного асинхронного двигателя от однофазной сети. Как известно, в такой ситуации возникает определенная сложность для создания кругового вращающегося поля в разных режимах работы машины [1].

Одним из способов питания трёхфазного асинхронного двигателя от однофазной сети, обеспечивающий вращение поля в зазоре, является конденсаторный [2]. В зависимости от схемы соединения обмоток и их конструктивного исполнения применяются различные схемы подключения конденсатора. Обычно две фазы соединяют последовательно, они образуют рабочую обмотку, а третья фаза является вспомогательной – в неё включается конденсатор [3].

Применяют пусковые и рабочие конденсаторы или их сочетание. Наличие конденсатора обеспечивает вращающееся круговое магнитное поле в момент пуска, в режиме нагрузки или в обоих случаях. Следует отметить, что при однофазном питании двигателя его полезная мощность значительно меньше, чем при трёхфазном питании. Также, круговым полем является только в определенных режимах, при которых энергетические показатели (коэффициент мощности, КПД) при работе двигателя оказываются максимальными [2, 3].

Данная работа посвящена анализу работы трёхфазного асинхронного двигателя, питаемого от однофазной сети. Разработана модель трёхфазного асинхронного двигателя при питании от однофазной сети. Получены рабочие и пусковые характеристики. Рассмотрена возможность изменения рабочей емкости при работе машины для улучшения энергетических показателей в режимах отличных от номинального.

### **Библиографический список**

**1. Вольдек А. И., Попов В. В.** Электрические машины. Машины переменного тока: Учебник для вузов. - СПб.: Питер, 2008. - 350 с.: ил.

**2. Топорцев Н.Д.** Трёхфазный асинхронный двигатель в схеме однофазного включения с конденсатором. – 4 изд., перераб. и доп. –М.: Энергоатомиздат, 1988.-95 с.: ил.

**3. Лопухина Е.М., Сомихина Г.С.** Расчёт асинхронных микродвигателей однофазного и трёхфазного тока: Учеб. пособие для вузов. – 3 изд., перераб. и доп./ Лопухина Е.М., Сомихина Г.С. –М.: Энергоатомиздат, 1961.-312 с. черт. и табл.;



*О.В. Чванов, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОГО ЭЛЕКТРОТРАНСПОРТА

Магнитоэлектрические двигатели обеспечивают высокие удельные показатели вращающего момента и полезной мощности при небольших габаритах, что важно для привода малой колесной техники, например, квадроциклов. Особенности такого двигателя являются обращенная конструкция, многополюсный внешний ротор с расположенными на внутренней поверхности сердечника постоянными магнитами и внутренний статор (рис. 1). Двигатель имеет до 40 % меньшие габариты по сравнению с синхронным двигателем традиционной конструкции с электромагнитным возбуждением.

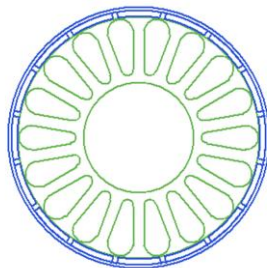


Рис. 1: Конструкция двигателя

В магнитоэлектрических синхронных электродвигателях обращенной конструкции необходимость в дополнительных источниках питания сводится к минимуму.

По методике [1] с изменениями на основании [2] и [3] рассчитан 16 полюсный магнитоэлектрический синхронный двигатель обращенной конструкции мощностью 16 кВт с частотой вращения 2300 об/мин. Магнитоэлектрический двигатель проанализирован в системе Maxwell 16.0 (64-bit), КПД составил 93.7%.

Динамический режим магнитоэлектрического синхронного электродвигателя обращенной конструкции был промоделирован в системе Matlab R2014b в процессе пуска. Анализ результатов показал, что двигатель запускается и успешно разгоняется до номинальной частоты вращения. Разработанный магнитоэлектрический двигатель более эффективен в сравнении с другими типами электродвигателей.

### Библиографический список

1. Копылов, И.П. Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 464 с.
2. Осин, И.Л. Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. пособие для вузов / И.Л. Осин, Ю.Г. Шакарян. Под ред. И.П. Копылова – М.: Высш. шк., 1990. – 304 с.
3. Балагуров, В.А. Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. шк., 1982. – 272 с.

*И.А. Грачёв, студ.; Н.А. Морозов, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВНЕШНЕЕ МАГНИТНОЕ ПОЛЕ ТУРБОГЕНЕРАТОРА ПРИ ПОВРЕЖДЕНИИ ОБМОТКИ ВОЗБУЖДЕНИЯ**

Метод измерения внешнего магнитного поля турбогенератора датчиками Холла позволяет выявлять повреждения обмотки возбуждения без выведения его из работы и внедрения вовнутрь машины.

Лабораторная установка включает в себя модель турбогенератора на базе маломощного асинхронного двигателя с новым ротором, имитирующим реальный ротор турбогенератора и позволяющий отключать катушки обмотки возбуждения в нужном порядке. Приводом модели служит асинхронный двигатель с питанием от преобразователя частоты для задания требуемой частоты вращения, контролируемой лазерным тахометром. Возбуждение модели осуществлялось от независимого регулируемого источника питания.

Измерения внешнего магнитного поля проводилось разработанным трёх координатным датчиком, сигнал с которого передавался в коннектор, соединённым с компьютером, на котором в программе LabView, отображались три графика: индукция в радиальном, осевом и тангенциальном направлениях в функции времени. Параметры модели и датчика контролировались измерительными приборами.

Измеренные датчиком сигналы пропускались через фильтр, чтобы убрать посторонние шумы. Затем сигналы аппроксимировались по двум тысячам точек в диапазоне времени фиксации и полученные данные переносились в табличную систему Excel, по которым и строились полученные кривые.

Время начала фиксации измеряемого сигнала было произвольным. Поэтому для сравнения полученных результатов необходимо смещать начальные фазы кривых к нулевому значению сигнала или к его амплитуде. Это позволяет проводить сравнительный анализ положения кривых составляющих магнитной индукции внешнего магнитного поля турбогенератора без повреждения обмотки возбуждения и при повреждении какой-либо катушки.

При повреждении катушек кривые поля смещаются относительно нулевой линии, что оценивается коэффициентом несимметрии поля (КНП), равном отношению средней линии кривой к её амплитуде [1].

### **Список литературы**

1. Морозов А.Н., Коэффициент несимметрии поля при повреждениях обмотки возбуждения неявнополюсной синхронной машины / Материалы междунар. науч.-техн. конф. (Бенардосовские чтения XXI), 02–04 июня, III том Электротехника, Иваново, 2021. – С. 196-198

*А.А. Семко, студ.; Н.А. Морозов, к.т.н., доцент  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **ПРОБЛЕМЫ СОЗДАНИЯ ЛАБОРАТОРНОЙ МОДЕЛИ ТУРБОГЕНЕРАТОРА НА БАЗЕ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ФАЗНЫМ РОТОРОМ**

Внешнее магнитное поле электрической машины может служить показателем внутреннего состояния её деталей и узлов [1]. Результаты компьютерного моделирования [2] показывают взаимосвязь внутренних повреждений и состав внешнего магнитного поля. Крупные машины использовать для лабораторных испытаний не рентабельно. Была создана модель турбогенератора на базе асинхронного двигателя 4ААМ63В2У3. Возникают трудности при проведении испытаний с нагрузкой. Малый воздушный зазор приводит к большому значению индуктивного сопротивления по продольной оси ( $X_d$ ) согласно формуле:

$$X_d = \frac{1,12 * A * \tau^{1,5}}{B_\delta * \delta} * 10^{-6},$$

где  $A$  – линейная нагрузка,  $\tau$  – полюсное деление,  
 $B_\delta$  – амплитуда индукции в зазоре,  $\delta$  – воздушный зазор

При разработке последующей модели турбогенератора из асинхронного двигателя с фазным ротором МТН-112-6 стоит учесть такое влияние и искусственно увеличить зазор путём шлифовки внешней поверхности сердечника ротора. Еще одна проблема связана с учётом коэффициента Картера. В реальных турбогенераторах форма паза ротора открытая, а в машинах с фазным ротором – полузакрытая. Это непременно скажется на гармоническом составе магнитного поля.

Проведенные испытания на малой лабораторной модели показали эффективность использования трёхкоординатной системы с датчиком Холла. Одним из нестабильных факторов является определение местоположения датчика при изменении условий эксперимента.

### Список литературы

1. Семко А.А. Методы диагностики электрических машин. / А.А. Семко, Н.А. Морозов // Научно-техническая конференция «Состояние и перспективы развития электро- и тепло-технологии» (XXI Бенардосовские чтения), III том, Электротехника, 2021 г. – С. 202.
2. Казаков Ю.Б. Метод диагностики дефектов синхронных генераторов по изменению внешнего электромагнитного поля / Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, А.П. Океанский, Е.А. Шумилов // Вестник ИГЭУ. - № 1, 2019. – С. 55-61.

*И.А. Кочин, студ.; С.А. Нестеров, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ В МАГНИТОЖИДКОСТНОМ ГЕРМЕТИЗАТОРЕ С ПОМОЩЬЮ ЧИСЛЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ**

В связи с малой величиной зазора в магнитоожидкостных герметизаторах сильно затруднены многие физические измерения. Основным инструментом для изучения процессов остается численное математическое моделирование [1-3].

В настоящее время опубликовано сравнительно мало работ посвященных мультифизическому численному расчету процессов в зазоре герметизаторов. Среди существующих методик, у численного расчета есть ряд преимуществ по сравнению с аналитическими моделями. Численный подход позволяет учитывать множество зависимостей, таких как: реологические свойства магнитной жидкости и их зависимость от гидродинамических свойств, температурные и магнитные поля, реальную геометрию рабочей зоны. Особенно важно отметить возможность визуализировать различные параметры течения магнитной жидкости, как и сведенное к минимуму количество допущений по сравнению с аналитическими моделями. Еще одним важным преимуществом численной математической модели является ее гибкость, что позволяет проводить серию расчетов для разной частоты вращения вала и или геометрии рабочей зоны.

Разработанная численная математическая модель позволяет оценить влияние центробежных усилий на удерживаемый перепад давления с учетом деформации магнитоожидкостной пробки под действием центробежных и магнитных усилий. Полученные результаты могут быть использованы при создании высокоскоростных магнитоожидкостных уплотнений.

### **Библиографический список**

- 1. 4. Казаков Ю.Б.** Герметизаторы на основе нанодисперсных магнитных жидкостей и их моделирование / Ю.Б. Казаков и др. – Иваново, ИГЭУ, 2010. – 184 с.
- 2. Морозов Н.А.** Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. – Иваново: ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2011. – 264 с.
- 3. Сайкин М.С.** Магнитоожидкостные герметизаторы технологического оборудования: монография / М.С. Сайкин. – Санкт-Петербург; Москва; Краснодар; Лань, 2017. – 136 с

*С.Л.Митенков, студ.; С.А. Нестеров, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ НА УДЕРЖИВАЕМЫЙ ГЕРМЕТИЗАТОРОМ ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ**

Магнитные жидкости (МЖ) представляет собой устойчивый коллоидный раствор супердисперсного ферромагнитного материала (дисперсная фаза), покрытого поверхностно-активным материалом, в какой-либо жидкости (дисперсионная среда) [1].

Магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ) это щелевые уплотнения, работающие по принципу гидравлического затвора. МЖ в них удерживается магнитным полем в рабочих зазорах между неподвижными зубцами и вращающимся валом. Магнитное поле обычно создается постоянными магнитами. [2, 3].

Одним из факторов, сдерживающим применение МЖГ на электрических машинах большой мощности и высоких частот вращения является разогрев ротора и подшипников, что приводит к высокой температуре выходного конца вала, превышение температуры которого над температурой окружающей среды может достигать более 90 °С. Такие температуры накладывают жёсткие ограничения на частоту вращения вала и состав используемых МЖ.

Разработанная и изготовленная экспериментальная установка позволяет оценить влияние температуры входного конца вала электрического двигателя на удерживаемый МЖГ перепад давления. Результаты проведённых исследований для ряда температур вала и нескольких типов МЖ с разной жидкостью основой и намагниченностью насыщения могут быть использованы при создании высокотемпературных МЖГ и верификации результатов численного и аналитического моделирования.

### **Библиографический список**

- 1. Страдомский Ю.И.**, Основы феррогидродинамики: Учеб. пособие / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2004. – 108 с.
- 2. Орлов Д.В.** Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин [и др]; под ред. проф Д.В. Орлова, проф. В.В. Подгоркова. – М. : Машиностроение, 1993. – 275 с.
- 3. Морозов Н.А.** Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. – Иваново: ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2011. – 264 с.

С.А.Мелдов, студ.; С.А. Нестеров, к.т.н.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ ВАЛА НА УДЕРЖИВАЕМЫЙ МАГНИТОЖИДКОСТНЫМ ГЕРМЕТИЗАТОРОМ ПЕРЕПАД ДАВЛЕНИЯ

Магнитные жидкости представляют из себя устойчивый коллоидный раствор магнитных частиц нано или микронного размера в жидкостно-носителе. Благодаря сочетанию текучести и ярко выраженного взаимодействия с приложенным магнитным полем они получили широкое применение в технических устройствах [1].

Магнитожидкостные герметизаторы (МЖГ) используются на взрыво- и пожароопасных производствах для герметизации вращающихся валов и вводов. Принцип действия МЖГ основан на уникальном свойстве магнитной жидкости удерживаться в зазоре между подвижным и неподвижным узлом с помощью магнитного поля. Образующаяся при этом магнитожидкостная пробка разделяет наружный и внутренние объёмы технологического оборудования [2].

Основным фактором, сдерживающим применение МЖГ на электрических машинах большой мощности и высоких частот вращения является чрезмерный рост линейной скорости движения поверхности вала, вызывающий сильный разогрев магнитной жидкости в зазоре герметизатора и приводящий к деструктивным процессам внутри МЖ.

Разработанная и изготовленная экспериментальная установка позволяет оценить влияние центробежных усилий в зазоре МЖГ на удерживаемый перепад давления. Результаты проведённых исследований для ряда частот вращения вала и нескольких типов МЖ с разной жидкостью основой и намагничённостью насыщения могут быть использованы при создании высокоскоростных магнитожидкостных уплотнений и верификации результатов численного и аналитического моделирования МЖГ.

### Библиографический список

1. Орлов Д.В. Магнитные жидкости в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалёв, Н.К. Мышкин [и др]; под ред. проф. Д.В. Орлова, проф. В.В. Подгоркова. – М. : Машиностроение, 1993. – 275 с.
2. Морозов Н.А. Нанодисперсные магнитные жидкости в технике и технологиях / Н.А. Морозов, Ю.Б. Казаков. – Иваново: ФГБОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина", 2011. – 264 с.

**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. Алексеев, к.т.н., В.Ю. Невиницын, к.т.н.  
(ИГХТУ, г. Иваново)*

## **РЕГУЛИРОВАНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ГРАНУЛ В ПРОИЗВОДСТВЕ ПОЛИАМИДА-6**

Благодаря своим свойствам конструкционный полимер полиамид-6 находит широкое применение в различных отраслях промышленности: станкостроительной, пищевой, химической, металлургической и др.

Синтез полиамида-6 по новой технологии предусматривает введение дополнительной стадии твердофазного дополиамидирования, что приводит к повышению физико-химических свойств готового продукта. Стадия дополиамидирования – это сложный гетерофазный процесс, протекающий в реакторе типа «труба в трубе» в среде азота. В рубашку подаётся жидкофазный теплоноситель. Слой гранул перемещается по длине аппарата посредством вращающегося ворошителя.

Основными параметрами, характеризующими процесс дополиамидирования, являются концентрация мономера в гранулах на выходе и температура гранул. Однако в настоящее время отсутствуют методы оперативного измерения концентрации веществ в гранулах. В этой связи стадию дополиамидирования ведут по температуре.

Таким образом, основная цель и задача системы управления дополимеризатором заключается в поддержании температуры гранул на выходе аппарата на заданном уровне.

Принимая во внимание конструктивные особенности пилотного реактора разработана математическая модель процесса, отражающая процессы в твёрдых частицах полимера, взаимодействие твёрдой и парогазовой фаз, структуру гидродинамических потоков. Проведя серию вычислительных экспериментов с использованием данной модели были определены динамические каналы регулирования и возмущения, а также получена формализованная математическая модель объекта по указанным каналам в форме пространства состояний.

В работе предложена система регулирования температуры гранул на базе безынерционного РС с наблюдателем состояния Люенбергера. Параметры РС были определены методом модального управления. Методом компьютерного моделирования была подтверждена работоспособность предложенного алгоритма: замкнутая система является ковариантной с заданием и инвариантна к действию внешнего возмущения.

Г.А. Долгих, студ.; рук. А.И. Терехов, к.т.н., доц.;  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## НЕЙРОСЕТЕВАЯ ИДЕНТИФИКАЦИЯ ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ОБЪЕКТА

В настоящее время существует множество методов идентификации технологических объектов, широкое распространение из них получили методы параметрической идентификации. Однако, с ростом сложности объекта растут и расчёты при его идентификации, а в случае нелинейного характера объекта не всегда удаётся синтезировать робастную СУ без учёта нелинейностей.

В данной работе предлагается использовать нейросетевой метод идентификации для получения динамической модели объекта с учётом его нелинейного характера поведения. В качестве объекта использовалась модель двухмассовой электромеханической системы.

Результаты моделирования всей системы представлены на ниже.



Рис. 1. Результат моделирования линейного объекта (точка-пунктир), нелинейного (пунктир) и сети (сплошная).

Как видно из рисунка, нейросеть учитывает нелинейность идентифицируемого объекта и с высокой точностью воспроизводит его динамику.

В дальнейшем, полученную модель можно использовать для обучения «инверсного нейроэмулятора» [1], выступающего в качестве регулятора или для настройки классических регуляторов в режиме «оффлайн» [2].

### Библиографический список

1. **Омату С.** Нейроуправление и его приложения Пер с англ Н. В. Батина. Под ред А. И. Галушкина, В. А. Птичкина - М.: ИПРЖР, 2000 - 272 с.
2. **А.Н. Чернодуб, Д.А. Дзюба** Обзор методов нейроуправления // Проблемы программирования, 2011, №2, с. 79-94.

*Д.Н. Желтова, студ.; Ю.А. Кутузова студ.;*  
*рук. С.О. Кожевников, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*  
**УМНЫЙ ДОЗАТОР АНТИСЕПТИКА**

Возросшая потребность дезинфекции кожи рук привела к необходимости обеспечения производственных, торговых и бытовых помещений современными дозаторами антисептика.

Анализ существующей продукции дозаторов антисептика показал, что большая часть удовлетворяет потребностям, однако, существующие конструкции требуют непосредственного контакта с дозирующим элементом (или частями) дозатора. Данное обстоятельство крайне нежелательно при стремительном распространении новой коронавирусной инфекции.

Кроме того, для больших торговых центров, общественных зданий, производственных помещений в которых количество дозаторов может достигать несколько десятков необходимо отслеживать уровень антисептика.

Выполненный анализ показал, что на рынке отсутствуют устройства с таким функционалом. Авторами предлагается устройство для бесконтактной выдачи определенной дозы дезинфицирующего раствора при поднесении рук. Концепция функционирования дозатора показана на рис. 1.



Рис. 1. Концепция функционирования умного дозатора

Дозаторы могут быть расположены в любом месте здания и помещения. Управление дозатором осуществляется со смартфона, планшета или компьютера. Главным условием полноценной работы дозатора является наличие сети Wi-Fi. Количество дозаторов может достигать до нескольких десятков.

Функционал дозатора расширен за счет введения модуля, позволяющего «по воздуху» передавать данные об уровне жидкости и тем самым отслеживать его готовность. Кроме того, данные о расходе и количестве жидкости, находящейся в дозаторе, оперативно отслеживаются и контролируются. Применение дозатора антисептика благоприятно скажется на здоровье сотрудников организации.

*Нургалиев Д.Н., соискатель; Сатыбалдинова А.Е., преподаватель;  
Алдажуманов Ж.К., старший преподаватель; рук. М.В. Ермоленко  
(к.т.н.)*

*(НАО «Университет им. Шакарима г. Семей»)*

## **РЕГИСТРАЦИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В КОНДЕНСАТОРЕ**

В последнее десятилетие в сфере холодильной техники значительно выросла научная и практическая важность температурного мониторинга.

В данном тезисе рассматривается метод измерения параметров температуры на поверхности конденсатора.

Целью данной работы является проверка распределения температуры в конденсаторе холодильной установки.

Для измерения температуры использовались датчики фирмы Dallas Semiconductor DS18B20, их достоинствами являются: широкая доступность, выходные температурные данные датчика калиброваны в градусах Цельсия, прибор использует исключительно 1-Wire протокол обмена. Это позволяет собирать датчики DS18B20 в удобной системе, состоящие всего из трех проводов [1]. С помощью созданной нами программой «Terminal» были получены и обработаны температурные данные конденсатора. Система подключается к компьютеру через микроконтроллер однопроводного интерфейса USB <> COM-порт (RS232) с уровнями TTL/CMOS и линиями: TxD, RxD, DTR, CTS. Микроконтроллер STM32F103 же служит основным элементом, необходим для связи компьютера и датчиков.

На первом этапе программа «Terminal» распознаёт датчики, считывает их температуру и выстраивает в порядке возрастания их номерного кода. Далее ведется обработка и анализ полученных данных.

Такую схему подключения можно использовать как для конденсаторов, так и для любых теплообменных аппаратов в экспериментальных целях.

### **Библиографический список**

**1 Казанцев С. А.** Датчики в геотермин, сравнительный анализ // Интерэкспо ГЕО-Сибирь-2014. X Междунар. науч. конгр. : Междунар. науч. конф. «Недропользование. Гор-ное дело. Направления и технологии поиска, разведки и разработки месторождений полезных ископаемых. Геоэкология»: сб. материалов в 4 т. (Новосибирск, 8-18 апреля 2014 г.). - Новосибирск: СГГА, 2014. Т. 4. - С. 97–100

*Колосова М.С., магистрант; рук. Тютиков В.В., д.т.н., профессор  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **КОМБИНИРОВАННЫЙ ПОДХОД К СИНТЕЗУ САУ ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ**

Технологические поточные линии являются основным оборудованием многих производственных процессов в текстильной, бумагоделательной, металлургической промышленности. Изменение механических параметров обрабатываемого материала (толщины пленки или металлической полосы, удельного веса бумаги, диаметра волокна, плотности ткани) происходит в последовательно расположенных зонах деформации.

Анализ литературных источников позволил определить основные факторы, влияющие на натяжение материала, и сформулировать требования к САУ зоной деформации поточной линии.

Одним из основных параметров, определяющим качество готовой продукции является натяжение материала в этих зонах, на которое оказывают заметное влияние как внешние, так и внутренние факторы: изменения скоростного режима и возмущения, связанные с изменением скоростей (натяжений) в соседних зонах; вариации модуля упругости материала; упругие свойства механических передач электроприводов; нелинейная зависимость натяжения от скорости транспортирования материала.

Для построения системы управления таким объектом предложен комплексный подход, основанный на использовании:

- принципов редукции математической модели и управления объектами высокого порядка в рамках метода модального управления для построения САУ локальным каналом (электроприводом);
- методов синтеза САУ нелинейными объектами (линеаризация обратной связью) для исключения влияния скорости транспортирования обрабатываемого материала на свойства зоны;
- принципов адаптации с использованием эталонной модели для исключения влияния изменения модуля упругости материала.

Математическое моделирование САУ зоной деформации, синтезированной с использованием предложенного подхода, при действии возможных внутренних и внешних возмущающих факторов показало ее высокую эффективность.

Данное исследование выполнено в рамках проекта по заданию Министерства образования и науки Российской Федерации.

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

## СТАБИЛИЗАЦИЯ БАЛАНСИРУЮЩЕГО РОБОТА

Рассматривается модель перевернутого маятника на колесе (рис. 1), который описывается нелинейными дифференциальными уравнениями (1). Цель работы заключается в разработке системы управления для поддержания вертикального положения маятника.

$$\begin{cases} \frac{d^2\theta}{dt^2} = \frac{mRL(\dot{\varphi}^2 \sin(\varphi) - \ddot{\varphi} \cos(\varphi)) - 2(\beta + f_w)\dot{\theta} + 2\beta\dot{\varphi} + \alpha(U_r + U_l)}{\frac{3}{2}MR^2 + mR^2} \\ \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \frac{mgL\sin(\varphi) - mL\dot{\theta}R\cos(\varphi) + 2\beta\dot{\theta} - 2\beta\dot{\varphi} - \alpha(U_r + U_l)}{mL^2} \end{cases} \quad (1)$$

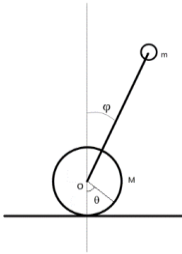


Рис. 1. Модель перевернутого маятника на колесе

Уравнения (1) могут быть линеаризованы по  $\varphi \sim 0$ , т. к. цель системы стабилизации держать угол маятника в вертикальном положении, а значит, что  $\cos(\varphi) \approx 1$ , а  $\sin(\varphi) \approx \varphi$ , а также была исключена производная от  $\varphi$  в квадрате.

После линеаризации была получена модель, которую записали в форме пространства состояний. Построение компьютерной модели сводится к выбору соответствующих библиотечных блоков в MATLAB/Simulink (рис. 2).

На рис. 3 представлены результаты работы модели перевернутого маятника. Из графиков видно, что угол  $\varphi$  стабилизируется в вертикальном положении за счет вращения колеса на угол  $\theta$ .

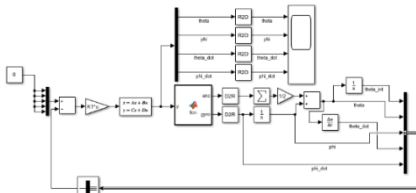


Рис. 2. Модель в Simulink

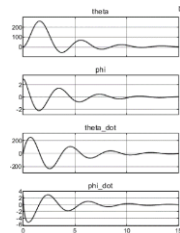


Рис. 3. Графики переходных процессов

### Библиографический список

1. 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>

*И.А. Сеницын, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст.преп.*

*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРОГРАММНЫЙ ДИФФЕРЕНЦИАЛ ГОНОЧНОГО БОЛИДА**

При разработке гоночного болида для соревнований Formula Student Electric с целью уменьшения его массы было принято решение отказаться от механического дифференциала. Альтернативой является программный дифференциал.

Силовой установкой болида являются два бесколлекторных двигателя постоянного тока, расположенных на задней оси. Каждый двигатель напрямую соединен с колесом. Управление двигателями осуществляется посредством двух регуляторов скорости. Управление скоростью движения болида и другими процессами, включая индикацию и мониторинг данных с датчиков, осуществляет электронный блок управления, реализующийся на базе отладочной платы Nucleo-64 с микроконтроллером STM32G474.

Программный дифференциал работает следующим образом: микроконтроллер опрашивает датчики положения руля, инерциальной навигационной системы (ИНС) и индуктивные датчики вращения колес. Для точности определения направления движения применяются два датчика ИНС, расположенные в носовой и задней частях болида. В зависимости от полученных данных, микроконтроллер подает сигналы управления на регуляторы скорости с разной интенсивностью, тем самым управляя распределением момента на задних колесах. Контроль скорости вращения колес осуществляется с помощью индуктивных датчиков скорости. Главным преимуществом программного дифференциала перед механическим является отсутствие проблемы пробуксовки на скользкой поверхности, когда одно из колес автомобиля находится в заблокированном состоянии, а другое крутится с большой скоростью. Избежать данной проблемы позволяют индуктивные датчики скорости, стоящие на всех колесах. При отсутствии сигнала с нескольких колес система обнаруживает пробуксовку и изменяет распределение момента.

### **Библиографический список**

1. <https://samseberul.ru/chto-takoe-differentsial>

*И.А. Синицын, студ; рук. И.А. Тихомирова, доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **РАЗРАБОТКА СИЛОВОЙ УСТАНОВКИ ГОНОЧНОГО БОЛИДА НА ЭЛЕКТРОТЯГЕ**

Разработка силовой установки для болида соревнований Formula Student Electric состоит из следующих этапов: выбор двигателей, контроллера скорости двигателя, балансировочной платы (Battery Management System – BMS) и расчет аккумуляторной батареи (АКБ),

Расчет параметров для корректного подбора двигателей осуществляется из расчета максимальной массы болида с пилотом. По полученным данным определяется необходимая мощность, на основе которой выбираются два двигателя, которые монтируются на задней оси болида. Оптимальными по соотношению масса/мощность являются бесколлекторные синхронные двигатели постоянного тока.

Подбор и компоновка АКБ осуществляется на основе следующих данных: номинальный и пиковый токи потребления двигателя, напряжение питания двигателя. Здесь также важно соотношение масса/емкость. Оптимальным вариантом в данном случае являются литий-полимерные пакеты. Путем параллельного и последовательного соединений компонентов достигаются необходимое напряжение, ток и емкость сборки.

Выбор контроллеров скорости двигателей осуществляется на основе следующих данных: пиковый ток питания, напряжение питания и число последовательно соединенных ячеек в АКБ.

Подбор балансировочной платы осуществляется на основе материала АКБ, напряжения, тока и числа последовательно соединенных ячеек в АКБ. С целью записи данных о состоянии батареи оптимальным вариантом будет выбор smart-BMS с возможностью беспроводной передачи данных.

При выборе двигателя и ESC стоит учитывать способ охлаждения. В случае жидкостного необходим выбор компонентов в соответствующем корпусе с выведенными штуцерами. В противном случае, необходимо предусмотреть теплоотводящие панели и радиаторы.

### **Библиографический список**

1. [https://goldenmotor.ru/statiya/chto\\_takoe\\_blc\\_motor/](https://goldenmotor.ru/statiya/chto_takoe_blc_motor/)
2. <https://blog.avislab.com/brushless07/>



*И.А. Сеницын, студ.; С.О. Кожевников, доцент  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ МИКРОКОНТРОЛЛЕРОВ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОРАЗРЯДНЫМИ ИНДИКАТОРА- МИ**

Газоразрядные индикаторы (ГРИ) получили широкое применение во многих сферах человеческой деятельности, начиная от вычислительных и измерительных приборов и заканчивая военной техникой, в 50-70-х годах XX века. Основные способы управления индикацией сводились к построению больших схем с применением логических элементов, транзисторов и мультиплексоров [1].

С развитием полупроводниковой электроники большие схемы из логических элементов заменили компактные микроконтроллеры и микропроцессоры. Теперь для управления ГРИ необходим всего один дешифратор, источник высокого напряжения и гальваническая развязка. Достоинствами индикаторов являются: хорошая яркость, малая удельная потребляемая мощность, пороговая характеристика, наличие электрической памяти. Недостатками ГРИ являются: высокое рабочее напряжение, умеренный срок службы [2].

В настоящее время широкое применение получили часы на ГРИ ИН-12 и ИН-14. Способом управления индикаторами является динамическая индикация. Для перебора цифр применяется специально разработанный дешифратор К155ИД1. Для обеспечения необходимых для работы ламп 200 В применяется схема генератора из полевого транзистора, дросселя и конденсатора. За управление всей индикацией отвечает микроконтроллер. Данная схема без проблем реализуется на 8-битных микроконтроллерах, таких, как Atmega 328P. Микроконтроллер управляет работой индикаторов, используя встроенный ШИМ-генератор. Сквозность сигнала управления зависит от рабочего напряжения индикаторов [3].

### **Библиографический список**

1. **Бирюков, С.А.** Цифровые устройства на интегральных микросхемах. - М.: Радио и связь, 1987. - 152 с.
2. **Ладик, А.И.** Изделия электронной техники. Знакосинтезирующие индикаторы. Справочник. / А.И. Ладик, А.И. сташкевич. - М.: Радио и связь, 1994. - 176 с.
3. **Часы** на ГРИ и Arduino v2 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: [https://alexgyver.ru/nixieclock\\_v2/](https://alexgyver.ru/nixieclock_v2/) свободный – (28.01.2022).

*И.А. Сеницын, студ.; рук. Г.В. Долунц  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **БОРТОВОЙ МИКРОКОМПЬЮТЕР ГОНОЧНОГО БО- ЛИДА**

Для расширения возможностей электронного блока управления (ЭБУ) гоночного болида применяется бортовой микрокомпьютер. В его задачи входит: регистрация данных с датчиков и агрегатов о состоянии системы, обмен данными с компьютером инженера по беспроводным каналам связи. В качестве бортового компьютера был выбран микрокомпьютер Raspberry Pi 4 model B.

Регистрация данных осуществляется путем записи полученной от ЭБУ информации на съемный накопитель для ее дальнейшего изучения, корректировки работы агрегатов, выявления причин поломок и сбоев в работе.

Обмен данными с внешним компьютером по беспроводным каналам предназначен для отслеживания значений необходимых параметров в режиме реального времени. Еще одной важной задачей является загрузка новой прошивки в микроконтроллер ЭБУ, полученной от внешнего компьютера. Это позволяет оперативно проводить тесты программ для ЭБУ, исправлять ошибки непосредственно на месте тестирования, не нарушая целостности корпуса ЭБУ. Обмен данными между микрокомпьютером и ЭБУ осуществляется по протоколу USB. В качестве микроконтроллера в блоке ЭБУ применяется STM32G474 на отладочной плате Nucleo-64. Особенностью данной платы является уже установленный на ней программатор ST-Link, что позволяет осуществлять перепрошивку путем обычной загрузки файла в память программатора.

Постоянная проверка поступающей информации и своевременная корректировка алгоритмов работы ЭБУ позволят избежать поломок агрегатов болида и вывести алгоритм управления им на оптимальный уровень.

### **Библиографический список**

1. <http://wiki.amperka.ru/rpi:installation:ssh>
2. <https://habr.com/ru/post/177647/>

*М.Е. Сороковнин, аспирант; рук. А.А. Анисимов, д.т.н., доцент (ИГ-ЭУ, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ИДЕНТИФИКАЦИИ И НАСТРОЙКИ МЕХАТРОННОЙ СИСТЕМЫ**

Классические методы идентификации и настройки систем управления оказываются недостаточно эффективными при решении задачи в режиме реального времени [1]. Предлагается использовать искусственную нейронную сеть (ИНС), позволяющую проводить идентификацию и настройку по одной динамической характеристике.

Массив из отсчетов полученной переходной характеристики подается на вход радиальной ИНС, которая дает оценку параметрам модели объекта управления. При выявлении изменения параметров объекта происходит расчет регулятора состояния (РС) методом модального управления при новых, идентифицированных сетью параметрах.

Обучающая выборка радиальной ИНС представляет собой массив дискретных по времени значений переходных характеристик замкнутой системы с РС, полученных при вариации переменных параметров мехатронного объекта управления.

Для формирования структуры радиальной ИНС используется адаптивный алгоритм *newrb*, входящий в состав программного комплекса MatLab. В процессе обучения алгоритм добавляет в структуру сети новые нейроны до тех пор, пока ошибка аппроксимации данных обучающей выборки не станет меньше заданной величины.

Выбор состава координат состояния мехатронной системы, используемых в процессе идентификации, обеспечивающего оптимальное отношение сигнал-шум на входах ИНС при воздействии помех в каналах измерения, предлагается проводить с использованием математического аппарата градиентов [2].

### **Библиографический список**

**1. Анисимов А.А., Тарарыкин С.В.** Структурно-параметрический синтез, оптимизация и настройка систем управления технологическими объектами / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2015. – 296 с.

**2. Бирюков Д.С.** Конструирование объекта управления. Часть 1. Проблема редуцирования модели, размещения регулирующих органов, измерительных устройств и оценки потенциальной робастности / Д.С. Бирюков, Н.А. Дударенко, О.В. Слита, А.В. Ушаков // Мехатроника, автоматизация и управление. – 2013. - №6. – с. 2-6.

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

## **ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ ГРАМИАННОГО МЕТОДА СИНТЕЗА РОБАСТНЫХ СИСТЕМ УПРАВ- ЛЕНИЯ**

В современных условиях возрастание требований к качеству управления в промышленности делает актуальным применение систем автоматического управления (САУ) с регуляторами состояния (РС) [1, 2]. Однако из-за недостаточной параметрической определенности большинства объектов управления разработка и практическая реализация подобных систем осложняется проблемой робастности (параметрической грубости), которая играет важную роль в современной теории управления.

В настоящее время известны грамианские методы, позволяющие проводить анализ системных свойств объектов [3], а также формировать структуры с заданным соотношением управляемости и наблюдаемости. Однако эти методы не связаны непосредственно с проблемой робастности и, как следствие, не дают возможности целенаправленно проектировать системы с заданными свойствами.

В работе [4] предлагается итерационный метод синтеза робастных систем с РС, на каждом шаге которого меняются сингулярные числа грамиана управляемости, формируется скорректированная структура объекта и синтезируется основной регулятор методом модального управления. Кроме этого, требуются средства для анализа результатов, в частности, для построения зоны параметрической грубости системы.

Предлагаемый программный комплекс позволяет в значительной степени автоматизировать процессы синтеза и анализа робастных САУ с регуляторами состояния на основе грамианного подхода.

### **Библиографический список**

1. Поляк Б.Т., Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. М.: Наука, 2002. 303 с.
2. Тарарыкин С.В., Тютиков В.В. Робастное модальное управление динамическими системами // Изв. РАН. Автоматика и телемеханика. — 2002.—№5.—С. 41-55.
3. Бирюков Д.С., Дударенко Н.А., Слита О.В., Ушаков А.В. Конструирование объекта управления. Ч.1. // Мехатроника, автоматизация, управление. —2013. —№6.—С.2-6.
4. Anisimov, A.A., Tararykin, S.V. An Iterative Method of the Structural-Parametric Design of Robust Systems with State Controllers // Journal of Computer and Systems Sciences International, 57 (4), pp. 529-542.

**СЕКЦИЯ 23**  
**ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ**

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

Секретарь –  
Старший преподаватель **Власов А. М.**



*Д.Д. Лукин, А.В. Попруженко, студ, рук. С.А. Егоров к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## ПРИМЕНЕНИЕ САПР T-FLEX ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ ТОЛЩИНЫ СТЕНКИ КОРПУСА РЕДУКТОРА

В настоящее время инженерное программное обеспечение стало важной частью проектной деятельности. Оно используется на всех стадиях управления PLM. В разработке такое ПО применяется для проектирования, для проведения расчетно-конструкционных работ, для подтверждения работоспособности и долговечности изделия.

Цель работы заключается в проведении расчета на долговечность редуктора коническо-цилиндрического при помощи САПР ТП.

Для проведения работы были подготовлены: Конечно-элементная сетка; Сведения о материалах; Начальные и граничные условия, соответствующие моделируемой физической задаче.

Далее был проведен статический анализ: Введены начальные и граничные условия: действующие нагрузки и моменты, точки приложения; Произведен расчет нагрузки на стенку редуктора; Произведен вывод по полученной информации, приняты решения по улучшению или удешевлению конструкции.

Проведенные расчёты позволили определить оптимальную толщину стенки методом конечных элементов. Наглядный результат проведённого расчёта представлен на Рис. 1.

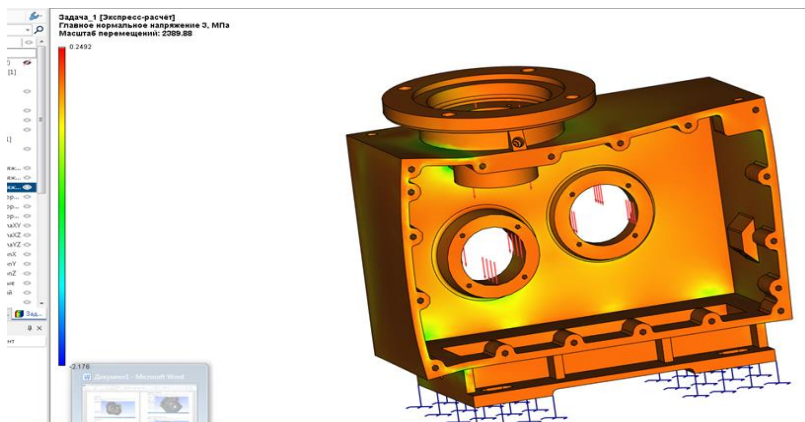


Рис.1. Результат проведённого расчёта.

*В.П. Лазаренко студ, рук С.А. Егоров к.т.н., доц.;  
(ИГЭУ г. Иваново)*

## **СНИЖЕНИЕ МАТЕРИАЛОЕМКОСТИ НИЖНЕЙ ЧАСТИ КОРПУСА РЕДУКТОРА**

Снижение материалоемкости изделий имеет большое экономическое значение, так как позволяет:

- существенно улучшить свое финансовое положение за счет снижения себестоимости продукции и увеличения прибыли, остающейся в его распоряжении;
- увеличить выпуск продукции из одного и того же количества сырья и материалов;
- существенно снизить издержки на производство и реализацию продукции;

В настоящее время есть множество способов снижения материалоемкости. Рассмотрим снижения толщины материала. Чтобы изделие не потеряло такие качества, как прочность и жесткость добавим в конструкцию ребра жесткости.

Ребра жесткости в изделии помогут:

- Увеличить жесткость изделия.
- Снизить вибрацию конструкции при дальнейшей ее эксплуатации.
- Снизить материалоемкость.
- Уменьшить частоту колебания.
- Повысить износоустойчивость конструкции путем повышения ее стабильности и прочности.

Цель работы заключается в снижении материалоемкости путем добавления ребер жесткости на нижнюю часть корпуса редуктора, рассмотрении нескольких вариантов расположения ребер жесткости на нижней поверхности, а также проведении анализа качества конструкции с помощью САПР ТП.

Для расчёта был выбран пакет T-Flex анализ, который позволил проводить статический и динамический, а также тепловой анализ конструкций и получить визуальные образы решения, на которых видны места критических нагрузок. Это позволило изменить конструкцию, улучшить свойства конструкции, снизить материалоемкость.



*Д.О. Дьяков, магистр; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА АНОДИРОВАНИЯ**

Анодирование – процесс, при котором на поверхности изделия из металлов и их сплавов (алюминия, титана, тантала, ниобия, кремния и др.) образуется оксидная пленка. Данная пленка образуется путем поляризации изделия в проводящей электрический ток среде.

Существует несколько видов анодирования, но в большинстве своем, применяется электрохимическое в серной или в щавелевой кислоте.

Анодирование делится на четыре типа, в зависимости от свойств и назначения:

1. Строительное – применяется для архитектурной отделки, для изделий, контактирующих с внешней средой.
2. Декоративное – для отделки изделий.
3. Промышленное – для функциональной отделки поверхности изделия.
4. Твердое – применяют для достижения более износостойкой поверхности.

При контроле покрытия важны следующие показатели, которые не всегда можно определить при визуальном контроле: 1) средняя толщина; 2) локальная толщина. Для более точного исследования пленок применяют метод электронной микроскопии. Кроме этого, покрытие должно обладать высокой коррозионной стойкостью, прочностью и твердостью.

На качество покрытия оказывает влияние состав электролита, режимы и время обработки, температура электролита, исходная шероховатость поверхности образца. Например, при увеличении плотности тока увеличивается толщина оксидного слоя, при увеличении концентрации кислоты в электролите с 3% до 5-10% увеличивается толщина пленки. При изменении параметров обработки, кроме толщины и пористости покрытия, менялся и его цвет. Возможно, получения пленок от светло-золотистого, темно-бронзового до черного цвета.

### **Библиографический список**

1. **Аверьянов Е.Е.** Справочник по анодированию / Е.Е. Аверьянов – М.:Машиностроение. 1988.- 224 с.
2. **Жуков М.В., Левичев В.В.** Получение наноструктурных пленок  $Al_2O_3$  методом электрохимического анодирования // Научно-технический вестник информационных технологий, механики и оптики. – 2013. – №3 (85). – С. 143-146.

*И.Д. Калашиников, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.*

*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **СОЗДАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ СБОРОЧНОЙ МОДЕЛИ ПЛАНЕТАРНО-ЗУБЧАТОГО РЕДУКТОРА**

С развитием промышленности стали предъявляться новые требования к конструкторской документации. Благодаря созданию систем автоматизированного проектирования стало проще создавать чертежи по сравнению с бумажными вариантами, в результате, все чертежи стали оцифровываться.

Разработка редуктора проводилась в программе Компас-3D. Вначале бумажные варианты сборочных чертежей были оцифрованы, затем проектировались отдельные детали в 2D, и уже на основе их размеров создавались трехмерные варианты. Это позволило избежать таких ошибок, как несоответствие размеров и пересечение.

Следующим этапом работы было создание трехмерных моделей сборочных единиц, таких как водило в сборе, крышка, вал с подшипниками и т.д. Затем все сборочные единицы компоновались в корпусе в соответствии со сборочным чертежом.

Таким образом, с помощью средств проектирования сборок была создана модель редуктора планетарно-зубчатого и его разнесенная сборка (рис. 1).

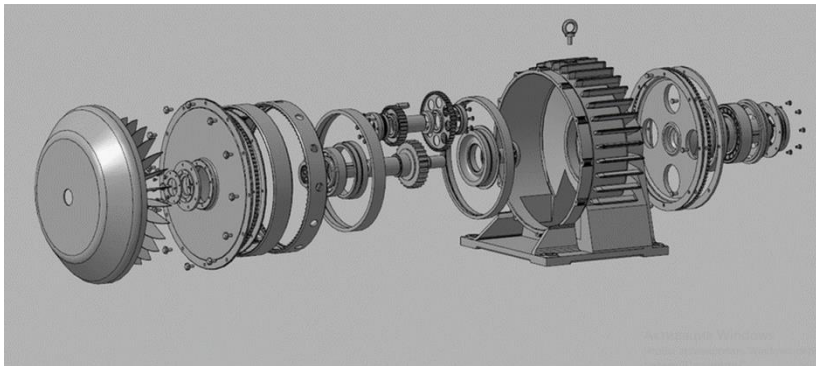


Рис. 1 Трехмерная модель разнесенной сборки редуктора

*Ю.Е. Молькова, И.Д. Калашиников, студ.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н.,  
доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

## **НОВЕЙШИЕ МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ МАТЕРИАЛЫ**

Развитие многих отраслей напрямую связано с применением новейших металлических материалов. Специалисты разрабатывают металлы с особыми свойствами: сверхлегкие, особенно гибкие, гидрофобные, аморфные металлические стали и др.

Компанией Boeing создан новый сверхлегкий металлический материал Microlattice, который еще называют никелевая «кость», т.к. напоминает кость по структуре. Основа металла состоит из переплетенных между собой полых трубок, толщина которых в тысячу раз меньше толщины человеческого волоса. Первые образцы были изготовлены из сплава фосфора и никеля, нанесенного на полимерную губчатую основу.

Известны различные гидрофобные материалы. Для металлов проблема отталкивания воды стоит особенно остро, т.к. взаимодействие с ней вызывает коррозию или обледенение. Специальный способ тончайшей гравировки, разработанный в Рочестерском университете, позволяет создать поверхность, которая отталкивает капли жидкости, будто резиновые шарики.

Аморфными бывают некоторые неметаллические материалы. Создание аморфных металлов и сплавов позволяют добиться высокой прочностью, твердости в сочетании с высокой пластичностью при сжатии или изгибе, они также обладают высокой прочностью на растяжение, высокой усталостной прочностью, высокой энергией удара и эластичностью. Такой материал назвали «металлическое стекло».

С помощью компьютерного моделирования разработан проект сверхтвердого металлического сплава «Адамантиум» с температурой плавления 4126 °С, который состоит из гафния, углерод и азота. Предполагается, что после синтеза этого сплава он будет одним из самых твердых металлов в мире.

Российская компания Русал разрабатывает ряд новых материалов для литья и прессования с повышенной прочностью, улучшенной технологичностью, повышенной коррозионной стойкостью.

### **Библиографический список**

**1. Новые сплавы** [Электронный ресурс] // Русал. URL: <https://rusal.ru/innovation/technology/novye-splavy/> (дата обращения: 25.12.2021).

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

## **ВЫБОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО РАДИУСА ГИБА ЛИСТОВЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Часто в отрасли авиастроения применяются детали, которые изготавливаются из листовых материалов. Для этого требуется определить правильный минимальный радиусгиба материала при его различных состояниях.

Сгиб – участок профильного сечения, имеющий кривизну большую, чем кривизна прилегающих к нему участков.

Кроме коэффициента сгиба, поправочного коэффициента, зависящего от угла сгиба и толщины материала, важную роль играет состояние материала кромки заготовки (в зоне сгиба). Такое состояние может быть нагартованным и ненагартованным.

Ненагартованное состояние материала кромки подразумевает, что оно не отличается от состояния материала заготовки, т.е. в отличие от нагартованного состояния кромки не имеет дополнительной нагартовки после раскроя, что достигается опиловкой, фрезерованием ил последующей термической обработкой (отжигом, закалкой).

Нагартованным называют состояние, полученное при холодной деформации, при котором уплотняются верхние слои металла после раскроя на ножницах, в штампе.

При ненагартованном состоянии можно добиваться минимального радиусагиба при различных толщинах материала (например, минимальный радиусгиба листа Д16АМ при ненагартованном состоянии составляет  $1S$ , при углегиба  $90^\circ$ , где  $S$  – толщина материала).

К преимуществу нагартованного состояния относится уплотнение верхних слоев металла, такой уровень упрочнения не приводит к появлению трещин и разрушению верхних слоев, также после нагартовки не требуется последующая механическая обработка металла. К недостаткам можно относиться повышение минимального радиуса (например, минимальный радиусгиба листа Д16АМ при нагартованном состоянии составляет  $3S$ , при углегиба  $90^\circ$ , где  $S$  – толщина материала).

Выбор технологического радиусагиба листовых материалов должен быть обоснован правильным технологическим процессом изготовления детали, функциональным назначением и условиями, где будет находится эта деталь.

*П.И. Синодеева, магистр.; рук. Н.Л. Павлюкова, к.т.н., доц.*

*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВЫБОР ПОКРЫТИЯ ДЛЯ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ**

Алюминиевые сплавы, несмотря на их естественную коррозионную стойкость, требуют дополнительной обработки, которая повышает способность к коррозии и обеспечивает адгезию лакокрасочных материалов. Для этого используют химическое или электрохимическое оксидирование.

Химическое оксидирование имеет ряд преимуществ: процесс прост в выполнении, идет в отсутствие тока, полученные покрытия не влияют на служебные характеристики материала, не изменяют размеры деталей, для него используется несложное оборудование. С другой стороны, тонкие химические покрытия легко повреждаются и по защитным свойствам без сочетания с лакокрасочными покрытиями уступают анодно-окисным покрытиям. При химическом оксидировании возможно получить покрытие толщиной всего 2-3 мкм, которое применяется для защиты от коррозии только в комбинации с лакокрасочным покрытием. Преимущество этого метода заключается в том, что пленки малой толщины обеспечивают лучший теплообмен.

Электрохимическое (анодное) оксидирование – наиболее часто применяется для алюминия и его сплавов от коррозии. Нарастивание покрытия происходит под слоем ранее образовавшегося окисного покрытия, т.е. на границе «алюминий-оксидный слой». Анодное оксидирование алюминия и его сплавов позволяет получать более толстые пленки (обычно 6 - 20 мкм) с хорошей защитной способностью и электроизоляционной способностью, но теплообмен через такие пленки затруднен.

В настоящее время специалисты разрабатывают алюминиевые сплавы нового поколения с повышенными механическими и эксплуатационными свойствами, которые легированы Sc, Zr, In Ce и др. Для этих сплавов известные технологии оксидирования не дают прогнозируемый эффект, поэтому несмотря на большое количество научных работ в этой области, открывается широкое поле для исследований: подбор состава электролитов, режимов обработки, изучение структуры и состава покрытия, соответствующего функциональному назначению деталей и условиям её эксплуатации.

### **Библиографический список**

1. **Аверьянов** Е.Е. Справочник по анодированию / Е.Е. Аверьянов – М.:Машиностроение. 1988.- 224 с.

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

## ПРИСПОСОБЛЕНИЕ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ КОРНЯ СТРУЖКИ ПРИ МГНОВЕННОМ ПРЕКРАЩЕНИИ РЕЗАНИЯ

При механической обработке металлов резанием качество обрабатываемой поверхности зависит от ряда факторов: от подачи, скорости резания, материала из которого изготовлен инструмент, наличие или отсутствие СОЖ и т.д. Для исследования и оценки влияния СОЖ на пластическую деформацию срезаемого слоя в зоне стружкообразования необходимо исследовать корни стружки, полученные при свободном резании заготовки. Корни стружки могут быть получены при мгновенном прекращении резания с помощью специальных приспособлений. Предлагаемое устройство необходимо для образования корня стружки на заготовке в заданной для изучения области на обрабатываемой поверхности автоматически. Приспособление для получения корня стружки изображено на рисунке 1 в сборе [1].

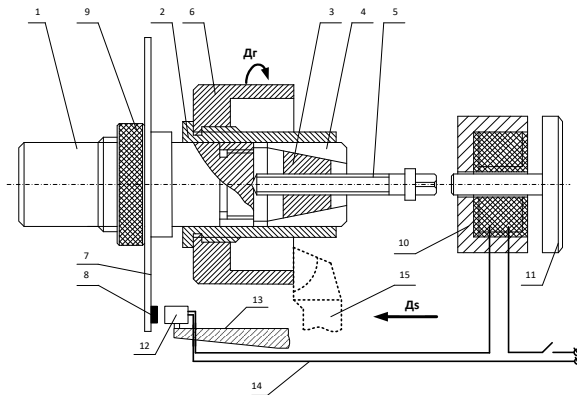


Рис.1 Приспособление для мгновенного прекращения резания: 1- корпус; 2 – втулка; 3 – конус; 4 – цапга; 5 – винт; 6 – образец; 7 – диск; 8 – магнит постоянный; 9 – контргайка; 10 – электромагнит; 11 - сердечник электромагнита; 12 – геркон; 13 – штанга; 14 – электрическая цепь; 15 - резец.

### Библиографический список

1. Патент РФ на полезную модель № 83204 МПК 7 F16J 15/43. Устройство для мгновенного прекращения резания/Подгорков В.В., Пучков П.В., Латышев В.Н. Опубликовано 27.05.2009 г.

*К.В. Митушки, курсант, В.Е. Иванов, к.т.н.  
(ИПСА, г. Иваново)*

## **ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ ПРИ РАЗРАБОТКЕ КОНСТРУКЦИИ РОБОТОТЕХНИЧЕСКОГО УСТРОЙСТВА**

При разработке новых конструкций робототехнических устройств необходимо выбрать программное обеспечение, в котором данные устройства будут разрабатываться [1]. Так, например, при проектировании робототехнического устройства для перевозки аварийно-спасательного инструмента к месту ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций использовалось несколько программ. Выбор остановился на следующих программах для трехмерного моделирования: SketchUP, AutoCAD, Inventor. В системе автоматизированного проектирования Inventor удобно создавать сборочные единицы, которые в дальнейшем возможно экспортировать в SketchUP. Программа AutoCAD, как и Inventor, распространяется для студентов и преподавателей бесплатно. В данной программе дружелюбный интерфейс, легко создавать сложные 3D-модели, но есть один недостаток: на слабых компьютерах трехмерные объекты с большим количеством полигонов воспроизводятся «тяжело», что затрудняет дальнейшее проектирование. SketchUP легко работает с «большими» моделями и дает возможность производить импорт файлов из AutoCAD, как и Inventor. Поэтому данная программа хорошо подходит для компоновки робототехнического устройства и создания реалистичного его вида, с дальнейшим использованием полученных изображений в презентационном материале. Кроме этого, в SketchUP проработан модуль по созданию и управлению текстурами, что является одним из достоинств среди рассмотренных программ.

Таким образом, с использованием представленных программ для трехмерного моделирования, было разработано робототехническое устройство для перевозки аварийно-спасательного инструмента к месту ликвидации последствий чрезвычайных ситуаций

### **Библиографический список**

- 1. Иванов В.Е.** Внедрение 3D технологий в учебный процесс / В.Е. Иванов, И.А. Легкова, А.А. Покровский, В.П. Зарубин, Н.А. Кропотова // Современное научное знание: теория, методология, практика. Сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции в 3-х частях. ООО «НОВАЛЕНСО». Смоленск. 2016. С. 37-39. 4.

**Я.Н. Короткова, курсант, В.В. Киселев, к.т.н., доц.  
(ИПСА, г. Иваново)**

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ ДРЕВЕСИНЫ В РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ**

Различные виды деревянных конструкций успешно применяются в современном строительстве. Из дерева возводятся покрытия, перекрытия, стены и перегородки зданий. В процессе эксплуатации деревянные элементы конструкций или детали подвергаются механическим воздействиям. Кроме этого, деревянные конструкции в процессе эксплуатации могут нагреваться или находиться продолжительное время во влажной среде.

Оценку предела прочности на сжатие деревянных образцов, производили по стандартной методике.

Полученные результаты испытаний представим в таблице 1.

Таблица 1 Результаты испытаний

№ п/п	Вид образца	Предельная прочность, МПа
1	Эталонный образец	14,5
2	Образец с просверленным отверстием вдоль волокон	14,4
3	Образец с просверленным отверстием поперек волокон	4
4	Образец после сушки	5,5
5	Образец после увлажнения	14,6

Анализ полученных результатов позволяет сделать выводы:

- 1) Наличие в деревянных конструкциях незначительных повреждений не снижают их прочности.
- 2) Эксплуатация деревянных конструкций в условиях повышенной влажности также не приводит к снижению прочности.
- 3) Прочность деревянных конструкций существенно снижается при условии их длительного нахождения в условиях повышенных температур.

### **Библиографический список**

**1. Киселев В.В., Мельников В.Г.** Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов. // Эффект безызносности и триботехнологии. 2004. №1. С. 16 – 20.



*Т.Ю. Русских, магистр, Н.А. Кропотова, к.х.н.  
(ИПСА, г. Иваново)*

## ИНЖЕНЕРНЫЕ РЕШЕНИЯ ВОПРОСОВ БЕЗОПАСНОСТИ НА ВОДНЫХ ОБЪЕКТАХ

Проблема безопасности – одна из самых актуальных в наше время. Однако человечество до сих пор не осознает важности и глобальности той проблемы, которая стоит перед ним относительно инженерных решений, которые этому способствуют. Работа посвящена разработке модели автономного плавательного комплекса – робототехнической платформы, которая может выполнять любые функциональные задачи: оценка безопасности поверхностных вод, ликвидация разливов и проливов нефтепродуктов с поверхности воды, так и боевого назначения. Тактическая схема работы сил и средств данной робототехнической платформы приведена на рис. 1.

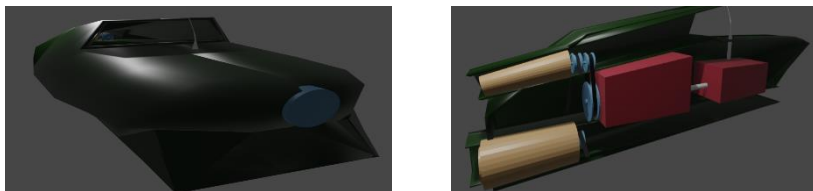


Рис.1 Общий вид (слева) плавательного катера и в разрезе (справа) робототехнического комплекса

Представленная роботизированная платформа предназначена для мониторинга в зоне дислокации как основной платформы, так и сопутствующими беспилотниками, обеспечивающих расширение зоны мониторинга поверхности водного пространства [1]. Наличие активных датчиков позволяет приблизить платформу на безопасное расстояние, после чего производится отбор проб воздуха и поверхностных вод на наличие источников загрязнения или других угроз. Система скрин-тестов позволяет вывести в центр принятия решений основные данные для принятия решения обеспечивающего безопасность на водных объектах.

### Библиографический список

1. Теньковский П.А., Кропотова Н.А. Обоснование пожарной и техносферной безопасности при использовании робототехники для очистки от нефтепродуктов поверхностных вод // XV Международная научно-практическая конференция «Комплексные проблемы техносферной безопасности», тема «Задачи, технологии и решения комплексной безопасности». Часть 2. Воронеж, 2020. С. 185 – 188.

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

## **ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТАЛЛОПЛАКИРУЮЩИХ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ**

Одной из главных задач машиностроения, является обеспечение надежности и долговечности узлов трения. Наиболее фундаментальными задачами в этой сфере являются трение и износ.

В некоторых тяжело нагруженных механизмах применяют пары зубчатых передач сталь – бронза. В условиях катастрофических нагрузок наблюдается повышенный износ бронзовых колес.

Для уменьшения трения в узлах применяются различные методы. Одним из них является применение металлоплакирующих смазочных материалов. [1, 2, 3]

Целью работы является уменьшение себестоимости эксплуатации тяжело нагруженных механизмов за счет увеличения долговечности зубчатых колес путем применения металлоплакирующих смазочных материалов.

Предлагается применять металлоплакирующие смазочные материалы в паре трения сталь – сталь вместо бронзовых колес. Срок эксплуатации таких механизмов ограничивается шестью месяцами и требуется замена зубчатых передач. Предлагаемые методы позволяют увеличить срок эксплуатации до двух лет без замены зубчатых колес.

Металлоплакирующие смазочные материалы в процессе работы зубчатой передачи образуют на поверхности трения пленки, препятствующие изнашиванию и способствующие восстановлению изношенной поверхности. В зависимости от химического состава поверхности трения и смазочного материала при трении протекают реакции ионообмена способствующие восстановлению изношенной поверхности.

Это могут быть жирные кислоты и соли жирных кислот. Например, стеарат меди, кобальта, никеля и других элементов, которые находятся левее железа в ряду электрохимических напряжений и могут замещаться в растворах электролитов ионами железа.

Из [1] следует, что применение металлоплакирующих смазочных материалов позволяет снизить коэффициент трения в паре сталь – сталь по сравнению сталь – бронза в 5 раз.

Известно много разных метаддоплакирующих присадок и добавок к смазочным композициям, реализующих в процессе работы металлопла-

кирования трущихся поверхностей. Часто применяемый это ультрадисперсный порошок меди. Так же к смазочным материалам добавляют мелкодисперсный порошок олова, никеля, цинка, олеат меди, олова, никеля, олеиновую кислоту, стеариновую кислоту, стеарат меди, цинка. Все эти добавки способствуют увеличению износостойкости и увеличению скорости восстановления защитных пленок на поверхности металла.

При эксплуатации зубчатые колеса из бронзы в тяжело нагруженных узлах выходят из строя через 6 месяцев и требуют замены. Себестоимость изготовления колес складывается из цен на материал, ремонт, инструмент, амортизационных отчислений, цеховых расходов. Основным показателем будет служить цена материала при изготовлении. Средняя цена за килограмм стали в 2 раза ниже бронзы. Исходя из соотношения цены можно сделать вывод что при применении пары трения сталь – сталь можно сэкономить на используемом материале.

Таким образом при замене трущейся системы сталь – бронза на сталь – сталь и внедрение в систему металлолакирующего смазочного материала, можно снизить расходы на изготовление и эксплуатацию. При добавлении разных присадок в смазочную среду можно добиться увеличению скорости восстановления поверхности трения, уменьшения коэффициента трения во время работы пары трения.

#### Библиографический список

**1. Киселев Б.Р.** Работоспособность металлолакирующих смазочных материалов в узлах трения / Б.Р. Киселев, С.А. Егоров; Иван. гос. хим.- технол. ун-т. – Иваново, 2011 – 143 с. ISBN 978-5-9616-0396-5.

**2. Металлолакирующая** восстановительная добавка к пластичным смазочным материалам/Балабанов В.И., Болгов В.Ю., Ищенко С.А. и др.// Патент РФ №2432386 С2 МПК С10М 125/04. Заявка 2009145822/04. Оpubл.2011.10.27: [http://yandex.ru/patents/doc/RU2432386C2\\_20111027](http://yandex.ru/patents/doc/RU2432386C2_20111027)

**3.Металлолакирующая** присадка к смазочным материалам/Иншаков С.В., Балабанов В.И., Ищенко С.А. и др.// Патент РФ №2503713 С1 МПК С10М 125/04. Заявка 2012150930/04. Оpubл. 2014.01.10: [http://yandex.ru/patents/doc/RU2503713C1\\_20140110](http://yandex.ru/patents/doc/RU2503713C1_20140110)

*И.А. Кожин, Д.О. Дьяков, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## АДДИТИВНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Аддитивные технологии — это технология постепенного, послойного наращивания материала для получения необходимого изделия. Технология основа по принципу 3D печати, которая основывается также на принципе поэтапного синтеза изделия и прототипов, основанных на формировании изделия путём добавления материала.

В современном мире, технологии не стоят на месте, со временем появляется все больше способов формирования изделия:

1. UV-облучение – ультрафиолетовое излучение;
2. экструзия - способ получения изделий из полимерных материалов;
3. струйное напыление;
4. сплавление;
5. ламинирование.

С развитием и увеличением количества возможных способов, увеличивается также и количество используемых материалов:

1. полиамиды;
2. жидкие фотополимеры;
3. воск;
4. металлические порошки;
5. гипсовый порошок.

На текущий момент аддитивных технологии активно начинают применяться на производствах по всему миру.

Одним из самых главных преимуществ аддитивных технологий является простота и скорость передачи построенной 3D модели в любую точку производственной площадки или мира. Вторая особенность – это уменьшение количества комплектующих частей создаваемых деталей. Из этого следует, что происходит экономия сырья и минимизируется количество отходов после производства. Аддитивные технологии позволяют в производстве использовать ровно столько материала, сколько требуется для конкретной детали. В виду этого снижается и вес готовой детали, что особенно актуально для современной технологичной промышленности.

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

## **ОБЕСПЕЧЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РАБОТ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ТРАНСФОРМАТОРОВ**

Современная электроэнергетика широко применяет маслонеполненное электроэнергетическое оборудование (мнээо) – трансформаторы (реакторы) напряжением 35; 110; 150; 220; 330; 500; 750; и 1150 кВ, а также и другое оборудование мощностью 4000 и 6300 кВ•А класса напряжения 35 кВ. Мнээо применяются в производстве различной промышленности, в том числе и для линий электропередач напряжением переменного и постоянного тока.

В заводских условиях важно знать пределы количественных значений влагогазосодержания, к которым следует стремиться при сушке и дегазации изоляции на заводе. Трудной задачей является сохранение первоначального (заводского) состояния изоляции в течение всего срока эксплуатации мнээо. В результате длительной эксплуатации мнээо электрическая прочность изоляции ухудшается. Для поддержания её на должном уровне использовался ранее метод замены масла на новое, а масло, бывшее в эксплуатации, отправлялось на маслостанции или на другие хозяйственные нужды. Такой подход по использованию масел, бывших в эксплуатации, не эффективен.

Все эти факторы привели к более эффективному использованию свежих и эксплуатационных масел методом термовакуумной обработки трансформаторных масел и их восстановления посредством регенерации. Так, например, жидкая изоляция перед заливкой в мнээо напряжением 750 и 1150 кВ должна содержать влаги около 5г/т (мас), газа менее 0,1 % (об) и механических примесей менее 5 г/т (мас). Обеспечить такие требования, можно применив технологический метод термовакуумной обработки изоляции, используя вакуум-дегазационные установки и установки по регенерации, т.е. восстановлению и сушки всей системы изоляции.

Улучшение качества изоляции снижает материальные и трудовые затраты на изделия, увеличивает межремонтные периоды, следовательно, снижает ресурсную стоимость изделия.

При вакуумировании увлажненной изоляции в течении первых двух часов происходит заметное снижение влагосодержания изоляции, в процессе дальнейшего вакуумирования влагосодержание снижается очень медленно.

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

**ГИДРОАБРАЗИВНАЯ РЕЗКА В УСЛОВИЯХ  
МЕЛКОСЕРИЙНОГО И ЕДИНИЧНОГО  
ПРОИЗВОДСТВА**

В современном мире есть множество способов обработки листового материала. Одни из самых распространённых методов - это лазерная, плазменная и гидроабразивная резка металла, а также до сих пор на предприятиях используется ручная резка металла с помощью гильотинных ножниц.

В данной статье сравниваются два способа раскроя металла - резка гильотинными ножницами, и самый прогрессивный – гидроабразивная резка металла.

Ручная резка на гильотинных ножницах происходит в несколько этапов: 1 этап: Разметка листа; 2 этап: Обрезка габаритов детали; 3 этап: Доработка детали.

В условиях мелкосерийного и единичного производства также используют гидроабразивную резку металла. Данный метод намного экономит время по сравнению с резкой вручную и его процесс намного проще. Для того, чтобы вырезать контур детали необходимо начертить её развертку в программе, запустить станок и дождаться окончания операции

После того, как заканчивается резка металла деталь отправляется рабочему для дальнейшей обработки: снятие заусенцев и доработки согласно чертежу.

Гидроабразивная резка считается одним из самых прогрессивных методов обработки металла по качеству получаемого среза. Такая резка позволяет раскроить листы металла на детали любой сложности и формы с высокой точностью, а также разрезать металлические заготовки толщиной до 200 мм.

В заключении можно сказать, что гидроабразивный метод раскроя металлических заготовок во многом выигрывает у других методов резки как по качеству, так и по эффективности.

**Библиографический список**

1. **Лазерная** резка [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Лазерная\\_резка](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Лазерная_резка)
2. **Как** работает плазменная резка? Преимущества и недостатки [Электронный ресурс]: Режим доступа: <https://www.stankoff.ru/blog/post/286>
3. **Гидроабразивная** резка [Электронный ресурс]: Режим доступа: [https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Гидроабразивная\\_резка](https://ru.m.wikipedia.org/wiki/Гидроабразивная_резка)

*С.Ф. Идрисов, Д.А. Муратов, студ.;  
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ОСОБЕННОСТИ СВАРИВАЕМОСТИ УЗЛОВ И ДЕТАЛЕЙ КОНСТРУКЦИОННЫХ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ В САМОЛЕТОСТРОЕНИИ**

Одними из основных конструкционных материалов в самолётостроении являются сплавы на основе алюминия.

Алюминиевые сплавы обладают хорошей массовой плотностью, относительно высокой прочностью, хорошей тепло- и электропроводностью, высокой коррозионной стойкостью.

Свариваемость – это совокупность определенных свойств материала, позволяющих при грамотном технологическом процессе получать качественные сварные соединения.

Свариваемость алюминия и его сплавов имеет ряд особенностей: главная из них заключается в наличии плотной оксидной пленки, что резко отличает алюминиевые сплавы от стали.

Так, например, свежескрытая поверхность алюминия при комнатной температуре быстро покрывается оксидной пленкой, в первый час достигая 0,8-1 нм., последующая выдержка алюминия на открытом воздухе в течение 70-80 дней приводит к медленному росту оксидной пленки, она может достигать 3 нм. При последующей выдержке рост оксидной пленки практически прекращается.

Также важной особенностью свариваемости является их склонность к образованию трещин, склонность к повышенному поглощению водорода при температурах сварки, склонность к образованию пор и высокая теплопроводность.

Например, сплавы системы Al-Cu-(Mg, Mn) типа Д16, у которых временное сопротивление разрыву сварных соединений, выполненных без последующей термической обработки, составляет около 50% временного сопротивления основного металла в термически обработанном состоянии, при сварке такого металла большая вероятность к образованию трещин.

Особенности свариваемости узлов и деталей конструкционных алюминиевых сплавов в самолётостроении во многом зависят от правильно разработанного технологического процесса на сварку таких деталей, их служебного назначения и условиями, в которых будут находиться такие детали.

*Х.Я. Аманов, В.Д. Бочкарева, студ.;  
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ВОПРОСЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ БЕЗОПАСНОСТИ**

Чтобы обеспечивать производственный процесс на атомных, гидро- и электростанциях, необходимо наладить, помимо всего прочего, прием, хранение и выдачу разнообразных жидкостей, в частности, химических реагентов и воды. Для этого используются емкости и баки для ТЭС, АЭС, ГРЭС, водоочистных станций. Кроме того, они позволяют оборудовать комплекс, предназначенный для очищения сточных вод.

Назначение систем обращения с жидкими радиоактивными отходами (ЖРО) заключается в локализации, переработке и отверждении ЖРО для последующего их длительного хранения (захоронения), т.е. в целях окончательного удаления из окружающей среды. Каждому типу энергоблока присуща своя специфика обращения с жидкими радиоактивными отходами.

В настоящее время на Калининской АЭС имеется комплект типовых технологических документов на ремонт. Настоящий КТД распространяется на ремонт бака (класс безопасности 3Н по НП-001; группа С по НП-089), предназначенного для хранения «грязного» борного концентрата.

Применяемые при ремонте бака средства оснащения должны быть учтены на АС (иметь инвентарный номер), находиться в исправном состоянии и пройти необходимые испытания. При проведении ремонтных работ персонал должен соблюдать определенные требования по охране труда.

В ходе исследования было выполнено исследование по ремонту бака ЮАТ – 280 – 135 Калининской АЭС. Определены этапы изготовления детали и требования к изготовлению детали при ее производстве.



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

## АЛМАЗНОЕ ВЫГЛАЖИВАНИЕ

Поверхностное пластическое деформирование – вид отделочно-упрочняющей обработки, при котором не образуется стружка, а происходит упруго-пластическое деформирование поверхностного слоя заготовки.

При ППД происходит поверхностное упрочнение – повышение сопротивляемости материала или заготовки разрушению или остаточной деформации путем изменения свойств поверхностного слоя (ГОСТ 18295-72). Поверхностным называют слой металла, который имеет отличающиеся от основной массы детали структуру, и/или фазовый, и/или химический состав, и/или механические свойства. В процессе эксплуатации именно поверхностный слой детали подвергается наиболее сильному воздействию внешних факторов, поэтому процесс разрушения детали обычно начинается с поверхности. В связи с этим к поверхностному слою предъявляют более высокие требования, чем к основной массе детали.

Операция алмазного выглаживания поверхности детали является финишной операцией. Эту операцию применяют для упрочнения изделий твердостью до 65 HRC, а также вместо операции окончательного шлифования, полирования, доводки и суперфиниширования поверхности. Метод универсален и широко применяется для обработки стальных закаленных или термически неупрочненных деталей, с поверхностными покрытиями и без них, а также деталей из цветных металлов, их сплавов, высокопрочных чугунов.

В инструментальном производстве алмазное выглаживание используют при обработке колонок и направляющих втулок штампов для холодной штамповки, пуансонов, вкладышей пресс-форм, формообразующих поверхностей вытяжных штампов, зубьев круглых деформирующих, уплотняющих протяжек, прошивок, мерительных поверхностей и калибров-пробок. Износостойкость выглаженной поверхности увеличивается в 2-3 раза по сравнению со шлифованной и на 20-40 % по сравнению с полированной; износостойкость и контактная выносливость выглаженной хромированной поверхности на 35-50 % выше полированной.

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

## **ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ ДЕТАЛИ**

В процессе эксплуатации пальцы и втулки для спецтехники испытывают значительные рабочие нагрузки и подвергаются негативному воздействию внешней среды. Это накладывает определенные ограничения на выбор конструкционных материалов. Металл должен обладать высокой механической прочностью и устойчивостью к коррозии и другим негативным факторам. В противном случае срок службы пальцев будет слишком коротким, что приведет к дополнительным простоям техники и повышению трудозатрат при выполнении ремонтных работ.

Необходимую обработку детали можно выполнить на оборудовании, которое есть в наличии на предприятии. И также можно произвести замену металлорежущего инструмента. В данном случае это необходимо, потому что выполнять токарную, фрезерную и сверлильную обработку на разном оборудовании это более трудоемко и это занимает больше времени. Все эти виды обработок можно выполнить на токарно-фрезерном обрабатывающем центре с ЧПУ, благодаря которому удастся оптимизировать технологический процесс. В качестве нового, более совершенного оборудования будет выступать токарно-фрезерный обрабатывающий центр с ЧПУ Doosan puma GT2600LM.

Doosan puma GT2600LM обеспечивает высокую точность и повторяемость, обладает превосходными характеристиками производительности и надежностью технологического процесса. Станок оснащён револьверной головкой, которая имеет 12 гнезд под инструмент. В этих гнездах могут располагаться различные инструменты для множества обработок (токарной, фрезерной, сверлильной). Также токарно-фрезерный центр обладает повышенной виброустойчивостью, которая достигается за счет более жесткой станины. Виброустойчивость станка значительно влияет на точность изготавливаемой детали. И одним из главных преимуществ этого станка является то, что он способен работать в автоматизированном режиме, благодаря установленному в нем программному обеспечению.

Соответственно при использовании нового оборудования в базовом технологическом процессе произойдут изменения.

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

## **УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДЕТАЛИ**

Испытательное оборудование представляет собой агрегат, который предназначен для создания испытываемому устройству условий, близких к реальным условиям его эксплуатации для оценки его работоспособности. В результате проведенного испытания субъект промышленности получает достоверную информацию о реальном текущем состоянии машины или прибора.

Задачей модернизации является сокращение времени на пусконаладочные работы и упрощении процесса выставления «рабочих губок». Выполнение данной задачи позволяет увеличить количество выпускаемых испытательных приборов, сократить время «пусконаладки», снизить трудоемкость, повысить точность измерений, а также увеличить время безотказной работы прибора. Все это влияет на рентабельность предприятия, а также увеличит конкурентоспособность на рынке. Помимо увеличения прибыли и поддержания конкурентоспособности, сокращаются расходы предприятия на заработную плату рабочих ввиду меньшего количества рабочих вовлеченных в процесс пусконаладочных работ и уменьшении затраченного времени на «пусконаладку».

Анализируя полученные данные, можно сделать вывод, что пусконаладочные работы занимают столько времени по причине отсутствия нормальной базы для неподвижной губки, которая крепится на корпусе пневмоцилиндра. Во время работы могут быть малейшие смещения, которые недопустимы и влияют на работу прибора, поскольку губка крепится с помощью еще одной детали, которая в свою очередь крепится к корпусу пневмоцилиндра. Этот узел может не давать требуемой точности при сборке, в связи с этим приходится переделывать пуско-наладочные работы, и трудоемкость и время затраты увеличиваются в разы.

Всех этих недостатков можно избежать, если использовать другую конструкцию корпуса пневмоцилиндра. А именно добавить базу для неподвижных губок, поскольку эта деталь, как и неподвижные губки, изготавливаются на станке с ЧПУ. Есть возможность при минимальном изменении управляющей программы и с минимальным изменением технологического процесса получить деталь, изготовленную с высокой точностью, и которая будет иметь базу для неподвижных рабочих губок. В связи с этим время, затраченное на пуско-наладочные работы, сократится.

*Х.Я. Аманов, М.А. Салтанова студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н.,  
доц.*

*(ИГЭУ, г. Иваново)*

## **ИНДУКЦИОННАЯ ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ**

Для нагрева металла электрическим током в настоящее время пользуются преимущественно токами высокой частоты. Индукционный нагрев токами высокой частоты, широко применяемый в настоящее время в различных отраслях промышленности, обеспечивает высокую производительность, экономичность, автоматизацию производства, улучшение условий труда и повышение качества нагреваемых заготовок. Индукционный нагрев с последующей закалкой является одним из наиболее совершенных методов упрочнения стальных деталей. Кроме этого, наиболее часто поверхностной высокочастотной закалке подвергают детали, изготовленные из углеродистой стали с содержанием 0,4 – 0,5 % С. Эти стали после закалки имеют поверхностную твердость HRC 55 – 60. При меньшем содержании углерода такая твердость уже не достигается, а при большем содержании возникает опасность появления трещин в условиях резкого охлаждения водяным душем. Наряду с углеродистыми применяются также низколегированные хромистые, хромоникелевые, хромокремнистые и другие стали.

Закалка токами высокой частоты вала по сравнению с другими способами термообработки имеет ряд преимуществ, а именно:

– после закалки ТВЧ у детали сохраняется мягкой середина, что существенно повышает ее сопротивление пластической деформации;

– экономичность процесса закалки деталей ТВЧ связана с тем, что нагревается только поверхность или зона, которую необходимо закалить, а не вся деталь;

– при серийном производстве деталей необходимо настроить процесс и далее он будет автоматически повторяться, обеспечивая необходимое качество закалки;

– возможность точно рассчитать и регулировать глубину закаленного слоя;

– непрерывно-последовательный метод закалки позволяет использовать оборудование малой мощности;

– малое время нагрева и выдержки при высокой температуре способствует отсутствию окисления обезуглероживания верхнего слоя и образования окалины на поверхности детали;

– быстрый нагрев и охлаждение не дают большого коробления, что позволяет уменьшить припуск на чистовую обработку.

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

## **ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ СКЛАДСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ**

Одним из путей развития машиностроения является применение автоматизированных систем складского обеспечения.

Структурная схема производственных участков и цехов предполагает рациональное размещение их компонентов, обеспечивающих наиболее эффективное функционирование оборудования. Существуют различные критерии выбора структурно-компоновочных решений, наиболее важными из которых являются: получение наибольшей производительности, обеспечивающей максимальный выпуск продукции требуемого качества, обеспечение минимальной себестоимости продукции, достижение максимального экономического эффекта.

Эффективность работы производственных участков и цехов зависит от рациональной компоновки оборудования, в частности от рациональной компоновки склада для заготовок и деталей. Выбор рациональной компоновки склада, в свою очередь, зависит от производительности его приемно-сдаточной секции.

Актуальность темы определяет необходимость создания методики, позволяющей произвести расчет приемно-сдаточной секции с учетом всех особенностей ее работы.

В предложенном методе производится расчет времени цикла работы крана-штабелера (КШ)  $t_{ц}$ . На основе полученных данных строится кривая рассеяния величины  $t_{ц}$ . Если полученная зависимость приближается к теоретической кривой закона нормального распределения случайных величин, то для исследований и практического применения необходимо использовать математическое ожидание  $M(t_{ц})$  величины  $t_{ц}$ .

В качестве величины, характеризующей длительность транспортных циклов принята величина годовых затрат времени на осуществление передвижения КШ.

Применяя данную методику расчета, можно наглядно увидеть, что при рациональной компоновке стеллажей склада можно уменьшить длительность транспортных циклов КШ, что приведет к увеличению производительности его работы, сокращению потребления электроэнергии и капитальных затрат на систему, а также увеличит срок службы крана-штабелера.

С.В. Воробьев, ассист.; рук В.Н. Блиничев, д.т.н., уч. проф.  
(ИГХТУ, г. Иваново)

## ДИСКРЕТНАЯ МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ДВУХФАЗНОГО СТРУЙНОГО ТЕЧЕНИЯ

В настоящее время все большее применение находят струйные мельницы, в том числе комбинированного типа измельчения. Наряду с основными преимуществами (высокая дисперсность продуктов измельчения, малое загрязнение продуктами износа, относительная простота конструкции, малые габариты) данный тип мельниц имеет существенный недостаток – высокая энергоёмкость процесса измельчения.

С целью оптимизации процесса измельчения в струйной мельнице была разработана дискретная математическая модель двухфазной струи, позволяющая рассчитывать, как скорость газа, истекающего из сопла, так и скорость частиц твердого материала в объеме струи в зависимости от конструктивных и технологических параметров и свойств эжектируемых частиц твердого материала.

Схема разработанной дискретной модели представлена на рис. Скорость частицы  $v_{ТВ}$  определялась в соответствии со вторым законом Ньютона из уравнения нестационарного движения частицы твердого материала:  $m_i \frac{dv_{ТВ}}{dt} = \xi \rho_g \frac{S_{мид}}{2} (v_g - v_{ТВ})^2$ ,

где  $m_i$  – масса частицы, кг;  $v_{ТВ}$  – скорость частицы, м/с;  $v_g$  – скорость газовой фазы, м/с;  $\xi$  – коэффициент аэродинамического сопротивления частиц, б/р;  $S_{мид}$  – миделево сечение частицы,  $m^2$ ;  $\rho_g$  – плотность газовой фазы,  $kg/m^3$ ;  $\tau$  – время пребывания частицы в потоке, с.

Для проведения расчетов по математической модели, была разработана программа на языке С#.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта РНФ No 22-29-01368.

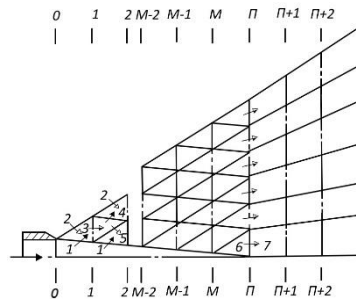


Рис.1 Схема дискретной модели струйного течения: 1 - высоконапорная среда; 2 - низконапорная среда; 3 - ячейка пограничного слоя струи; 4 – ячейка переходного сечения; 5- ячейка основного участка струи.

*Е.В. Соловьева аспирант; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## МОЮЩИЕ СВОЙСТВА СОТС

Моющая способность СОТС характеризуется степенью очистки обрабатываемой поверхности детали и инструмента в зоне резания.

Моющее действие СОТС определяется его смачивающей способностью, т.е. поверхностным натяжением жидкости. Хорошие моющие свойства обеспечиваются при низких значениях поверхностного натяжения.

На моющие свойства СОТС оказывает влияние материал твердого тела, микрогеометрия поверхности, а также строение и химический состав жидкости.

Поверхности с трещинами и большими неровностями хуже смачиваются СОТС, чем гладкие. Чем меньше частички износа и стружки, тем легче они проникают в микронеровности инструмента и детали и прочно удерживаются на поверхности твердого тела, снижая технологические показатели процесса обработки.

При обработке глубоких отверстий применение СОЖ с высоким поверхностным натяжением может привести к заклиниванию стружки и поломке инструмента. Высокими моющими свойствами должны обладать СОЖ, которые используются при сверлении глубоких отверстий и при нарезании резьбы в глухих отверстиях.

Эффективным моющим действием обладают ПАВ, хорошо смачивающие и адсорбирующиеся на границе раздела твердое тело-жидкость. Смачивающая способность ПАВ прямо пропорционально растет с увеличением асимметрии молекул. Образующиеся пленки уменьшают адгезию шлама к поверхности инструмента и детали.

Проникающие свойства СОТС определяются размерами молекул, ионов, атомов и их подвижностью.

Поверхностное натяжение СОТС определяли методом взвешенных капель, который заключается в формировании капли исследуемой жидкости на конце трубки с капилляром.

Наилучшими моющими свойствами обладают СОТС с поверхностным натяжением  $(35-45) \cdot 10^{-3}$  Н·м.

### Библиографический список

1. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/ Под общей ред. С.Г.Энтелиса, Э.М. Берлинера. – 2-е изд., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.: ил.

*Е.В. Соловьева, аспирант; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, Иваново)*

## **СОТС ДЛЯ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ**

К высокопрочным принято относить легированные стали с пределом прочности, превышающим 1600 МПа. В отличие от обычных углеродистых или низколегированных сталей с малым содержанием Ni высокопрочные стали после упрочняющей термической обработки (закалки и отпуска) не теряют некоторой пластичности ( $\sigma=4-8\%$ ).

Высокопрочные стали в отожженном состоянии по обрабатываемости резанием мало отличаются от обычных конструкционных сталей, и для их обработки рекомендуется применять те же СОТС, что и для обычных сталей. Механическая обработка высокопрочных сталей характеризуется большими силами резания и интенсивным тепловыделением. В связи с возникновением на режущих поверхностях инструмента высокого давления реализация смазывающих свойств СОТС на операциях точения и фрезерования затруднена. На других операциях, при выполнении которых инструмент контактирует с обрабатываемым материалом по поверхностям относительно большой площади, смазывающие свойства СОТС весьма важны. Применение СОТС МР-2у (на масляной основе), обладающей высокими смазывающими и низкими охлаждающими свойствами, снижает стойкость резцов при продольном точении стали 30Х2ГСН2ВМ по сравнению с применением эмульсионной СОТС. На других операциях более эффективны СОТС с высокими смазывающими свойствами. Масляные СОТС эффективны на многих операциях. Однако их применение ограничено в связи с низкими санитарно-гигиеническими свойствами.

Их рекомендуется применять на токарных автоматах, протяжных, зубофрезерных, зубодолбежных, резбонарезных, настольно-сверлильных станках, а также на станках для глубокого сверления. На токарных, расточных, фрезерных, отрезных, сверлильных, шлифовальных станках следует применять СОТС на водной основе.

### **Библиографический список**

**1. Смазочно-охлаждающие** технологические средства для обработки металлов резанием: Справочник/ Под общей ред. С.Г.Энтелиса, Э.М. Берлинера. – 2-е изд., перераб. И доп. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.: ил.



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

## **ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ЗУБЧАТОГО ВЕНЦА ДЕТАЛИ**

Наиболее распространенными методами упрочнения зубчатого венца детали являются различные методы поверхностной термической и химико-термической обработки (объемная закалка, поверхностная закалка, цементация, газовая цементация, вакуумная нитроцементация, ионное азотирование, ионно-плазменное азотирование), из которых необходимо выбрать наилучший вариант.

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

Оценка методов упрочнения зубчатого венца детали по одному показателю эффективности является односторонней. Поэтому предлагается использовать многокритериальную оценку и применить комбинацию трех методов: экспертных оценок, выбора (поиска) эффективных по Парето решений и метод многокритериальной оптимизации с использованием обобщенного (интегрального) аддитивного критерия.

На первом этапе производится экспертная оценка методов упрочнения поверхностей по двум показателям (критериям): качеству и экономичности. Оценивание каждого варианта производится по 11-бальной шкале от 0 до 10. Далее осуществляется выбор эффективных по Парето вариантов. Если после этого остался один вариант, то он является искомым, и выбор на этом заканчивается. Если же остались два и более варианта, то для каждого из них рассчитываются значения обобщенного (интегрального) аддитивного критерия.

Преимущество данного метода: всегда удается определить единственный (оптимальный) вариант решения.

Недостатки:

- 1) трудности (субъективизм) в определении весовых коэффициентов в интегральном аддитивном критерии;
- 2) аддитивный критерий условно корректно вытекает из объективной роли частных критериев и поэтому выступает как формальный математический прием;
- 3) в аддитивном критерии происходит взаимная компенсация частных критериев, т. е. уменьшение одного из них может быть компенсировано увеличением другого критерия.



**СЕКЦИЯ 24**  
**ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ**  
**МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ**

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

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



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

## **ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ МАТЕРИАЛА НА НАПРЯЖЕНИЕ В ОБШИВКЕ ЭЛЕ- РОНА КРЫЛА САМОЛЕТА**

Целью работы – определение влияния механических свойств материала на напряжение в обшивке триммера элерона крыла самолета Ил-114-300 [1]. Модель обшивки представлена на рис.1.

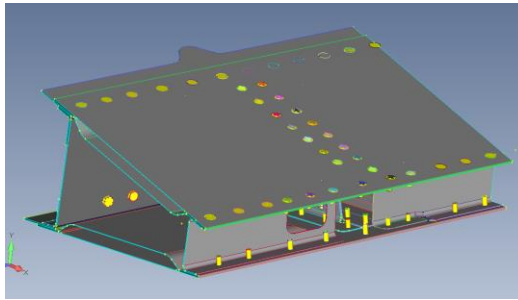


Рис. 1. Обшивка триммера

В работе рассчитана воздушная нагрузка на триммер, которая составила 2,6 кН. Разработана поверхностная модель обшивки триммера на основании исходной конструкторской 3D модели с помощью программного комплекса Femap компании Siemens [2]. Результаты расчета представлены в табл. 1.

**Табл. 1 Результаты расчетов**

Материал	Модуль упругости, (МПа)	Максимальные напряжения (МПа)	Минимальные напряжения (МПа)	Перемещения (мм)
Алюминий	72000	63,07	0,00482	0,0772
Титан	110000	62,81	0,00473	0,0511
Сталь	210000	62,24	0,00452	0,0274

Все напряжения являются допустимыми, так как в авиастроении максимальные напряжения для сплавов алюминия составляют 420 МПа, стали 1100 МПа, титана более 1100 МПа.

### **Библиографический список**

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. М.: Машиностроение, 2005.
2. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap. М.: ДМК Пресс, 2013.

У.О. Ларионова, студ.; М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г.Иваново)

## ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ РАСЧЁТ МЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕМЕНТА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЁТА

Поставлена задача проектирования качалки управления СУ РН легкого самолета “Сигма-7” с применением программного комплекса «ANSYS», а также проведения параметризации толщин и отверстий с дальнейшей оптимизацией с учетом ограничений.

Разработка включала в себя построение кинематической модели с учетом граничных условий и приложенных нагрузок, действующих в данной конструкции. В системе твердотельного и поверхностного моделирования ANSYS Workbench создана 3D модель качалки (рис.1). Выведены результаты действий нагрузок на качалку, где наглядно продемонстрированы опасные зоны. Произведен оптимизационный расчёт механических параметров, а именно толщин и ширины элемента системы управления самолета.



Рис.1. 3D модель качалки

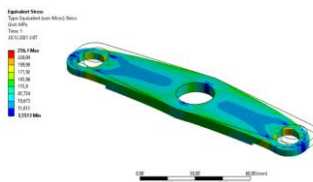


Рис.2. Оптимизированный вид качалки

В результате расчета в программном комплексе ANSYS Workbench удалось минимизировать размеры и уменьшить массу качалки, не превышая предельных напряжений. Масса снизилась с 0,0614 кг до 0,05 кг, а конструкция приобрела следующие размеры: толщины  $h_1 = 3,78$  мм,  $h_2 = 5,4$  мм, ширина  $B = 36,22$  мм.

Оптимизированный вариант качалки с полученными эквивалентными напряжениями представлен на рис.2.

### Библиографический список

1. Лизин В.Т., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций.– М.: Машиностроение, 1976. - 448 с.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ ДЕТАЛИ САМОЛЕТА

Целью работы является исследование напряжений упрощенного радиального упора люка аварийного покидания самолета Ил-114-300. Для расчета спроектирована модель кронштейна (рис.1). Создание 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 упора. Нагрузкой является сила, равная 12,25кН, которая считается максимально возможной (аварийной).

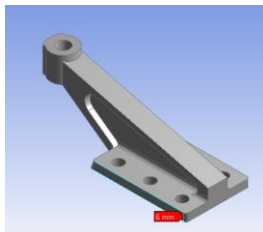


Рис. 1. Внешний вид упрощенного кронштейна

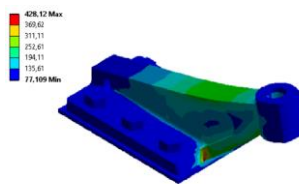


Рис. 2. Распределение напряжений

Концентраторами напряжений являются болтовые соединения, а также «шея» кронштейна (рис.2). Напряжения выходят за предел прочности (420МПа), однако, это не представляет особой опасности, так как данный расчетный случай является аварийным. Такое может произойти лишь раз, после чего проводится полная ревизия самолета с заменой и дефектовкой деталей и узлов [3].

Превышение напряжений за допустимые связано с упрощением формы кронштейна, так как изменена геометрия «шеи», а точнее ее изгибы. Для того, чтобы уменьшить напряжения, необходимо усложнить конструкцию детали, подстроив ее под лучшее распределение нагрузки.

### Библиографический список

1. **Бруйка, В.А.** Инженерный анализ в ANSYSWorkbench: Учеб.пособ. / В.А. Бруйка, В.Г. Фокин, Е.А. Солдусова, Н.А. Глазунова, И.Е. Адеянов. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010. – 271 с.
2. **Инструкция №292/25-124-20.** Требования к сеткам КЭ модели для металлических конструкций. – АО «ЭМЗ им. В.М. Мясищева», 2020. — 28 с.
3. **Кириакиди, С.К.** Надежность летательных аппаратов: Учеб.пособием/ С.К. Кириакиди. В.А. Сатин и др. Воронеж: Изд-во ВГТУ, 2009. 107 с.

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

## АНАЛИЗ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ УПОРА АВАРИЙНОГО ЛЮКА САМОЛЕТА ИЛ-114

Задачей работы является анализ напряженно-деформированного состояния оптимизированного радиального упора люка аварийного покидания самолета Ил-114. Для расчета использована модель аварийного люка (рис.1), из которой выбран нужный фрагмент с упором. Упрощение геометрии и статический анализ реализуются в программном комплексе SIEMENS NX 8.5 [1]. После создания конечно-элементной сетки проводится статический расчет упора.

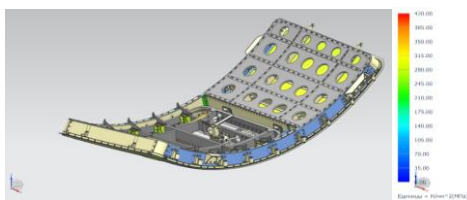


Рис. 1. Внешний вид аварийной двери самолета Ил-114

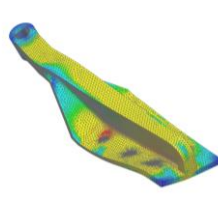


Рис. 2. Распределение напряжений при нелинейном расчете

При линейной модели материала напряжения в кронштейне выходят за пределы прочности в обширных зонах. Из этого можно сделать вывод, что при расчете необходимо учитывать пластические свойства материала для перераспределения напряжений по кронштейну.

Используя кусочно-линейную диаграмму деформирования, получена картина распределения напряжений при нелинейном анализе (рис.2). Величина напряжения в упоре равна 339 МПа, допустимое значение 378 МПа [2].

Получен коэффициент запаса прочности 1,12. Увеличение уровня перемещений по сравнению с линейным анализом вызвано пластическими деформациями по телу кронштейна.

### Библиографический список

1. Данилов, Ю.А. Практическое использование NX / Ю.А. Данилов, И.В. Артамонов. — М. ДМК, 2011. — 332 с.
2. Уманский, А.А. Строительная механика самолета. М. Оборонгиз, 1961. — 406 с.



Н.О. Замилев, студ.; М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## УСТАЛОСТНО-ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ЛОПАТКИ ТУРБИНЫ

Целью работы является проверка работоспособности лопатки при циклической нагрузке.

Лопатка является важнейшей частью турбин. При поломке даже одной лопатки механизм турбины выходит из строя, а ремонт детали является сложным, длительным и дорогим процессом [1,2].

В работе создана геометрическая модель лопатки турбины, разработана конечно-элементная сетка модели и расставлены граничные условия.

В результате исследования были получены напряжения за два дня работы модели (рис.1).

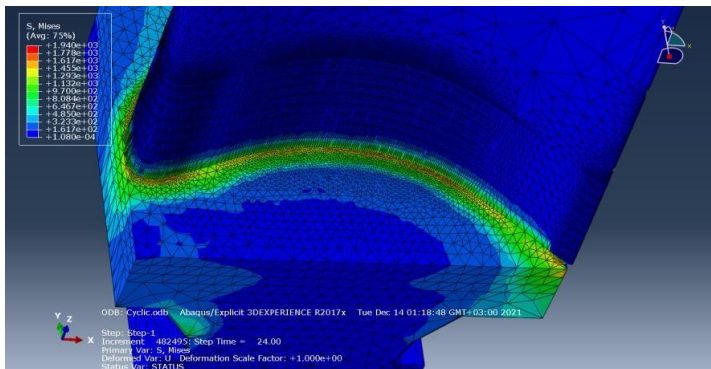


Рис.1. Напряжения в первый день работы

По окончании первого дня работы модели напряжения равнялись 163,9 МПа, на конец второго дня –194,0 МПа при допуске напряжении 155 МПа. Найдено место зарождения трещины, а также представлены возможные варианты ее устранения.

### Библиографический список.

1. **Carter, T. J.** 2005. Common failures in gas turbine blades, Engineering Failure Analysis 12, pp.237–247.
2. **Mazur, Z.**- Lunaramírez, A.- Juárezislas, J.A.- Camposamezcua, A.2005. Failure analysis of a gas turbine blade made of Inconel 738LC alloy, Engineering Failure Analysis 12, pp.474–486.

*А.Н. Осокин, К.А. Травина, студ.; рук. М.А. Ноздрин к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## РАСЧЕТ НАПРЯЖЕНИЙ УЗЛА ЭЛЕРОНА САМОЛЕТА ИЛ-114-300

Целью работы является определение напряженно-деформированного состояния (НДС) среднего узла навески триммера элерона, расположенного на правой консоли крыла самолета Ил-114-300, от действия воздушных нагрузок (рис.1) [1].

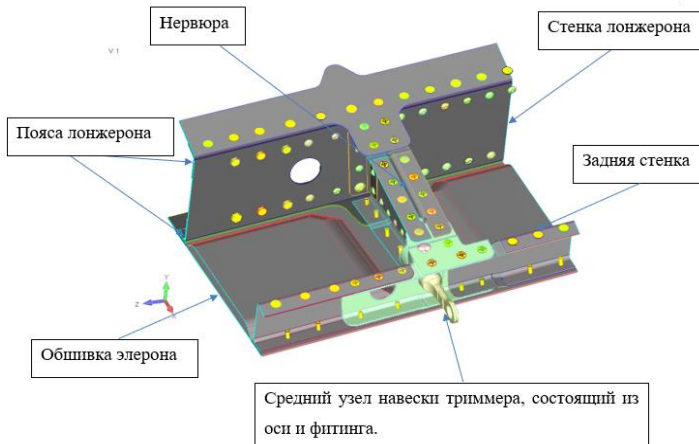


Рис.1. Средний узел навески триммера элерона

В процессе работы рассчитана воздушная нагрузка на триммер, которая составила 2,6 кН и определена реакция в среднем узле 0,92 кН.

Разработана поверхностная модель навески триммера на основании исходной конструкторской 3D модели с помощью программного комплекса Femap компании Siemens [2].

В результате расчетов получены следующие величины:

- суммарные перемещения узлов 0,638 мм;
- эквивалентные напряжения в плоских элементах 63,07 МПа;
- эквивалентные напряжения в объемных элементах 187 МПа.

Проведенные расчеты показали, что напряженно-деформированное состояние модели является допустимым.

### Библиографический список

1. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов. М.: Машиностроение, 2005.
2. Рычков С.П. Моделирование конструкций в среде Femap. М.: ДМК Пресс, 2013.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ НАГРУЗКИ НА ПРОЧНОСТЬ СРЕДНЕГО УЗЛА ТРИММЕРА СА- МОЛЕТА

Основной целью работы является исследование влияния нагрузки на прочность среднего узла триммера элерона, расположенного на правой консоли крыла самолета Ил-114-300 (рис. 1).

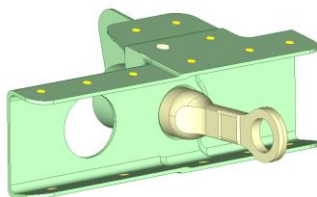


Рис. 1. Средний узел триммера элерона

С помощью программного комплекса Femap компании Siemens [1] разработана поверхностная модель среднего узла триммера на основании исходной конструкторской 3D модели.

Произведен расчет при нагрузках на триммер, равных 0,9973 кН, 1,5 кН и 2,2кН. Результаты расчетов представлены в табл.1.

Табл.1 Результаты расчетов

Нагрузка, (кН)	Суммарные перемещения, (мм)	Эквивалентные напряжения, (МПа)
0,9973	0,707	207,3
1,5	1,063	311,8
2,2	1,559	457,3

В авиационном строительстве максимальные эквивалентные напряжения для сплава алюминия равны 420 МПа, поэтому нагрузки 0,9973 кН и 1,5 кН являются допустимыми. При нагрузке 2,2 кН модель среднего узла триммера значительно деформируется, а напряжения превышают допустимое значение.

### Библиографический список

1. Житомирский, Г.И. Конструкция самолетов. / Г.И. Житомирский/ М.: Машиностроение, 2005.

*Н.О. Замилев, студ.; М.А. Шилов, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗВИТИЯ ТРЕЩИНЫ В ЛОПАТКЕ ТУРБИНЫ

На сегодняшний день значительное внимание уделяется разработке и прогнозированию механического поведения систем с теплозащитными покрытиями с целью обеспечения работы конструкции в течение заданного времени эксплуатации, повышению их надежности и долговечности. К таким покрытиям в том числе относят и покрытия лопаток газовых турбин.

Механизм разрушения лопаток определяется совместным влиянием ползучести и усталости в материале, приводящем к появлению трещин, которые, как правило, начинаются на поверхности лопатки и распространяются внутрь. Разрушения определяются совместным действием нагрузок от центробежных и газовых сил и термическими нагрузками. Термические напряжения образуются вследствие неравномерного нагревания и охлаждения лопатки на переходных режимах.

В работе представлены результаты моделирования развития трещины лопатки турбины без учета температурных напряжений в программном комплексе SimuliaAbaqus (рис. 1).

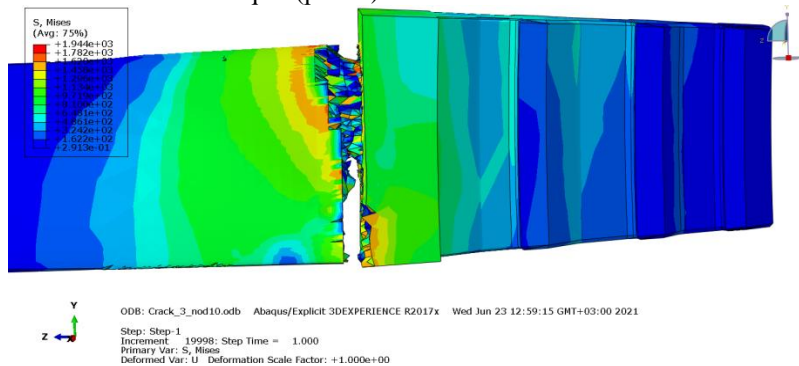


Рис. 1. Модель разрушения лопатки турбины расширенным методом конечных элементов

На основании результатов проведенных расчетов установлено, что трещина возникла в процессе эксплуатации из-за несоответствия рабочим нагрузкам.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ В КРОНШТЕЙНЕ СТАБИЛИЗАТОРА САМОЛЕТА АН-74

Оперение – это несущие поверхности, являющиеся органами устойчивости и управляемости самолета. Оно состоит из горизонтального оперения, которое предназначено для обеспечения продольной устойчивости, и вертикального, отвечающее за управляемость самолета [1].

Рассматриваемая конструкция переднего кронштейна находится в хвостовой части воздушного судна и входит в состав горизонтального оперения. Деталь расположена на переднем лонжероне центроплана и связана с силовой конструкцией киля посредством гидроцилиндра.

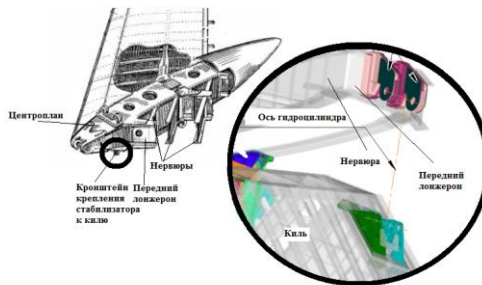


Рис.1. Расположение кронштейна

Цель работы – исследование динамических напряжений кронштейна крепления стабилизатора к килю самолета АН-74, создание конечно-элементной модели. Деталь выполнена из алюминиевого сплава с характеристиками:  $E = 69\,290$  МПа,  $\mu = 0,3$ ,  $\sigma_T = 275$  МПа. Приложенная сила изменяется динамически за 30 секунд от 0 до 53,2 кН.

Из результатов расчета можно следует, что при действии максимальной расчетной нагрузки концентраторами напряжений являются верхние болтовые соединения кронштейна, в которых возникают максимальные напряжения, и, как следствие, они подвержены большему разрушению.

### Библиографический список

1. Житомирский, Г.И. Конструкция самолётов / Г.И. Житомирский / М., Инновационное машиностроение, 2018

У.О. Ларионова, А.С. Хватов, студ.; рук. Т.В. Шмелева, к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ЭЛЕМЕНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ САМОЛЕТА “СИГМА-7”

Задачей работы является проведение поверочного расчета на статическую прочность педалей и валов системы управления рулём направления (СУ РН) легкого самолета “Сигма-7”. Общий вид СУ РН представлен на рис.1.

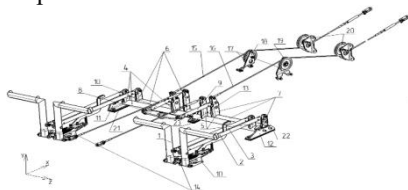


Рис. 1 Общий вид СУ РН

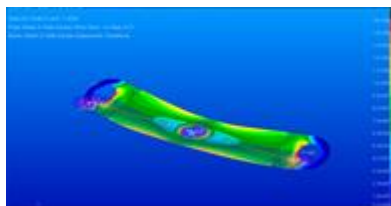


Рис. 2 Расчетные напряжения  
в модели качалки

Основные этапы исследования:

1. составление кинематической расчетной схемы и определение усилий в элементах СУ РН;
2. расчет педали: построение эпюр внутренних усилий, определение опасных сечений и проверка их на прочность;
3. создание конечно-элементной модели валов и расчет на прочность.

Исследовалась 3D модель в программном комплексе системы твердотельного и поверхностного моделирования CATIA V5. Создание конечно-элементной модели валов и расчет внутренних усилий выполнены в ПК MSC.Patran/Nastran (рис.2).

Расчеты показали, что узлы СУ удовлетворяют требованиям прочности.

### Библиографический список

1. Лизин В.Т., Пяткин В.А. Проектирование тонкостенных конструкций. – М.: Машиностроение, 1994. – 384 с.: ил.

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

## ВЛИЯНИЕ РАЗМЕРОВ НА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ ПЕДАЛИ РУЛЯ САМОЛЕТА «СИГМА-7»

Целью работы является анализ влияния толщины сечения стенки педали руля направления легкого самолета “Сигма-7” с помощью программного комплекса ANSYS. Общий вид педали представлен на рис.1.

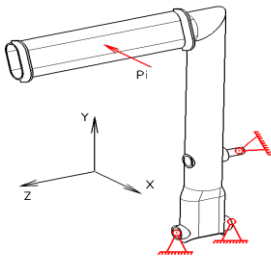


Рис.1. Общий вид педали руля направления

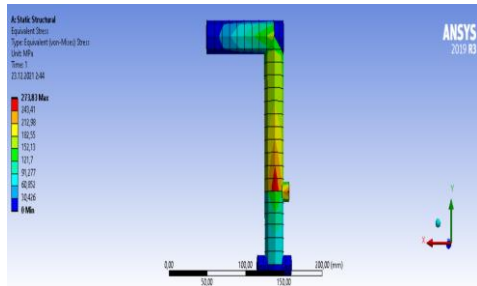


Рис.2. Эквивалентные напряжения в программном комплексе ANSYS

Основные этапы:

- 1) построение 3D геометрии педали в программе DesignModular [1];
- 2) построение конечно-элементной модели и задание граничных условий в программном комплексе ANSYS [2];
- 3) вывод результатов расчетов напряженно-деформированного состояния педали.

Исследовалась 3D модель в программном комплексе системы твердотельного и поверхностного моделирования CATIA V5. Создание 3D геометрии для анализа в ANSYS, конечно-элементной модели педали, расчет внутренних усилий и подбор оптимальной толщины стенки выполнены в ПК ANSYS (рис.2).

Расчеты показали, что оптимальным является сечение с толщиной стенки  $h=1$  мм.

### Библиографический список

1. Басов К.А. Ansys. Справочник пользователя, М, «АМК-Издательство», 2005
2. Бруйка В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench. Учебное пособие. Часть 1, Самара, «Самарский государственный технический университет», 2010

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МНОГОЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ АВТОМОБИЛЯ

Рессора представляет собой часть автомобильной подвески, где в свою очередь она является упругим элементом, который снижает динамические нагрузки, действующие на автомобиль при его движении по неровностям дороги. Она работает на изгиб как упругая балка, если листы имеют изогнутую форму в виде серпа. Рессоры обычно рассчитывают только на наибольшую возможную вертикальную нагрузку [1]. Нагрузка, действующая на эту деталь автомобиля, равна 262000 Н. На рис.1 выведена эпюра напряжений рессоры с приложенной к центру силы.

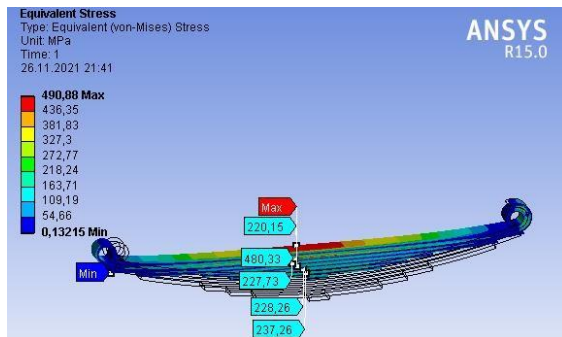


Рис.1. Распределение напряжений на рессоре, МПа

Расчет на усталостную прочность был произведен при постоянной амплитуде и регулярном нагружении, т.е. при неизменной амплитуде цикла. Был выведен коэффициент усталостной прочности, который показывает влияние уровня нагрузки на показатели долговечности [2]. Конструкция выдерживает заданные нагрузки с коэффициентом запаса прочности 1,3072.

### Библиографический список

1. Пархиловский, И.Г. Автомобильные листовые рессоры. М.: Машиностроение, 1978, стр.232
2. Радкевич, М.В. Разработка метода определения долговечности рессоры автомобиля UNIVERSUM: Технические науки. М.: Машиностроение и машиноведение, №7(40)



*А. Ю. Дмитриук, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н. доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)*

## СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ КОНСТРУКЦИЙ ЭНДОПРОТЕЗОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВАХ

Исследование напряженно-деформированного состояния биомеханической системы «таз – кастомизированный имплантат» методом конечных элементов широко распространено при лечении травм таза [1,2]. Работа посвящена исследованию напряженно-деформированного состояния биомеханической системы, образованной эндопротезом тазобедренного сустава и костями тазовой области человека при ходьбе.

Рассмотрены особенности двух типовых конструкций имплантатов (рис.1) при различных физико-механических свойствах.

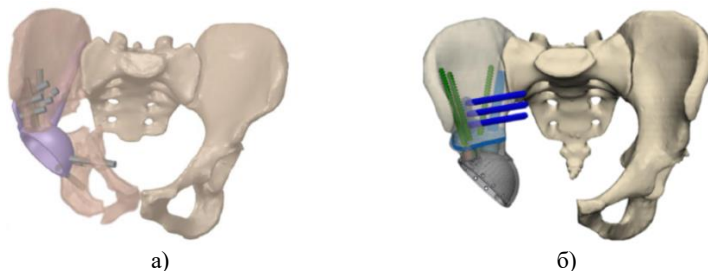


Рис.1 Трехмерная модель эндопротеза: а) пациент 1, б) пациент 2

Экспериментальные результаты при оценке физико-механических свойств с помощью компьютерной томографии согласуются с литературными данными.

Проведенный анализ показал, что изменение физико-механических свойств влечет изменение максимальных напряжений. Причем при изменении характеристик для первой конструкции эндопротеза максимальные напряжения увеличились на 1%, когда во втором случае уменьшились на 3%. Несмотря на это, эндопротез и винты (в обоих расчетных случаях) имеют достаточный запас прочности, что говорит о корректном выборе дизайна в предоперационный период.

### Библиографический список

1. **Huiskes R.,** Chao E.Y.S. A survey of finite element analysis in orthopaedic biomechanics: the first decade // J. Biomech. – 1983. – № 16. – P.385–409.
2. **Prendergast P.J.** Finite element models in tissue mechanics and orthopaedic implant design // Clin. Biomech. – 1997. – Vol. 12, № 6. – P. 343–366.

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

## ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ ИЗ КОМПОЗИТНОГО МАТЕРИАЛА

В сетчатой конструкции (рис.1) несущими элементами являются ребра, которые обеспечивают одновременно мембранную и изгибную жесткость конструкции и изготавливаются из композитного материала, обладающего высокой удельной жесткостью и прочностью[1].

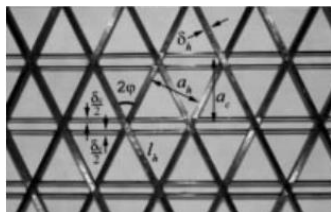


Рис.1 – Типовая сетчатая конструкция.

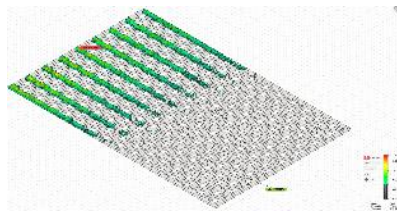


Рис. 2 – Напряженно-деформированное состояние пластины

В настоящее время ребра сетчатых конструкций, изготовленных в промышленных условиях из композита на основе волокон среднего класса ( $E_1 = 140 \text{ ГПа}$ ,  $\rho = 1450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ ), обладают модулем упругости  $E_p = 90 \text{ ГПа}$ , пределом прочности при растяжении сжатии  $\sigma_p = 1350 \text{ МПа}$  и  $\sigma_c = 650 \text{ МПа}$ , при плотности  $\rho = 1450 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$ [2].

В работе рассматривается задача, связанная с исследованием напряженно-деформированного состояния пластины, сворачиваемой в анизотридную оболочку из данного композитного материала. К ней прикладывается «сгибающая» нагрузка  $F = 150 \text{ (Н)}$  под углом  $30$  градусов. Пластина «жестко» закреплена с противоположной стороны. Получены максимальные напряжения (по Мизесу), которые сосредоточены в «заделке» и составляют  $283 \text{ МПа}$  (рис.2).

Так как основными несущими элементами являются ребра, которые обеспечивают одновременно мембранную и изгибную жесткость пластины, все напряжения распределяются вдоль них, что говорит о более высокой прочности по сравнению с конструкцией без ребер.

### Библиографический список

- 1.Работнов Ю.Н.Механика деформируемого твердого тела. —М.: Наука, 1979. —744 с.
- 2.Композиционные материалы: в 8 т. / под ред. Р. Крока и Л. Браутмана, т. 1 – М.: Машиностроение, 1978-1979.

А.А. Лазарев, студ.; рук. Ф.Б. Огурцов к.т.н., доц.  
(ИГЭУ, г.Иваново)

## ДИНАМИЧЕСКИЙ РАСЧЕТ СТЕНДА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ КРУТИЛЬНЫХ КОЛЕБАНИЙ

Задачей работы является предварительное конструирование лабораторного стенда для изучения крутильных колебаний и определение собственных частот в программном комплексе ANSYS Workbench [1].

Для того, чтобы резонансные колебания были наглядны, собственные частоты должны находиться в диапазоне от 10 Гц до 100 Гц.

Созданная в ANSYS Workbench конечно-элементная модель стенда представлена на рис.1

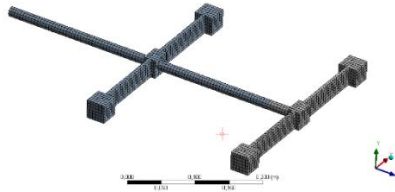


Рис.1 КЭ модель лабораторного стенда

Проведен численный модальный анализ, по результатам которого получены две собственные частоты, равные 36.37 Гц и 94.503 Гц (Рис. 2; 3).

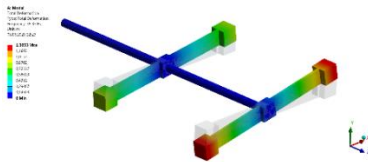


Рис. 2 Форма крутильных колебаний при собственной частоте 36.37 Гц

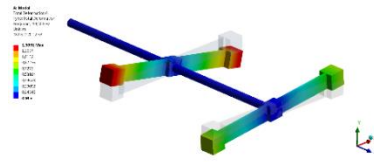


Рис. 3 Форма крутильных колебаний при собственной частоте 94.503 Гц

Полученные значения собственных частот соответствуют рабочему диапазону частот измерительной аппаратуры стенда, поэтому разработанная конструкция механической части стенда является приемлемой.

### Библиографический список

1. Леонтьев Н.В. Применение системы ANSYS к решению задач модального и гармонического анализа. Учебно-методический материал по программе повышения квалификации «Информационные системы в математике и механике». Нижний Новгород, 2006, 101 с.

А.В. Чернов, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д. ф-м.н., доц.  
(ИГЭУ, г. Иваново)

## ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЁТ БАЛЛОНА С УПРОЧНЕНИЕМ ЦИЛИНДРИЧЕСКОЙ ЧАСТИ ОБОЛОЧКОЙ ИЗ УГЛЕПЛАСТИКА

Баллон представляет собой ёмкость, узлы которой соединены сваркой. Основными узлами сосуда являются обечайка, днища, имеющие форму полусферы, и упрочняющая оболочка из углепластика.

Толщины стенок баллона в обечайке и полусферических днищах принимаем равными. С использованием теории сопротивления материалов [1] делаем вывод, что в этом случае максимальные напряжения будут возникать в цилиндрической части. Чтобы данный баллон выдерживал нагрузку от внутреннего рабочего давления, и был равнопрочным во всех основных узлах, возникает необходимость в упрочнении цилиндрической части. В нашем случае это будет оболочка, полученная путём намотки углепластика на обечайку.

В ANSYS Mechanical создана конечно-элементная модель, выполнена оценка прочности баллона и рассчитаны напряжения в стенках обечайки с учётом упрочнения и без. (рис. 1; 2).

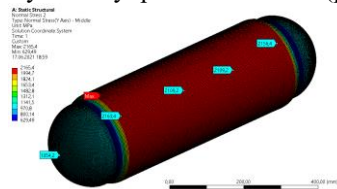


Рис.1. Распределение окружных напряжений в баллоне, МПа

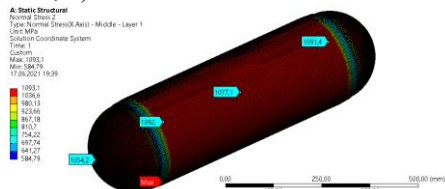


Рис.2. Распределение окружных напряжений в баллоне, упрочнённой оболочкой, МПа

Величина максимальных напряжений в конструкции, упрочнённой оболочкой из углепластика, равна 1093,1 МПа, и они возникают в цилиндрической части. Конструкция выдерживает заданные нагрузки с коэффициентом запаса прочности 1.

### Библиографический список

1. Тимошенко, С. П. Сопротивление материалов, том 2/ С. П. Тимошенко. – Москва: Издательство «Наука» Главная редакция Физико-математической литературы, 1965. – 481 с.

*П.Д. Рекадзе, инж.; студ. Е.А. Браун; рук. А.А. Иголкин, д.т.н., проф.  
(Самарский университет, г. Самара)*

## **РАСЧЁТ ДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБЪЁМНОГО НАСОСА**

Гидронасосы являются источниками, генерирующими высокоамплитудные полигармонические колебания частотой до 3000 Гц, практический интерес представляет методика и модель, позволяющие рассчитывать пульсационные характеристики насоса в любой гидросистеме. Согласно концепции В.П. Шорина [1] насос рассматривается по модели эквивалентного источника колебаний, основными динамическими характеристиками насоса (ДХН) при этом являются его внутренний импеданс и пульсационная производительность.

На практике ДХН используются как интегральные характеристики динамического состояния насоса, позволяющие рассчитывать пульсационное состояние за насосом в любой гидросистеме. В зависимости от конструктивных особенностей, ДХН могут рассчитываться по модели эквивалентного источника колебаний давления (ЭИКД) или расхода (ЭИКР) [1].

Проблема выбора той или иной модели колебаний определяется посредством оценки стабильности амплитудно-частотной характеристики пульсаций, генерируемых насосом, в различных стендовых системах. В различных по динамическим свойствам гидросистемах измеряются пульсации давления и, зная импеданс стендовой системы, пересчитываются в пульсации расхода. Полученные амплитудно-частотные характеристики пульсаций давления и расхода анализируются с точки зрения их стабильности. На практике насос имеет стабильную амплитудно-частотную характеристику только по одной из моделей (ЭИКР или ЭИКД).

На примере промышленного серийного шестеренного насоса показана оценка независимости пульсационной производительности от стендовых систем с дросселем, полостью и протяжённым трубопроводом на выходе насоса. Рассматриваемый насос имеет стабильную амплитудно-частотную характеристику по расходу со средним относительным отклонением 9%.

### **Библиографический список**

1. Шорин В.П. Устранение колебаний в авиационных трубопроводах. М.: Машиностроение, 1980, 156 с.



**СЕКЦИЯ 25**  
**МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ**  
**В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ**

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

Секретарь –  
д.т.н., доцент **Митрофанов А. В.**

*Посвящается памяти  
профессора кафедры прикладной математики  
Вадима Евгеньевича Мизонова  
( 1946 – 2022 )*



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

## ТЕПЛОВОЙ ПРОЦЕСС В ЧАСТИЦЕ ПРИ ЕЕ ОДНО- РОДНОМ ПРОГРЕВЕ С ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИЕЙ

Рассмотрим однородный прогрев частицы в временном шаге  $\Delta t$ . При переходе от  $i$ -го состояния (момента времени) к  $(i+1)$ -му произойдет изменение температуры частицы за счет воспринятого ей конвективного теплового потока через поверхность и расхода тепла на химическую реакцию. Базируясь на соотношениях теплового баланса, можно записать

$$T^{i+1} = T^i + \frac{\alpha S \Delta t (T_g - T^i)}{\rho c V} - q_{\text{р}} c_{\text{р}} \beta^{\frac{T_g - T_0}{T^i - T_0} - 1} = T^i + a_c (T_g - T^i) - q_{\text{р}} c_{\text{р}} \beta^{\frac{T_g - T_0}{T^i - T_0} - 1} \quad (1)$$

где

$$a_c = \frac{\alpha S \Delta t}{\rho c V} = \frac{3}{2} \frac{\alpha}{c_{\text{р}}} \frac{1}{d_{\text{р}}} \Delta t \quad \text{- параметр конвективного теплопереноса.}$$

Изменение концентрации реагирующего компонента может быть

$$c_A^{i+1} = c_A^i (1 - k_A (T_g) \beta^{\frac{(T_g - T_0)}{T^i - T_0} - 1} \Delta t). \quad (2)$$

Рассмотрим характер протекания процесса, описываемого этими уравнениями. Некоторые результаты расчетного анализа этой модели представлены на рисунке.

На рисунке а показана кинетика прогрева частицы и степени завершения проходящей в ней реакции при различных тепловых эффектах реакции, начиная с нулевого. Если рассматривать время прогрева, соответствующее 500 переходам, то видно, что до  $q_{\text{mr}}=1$  за это время достигается практически полный прогрев частицы, а реакция успевает пройти полностью. При больших значениях теплового эффекта прогрев затягивается, а реакция не завершается к концу процесса. При  $q_{\text{mr}}=4$  температура после превышения пороговой остается практически постоянной, а реакция идет с постоянной, но малой скоростью.

На рисунке б показано изменение во времени постоянной скорости реакции, отнесенной к постоянной скорости при температуре газа. Эти графики объясняют протекание процесса на предыдущем рисунке.

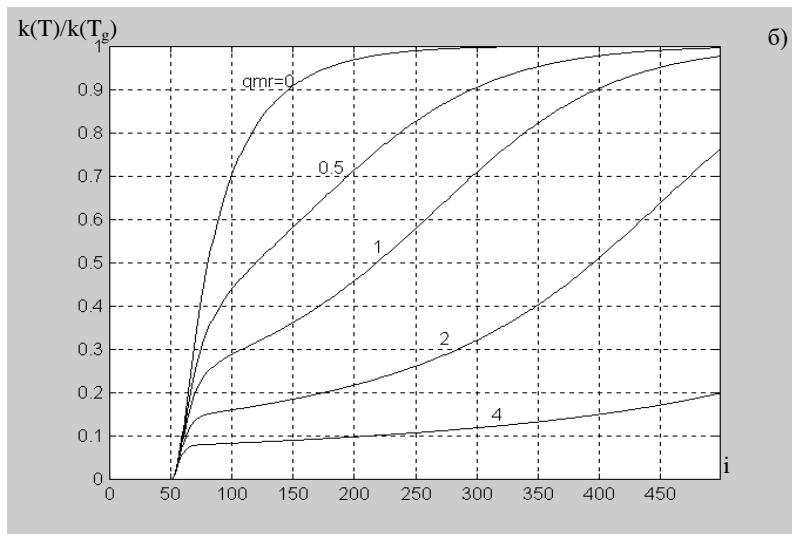
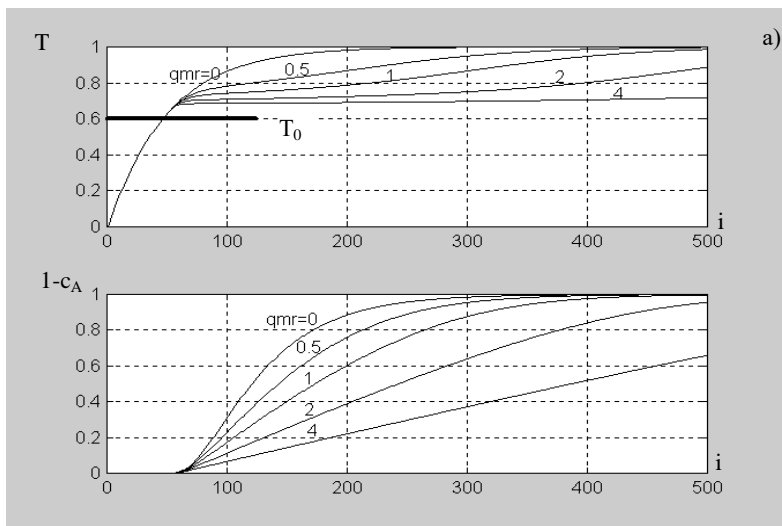


Рисунок. Изменение по времени температуры частицы и степени завершения реакции (а) и постоянной скорости реакции (б) при различных тепловых эффектах реакции ( $k(T_g)=0,02$ ;  $a_c=0,02$ ;  $\beta=0,5$ )

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

## **О ВЫБОРЕ ПОДХОДА К РЕШЕНИЮ ТЕМПЕРАТУРНОГО ИНТЕГРАЛА АРРЕНИУСА В РАМКАХ ФОРМАЛЬНО-КИНЕТИЧЕСКОГО АНАЛИЗА**

В работе предпринята попытка анализа различных сценариев аппроксимации температурного интеграла Аррениуса при описании термохимической конверсии твердого топлива. Температурный интеграл Аррениуса в моделях формальной химической кинетики «отвечает» за описание влияния температуры на скорость реализации целевого процесса. Вводя переменную  $x=E/(RT)$  можно получить формулу для интегральной кинетической функции  $g$  в виде [1]:

$$\int_0^{\alpha} \frac{d\alpha}{f(\alpha)} = g(\alpha) = \frac{AE}{\beta R} \int_x^{\infty} \frac{\exp(-x) dx}{x^2}, \quad (1)$$

где  $\alpha$  – степень завершенности процесса,  $A$  – предэкспоненциальный множитель,  $\beta$  – скорость нагрева,  $E$  – энергия активации,  $R$  – газовая постоянная.

Интеграл в правой части (1) обычно находится с использованием приближенных методов и последующим интегрированием, с использованием разложения в ряд, а также численным интегрированием [1]. Нами был проведен анализ нескольких таких методов, а также решена задача двумерной оптимизации (за критерий оптимальности было принято расхождение расчетных и экспериментальных значений). В силу вычислительной громоздкости задачи был принят ограниченный (20 значений) набор экспериментальных точек. Было показано, что такой подход дает гораздо больший объем информации, позволяя не только определить оптимальное сочетание параметров  $A$  и  $E$ , но также посмотреть, как будет развиваться процесс при варьировании  $A$  и  $E$  в некоторой окрестности от оптимальных значений.

### **Библиографический список**

1. Козлов А.Н., Свищев Д.А., Худякова Г.И., Рыжков А.Ф. Кинетический анализ термохимической конверсии твердых топлив. Химия твердого топлива. 2017. № 4. С. 12–21.

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

## ОБ ЭЛЕКТРОСТАТИЧЕСКОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ДВУХ ЗАРЯЖЕННЫХ СТЕРЖНЕЙ

Рассматривается учебная задача об электростатическом взаимодействии двух параллельных заряженных стержней. Расчетная схема взаимодействия показана на рисунке.

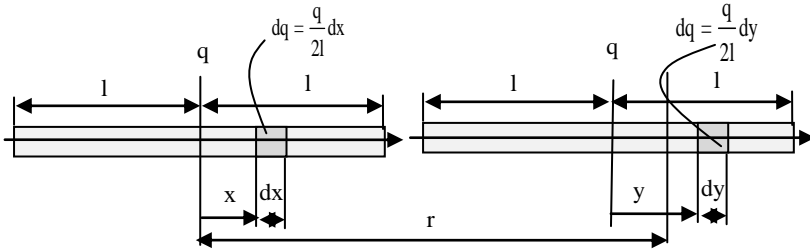


Рисунок. Расчетная схема взаимодействия

Взаимодействие выделенных элементов стержней описывается формулой

$$d(dF) = k \frac{\left(\frac{q}{2l} dx\right) \left(\frac{q}{2l} dy\right)}{(r+x-y)^2}, \text{ а усилие на элемент } dy \text{ со всего левого стержня интегралом}$$

гралом

$$dF = k \left(\frac{q}{2l}\right)^2 dy \int_{-l}^l \frac{dx}{(r+y-x)^2} = k \left(\frac{q}{2l}\right)^2 dy \frac{1}{(r+y-x)} \Big|_{-l}^l = k \left(\frac{q}{2l}\right)^2 dy \left( \frac{1}{r+y-l} - \frac{1}{r+y+l} \right).$$

Повторное интегрирование по  $y$  дает расчетное выражение для полной силы взаимодействия между стержнями

$$F = k \left(\frac{q}{2l}\right)^2 \int_{-l}^l \left( \frac{1}{r+y-l} - \frac{1}{r+y+l} \right) dy = k \left(\frac{q}{2l}\right)^2 \left( \ln(r-l+y) \Big|_{-l}^l - \ln(r+l+y) \Big|_{-l}^l \right) = k \left(\frac{q}{2l}\right)^2 \ln \frac{r^2}{r^2 - (2l)^2}$$

Преобразуя решение к виду  $F = kq^2 \frac{\ln \frac{r^2}{r^2 - L^2}}{L^2}$  и применяя к нему правило

Лопиталя при  $L \rightarrow 0$ , получим  $F = \lim_{L \rightarrow 0} \left( kq^2 \frac{\frac{1}{r^2 - L^2} 2L}{2L} \right) = k \frac{q^2}{r^2}$ , то есть формулу

Кулона для точечных зарядов.

*Н.С. Шпейнова, асп.; рук. А.В. Митрофанов, д.т.н., проф.  
(ИГЭУ, г. Иваново), К. Tannous (UNICAMP, Campinas)*

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕ- АКТОРЕ**

В работе выполнено построение математической модели функционирования цилиндрического реактора для проведения процесса пиролиза измельченного твердого топлива, а также выполнены численные эксперименты, позволившие исследовать протекание целевого процесса для двух сценариев: термопреобразование сухого топлива, а также термопреобразование и обезвоживание влажного топлива.

Математическая модель построена на основе явной разностной схемы и позволяет рассмотреть реактор как объект с распределенными в радиальном направлении характеристиками. Реактор при этом представлен совокупностью из счетного числа цилиндрических слоев, каждый из которых рассматривается в качестве представительного объема с идеальным перемешиванием свойств внутри. При этом каждый такой объем может иметь отличные от соседних слоев характеристики и при наличии (в этом случае) потенциалов переноса обмениваться с соседними объемами потоками аддитивных свойств. В результате чего изменяются пространственно-временные распределения этих характеристик. Переход от одного такого состояния к другому описывается рекуррентными расчетными процедурами.

Эволюция распределений температур твердой и газовой фаз, а также степеней химического превращения материала и его обезвоживания исследовано в ходе вычислительных экспериментов. Показано, что в зависимости от интенсивности внешнего нагрева и кинетических параметров термопреобразования обезвоживание и экзотермические реакции пиролиза могут проходить как последовательно друг за другом, так и незначительно «накладываться» или реализовываться параллельно в течение длительного времени. Адекватность выбранного подхода подтверждается и результатами сравнения с экспериментальными данными [1], поэтому результаты численного исследования могут быть использованы при построении режимных карт процесса.

### **Библиографический список**

**1. Митрофанов А.В.,** Мизонов В.Е., Василевич С.В., Малько М.В. Экспериментальное и расчетное исследование пиролиза биомассы в цилиндрическом реакторе. Энергетика. Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ. 2021;64(1):51-64. <https://doi.org/10.21122/1029-7448-2021-64-1-51-64>

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

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМ ОБОРОТНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ**

Системы оборотного охлаждения (СОО) ТЭС и АЭС должны обеспечить эффективный теплоотвод от конденсаторов турбин и другого охлаждаемого оборудования без ограничения располагаемой мощности станции [1]. В настоящее время в атомной энергетике в связи со строительством мощных энергоблоков и недостатком маломинерализованных вод в местах строительства АЭС остро стоит вопрос выбора эффективных охладителей и их рабочих режимов. Одной из основных задач при этом является предотвращение и (или) удаление отложений в элементах технологического оборудования системы охлаждения. В этой связи разработка адекватных математических моделей процессов теплообмена (ТМО) в СОО, позволяющих оценить состояние оборудования и выполнить расчет технологических показателей его тепловой эффективности, является актуальной темой научных исследований.

Целью работы является разработка модели процесса теплообмена обмена в градирнях башенного типа для определения наиболее эффективных конструкций и режимов работы систем оборотного охлаждения ТЭС и АЭС.

При разработке математической модели градирня башенного типа представляется трехпоточной теплообменной системой контактного типа, где в качестве потоков теплоносителей выступают сухой воздух, водяные пары и циркуляционная вода. При разработке модели считается, что между тремя перечисленными потоками происходит теплообмен, а между водой и водяными парами дополнительно осуществляется процесс массообмена, обусловленный испарением воды или конденсацией водяных паров. Следует отметить, что процесс массообмена непосредственно связан с охлаждением воды, то есть с процессом теплообмена, поэтому эти процессы являются совмещенными и они описываются системой связанных дифференциальных уравнений, составленных на основе теплового и материального балансов для каждого потока теплоносителя.

### **Литература**

**1. Абрамов, Н. Н.** Водоснабжение: учебник для вузов / Н. Н. Абрамов. – М.: Стройиздат, –1974. – 480 с.

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

## **МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ ПАРОВОЙ ТУРБИНЫ**

На протяжении всего срока эксплуатации паровой турбины различного рода нарушения, допущенные при ремонте, а также неисправности и дефекты становятся причиной ухудшения характеристик экономичности, надежности и маневренности паровой турбины. В данных условиях непрерывного изменения технического состояния оборудования заслуживают внимания методы повышения обоснованности и точности определения нормативных энергетических характеристик, актуальность которых высока для энергетической отрасли.

В связи с этим целью данной работы является разработка математической модели паровой турбины, позволяющей учесть влияние нарушений и дефектов, развивающихся по проточной части, на характеристики экономичности и маневренности паровой турбины. В рамках данной работы была предложена математическая модель паровой турбины, позволяющая рассчитывать статические режимы ее работы. Основу данной модели составляют система нелинейных балансовых уравнений с учетом процесса расширения пара по цилиндрам паровой турбины и формулы Флюгеля-Стодолы [1], а также итерационный алгоритм решения полученной системы.

Для идентификации предложенной математической модели были использованы данные из типовых энергетических характеристик. Проведенный статистический анализ полученных данных показал, что применительно для паровой турбины К-300-240 ЛМЗ математическая модель позволяет определить часовой расход свежего пара со среднеквадратичным отклонением 8,6 (т/ч) во всем допустимом диапазоне изменения электрической нагрузки.

Разработанная математическая модель и ее последующая идентификация по нормативным данным позволяет проводить расчетные исследования тепловой экономичности паровой турбины.

### **Библиографический список**

1. **Самойлович Г.С.** Переменные и переходные режимы в паровых турбинах / Г.С. Самойлович, Б.М. Трояновский. – М.: Энергониздат, 1982. – 496 с., ил.

*К.Н. Бубнов, аспн.; рук. А.Н. Беляков, д.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново);  
B.L. Zlotin (Progress, INC. West Bloomfield MI, US)*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ИСКУССТВЕННОЙ НЕЙРОННОЙ СЕТИ НА ОСНОВЕ ФОРМАЛЬНОГО НЕЙРОНА НО- ВОГО ТИПА**

В Лас-Вегасе в 2015 году на международной конференции по искусственному интеллекту ICAI 2015 была представлена искусственная нейронная сеть (ИНС), построенная на новом подходе к моделированию искусственного нейрона (п-нейрон) [1]. Главной особенностью п-нейрона от классического описания искусственного нейрона, является наличие не одного, а нескольких весовых коэффициентов на каждом синапсе. Такой подход совместно с отсутствием активационной функции позволяет существенно уменьшить нелинейность ИНС, значительно увеличить скорость обучения и время отклика.

Целью работы является создание и тестирование работы ИНС, построенной на п-нейронах.

Для достижения поставленной цели была разработана однослойная ИНС для распознавания изображений. В качестве настраиваемых параметров работы сети использовались разрешение изображений распознаваемых образов и количество весовых коэффициентов на синапсе.

Тестирование сети производилось на наборе фотографий лиц, полученных из открытых источников.

Результаты тестирования показали высокую скорость обучения, составляющую единицы эпох, а также высокую точность распознавания фотографий на тестовой выборке.

### **Библиографический список**

**1. Pescianschi, D.** Analog and Digital Modeling of a Scalable Neural Network / D. Pescianschi, A. Boudichevskaia, B. Zlotin, V. Proseanic // The 2015 International Conference on Artificial Intelligence (ICAI 2015), Las Vegas Nevada USA, Volume II, CSREA Press, US 2015.



## Содержание

### Секция 20. Анализ и синтез систем электроприводов

<i>Васильев А.Д., Малев Н.А.</i> Исследование электропривода шнеково-го дозатора сыпучих веществ; рук. Малев Н.А. ....	5
<i>Димитрюк Д.В.</i> Перспективы перехода электропривода от нерегулируемого к регулируемому на пути к постиндустриальному обществу; рук. Петрова М.В. ....	6
<i>Егоров В.О., Малев Н.А.</i> Настройка электропривода механизма подъёма крана с учётом упругих связей; рук. Малев Н.А. ....	7
<i>Шабунова К.В., Корягин Ю.С.</i> Управление движением звеньев промышленного манипулятора с модулями позиционирования на основе ПИ2И(Д)-регуляторов; рук. Лебедев С.К. ....	8
<i>Шакиров А.А.</i> Постановка задачи совершенствования системы контроля качества асфальто-бетонного полотна; рук. Козелков О.В. ....	9
<i>Шалов И.Е., Аксенов И.С.</i> Управление движением SCARA промышленных манипуляторов с использованием электромехатронных модулей позиционирования; рук. Лебедев С.К. ....	10
<i>Фирстова К.В., Курицына Н.А.</i> Математическое моделирование электропривода металлорежущего станка; рук. Вилков П.В. ....	11
<i>Алексеев А.А.</i> Система управления асинхронным двигателем с поддержанием максимального момента; рук. Бурков А.П. ....	12
<i>Жолдаякова А.Е., Анохина А.А.</i> Электропривод центрифуги; рук. Ширияев А.Н. ....	13
<i>Латвис И.А., Соколов А.А.</i> Создание лабораторного стенда микроконтроллерных средств в электроприводе; рук. Гнездов Н.Е. ....	14
<i>Авдонин Т.А.</i> Исследование электропривода механизма передвижения тележки общепромышленного мостового крана; рук. Ширияев А.Н. ....	15
<i>Лукин О.А.</i> Импульсно-фазовый электропривод разрывной машины; рук. Ширияев А.Н. ....	16
<i>Компаниченко И.И.</i> Исследование системы управления многодвигательным электроприводом гребной установки; рук. Вилков П.В. ....	17

<i>Лимонов М.С.</i> Разработка и исследование модальных управляющих устройств для электромеханической системы управления; рук. Куленко М.С. ....	18
<i>Чепига А.А.</i> Разработка системы управления матричным многоуровневым преобразователем; рук. Анучин А.С. ....	19
<i>Мачкур Д.А., Бурлаков К.С.</i> Разработка бионического предплечья человека; рук. Колганов А.Р. ....	20
<i>Чернов А.М., Беспалова А.О.</i> . Применение частотного привода для выявления повреждения обмотки ротора электродвигателя ; рук. Захаров М.А., Скоробогатов А.А. ....	21
<i>Тумаков А.В.</i> Программно-аппаратные средства для реализации алгоритмов нечеткой логики; рук. Куленко М.С. ....	22

## **Секция 21. Электромеханика и магнитожидкостные устройства**

<i>Палилов И.А.</i> Экспериментальные исследования энергоэффективности метода взаимной нагрузки асинхронных машин; рук. Палилов И.А. ....	25
<i>Егоров И.С., Нестеров С.А., Морозов Н.А.</i> Выбор оптимальных конструкции и размеров магнитожидкостного демпфера; рук. Казаков Ю.Б. ....	26
<i>Шеременда Г.С.</i> О влиянии насыщения магнитной цепи на расчетный коэффициент полюсного перекрытия в конденсаторных СРД; рук. Шишкин В.П. ....	27
<i>Суриков А.А.</i> О выборе количества и формы немагнитных каналов в конденсаторных СРД; рук. Шишкин В.П. ....	28
<i>Маширина Д.А.</i> Разработка модели для исследования трехобмоточного трансформатора; рук. Тихонов А.И. ....	29
<i>Доржинкевич А.Ф.</i> Методика определения характеристик синхронного реактивного двигателя; рук. Караулов В.Н. ....	30
<i>Новиков И.В.</i> Определение оптимального заполнения рабочего зазора магнитожидкостного сепаратора магнитной жидкостью; рук. Филиппов В.А. ....	31
<i>Шоронов В.Е.</i> Однофазное питание трёхфазного асинхронного двигателя; рук. Филиппов В.А. ....	32
<i>Чванов О.В.</i> Исследование динамических режимов магнитоэлектрического двигателя малого электротранспорта ; рук. Казаков Ю.Б. ...	33

<i>Грачёв И.А., Морозов Н.А.</i> Внешнее магнитное поле турбогенератора при повреждении обмотки возбуждения; рук. Морозов Н.А. ...	34
<i>Семко А.А.</i> Проблемы создания лабораторной модели турбогенератора на базе асинхронного двигателя с фазным ротором; рук. Морозов Н.А. ....	35
<i>Кочин И.А.</i> Анализ процессов в магнитожидкостном герметизаторе с поомщью численной математической модели; рук. Нестеров С.А.	36
<i>Митенков С., Мелдов С.</i> Экспериментальное исследование влияния температуры магнитной жидкости на удерживаемый герметизатором перепад давления; рук. Нестеров С.А. ....	37
<i>Мелдов С.А.</i> Экспериментальное исследование влияния частоты вращения вала на удерживаемый магнитожидкостным герметизатором перепад давления; рук. Нестеров С.А. ....	38

## **Секция 22. Микроэлектронные и микропроцессорные информационно-управляющие системы**

<i>Алексеев Е.А., Невиницын В.Ю.</i> Регулирование температуры гранул в производстве полиамида-6; рук. Алексеев Е.А. ....	41
<i>Долгих Г.А.</i> Нейросетевая идентификация динамической модели объекта; рук. Терехов А.И. ....	42
<i>Желтова Д.Н., Кутузова Ю.А.</i> Умный дозатор антисептика; рук. Кожевников С.О. ....	43
<i>Нургалиев Д.Н., Сатыбалдинова А.Е., Алдажуманов Ж.К.</i> Регистрация температуры в конденсаторе; рук. Ермоленко М.В. ....	44
<i>Колосова М.С.</i> Комбинированный подход к синтезу САУ поточной линии ; рук. Тютиков В.В. ....	45
<i>Красильников М.Ю.</i> Стабилизация балансирующего робота; рук. Аббясов А.М. ....	46
<i>Синицын И.А.</i> Программный дифференциал гоночного болида; рук. Аббясов А.М. ....	47
<i>Синицын И.А.</i> Разработка силовой установки гоночного болида на электротяге; рук. Тихомирова И.А. ....	48
<i>Синицын И.А.</i> Применение микроконтроллеров для управления газоразрядными индикаторами; рук. Кожевников С.О.	49
<i>Синицын И.А.</i> Бортовой микрокомпьютер гоночного болида; рук. Долунц Г.В. ....	50

<i>Сороковнин М.Е.</i> Применение искусственной нейронной сети в задаче идентификации и настройки мехатронной системы; рук. Анисимов А.А. ....	51
<i>Соколов К.Е.</i> Программная реализация грамианного метода синтеза робастных систем управления; рук. Анисимов А.А. ....	52

### **Секция 23. Технология машиностроения**

<i>Лукин Д.Д., Попруженко А.В.</i> Применение САПР T-FLEX для определения оптимальной толщины стенки корпуса редуктора; рук. Егоров С.А. ....	55
<i>Лазаренко В.П.,</i> Снижение материалоемкости нижней части корпуса редуктора; рук. Егоров С.А. ....	56
<i>Дьяков Д.О.,</i> Оптимизация процесса анодирования; рук. Павлюкова Н.Л. ....	57
<i>Калашиников И.Д.</i> Создание трехмерной сборочной планетарно-зубчатого редуктора; рук. Павлюкова Н.Л. ....	58
<i>Молькова Ю.Е., Калашиников И.Д.</i> Новейшие металлические материалы; рук. Павлюкова Н.Л. ....	59
<i>Муратов Д.А. Синодеева П.И.</i> Выбор технологического радиусагиба листовых материалов; рук. Павлюкова Н.Л. ....	60
<i>Синодеева П.И.</i> Выбор покрытия для алюминиевых сплавов; рук. Павлюкова Н.Л. ....	61
<i>Пучков П.В.</i> Приспособление для получения корня стружки при мгновенном прекращении резания. ....	62
<i>Митушки К.В.</i> Применение программ 3D-Моделирования при разработке конструкции робототехнического устройства; Иванов В.Е. ....	63
<i>Короткова Я.Н.</i> Исследование прочностных свойств древесины в различных условиях эксплуатации; Киселев В.В. ....	64
<i>Русских Т.Ю.</i> Инженерные решения вопросов безопасности на водных объектах; Кропотова Н.А. ....	65
<i>Попов К.Е.</i> Повышение долговечности зубчатых передач применением металлоплакирующих смазочных материалов; Егоров С.А. ....	66
<i>Кожин И.А., Дьяков Д.О.</i> Аддитивные технологии; рук. Ведерникова И.И. ....	68
<i>Забелин А.А., Каштапан А.Д.</i> Обеспечение надежности работ при производстве трансформаторов; рук. Ведерникова И.И. ....	69

<i>Забелин А.А., Синодеева П.И.</i> Гидроабразивная резка в условиях мелкосерийного и единичного производства; Ведерникова И.И. ....	70
<i>Идрисов С.Ф., Муратов Д.А.</i> Особенности свариваемости узлов и деталей конструкционных алюминиевых сплавов в самолетостроении; Ведерникова И.И. ....	71
<i>Аманов Х.Я., Бочкарева В.Д.</i> Вопросы обеспечения производственной безопасности; Ведерникова И.И. ....	72
<i>Кожин И.А., Ведерников А.С.</i> Алмазное выглаживание; Ведерникова И.И. ....	73
<i>Белостокова А.И., Воробьев М.Д.</i> Оптимизация технологического процесса изготовления детали; Ведерникова И.И. ....	74
<i>Белостокова А.И., Осокин П.М.</i> Усовершенствование конструкции детали; Ведерникова И.И. ....	75
<i>Аманов Х.Я., Салтанова М.А.</i> Индукционная поверхностная закалка токами высокой частоты; Ведерникова И.И. ....	76
<i>Петрова Е.А.</i> Выбор рациональных компоновочных решений автоматизированных систем складского обеспечения; Копосов В.Н. ..	77
<i>Воробьев С.В.</i> Дискретная математическая модель двухфазного струйного течения; В.Н. Блиничев. ....	78
<i>Соловьева Е.В.</i> Моющие свойства СОТС; рук. Ведерникова И.И. ....	79
<i>Соловьева Е.В.</i> СОТС для механической обработки высокопрочных сталей; рук. Ведерникова И.И. ....	80
<i>Китаев И.В.</i> Обоснование выбора метода упрочнения зубчатого венца детали; Копосов В.Н. ....	81

#### **Секция 24. Динамика и прочность сложных механических систем**

<i>Осокин А.Н.</i> Влияние механических свойств материала на напряжение в обшивке элерона крыла самолета; рук. Ноздрин М.А. ....	85
<i>Ларионова У.О.</i> Оптимизационный расчёт механических параметров элемента системы управления самолёта; рук. Ноздрин М.А. ....	86
<i>Молокова Д.Д.</i> Исследование напряжений конструкционной детали самолета; рук. Ноздрин М.А. ....	87
<i>Молокова Д.Д., Городова С.М.</i> Анализ напряженно-деформированного состояния упора аварийного люка самолета ИЛ-114; рук. Маслов Л.Б. ....	88

<i>Замилев Н.О.</i> Усталостно-прочностной расчет лопатки турбины; рук. Ноздрин М.А. ....	89
<i>Осокин А.Н., Травина К.А.</i> Расчет напряжений узла элерона самолета Ил-114-300; рук. Ноздрин М.А. ....	90
<i>Травина К.А.</i> Исследование влияния нагрузки на прочность среднего узла триммера самолета; рук. Ноздрин М.А. ....	91
<i>Замилев Н.О.</i> Моделирование развития трещины в лопатке турбины; рук. Шилов М.А. ....	92
<i>Жеглова А.Р.</i> Исследование динамических напряжений в кронштейне стабилизатора самолета АН-74.; рук. Ноздрин М.А. ....	93
<i>Ларионова У.О., Хватов А.С.</i> Проверочный расчет элементов системы управления самолета "Сигма-7"; рук. Шмелева Т.В. ....	94
<i>Хватов А.С.</i> Влияние размеров на напряженно-деформированное состояние педали руля самолета «Сигма-7»; рук. Ноздрин М.А. ....	95
<i>Чекурда В.В.</i> Исследование усталостной прочности многолистовой рессоры автомобиля; рук. Ноздрин М.А. ....	96
<i>Дмитрюк А.Ю.</i> Сравнительный анализ типовых конструкций эндопротезов при различных физико-механических свойствах; рук. Маслов Л.Б. ....	97
<i>Аксенов А.Д.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния конструкции из композитного материала; рук. Ноздрин М.А. ...	98
<i>Лазарев А.А.</i> Динамический расчет стенда для изучения крутильных колебаний; рук. Огурцов Ф.Б. ....	99
<i>Чернов А.В.</i> Прочностной расчёт баллона под давлением в условиях эксплуатации, с упрочнением цилиндрической части оболочкой из углепластика; рук. Маслов Л.Б. ....	100
<i>Рекадзе П.Д., Браун Е.А.</i> Расчёт динамических характеристик объёмного насоса; рук. Иголкин А.А. ....	101

## **Секция 25. Математические методы в технике и технологиях**

<i>Басова Е.В.</i> Тепловой процесс в частице при ее однородном прогреве с химической реакцией; рук. Мизонов В.Е. ....	105
<i>Шнейнова Н.С.</i> О выборе подхода к решению температурного интеграла Аррениуса в рамках формально-кинетического анализа; рук. Митрофанов А.В. ....	107

<i>Басова Е.В.</i> Об электростатическом взаимодействии двух заряженных стержней; рук. Мизонов В.Е. ....	108
<i>Шпейнова Н.С.</i> Математическое моделирование процесса пиролиза в цилиндрическом реакторе; рук. Митрофанов А.В., К. Tannous .....	109
<i>Фомичев М.Д.</i> Математическое моделирование систем обратного охлаждения; рук. Жуков В.П., Виноградов В.Н. ....	110
<i>Бубнов К.Н.</i> Математическая модель статических режимов паровой турбины; рук. Жуков В.П. ....	111
<i>Бубнов К.Н., Злотин Б.Л.</i> Исследование искусственной нейронной сети на основе формального нейрона нового типа; рук. Беляков А.Н., В.Л. Zlotin. ....	112
<b>Содержание</b> .....	113

# ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СЕМНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ  
(ДЕВЯТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ  
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ  
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ  
«ЭНЕРГИЯ-2022»

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 .2022. Формат 60x84 1/16 .  
Печать офсетная. Усл. печ. л. .  
Тираж 35 экз. Заказ №  
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический  
университет имени В.И. Ленина»  
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ