

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

**ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ**

«ЭНЕРГИЯ-2021»

ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЕНЫХ

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

г. Иваново, 6 - 8 апреля 2021 года

ТОМ 4

ИВАНОВО

ИГЭУ

2021

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ//
шестнадцатая международная научно-техническая конференция студентов,
аспирантов и молодых ученых «Энергия-2021»: Материалы конференции.
В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный
энергетический университет им. В.И. Ленина», 2021. – 142 с.

ISBN

ISBN

(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 – ректор, д.т.н., проф. **С.В. Тарарькин**, зав. кафедрой ТМ – к.т.н., доц. **И.И. Ведерникова**, зав. кафедрой ЭиАПУ – к.т.н., доц. **М.С. Куленко**, зав. кафедрой ЭМ – д.т.н., проф. **Ю.Б. Казаков**, 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. **Т.В. Шмелева**.

Ответственный секретарь: к.п.н., доц. **Сидоров А.А.**

СЕКЦИЯ 20
АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

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

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

*А.А. Алексеев, аспирант; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ШПИНДЕЛЬНЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ

К системам управления электроприводами (СУЭП) главного движения современных металлорежущих станков предъявляются следующие требования: работа в зоне постоянной мощности и постоянного скольжения, возможность позиционирования, максимально быстрый разгон и торможение, наличие программных средств автонастройки. В качестве шпиндельных двигателей, как правило, применяются асинхронные, в связи с их дешевизной и надежностью.

На основании этих требований ведется разработка СУЭП главного движения на базе асинхронного двигателя. Работа в зонах постоянной мощности и постоянного скольжения (II и III зоны регулирования скорости) достигается путем ослабления поля – для этого в СУЭП интегрированы наблюдатель и регулятор потока. Для позиционирования организован контур положения с упреждающими связями, задание с которого поступает в контур активного тока. В этом случае для достижения максимальной динамики разгона и торможения недостаточно будет традиционного задатчика интенсивности или генератора траектории, так как при их использовании время разгона будет фиксировано независимо от задания, несмотря на то что при ослаблении поля динамика двигателя будет уменьшаться. В связи с этим был разработан адаптивный задатчик разгона, позволяющий выходить на любую скорость, вплоть до максимально возможной, за минимальное время и без перерегулирования. Адаптивность заключается в динамической коррекции задания на положение в зависимости от принадлежности текущей скорости двигателя к одной из предварительно заданных трех зон. Простота настройки достигается наличием программных средств для автонастройки всех регуляторов, а также методики идентификации параметров двигателя для корректного определения коэффициентов наблюдателя потока.

Описанная СУЭП реализуется в системе ЧПУ IntNC PRO. На лабораторных стендах, имитирующих токарные и фрезерные станки, а также на многоцелевом токарно-фрезерном центре «КТС 4000» (АО «КЭМЗ»), был проведен ряд экспериментов, включающий в себя разгон, торможение и реверс в первую и вторую зону с позиционированием. Результаты показали высокую динамику и устойчивую работу во всем диапазоне скоростей, а программные инструменты автонастройки и идентификации позволили привести систему в рабочее состояние в кратчайшие сроки.

*Н.Д. Виноградов, И.В. Мокрецкий, студенты;
рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФОРМИРОВАТЕЛИ ТРАЕКТОРИИ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Характеристики электромехатронных модулей позиционирования (ЭМП) во многом определяют качество процессов в объектах робототехники, машиностроения и транспорта. Задание или ограничение параметров движения (скорости, ускорения и т.д.) при этом может реализовываться либо применением нелинейных элементов в системе управления, либо генерацией на входе ЭМП сигнала с помощью формирователей траектории (ФТ) [1,2]. В Simulink – графической среде программирования на основе MATLAB разработаны ФТ 1-го и 2-го порядка (ФТ1, ФТ2), обеспечивающие задание скорости и ускорения при позиционировании (рис. 1).

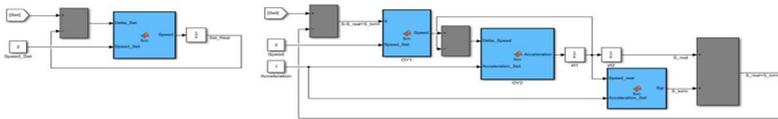


Рис. 1. ФТ 1-го и 2-го порядка в MATLAB - Simulink

Результаты исследования ФТ1, ФТ2 (рис. 2) демонстрируют эффективность предлагаемого решения. Разрабатываемые модули ФТ1, ФТ2 будут использоваться при разработке ЭМП. Также продолжается работа по созданию ФТ более высокого порядка и микропроцессорной их реализации.



Рис. 2. Графики работы ФТ 1-го и 2-го порядка

Библиографический список

1. **Терехов В.М., Осипов О.И.** Системы управления электроприводов / М: Издательский центр «Академия», 2005.–304 с.
2. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Системы позиционирования с регуляторами положения и наблюдателями нагрузки / Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2020.–308 с.

Д.В. Дорохов, студ.; рук. С.Ю. Еремочкин, к.т.н., доц.
(АлтГТУ, г. Барнаул)

ЧАСТОТНЫЙ РЕГУЛЯТОР СКОРОСТИ ДЛЯ ТРЕХФАЗНОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Как известно, больше двух третей современного энергопотребления приходится на трехфазные асинхронные электродвигатели, что объясняется их повсеместным использованием. Данные двигатели обладают следующими преимуществами: надежностью, простой в эксплуатации, небольшой стоимостью. В тех случаях, когда трехфазная сеть электроснабжения отсутствует, встает вопрос выбора устройств запуска и работы трехфазного электродвигателя от однофазной сети. На рис. 1 (А) представлена принципиальная схема частотного регулятора скорости, позволяющего осуществлять управление скоростью электродвигателя при питании от однофазной сети и соединении обмоток статора по схеме «треугольник» [1].

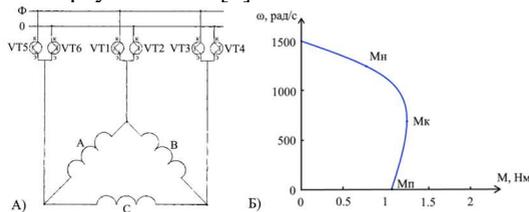


Рис. 1. А) Принципиальная схема частотного регулятора скорости: VT1-VT6 – силовые транзисторы; А, В, С – первая, вторая и третья статорные обмотки двигателя; Фаза – фаза питающей сети; 0 – ноль питающей сети. Б) Механическая характеристика.

На рис. 1 (Б) представлена механическая характеристика трехфазного электродвигателя при работе с частотным регулятором скорости и питании от однофазной сети. Значение пускового момента составляет $M_{п} = 1,1$ Нм, критический момент равен $M_{кр} = 1,25$ Нм.

Таким образом, разработанное устройство обладает высокой степенью надежности, высокими энергетическими характеристиками и может быть с успехом применено в электроприводе средней и малой мощности в промышленности и сельском хозяйстве.

Библиографический список

1. Однофазный частотный регулятор скорости, ведомый сетью, для трехфазного асинхронного короткозамкнутого электродвигателя: пат. 2461118 Рос. Федерация / М.И. Стальная, С.Ю. Еремочкин, В.С. Солопов. № 2011113032/07; заявл. 05.04.2011; опубл. 10.09.2012, Бюл. №25.

Д.В. Кадигроб, М.В. Горт, Д.В. Куплевацкий, маг.; рук. П.О. Шабуров, к.т.н., доц. (ЮУрГУ, Челябинск)

УПРАВЛЕНИЕ ВЕНТИЛЬНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ ПО СИГНАЛАМ ЭДС ВРАЩЕНИЯ

Вентильные электродвигатели активно применяются в различных отраслях промышленности, в следствие чего развивается их производство и область применения. Причиной этого является габариты (в зависимости от требований) и высокая надежность вентильного двигателя.

Новизна метода управления двигателем по сигналам ЭДС вращения заключается в отбрасывании сигналов, где включены положительные и отрицательные потенциалы на входе секций и фиксации сигнала ЭДС в отключенной секции. Анализ ЭДС в отключенной секции позволяет не анализировать переход через «0» относительно общей обмотки. Нововведение заключается в фиксации значения между текущей фазой и «виртуальным нулём», с помощью этого по обратной связи осуществляется замыкание управления и фиксируются сигналы ЭДС в отключенных секциях вентильного двигателя [1].

Для обеспечения широкого диапазона регулирования скорости используется операционный усилитель с переменным коэффициентом усиления, который ранее рассмотренный сигнал по ЭДС вращения понижает до требуемого сигнала входа аналого-цифрового преобразователя. Предлагаемый способ управления не использует в своем составе датчик скорости и в следствие этого занимает меньше места, имеет меньшую массу. На данный момент существующие бездатчиковые системы управления обладают точностью $\pm 0,5\%$ при небольших диапазонах изменения скорости. В них используется векторное управление, но данный метод управления сложен в реализации. В представленном же методе благодаря переменному коэффициенту усиления операционного усилителя осуществляется оцифровка всей шкалы ЭДС, с помощью чего появляется возможность сформировать сигнал обратной связи и с её помощью замкнуть систему по ЭДС вращения.

Данный метод управления найдет применение в таких областях, как нефтедобыча и буровые установки, но наибольшее применение смогут найти в авиационной и ракетно-космической технике.

Библиографический список

1.Кадигроб Д.В., Куплевацкий Д.В., Горт М.В., Кузнецов А.А., Шабуров П.О. Формирование обратной связи по Э.Д.С. для управления вентильным двигателем // Молодой исследователь – 2020. – материалы 7-й научной выставки-конференции научно-технических и творческих работ студентов. – С. 456-462.

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

ЭЛЕКТРОПРИВОД ЗАПОРНО-РЕГУЛИРУЮЩЕЙ АРМАТУРЫ

Запорно-регулирующей арматурой называются устройства, предназначенные для перекрытия или распределения потока жидких и газообразных рабочих сред, регулирования различных параметров технологических процессов (давления, напора, температуры, количества подаваемого вещества и т.д.).

В докладе рассматривается электропривод запорно-регулирующей арматуры (рис.1) фирмы Emico (Корея), предназначенной для использования в системах газоснабжения.

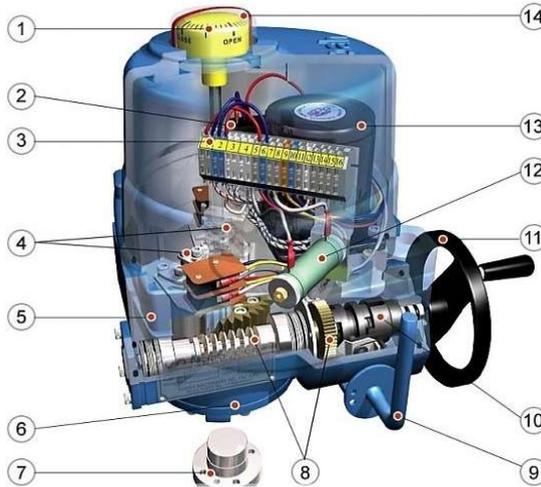


Рис. 1. Конструкция регулирующей арматуры Emico:

1 – указатель положения; 2 – конденсатор; 3 – клеммные колодки; 4 – моментные и путевые выключатели; 5 – крышка привода; 6 – основание привода; 7 – переходная муфта; 8 – редуктор привода; 9 – рычаг переключателя ручного режима; 10 – переключатель ручного режима; 11 – ручной дублер; 12 – нагревательный элемент; 13 – электродвигатель; 14 – крышка визуального указателя положения

Разработана математическая модель и приведены результаты исследования работы электропривода в режиме отработки заданного перемещения рабочего органа запорно-регулирующей арматуры.

*А.М. Магомедов, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц.; М.А. Захаров
(ИГЭУ, Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ANSYS TWIN BUILDER В ИДЕНТИФИКАЦИИ И УПРАВЛЕНИИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Сегодня идентификация параметров асинхронного электропривода является важнейшей задачей, так как точность их определения влияет на многие показатели качества системы управления. Параметры двигателя не являются постоянными, а изменяются в широких пределах, поэтому расчет оптимальных параметров является непростой задачей.

Для упрощения задачи было решено воспользоваться одной из подсистем программного обеспечения ANSYS – ANSYS Twin Builder. Twin Builder позволяет создавать цифровых двойников, которые являются программными аналогами физических устройств. Цифровые двойники моделируют внутренние процессы, технические характеристики и поведение реальных объектов в условиях окружающей среды. Цифровой двойник может применяться на всех этапах жизненного цикла объекта исследования. Он позволяет не только проводить валидацию и оптимизацию на этапе разработки, но и прогнозировать поломки в течение эксплуатации. Еще одним преимуществом Twin Builder является его совместимость с другими продуктами ANSYS, такими как ANSYS Maxwell, ANSYS Icepak, ANSYS Slwave и другими, но и с привычным для многих MATLAB Simulink.

На начальном этапе была проведена проверка совместимости MATLAB Simulink и ANSYS Twin Builder, которая дала положительные результаты. Затем были собраны асинхронные двигатели на основе базовых с одинаковыми параметрами и сверены результаты, которые оказались идентичными.

Далее планируется создание модели привода тягодутьевого вентилятора котлотурбинного цеха ТЭЦ с асинхронным двигателем ДАЗО2 17-69-8. Для проверки адекватности модели были сняты временные диаграммы тока и напряжения статора, а также временные диаграммы с датчиков Холла и датчика внешнего магнитного поля с корпуса двигателя.

Полученная таким образом модель может стать основой для разработки системы автоматического регулирования и идентификации автоматизированного электропривода.

*Д.В. Пыхов, магистрант; рук. Ю.П. Спичков, уч. к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЕКТОРНО-УПРАВЛЯЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА МЕХАНИЗМА ПОДАЧ КОНСОЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ

Консольно-фрезерные станки вертикальные - наиболее распространенный тип станков консольно-фрезерной группы. Анализ современных перспективных моделей данного вида станков с ЧПУ говорит о значительном усложнении функций, выполняемых электроприводами механизмов подачи станков и расширении диапазона регулирования скорости. Эти электропривода должны работать в условиях постоянства момента во всем диапазоне регулирования скорости. Это обеспечивают электропривода постоянного тока с высокомоментными двигателями. В качестве электроприводов механизмов подачи фрезерных станков используются электропривода с векторным управлением на базе асинхронных и синхронных двигателей. Применение регулируемых электроприводов с двигателями переменного тока на основе частотных преобразователей позволит обеспечить работу электродвигателя в режиме оптимального КПД, снижая потребление электроэнергии. Основным качественным показателем является диапазон регулирования скорости. Анализ механизмов подачи консольно-фрезерных станков, выполненных по традиционной схеме (без ЧПУ), показывает, что диапазон регулирования рабочих скоростей не превышает $D = (100-150):1$. Здесь целесообразно применение векторно-управляемого электропривода с асинхронным двигателем. Это высоконадежные двигатели, с небольшим моментом инерции. В этих станках для механизма подачи общий диапазон регулирования скоростей состоит из диапазона режима рабочих подач с возможностью работы с моментом близким к номинальному и диапазона ускоренного режима перемещений с малым моментом нагрузки. Есть возможность применения асинхронного электропривода с двухзонным регулирование скорости. Это соответствует режиму работы двигателя выше области нестабильных скоростей.

В процессе работы составлены математические модели в среде MATLAB, рассчитаны параметры электродвигателей и выбраны параметры их регуляторов. Проведён расчёт переходных процессов в режимах пуска, изменения скорости и отработки «сброс/наброс» нагрузки в системе электропривода с синхронным и асинхронным двигателями.

Библиографический список

1. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока. Иваново, 2008. 297 с.

*К.О. Савин, студ.; рук. В.И. Калашиников, д.т.н., доц.
(ДонНТУ, г. Донецк)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДА АДАПТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ КОНТУРОМ ТОКА ВЕНТИЛЬНО-ИНДУКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время разработка вентильно-индукторных машин (ВИД) стала популярной альтернативой бесщеточным двигателям постоянного и переменного тока. ВИД так же вызывает большой интерес, для использования в тяговых приводах из-за простой и прочной конструкции, высокой надежности и отсутствия редкоземельных элементов. Одним из основных преимуществ использования ВИД в тяговом приводе, является то, что он может создавать высокий крутящий момент двигателя на низких скоростях. Однако проблема акустического шума, вызванная его конструкцией, ограничивает дальнейшие разработки [1].

Поэтому главной задачей является уменьшение пульсаций крутящего момента, это можно осуществить, используя более точные расчеты переключения углов коммутации и применение новых методов управления ВИД.

В данной работе предлагается модель ВИД с топологией 8/6. В качестве управления был выбран метод адаптивного управления током [2].

Полученные графики в пакете Matlab показывают, что применение адаптивного метода значительно уменьшает пульсации крутящего момента, так же дают возможность создания тягового электропривода на базе ВИД, работающего в режиме близком к постоянству мощностях.

Библиографический список

- 1. V. Bilgin** Switched Reluctance Motor Drives: Fundamentals to Applications / Jiang J.W., Emadi A. – CRC Press, 2018. – P. 794.
- 2. G. Schroder, J. Bekiesch** Current Control for the Switched Reluctance Motor with Enhanced Performance, “[2005 European Conference on Power Electronics and Applications](#)”, Dresden, Germany, 2005, doi: [10.1109/EPE.2005.219260](#)

*К.С. Смирнов, студ.; рук. П.В. Вилков, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗИРОВАННЫЙ СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ТРАМВАЯ ДАТ-72

В современном мире, главной задачей в работе любого предприятия является поддержание уровня качества выпускаемой продукции. Чтобы обеспечить контроль и наблюдение за качеством производственного процесса, требуется проведение испытаний готовой продукции. Одним из важнейших атрибутов контроля качества на машиностроительных предприятиях является проведение стендовых испытаний электродвигателей [1].

В состав автоматизированного стенда для исследования тягового электродвигателя трамвая ДАТ-72 входят: автотрансформатор, блок тормозных резисторов, шкаф электроприводов, пульт проверки, испытуемый двигатель ДАТ-72, гонный двигатель, акселерометр, энкодер, датчики температуры, момента, тока и напряжения.

По своей структуре испытательный стенд состоит из рабочего поля, подсистемы нагрузки образца и контрольно-измерительной аппаратуры, приспособленной для снятия показателей реакции исследуемого двигателя ДАТ-72 на нагрузку.

Целью данных испытаний является выявление реакции двигателя на нагрузки и формирование их допустимых значений. При проведении испытаний на стенде двигатель ДАТ-72 получает нагрузки приближенные к реальным условиям эксплуатации или даже специфические – превосходящие реальные.

Преимуществом испытаний на стенде является возможность оценить реакцию двигателя на нагрузку определенного типа и величины при условии сохранения остальных параметров неизменными. Это дает возможность определить скрытые конструктивные недостатки. Кроме того, испытания на стендах чаще всего являются более экономичными в финансовом плане [2].

Библиографический список

1. **Миленина С.А.** Электротехника, электроника и схемотехника : учеб. и практикум для акад./ С. А. Миленина ; под ред. Н. К. Миленина. – Москва: Юрайт, 2016.– 398 с.
2. **Каримов Р.Ш.** Испытательный стенд для электрических машин и электроаппаратуры. Сборник статей Международной научно-практической конференции Инновационные процессы в научной среде: Пермь, 25 апреля 2017 года: сборник статей в 3 частях. Ч.3/ – Уфа: Аэтерна, 2017 г.– 187 с.

*И.А. Фомичев, С.С. Пеганов, Д.Р. Ахмеров, студ.;
рук. П.О. Шабуров, доц.
(ЮУрГУ, г. Челябинск)*

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ПРИВОДЯЩИХ ДВИГАТЕЛЕЙ В РУЛЕВЫХ МЕХАНИЗМАХ РАКЕТ-НОСИТЕЛЕЙ

Традиционно в ракетостроении для привода рулевых механизмов применяются двигатели трех основных типов. К ним относятся - электрогидравлические, электропневматические и электрические. Каждый из этих вариантов имеет свои достоинства и недостатки и для окончательного выбора нужно учитывать специфику конкретной ракеты-носителя. Но с развитием индустрии электрических машин все более привлекательным становится именно вариант чисто электрического привода, так как современные конструкции двигателей лишены многих недостатков своих предшественников.

Очень перспективно выглядит использование вентильных двигателей с полупроводниковыми коммутаторами, которые будут управляются на основе данных с датчика положения ротора (рис. 1).

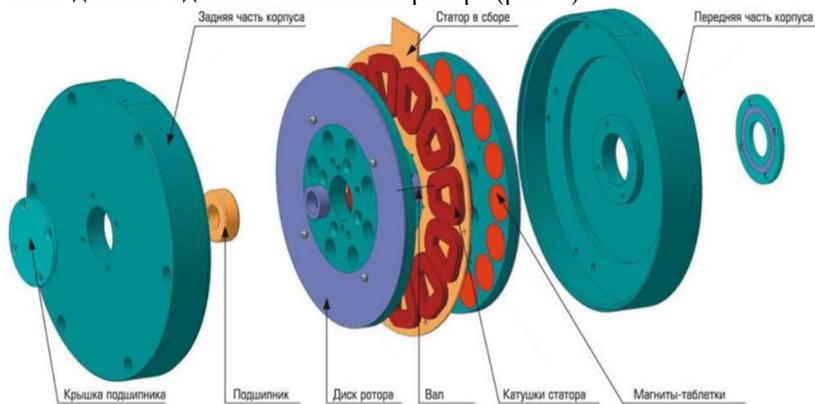


Рисунок 1 – Вентильный двигатель с постоянными магнитами.

Из расчётов для космического аппарата с напряжением бортовой 28 Вольт были получены следующие параметры вентильного двигателя для использования в механизме рулевой машины (табл. 1).

Таблица 1 – Номинальные параметры двигателя

$U_{пит}, В$	$I_n, А$	$J_d, кг \cdot м^2$	$R_{я}, Ом$	$L, Гн$	$D_{тр}, Н/кг 12$
28	100	0,04	0,03	0,000003	324,3

*М.Р. Хабарин, Н.А. Ерехинский, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НАПРАВЛЕНИЯ РАЗВИТИЯ КУРСОВОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Учебным планом программы бакалавриата по направлению подготовки 13.03.02 «Электроэнергетика и электротехника» с направленностью (профилем) академический бакалавр 13.03.02:10 «Электропривод и автоматика» предусмотрена дисциплина «Системы управления электроприводов» (СУЭП), которая реализуется на электромеханическом факультете кафедрой «Электропривод и автоматизация промышленных установок».

Преподавание дисциплины предусматривает следующие формы организации учебного процесса: лекции, лабораторные работы, курсовое проектирование, контроль самостоятельной работы, самостоятельная работа обучающегося.

Тема курсового проекта: «Система управления электроприводом с широтно-импульсным транзисторным преобразователем».

В ходе проектирования закрепляются теоретические знания и приобретаются практические навыки по разработке электрических схем, расчету и выбору элементов силовой части и системы управления электропривода, по разработке математических моделей СУЭП и исследованию установившихся и переходных режимов электропривода.

В докладе приводятся результаты анализа содержания курсового проекта и направления дальнейшего его развития.

В раздел проектирования силовой части электропривода целесообразно ввести следующие дополнения:

- моделирование процесса заряда конденсатора фильтра звена постоянного напряжения в среде Мультисим, Matlab или SimInTech;
- виртуальное моделирование электродвигателя;
- виртуальное моделирование силовых транзисторных широтно-импульсных преобразователей с различными способами коммутации силовых транзисторов.

В разделе исследования статических и динамических характеристик электропривода целесообразно разработать модели линейных и нелинейных СУЭП в лицензионной среде математического моделирования SimInTech.

Приведены модели и результаты исследования электропривода с подчиненным регулированием координат в среде SimInTech.

П.А. Черкунов, И.А. Сеницын, Д.А. Тимофеев, студ.;
рук. П.В. Вилков, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ КВАДРОКОПТЕРОМ С УЛЬТРАЗВУКОВОЙ КОРРЕКЦИЕЙ ПОЛЕТА

В последнее время в современной жизни растет применение мультикоптерных дронов. Наиболее распространенные типы мультикоптерных дронов представляют собой летающую платформу с 3, 4, 6, 8 и 12 бесколлекторными двигателями с пропеллерами [1].

Хотя мультикоптерные дроны просты в изготовлении и относительно дешевы, они имеют много недостатков. Основные из них – ограниченное время полета, грузоподъемность и небольшая скорость. Кроме этого, в условиях городской застройки всегда есть возможность столкновения дрона с препятствием не только в автономном режиме полета, но и под управлением оператора.

Целью предлагаемого проекта является разработка квадрокоптера для автономного полета с предотвращением столкновений с препятствиями.

При этом решаются следующие задачи:

- разработка платформы квадрокоптера с несущими фермами;
- монтаж электрооборудования на платформу квадрокоптера;
- оснащение квадрокоптера датчиковой системой;
- подключение электроприводов и датчиков к микроконтроллеру;
- программирование ультразвуковой системы коррекции полета квадрокоптера (УСКПК).

Микроконтроллер с применением УСКПК будет получать информацию о расстоянии до препятствий с дальномеров, обрабатывать ее и сравнивать с допустимыми значениями. При критических расстояниях до препятствий микроконтроллером будет выдаваться корректирующий сигнал управления на электроприводы квадрокоптера для выполнения уклоняющегося маневра на сторону от препятствия.

Предполагается, что применение УСКПК позволит облегчить массу и габариты квадрокоптера, убрав дополнительную защиту винтов с платформы, а также повысит полезную грузоподъемность или время полета квадрокоптера.

Библиографический список

1. Типы беспилотных летательных аппаратов. Обзор. <https://aviatest.aero/articles/typy-bespilotnykh-letatelnykh-apparatov-obzor/>

*А.А. Чепига, Е.Е. Корытченкова, студ.; рук. А.С. Анучин, д.т.н., доц.
(НИУ «МЭИ», г. Москва)*

РАЗРАБОТКА ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОГО МЕТОДА УПРАВЛЕНИЯ СИНХРОННЫМ РЕАКТИВНЫМ ДВИГАТЕЛЕМ

Синхронные реактивные электродвигатели (СРД) только начинают активно проникать на рынок промышленных электроприводов. Долгое время они не были популярны из-за несколько меньшего коэффициента мощности, чем у АД, что требует завышения установленной мощности инвертора. Второй фактор – невозможность работать при питании от сети – сдерживал их выход на рынок. Но с массовым переходом на частотно-регулируемый электропривод эти двигатели начали набирать популярность.

Практического применения в транспорте СРД пока не получил, однако работы по исследованию данного типа привода в транспортных применениях ведутся. Для приводов неширокого диапазона регулирования такой привод подходит, но уступает АД при том же питающем преобразователе [1]. Поэтому важной задачей для исследователей является поиск оптимального способа управления данным двигателем для улучшения его динамических показателей.

Для управления СРД зачастую применяют стратегию МТРА (максимальный момент на один ампер), которая обеспечивает минимизацию омических потерь в статорных обмотках, однако ограничивает скорость реакции на изменение задания моментом по сравнению с классической системой векторного управления, для которой характерно постоянство тока намагничивания машины [2].

В данной работе предлагается метод управления СРД, включающий в себя лучшие качества двух классических подходов (МТРА и векторной системы) и разработанный при помощи прогнозирующей модели.

В результате проведенных экспериментов в пакете MATLAB, было выявлено, что разработанный алгоритм имеет высокие динамические показатели по сравнению с классическими системами управления.

Библиографический список

1. S. M. Ferdous, P. Garcia, M. A. M. Oninda and M. A. Hoque, "МТРА and Field Weakening Control of Synchronous Reluctance motor," 2016 9th International Conference on Electrical and Computer Engineering (ICECE), Dhaka, 2016, pp. 598-601, doi: 10.1109/ICECE.2016.7853991.

2. S. Piriienko, U. Ammann, M. Neuburger, "Influence of the Control Strategy on the Efficiency of SynRM Based Small-Scale Wind Generators," 2019 IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Melbourne, Australia, 2019, pp. 280-285, doi: 10.1109/ICIT.2019.8755122.

СЕКЦИЯ 21
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И
МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

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

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

Д.Р. Ахмеров, С.С. Пеганов, И.А. Фомичёв, студ.;
рук. П.О. Шабуров, доц. (ЮУрГУ, г. Челябинск)

РАСЧЁТ ГАБАРИТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ ЭЛЕКТРОНАСОСНОЙ СИСТЕМЫ ПОДАЧИ КОМПОНЕНТОВ ТОПЛИВА

Электронасосная система подачи компонентов топлива является перспективным направлением в области ракетостроения. На данный момент первым ракетным двигателем, который использует подачу топлива с использованием электрического насоса является двигатель Rutherford (рис. 1.) ракеты – носителя Electron компании Rocket Lab. Данный двигатель в качестве топливной пары использует керосин и жидкий кислород.



Рисунок 1 – Двигатель Rutherford

Главным преимуществом использования электрического насоса является его простота, исключающая любые газогенераторные и турбинные системы, которые являются одними из наиболее сложных в реализации конструкций современных ЖРД. К тому же, они легко управляются для очень точной регулировки состава топлива и возможностей дросселирования. Но нельзя обойтись и без недостатков. Главным из них является тяжелый блок аккумуляторов. Однако, использованные АКБ сбрасываются в ходе запуска ракеты [1].

Библиографический список

1. **Alpha Centauri** // О двигателе Rutherford. – URL: <https://thealphacentauri.net/25345-o-dvigatеле-rutherford/>

*В.С. Белов, студ.; рук. Ю.И. Страдомский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГИДРОДИНАМИКИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ НА РАБОТУ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

В традиционной конструкции магнитожидкостного герметизатора (МЖГ) магнитная жидкость (МЖ) располагается в кольцевом зазоре между гладкой вращающейся поверхностью вала и зубчатой неподвижной поверхностью полюсной приставки. Стационарное, ламинарное течение несжимаемой ньютоновской ($\eta = \text{const}$) МЖ в зазоре МЖГ характеризуется уравнением Навье-Стокса

$$\rho \cdot [(\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{v}] = -\nabla p + \nabla \cdot \left(\eta \left(\nabla \mathbf{v} + (\nabla \mathbf{v})^T \right) \right) + \mathbf{F}, \quad \mathbf{F} = \rho \cdot \bar{\mathbf{g}} + \mu_0 \cdot \mathbf{M} \cdot \nabla H. \quad (1)$$

Здесь: \mathbf{v} , p , ρ и η – соответственно скорость, давление, плотность и динамическая вязкость МЖ; \mathbf{F} – внешние силы (тяжести и магнитные); \mathbf{M} – намагниченность МЖ; H напряженность магнитного поля.

На основе совместного решения методом конечных элементов задачи гидродинамики согласно уравнению (1) и задачи магнитостатики было проведено исследование распределения давления в МЖ, заполняющей зазор под одним зубцом МЖГ, в диапазоне изменения линейной скорости на поверхности $v_B = 0 \div 100$ м/с. В статическом режиме при $v=0$ линии уровня $p = \text{const}$ практически совпадают с линиями $H = \text{const}$, поскольку магнитные силы существенно превышают силы тяжести. При этом расчетный перепад давлений, который способен удержать один зубец, составил $\Delta p = 37500$ Па = 0,37 атм. При увеличении скорости вращения вала под влиянием инерционных сил, действующих на МЖ, линии $p = \text{const}$ деформируются в направлении от поверхности вала к неподвижной поверхности полюсной приставки. В результате удерживаемый перепад давлений Δp уменьшается согласно таблице. Данный подход позволяет оценить влияние скорости вращения вала на работоспособность МЖГ.

Таблица 1. Влияние скорости на поверхности вала на перепад давлений, удерживаемый одним зубцом МЖГ

v_B , м/с	0	10	20	40	80	100
Δp , атм	0,375	0,365	0,335	0,26	0,09	0

*Д.А. Брыксин, маг.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДВИЖЕНИЯ

Зачастую, среди производств, где необходимо использование электрических машин, возникает потребность в возвратно-поступательном движении подвижного элемента.

Обычно, к традиционным электрическим машинам присоединяется дополнительное механическое устройство, преобразующее вращательное движение в возвратно-поступательное. Это приводит к снижению надежности устройства, а также к увеличению потерь, габаритов и стоимости. Чтобы исключить подобные проблемы, целесообразно использовать электрические машины возвратно-поступательного движения [1,2].

В настоящей работе:

- рассмотрены принципы действия и конструкции различных электрических машин возвратно-поступательного движения;
- выбрана наиболее эффективная конструкция;
- сформулировано техническое задание на проектирование электрической машины возвратно-поступательного движения;
- выполнен проект и поверочные расчёты машины;
- выполнен анализ влияния размеров машины на её рабочие свойства. Создана полевая модель мгновенного состояния машины в ELCUT и Maxwell.

Библиографический список

1. Хитерер М.Я., Овчинников И. Е. // Синхронные машины возвратно-поступательного движения. – СПб.: КОРОНА принт, 2004. – 368 с.
2. Копылов А.М. // Совершенствование конструкции синхронной электрической машины возвратно-поступательного действия с применением генетического алгоритма // Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. Казань. 2018. -148с.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ВОЗВРАТА ПРИ СДВИГЕ СЛОЯ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

В промышленных устройствах все чаще применяются магнитоуправляемые электромеханические демпферы на основе магнитной жидкости. Появляется сильная заинтересованность в возможности управления силовой характеристикой и эффективностью демпфирования в широком диапазоне работы демпфера путем изменения магнитного поля в его рабочем зазоре. В области малых градиентов скорости сдвигового течения вязкость МЖ особенно велика из-за её структурирования в магнитном поле. Магнитные частицы образуют цепочечные структуры в зазоре магнитной системы демпфера. Большой интерес вызывает поведения магнитной жидкости в областях малых скоростей сдвига, особенно в области упругих сдвигов, когда цепочечные структуры ещё не начинают разрушаться.

Известны выражения определения энергии магнитного взаимодействия двух рядом находящихся цепочечных структур [1], а также сил взаимодействия магнитных частиц в одной цепочечной структуре магнитной жидкости [2]. Формулы расчета расстояний между цепочечными структурами в слое магнитной жидкости любой концентрации магнитной фазы приведены в [3].

На основе этих выражений следует определить расчётные формулы сил, возвращающих подвижную пластину при сдвиговом смещении её относительно неподвижной поверхности при наличии внешнего поперечного к поверхностям магнитного поля и значения этого поля. Получение выражения в виде, пригодном для инженерного использования, позволит разрабатывать новые конструктивные решения упругих магнито-жидкостных демпфирующих устройств и создать методику их проектирования.

Библиографический список

1. Диканский Ю.И., Вегера Ж.Г., Суздаев В.Н., Смерек Ю.Л. О магнитных жидкостях с дисперсией немагнитных включений различной формы / 10-я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям (Плесь, 6 – 9 сентября 2002 г.) – Иваново, 2002. – С. 108 – 113.
2. Розенцвейг, Р. Феррогидродинамика. / Р. Розенцвейг, пер. с англ. – М.: Мир, 1989.
3. Морозов Н.А., Егоров И.С. Цепочечные структуры в магнитоуправляемых коллоидах во внешнем магнитном поле / 19-я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям (Иваново, 6 – 9 сентября 2020 г.) – Иваново, 2020. – С. 111 – 115.

*А.А. Каржевин, асп.; рук. А.И.Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЕКТОРНАЯ ДИАГРАММА ТРАНСФОРМАТОРА В MATLAB SIMULINK

При разработке специальных и преобразовательных трансформаторов существует проблема выбора схемы обмотки. Особенно актуальна данная проблема при проектировании преобразовательных трансформаторов для многопульсных выпрямителей. Для диагностики режимов работы таких трансформатора на стадии проектирования повышенной наглядностью обладают векторные диаграммы. По ним можно судить о характере и величине нагрузки при различных условиях работы. Диаграммы являются важной частью при описании теории принципа действия разных типов трансформаторов. При проектировании преобразовательных трансформаторов для многопульсных выпрямителей векторные диаграммы позволяют правильно выбрать схему соединения отдельных секций обмоток. Таким образом, автоматизация процесса построения векторных диаграмм для трансформаторов произвольной конструкции является актуальной задачей.

Разработан алгоритм для построения векторных диаграмм в пакете MatLab (рис. 1). Данный способ позволяет производить построения на основе данных, получаемых с моделей трансформаторов, созданных в среде MatLab Simulink SimPowerSystems. В работе описано построение диаграммы для модели идеального однофазного трансформатора, работающего в режиме холостого хода, в режиме нагрузки и в режиме КЗ, а также применение данного подхода к модели трансформатора Скотта. Для получения необходимых данных происходит сбор необходимых данных с модели, дальнейшая их фильтрация от математических погрешностей и шумов с последующим выделением основных гармонических из имеющихся зависимостей напряжения и тока.

Разработанную модель планируется использовать в поверочных расчетах специальных и преобразовательных трансформаторов.

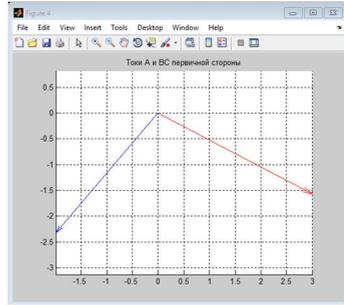
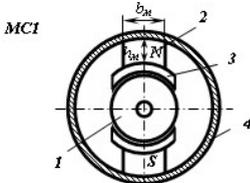


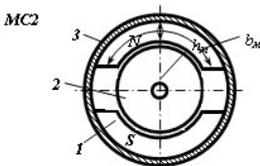
Рис. 1. Векторы токов первичной стороны трансформатора Скотта в режиме ХХ

М.А Киселев, студ.; рук. В.П Шишкин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

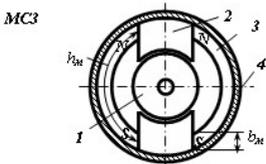
АНАЛИЗ МАГНИТНЫХ СИСТЕМ В ДВИГАТЕЛЯХ ПОСТОЯННОГО ТОКА С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ



Магнит в форме параллелепипеда: 1 – якорь; 2 – постоянный магнит (полюс); 3 – полюсный наконечник; 4 – стальной корпус



Магнит в форме скобы: 1 – постоянный магнит; 2 – якорь; 3 – стальной корпус



Магнит в форме скобы: 1 – якорь; 2 – полюс из магнетомягкой стали; 3 – постоянный магнит; 4 – алюминиевый корпус

эрцитивной силой.

В настоящее время микромашины постоянного тока получили широчайшее распространение в приводах, линейных актуаторах, а также в различных транспортных средствах. Целью данной работы является анализ различных магнитных систем, а также сравнение показателей этих систем, при использовании различных постоянных магнитов.

Всего в работе было рассмотрено 3 магнитных системы, и 3 постоянных магнита.

Из анализа MC1 видно, что для нее наиболее оптимальны магниты с высокой коэрцитивной силой и остаточной индукцией. Для MC2 лучше подойдут магниты с высокой коэрцитивной силой и низкой остаточной индукцией. Для MC3 следует выбирать магниты с высокой остаточной индукцией и низкой ко-

Библиографический список

1. Шишкин В.П. Автоматизированный расчет электродвигателей постоянного тока малой мощности с постоянными магнитами: Учеб. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2021. – 112 с.

А.П. Корепов, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ТОКА ЧЕРЕДУЮЩИХСЯ ПАЗОВ РОТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Повышенный пусковой момент при сохранении энергетических показателей асинхронного двигателя позволяет достичь применение чередующихся пазов в роторе (рис. 1,а). Одна форма пазов обеспечивает повышенные пусковые показатели, другая форма пазов - хорошие энергетические показатели в номинальном режиме работы. По методике [1] с изменениями на основе работы [2] рассчитан шести полюсный АД 25 кВт с чередующимися пазами в роторе. На основе полевой модели АД в Ansoft Maxwell получены зависимости изменения токов в рабочих и пусковых пазах при изменении частоты вращения ротора (рис. 1,б).

Энергетические показатели АД с одинаковыми и чередующимися па-

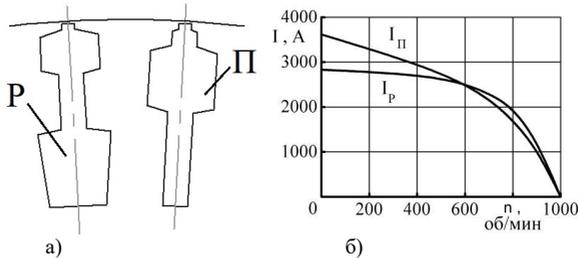


Рис. 1. Чередующиеся пазы в роторе (а) и изменения токов в них при изменении частоты вращения ротора (б): п – пусковой паз; р – рабочий паз

зами в роторе в номинальном режиме практически совпали. Пусковой момент АД с чередующимися пазами увеличен на 40 % по сравнению с АД с одинаковыми пазами, при увеличении пускового тока на 14 %

Библиографический список

1. **Копылов И.П.** Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под. ред. И.П. Копылова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993. – 464 с., ил.

2. **Корепов А.П.** Расчет характеристик асинхронного двигателя с чередующимися пазами на роторе / А.П. Корепов, Ю.Б. Казаков // РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: XXVI Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. - М.: ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2020. - С. 358.

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

МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ДВИГАТЕЛЬ ОБРАЩЕННОЙ КОНСТРУКЦИИ ДЛЯ ПРИВОДА МАЛОЙ КОЛЕСНОЙ ТЕХНИКИ

Магнитоэлектрические двигатели обращенной конструкции обеспечивают хорошие показатели крутящего момента и полезной мощности при относительно малых габаритах. Особенности данного типа двигателей являются нестандартный многополюсный внешний ротор и обмотка статора. По методике [1] с изменениями на основании [2] и [3] была рассчитана 16 полюсная синхронная машина 14 кВт с постоянными магнитами обращенной конструкции. В данной машине статор имеет 18 зубцов и трехфазную двухслойную обмотку (рис 1)

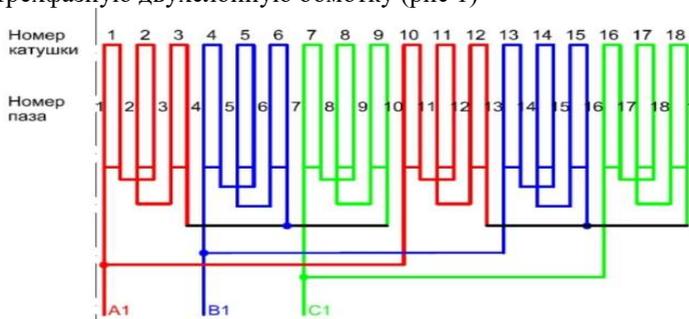


Рис 1. Схема обмотки

Данная обмотка имеет пазовый угол 160° , число пазов на полюс и фазу $q=0.375$ и 8 витков на одну зубцовую катушку. При данных параметрах были рассчитаны. Коэффициенты укорочения, распределения обмотки и обмоточный коэффициент: $k_y = \sin(\beta\pi/2) = 0.9848$; $k_p = 3/\pi = 0.955$; $k_0 = k_y k_p = 0.94$. В итоге данный двигатель обеспечивает те же механические и энергетические показатели, но имеет на 40% меньший размер по сравнению с обычным двигателем типа СДН.

Библиографический список

1. **Копылов И.П.** - Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под. ред. И.П. Копылова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1993.-464 с., ил.
2. **И.Л.Осин, Ю.Г. Шакарян** – Электрические машины: Синхронные машины: Учеб. пособие для вузов по спец «Электромеханика»/Под ред. И.П. Копылова – М.: Высш. шк.; 1990. – 304 с.: ил.
3. **Балагуров В.А.** – Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для студентов вузов. – М.: Высш. школа, 1982. – 272с.: ил.

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ ДВУХОБМОТОЧНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

В настоящее время к проектированию электротехнического оборудования, в частности, трансформаторов предъявляются требования повышения точности поверочных расчетов.

В частности, одной из проблем проектирования трансформаторов является проблема расчета параметров КЗ, в частности, напряжения КЗ, которое определяется, в первую очередь, характером полей рассеяния. Таким образом, актуальной является проблема разработки методик и математических моделей для расчета параметров КЗ трансформаторов.

Среди существующих методик определения напряжения короткого замыкания можно выделить методику, основанную на решении осесимметричной задачи расчета магнитного поля методом конечных элементов. В данной задаче имитируется опыт короткого замыкания. Для этого задаются одинаковые по величине, но разные по знаку намагничивающие силы обмоток

$$F_1 = i_1 w_1 = -F_2 = -i_2 w_2, \quad (1)$$

где i_k, w_k – соответственно ток и число витков в k -й обмотке.

На границах области задаются условия Дирихле, что соответствует полному вытеснению магнитного потока из сплошной проводящей среды. Индуктивность рассеяния k -й обмотки рассчитывается по формуле

$$L_{\sigma k} = \frac{\Psi_{\sigma k}}{i_k}, \quad (2)$$

где $\Psi_{\sigma k}$ – полученное из расчета магнитного поля потокоцепление k -й обмотки; i_k – ток в k -й обмотке.

Собственно расчет напряжения короткого замыкания с помощью модели переходных режимов в трансформаторе, реализованной в MATLAB Simulink. Для этого имитируется опыт короткого замыкания и подбирается такое входное напряжение, которое обеспечивает номинальный ток в первичной и вторичной обмотках.

В настоящее время решается проблема поиска более корректных граничных условий полевой задачи для повышения точности расчетов индуктивности рассеяния.

*А.А. Семко, маг.; рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

МЕТОДЫ И СПОСОБЫ ДИАГНОСТИКИ ПОВРЕЖДЕНИЙ В ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИНАХ

Электрические машины являются основными устройствами преобразования энергии. Среди них широкое распространение получили асинхронные и синхронные машины. В основном они применяются на различных предприятиях для привода различного оборудования, как двигатели собственных нужд ТЭЦ и ТЭС, основное оборудование насосных станций.

Как и всё сложное оборудование, электрические машины подвержены износу, а впоследствии и поломкам. Потеря работоспособности машин большой мощности влечет за собой экономические потери от неполучения продукции для двигателей и очень значительные штрафы для энергетических холдингов. Поэтому разработка системы диагностики электрических машин является актуальной задачей [1].

В настоящее время существует большое количество методов и способов оценки состояния электрической машины. Все они подразделяются на 3 типа:

1. Методы диагностики электрических машин по потребляемой энергии;
2. Методы диагностики электрических машин с помощью приборов и датчиков внутри корпуса;
3. Методы диагностики электрических машин по внешнему электромагнитному полю;

Результаты компьютерного моделирования показывают наличие взаимосвязи между повреждениями внутри машины и гармоническим составом внешнего электромагнитного поля. Мониторинг внешних магнитных полей позволяет не внедрять датчики вовнутрь машины для контроля её состояния, что делает это направление диагностики наиболее перспективным [2].

Библиографический список

1. **Полищук В.И.** Развитие теории построения систем диагностики синхронных машин.// АВТОРЕФЕРАТ диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук.// Самара - 2016 г. - С. 3–5.
2. **Казаков, Ю.Б.** Модельные несимметрии внешнего электромагнитного поля при повреждаемости синхронных генераторов / Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, И.В. Гуляев // Электротехника. - №1, 2019. – С. 13-18.

*К. Серета, маг.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

АВТОРЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО СИНХРОННОГО ГЕНЕРАТОРА С ВОЗБУЖДЕНИЕМ ОТ ТРЕТЬЕЙ ГАРМОНИЧЕСКОЙ ПОЛЯ

При работе синхронного генератора в автономном режиме величина вырабатываемого напряжения зависит от величины тока и характера нагрузки. Изменение напряжения может достигать десятков процентов, что объясняется большим индуктивным сопротивлением обмотки якоря. Для стабилизации напряжения необходимо регулировать ЭДС возбуждения и, следовательно, ток возбуждения.

В синхронных генераторах, возбуждаемых от третьей гармонической поля, возможно осуществить автоматическое изменение величины тока возбуждения с ростом тока нагрузки за счёт изменения насыщения краёв полюсных наконечников [1]. В указанной работе показана перспективность использования предложенного способа авторегулирования величины напряжения генератора. Выявлены положительные и отрицательные свойства этого способа авторегулирования на показатели генератора.

Настоящая работа посвящена анализу рабочих свойств автономного синхронного генератора, возбуждаемого от третьей гармонической поля. Рассмотрены различные способы усиления третьей гармонической поля в зазоре и сопутствующие изменения основной гармонической поля. Полевые расчёты выполнены при помощи программ Ansys Maxwell и Elcut. Показатели генератора рассчитаны по инженерной методике.

Библиографический список

1. Автономный синхронный генератор с возбуждением от третьей гармоники поля: [Диссертация]. – Арутюнян В.С. Ленинград. 1990

А.С. Табачинский; рук. П.Ю. Грачев, д.т.н., доц.,
(СамГТУ, г. Самара)

РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ МАШИН ПЕРЕМЕННОГО ТОКА С УМЕНЬШЕННЫМ ВЫЛЕТОМ ЛОБОВЫХ ЧАСТЕЙ

Известны исследования энергоэффективных конструкций машин переменного тока, позволяющих значительно снизить вылет лобовых частей. Среди предлагаемых конструктивных решений особенно перспективны т.н. «компактные» обмотки машин, которые позволяют снизить активные потери в обмотке машины одновременно с улучшением массо-габаритных показателей.

На основании проведённого численного моделирования электромагнитного и теплового полей в таких машинах, были даны рекомендации по совершенствованию конструкции лобовых частей, выполнение которых позволяет упростить технологию изготовления компактных обмоток и привести к дальнейшему снижению потерь в машине.

Схема компоновки асинхронной машины с компактной обмоткой представлена на рис. 1.

Технология изготовления стержневой двухслойной обмотки компактной конструкции, позволяющая выполнить лобовые части без зазора относительно сердечника с минимальным вылетом лобовых частей, включает предварительное формирование лобовых частей обоих торцов по отдельности, а затем их монтаж непосредственно в сердечнике путём сварки, пайки или прочими технологическими операциями, обеспечивающими минимальное переходное электрическое сопротивление и механическую прочность.

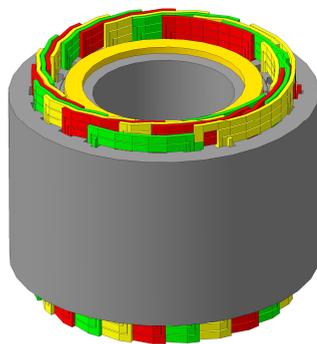


Рис. 1. Машина с компактной обмоткой статора

Библиографический список

1. Грачев П.Ю., Табачинский А.С. Применение метода конечных элементов для расчета активного сопротивления обмоток электрических машин // Электричество. 2019. №12. С. 35-41.
2. P.Yu. Grachev, A.S. Tabachinskiy, P. Kanagavel. New stator construction and simulation of high efficiency wind turbine generators // IEEE Transactions on Industry Applications. 2020. Vol. 56, issue 2. С. 1389-1396.

*Г. Шеременда, студ.; рук. В.П. Шишкин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ИЗЫСКАНИЯ ОПТИМАЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ РОТОРА ОДНОФАЗНОГО СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

В системах автоматики, 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 90^0 . Одна обмотка включается в сеть непосредственно, другая – через конденсатор (рис. 1). 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. Данный вид двигателей обладает достаточно небольшими энергетическими показателями. При этом у однофазного синхронного реактивного двигателя хорошие массо-габаритные показатели по сравнению с аналогичными двигателями других видов.

В настоящее время однофазные синхронные реактивные двигатели изучены плохо, информации про способы их оптимизации практически нет. Поэтому различные пути повышения КПД, энергетического коэффициента, исследование и улучшение пусковых и рабочих характеристик – все это является перспективной, малоизученной и актуальной областью развития.

Повышение показателей однофазного СРД будет достигнуто при поиске оптимального вида пазов ротора, их размеров. Также перспективным является подробное изучение магнитного поля двигателя. Рассчитанные и построенные картины магнитного поля по продольной и поперечной осям (для определения k_d и k_q , x_{ad} и x_{aq}), в конечном итоге помогают определить оптимальную конструкцию ротора (при наличии полной пусковой обмотки).

Приведены результаты расчётов. Выполнено сравнение результатов, полученных в средах «Mathcad» и «Ansoft Maxwell».

Библиографический список

1. **Захаров А.В.** Перспективы технического применения синхронных электродвигателей с анизотропной магнитной проводимостью ротора. // Состояние и перспективы развития электро- и тепло технологии, 2015, 124-127 стр.
2. **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.

СЕКЦИЯ 22
МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ

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

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

Р.В. Бельцов, студ., рук. А.А. Анисимов, д.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ЭТАЛОННОЙ МОДЕЛИ С КОНТУРОМ АДАПТАЦИИ ДЛЯ НАСТРОЙКИ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Теория адаптивных систем возникла в связи с необходимостью решения широкого класса прикладных задач, для которых неприемлемы традиционные методы, требующие знания адекватной математической модели объекта. На практике достаточно трудно обеспечить точное математическое описание объекта управления. В этих условиях традиционные методы часто оказываются неприменимыми либо не обеспечивают требуемое качество системы автоматического управления. **Эталонная модель** показывает идеальную желаемую реакцию системы на задающий сигнал $g(t)$. В качестве эталонной модели применяют типовые звенья систем автоматического управления. Параметры регулятора настраиваются так, чтобы минимизировать рассогласование между выходом модели и реальной системы. Задача контура настройки состоит в том, чтобы свести это рассогласование к нулю за определенное время с гарантией устойчивости переходного процесса.



Рис.1 Блок-схема адаптивной системы с эталонной моделью

Библиографический список

1. Анисимов А.А. Структурно-параметрический синтез, оптимизация и настройка систем управления технологическими объектами – Иваново: ИГЭУ, 2015. – 296 с.

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

ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ В СИСТЕМАХ АВТОУПРАВЛЕНИЯ

Всё больше применение в промышленности находят системы автоматизации исследований и обработки данных и автоматизация управления технологическими и производственными процессами. Эти системы основываются на получении, преобразовании и обработки информации о текущем состоянии объекта. Приборы и устройства, решающие эти проблемы, объединяются в измерительные системы [1].

Измерительные преобразователи в современных системах осуществляют связь системы контроля с контролируемым объектом. Для обеспечения достоверности контроля каждого параметра измерительные преобразователи должны быть согласованы по входному сопротивлению, динамическому диапазону и погрешности с блоком или устройством контролируемого объекта, а также по уровню входного и выходного сигнала с линией связи. Т.е. измерительные преобразователи в системах управления, это функциональные элементы, обеспечивающие пассивную и активную информационную связь между контролируемым объектом и системой контроля.

Измерительные преобразователи характеризуются статическими и динамическими характеристиками, в свою очередь, под динамической характеристикой следует понимать поведение выходной величины во время переходного процесса в ответ на мгновенное изменение его входной величины.

Учёт динамических характеристик очень важен в системе автоуправления, поскольку они характеризуются целым рядом параметров, дающих представление о скорости нарастания сигнала, запаздывании, перерегулировании, времени установления и т.д.. Всё это может вносить изменения в работу системы в целом, поэтому, считаю важным, провести исследования различных измерительных преобразователей мехатронных систем на их динамические и статические параметры.

В данной работе исследуются измерительные преобразователи и их влияние на системы управления и как эти преобразователи учитываются в схемах автоуправления.

Библиографический список

1. Рогов В.А., Чудаков А.Д. Технические средства автоматизации и управления. Москва: Юрайт, 2018, 352с.

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ЗОНОЙ ДЕФОРМАЦИИ ТРАНСПОРТИРУЕМОГО МАТЕРИАЛА

Общие тенденции совершенствования технологических агрегатов в текстильной, бумагоделательной, металлургической отрасли промышленности состоят в увеличении количества включаемых в единый поток машин, максимальном сокращении размеров технологических зон, повышении рабочих скоростей и расширении суммарного скоростного диапазона, раздельном приводе рабочих органов с целью увеличения производительности, улучшения качества и расширении ассортимента выпускаемой продукции [1].

Необходимым условием для реализации больших возможностей технологий в поточно-непрерывных агрегатах по производству ленточных и волоконных материалов является достижение высокой степени согласованности движений агрегируемых машин во всех режимах работы оборудования, обеспечения возможности независимого управления общим уровнем скорости всего агрегата и относительными скоростями его составляющих в соответствии с требованиями [2].

Создание системы автоматического управления, удовлетворяющей всем требованиям, состояло из трех этапов:

Анализ возможности систем модального управления с различными типами регуляторов для построения САУ локальным электроприводам, обладающей робастными свойствами.

Синтез регулятора, обеспечивающий линейные свойства зоны деформации при изменении скорости транспортирования обрабатываемого материала.

Конструирование адаптивного регулятора натяжения, обеспечивающего стабильность свойств САУ при вариациях модуля упругости материала.

Библиографический список:

1. **Дж. Н. Дочвири.** Оптимизация переходных процессов многодвигательных тиристорных электроприводов с упругими связями для прессовых механизмов непрерывных технологических машин. Ж: Электричество №2, 2006. 34с.

2. **Тарарыкин С. В.** Принципы управляемой синхронизации машин в технологических агрегатах для производства ленточных и волоконных материалов : дис. ... доктора технических наук : 05.02.13.- Санкт-Петербург, 1992.

*А.П. Коньков, В.В. Королёв, студ.; рук. А.И. Терехов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

BLUETOOTH LOW ENERGY - ОТ ДОСТУПА К МАШИНЕ ДО КОНТРОЛЯ ДАВЛЕНИЯ В ШИНАХ

Bluetooth Low Energy находится на пути к тому, чтобы стать повсеместным. По оценкам Bluetooth Special Interest Group, к 2024 году все новые телефоны, планшеты и ноутбуки будут поддерживать Bluetooth Classic и Bluetooth Low Energy [1]. Они также ожидают, что к 2024 году 35% устройств будут поставляться с одним модулем Bluetooth Low Energy, что представляет собой 300% рост ежегодных поставок.

Причина этого - универсальность Bluetooth Low Energy. Bluetooth Low Energy продолжает расширять свои возможности для соответствия новым приложениям. Такие функции как LE аудио, сеть, услуги позиционирования и многое другое, были добавлены для адаптации к растущему спросу в таких приложениях, как отслеживание активности, здоровье и фитнес, Интернет вещей, контроль доступа и многое другое. Благодаря своим универсальным возможностям и широкому использованию в смартфонах, что обеспечивает возможность взаимодействия и немедленное развертывание в существующих системах, Bluetooth Low Energy становится стандартом для множества автомобильных приложений.

Последние тенденции предполагают, что производители автомобилей используют Bluetooth Low Energy для систем контроля давления в шинах, замены кабелей, телематики, беспроводных систем управления батареей, персонализации, интеллектуальных носимых устройств и LE аудио [2].

Библиографический список

1. **Bluetooth** 2020 Market Update [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://www.bluetooth.com/wp-content/uploads/2020/03/2020_Market_Update-EN.pdf
2. **Texas Instruments**. Автомобильная промышленность. [Электронный ресурс]. – Режим доступа: https://e2e.ti.com/blogs_/b/behind_the_wheel.html

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

КОМПЕНСАЦИЯ ЗАЗОРА В КИНЕМАТИЧЕСКОЙ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

В современных системах как никогда необходимо точное позиционирование и быстрое время отклика электромеханических систем, что невозможно при наличии люфта в передаточной системе.

Люфт – зазор, пространство между прилегающими друг к другу поверхностями частей механизма (рис. 1).

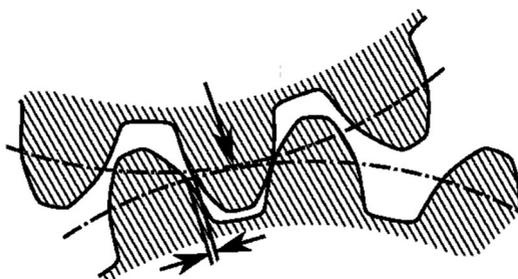


Рис. 1. Схематическое изображение люфта в зубчатой передаче

Устранение люфта в современных системах происходит посредством механических или электронных средств. Основными технологическими решениями для микропроцессорных систем является:

1. Преднагрузка передаточной системы
2. Использование датчика положения на нагрузке
3. Введение заданной компенсации (гистерезиса) в закон движения двигателя
4. Расчет компенсации в процессе работы

Данные методы нейтрализации были промоделированы и проанализированы, определены недостатки и преимущества способов.

*Д.М. Кузьмин, маг; рук. В.В. Аполонский, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МЕТОДЫ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ

Этот метод является основным и имеет ещё одно название — Backpropagation, так как использует алгоритм градиентного спуска. Если представить функцию в виде графика, определяющего зависимость ошибки от веса синапса, то на этом графике необходимо найти точку с минимальным значением ошибки и с максимальным. Оказавшись в определённой точке со значением веса, который распределяется в случайном порядке, вычисляется градиент и определяется направление движения спуска, и так в каждой следующей точке, пока не достигается локальный минимум, не позволяющий дальнейшего спуска.

Следующий метод обучения сети Resilient propagation или Rprop. Предыдущий способ обучения, представленный выше имеет недостаток в виде больших временных затрат на процесс обучения неуместных в случае необходимости получить быстрый результат. Настоящий алгоритм использует в качестве основы обучение по эпохам и применяет только знаки производных частного случая для корректировки весовых коэффициентов.

Третий наиболее интересный алгоритм обучения искусственных нейронных сетей — Genetic Algorithm. Он представляет собой упрощённую интерпретацию природного алгоритма, основанного на скрещивании результатов. То есть происходит скрещивание результатов, выбор наилучших и формирование на их основе нового поколения. В случае если результат не устраивает алгоритм повторяется пока поколение не становится идеальным.

Библиографический список

1. **Методы** обучения нейронных сетей [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <https://livesurf.ru/zhurnal/6068-metody-obucheniya-nejronnyx-setej.html>

*И.К. Овчинников, Р.П. Павликов, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ «УМНОЙ» ТЕПЛИЦЫ С ВОЗМОЖНОСТЬЮ ДИСТАНЦИОННОГО УПРАВЛЕНИЯ

Рассматривается макет теплицы. Целью является обеспечение автоматического полива растений, освещение в условиях недостаточной освещённости, регулирование температуры путём открытия крыши на проветривание и возможность дистанционного управления. Задачи:

1. Создание каркаса
2. Установка компонентов
3. Написание программы
4. Проверка работоспособности

Таблица 1 - Компоненты

Arduino Mega с USB-кабелем
Макетная плата
Датчик влажности почвы 5 В
Цифровой датчик температуры и влажности 3,3–5 В
Датчик уровня воды 5 В
Фоторезистор
Микросервопривод SG90
Часы реального времени 2-5.5В
Реле(до 15А)
Дисплей
Водяная помпа
Инфракрасный приемникVS1838В
Пьезо-излучатель
WiFi датчик ESP8266 (5-12В)

Так как для ухода за посадками необходимо затрачивать много времени и усилий, чтобы получить хороший урожай, то для экономии человеческих сил требуется автоматизация процесса ухода за растениями.

Таким образом, при реализации макета «Умной» теплицы как образец использовался материал [1], некоторые моменты были изменены и подстроены под ограниченный бюджет. В макете использовалась плата Arduino Mega, как элемент управления, датчики: температуры, влажности воздуха, влажности почвы, освещения. Посредством датчиков и предустановленной программы принимается решение о поливе в определённое время суток, в зависимости от температуры окружающей среды. Автополив производится с помощью водяной помпы. На основе информа-

ции, полученной от датчика освещения включается дополнительное освещение, чтобы поддерживать круглосуточный рост растений и созревание плодов. При повышенной влажности и температуре окружающей среды производится открытие створок крыши благодаря установленным сервоприводам. Так же имеется возможность настройки режима работы «на месте», используя установленные кнопки и жидко-кристаллический дисплей. Из-за установленных GSM и Wi-fi становится возможной дистанционная настройка режима полива.

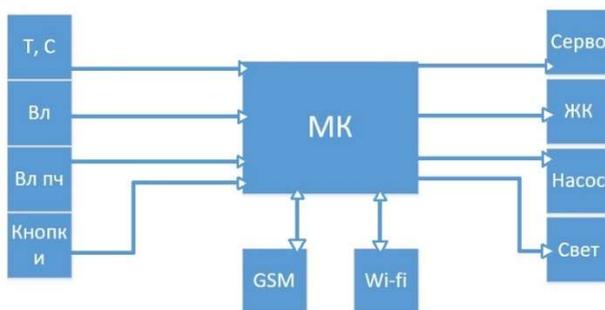


Рис. 1. Схема связи с элементом управления, Т – датчик температуры, Вл – влажности, Вл пч – влажности почвы, Серво – серводвигатель, ЖК – жидко-кристаллический монитор

Данный макет может использоваться для наблюдений за ростом и развитием растений, если установить камеру внутри теплицы. Так же можно использовать для тренировки навыков программирования, чтобы заставить систему работать.

В дальнейшем планируется реализация систему на полноразмерной огородной теплице.

Библиографический список

1. Д.Г. Волохов Магистерская диссертация на тему «Многофункциональная умная теплица», Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Тольяттинский государственный университет», Тольятти 2019, 93 стр.

Д.Н. Шлынов, студ.; рук. Л.Г. Копылова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МИКРОПРОЦЕССОРНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ТРАНСПОРТИРОВАНИЕМ БУМАЖНОГО ПОЛОТНА

Процесс производства бумажного полотна подразумевает управление транспортированием изготавливаемого материала. Для этого служит микропроцессорная система управления, которая является ключевым узлом бумагоделательной машины, обеспечивающим качество производимой продукции.

В данной работе представлен синтез устройств, позволяющих обеспечить выполнение заданных технических требований при управлении натяжением при транспортировании бумажного полотна для электромеханической системы, содержащей два электропривода, представленной на рис. 1.

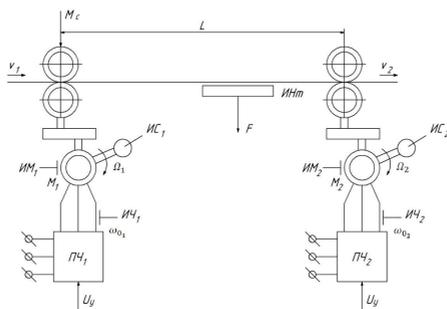


Рис. 1. Функциональная схема электромеханической системы транспортирования бумажного полотна

В ходе работы реализованы аналоговые и дискретные регуляторы, был выполнен расчет двухзвенного преобразователя частоты. Микропроцессорная система управления была реализована на микроконтроллере STM32F407xx.

Библиографический список

1. Копылова Л.Г. Проектирование аналого-цифровой системы автоматического управления электромеханическим объектом: Учеб. - метод. пособие / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2018. – 88 с.
2. Руденко В.С., Сенько В.И., Чиженко И.М. Основы преобразовательной техники: Учебник для вузов.–2-е изд., перераб. и доп.– М.: Высш. школа, 1980.– 424 с., ил.

*И.А. Сеницын, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПИД – РЕГУЛЯТОР ПОЛОЖЕНИЯ ШАРИКА ДЛЯ ПИНГ-ПОНГА

Работа регулятора заключается в изменении конфигурации платформы в зависимости от места падения шарика. Местоположение шарика на платформе определяется с помощью четырех установленных на платформе ультразвуковых дальномеров HC-SR04. Дальномеры установлены таким образом, чтобы перекрывались слепые зоны каждого из них (слепой зоной дальномера является расстояние от него до препятствия, меньшее 3 см).

Изменение конфигурации платформы происходит посредством изменения угла поворота сервоприводов, установленных в основании платформы (см. Рис.1).

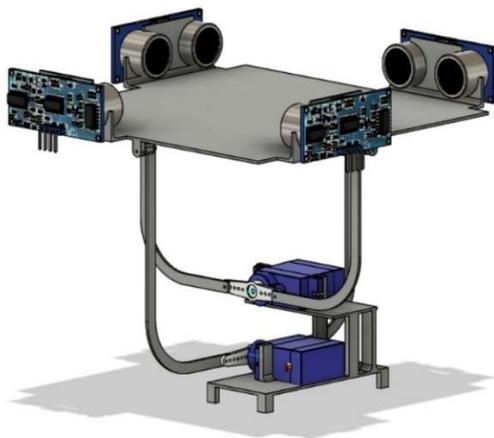


Рис.1 – 3D модель платформы в сборе

Рассмотрим более подробно механизм обработки и изменения положения платформы. Получение и обработка данных с дальномеров, а также управление сервоприводами осуществляется микроконтроллером на платформе Arduino. Площадь платформы условно разделена на четыре сектора, каждому из которых соответствует дальномер, а точнее интервал снимаемых с него значений, и угол поворота сервоприводов. При падении шарика на платформу, по снимаемым с дальномеров значениям

определяется сектор падения, после чего происходит изменение положения платформы посредством изменения угла поворота сервоприводов.

Перспективы использования данного ПИД-регулятора состоят в применении его в качестве стенда для лабораторных работ по дисциплинам, связанным с программированием микроконтроллеров (Аппаратное и программное обеспечение микропроцессорных систем, Прикладная информатика).

Библиографический список

1. <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>
2. <http://wiki.amperka.ru/articles:servo>

*И.А. Синуцын, студ.; П.А. Черкунов студ.; Д.Е. Тимофеев студ.;
рук. Г. В. Долунц (ИГЭУ, г. Иваново)*

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ СИСТЕМА КОРРЕКЦИИ ПОЛЕТА КВАДРОКОПТЕРА

Ультразвуковая система коррекции полета квадрокоптера (УСКПК) предназначена для предотвращения столкновений квадрокоптера с препятствиями [1]. В систему входит комплекс ультразвуковых датчиков, расположенных на лучах квадрокоптера, и плата управления, подключенная между приемным устройством квадрокоптера и его полетным контроллером.

В задачи УСКПК входит получение данных о расстояниях до препятствий с датчиков, их обработка и проверка с допустимыми значениями расстояний, проверка входного сигнала с приёмного устройства и, в зависимости от значения данных с датчиков, его соответствующая коррекция. В случае, если оператор направляет квадрокоптер в сторону препятствия, и расстояние от него до квадрокоптера меньше допустимого, то система корректирует сигнал, поступающий с приёмного устройства, так, чтобы квадрокоптер выполнил движение в обратную от препятствия сторону. Изменение сигнала происходит до тех пор, пока квадрокоптер не наберет безопасное расстояние

Степень внедрения – разработан квадрокоптер с креплениями для датчиков и подготовлена полностью готовая к испытанию система коррекции полета квадрокоптера.

Библиографический список

1. <https://arduinomaster.ru/datchiki-arduino/ultrazvukovoj-dalnomer-hc-sr04/>

СЕКЦИЯ 23
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

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

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

ПРОБЛЕМЫ ЗАЩИТЫ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ПРИ РЕВЕРСНОМ ИНЖИНИРИНГЕ

Реверсный инжиниринг, реверс-инжиниринг (англ. reverse engineering) в настоящее время представляет высокотехнологичный процесс копирования объекта по уже готовому образцу. Применяется в машиностроительной, аэрокосмической, судостроительной и других промышленных областях.

До недавнего времени реверс-инжиниринг начинался с трудоемкого процесса обмера детали (изделия) вручную или с помощью контактных контрольно-измерительных машин. С появлением трехмерных сканеров процесс стал автоматизированным, позволяющим на основе полученных данных, почти одновременно со сканированием, создавать твердотельную трехмерную модель. На основе полученной модели разрабатывают конструкторскую документацию, осуществляют анализ и доработку конструкции, адаптируют конструкторскую и технологическую документацию к существующим реалиям производства, создают трехмерный прототип на 3-d принтере.

Так как обратный инжиниринг применяют для воссоздания уже существующего станка или механизма, то возникает ряд вопросов, которые являются предметом обсуждения специалистов по интеллектуальной собственности. В случае отсутствия патента на изделие важно учитывать, что создание точной копии нарушает интеллектуальные права собственника патента. Поэтому реверс-инжиниринг можно применять лишь для анализа изделия с целью создания новинки, которая не повторяет сканируемый объект, а только для анализа существующего изделия. Такой подход в реверс-инжиниринге способствует технологическому развитию и позволяет избежать нарушений прав патентообладателей, позволяет избежать судебных разбирательств.

Библиографический список

1. **Реверс-инжиниринг** [Электронный ресурс] // 3dcontrol. URL: <https://3dcontrol.ru/services/revers-inzhiniring/revers-inzhiniring> (дата обращения: 25.02.2021).
2. **Реверс-инжиниринг** [Электронный ресурс] // Главконструктор. URL: <https://glavconstructor.ru/services/revers-engineering/> (дата обращения: 25.02.2021).
3. **Гражданский кодекс** Российской Федерации часть 4 (ГК РФ ч.4) // URL: http://www.consultant.ru/document/cons_doc_LAW_64629/ (дата обращения: 25.02.2021).

**В.В. Берзин, курсант; рук. А.А. Покровский, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)**

КОНСТРУКТИВНОЕ ИСПОЛНЕНИЕ ГРУЗОПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕМОНТА ХОДОВОЙ ЧАСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

При выполнении ремонта ходовой части пожарных автомобилей требуются грузоподъемные устройства различного конструктивного исполнения. К наиболее распространенным устройствам относятся домкраты, которые предназначены для подъема автомобиля на небольшую высоту.

В качестве разрабатываемого устройства, предназначенного для ремонта ходовой части пожарных автомобилей, нами выбран винтовой домкрат, так как данное устройство в наибольшей степени отвечает всему комплексу технических характеристик.

На основе проведенных расчетов была разработана трехмерная модель устройства (рис. 1).

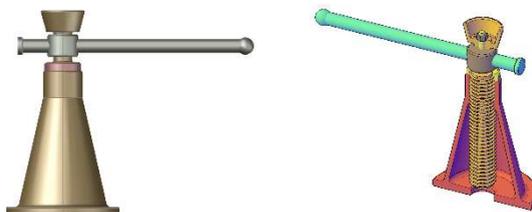


Рис. 1 Трехмерная модель винтового домкрата

При повороте рукоятки винт вращается вокруг вертикальной оси. Винт снабжен свободно сидящим на нем оголовком, который остается неподвижным при вращении винта. Угол подъема винтовой линии резьбы винта делается меньше, чем угол трения, благодаря чему обеспечивается самоторможение домкрата без дополнительных устройств.

Библиографический список

1. **Покровский А.А.** Мероприятия по улучшению эксплуатационных свойств деталей машин / А.А. Покровский // Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». – 2016. – С. 143 – 145.

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

КОНТРОЛЬ СИЛЫ РЕЗАНИЯ

Сила резания является наиболее информативным параметром, характеризующим непосредственно взаимодействие режущего инструмента и детали.

Целью научно-исследовательской работы является изучение методов контроля силы резания, а также выбор наиболее оптимального метода для управления режимами.

Для определения величин, составляющих силы резания могут быть использованы методы прямого и косвенного измерения.

Методы косвенного контроля основаны на анализе изменения сил резания, мощности, температуры и других физических характеристик процесса резания в результате износа или поломки инструмента.

Прямые методы основаны на непосредственном измерении сил резания приборами (динамометрами). Принцип действия всех известных конструкций динамометров основан на измерении упругих деформаций рабочих элементов: пружин, манометрических трубок, угольных стержней, проволочных датчиков и т.д. [1] Во всех случаях важную роль играет место размещения датчиков. Чем оно ближе к зоне резания, тем точнее измерения и выше надежность системы контроля.

Предлагается для контроля силы резания использовать косвенный метод измерения, на основе измерения температуры в зоне резания естественной термопарой и расчет по известным формулам [2].

$$PZ = (AZ + KZE) t S 0,75V - 0,15, \text{ кгс},$$

где t - глубина резания, мм; S - подача, мм/об; V - скорость резания, м/мин; E - термоЭДС, мВ; AZ – коэффициент, определенный предварительной обработкой.

Этот метод позволяет учитывать изменения физико-механических свойств сталей, упрочненное состояние срезаемых объемов металла. Применение его на станках с ЧПУ позволяет автоматизировать процесс расчета составляющих силы резания и повысить точность расчета.

Библиографический список

1. Способ определения силы резания /Чечета И.А., Чечета А.Е. //Патент РФ № 2538068 С2 МПК G01N 3/58. Заявка 2012124401. Оpubл. 2015.01.10: https://yandex.ru/patents/doc/RU2538068C2_20150110
2. Способ определения составляющих силы резания на токарных станках с ЧПУ/ Плотников А.Л., Еремеев В.В.// Патент РФ № 2120354 С1 МПК В23В 25/06. Заявка 97116947/02. Оpubл. 1998.10.20.: https://yandex.ru/patents/doc/RU2120354C1_19981020

*Д.Д. Зайцев, курсант; рук. В.В. Киселев, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ ТРУЩИХСЯ ДЕТАЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Пожарная техника, часто работающая в сложных условиях, подвержена повышенному износу. С повышенной нагрузкой работают детали двигателей, а также трансмиссий. Поэтому для их надежной защиты необходимы качественные смазочные материалы. При организации проведения технического обслуживания пожарных автомобилей можно столкнуться с проблемой наличия недорогих смазочных масел, триботехнические показатели которых далеки от идеала. Закупать дорогостоящие смазочные материалы не всегда представляется возможным. Поэтому решением данной проблемы может стать улучшение триботехнических показателей имеющихся масел.

Это возможно реализовать за счет введения в масла специальных высокоэффективных химических добавок. Таких добавок на рынке представлено множество. В нашей работе мы предлагаем использовать разработанную противоизносную присадку на основе солей мягких металлов. Триботехнические испытания разработанной присадки показали, что ее введение в базовые смазочные масла позволило снизить коэффициент трения до 20 % в широком диапазоне нагрузок и повысить износостойкость контактирующих поверхностей трущихся деталей.

Отрицательным показателем многих трибоактивных добавок для масел и смазок является повышение коррозионной активности. Этот отрицательный эффект может перечеркнуть все положительные стороны добавки. Исследование разработанной присадки на коррозионную активность показало, что данный показатель не выходит за пределы значений установленным стандартом.

Таким образом, применение разработанной присадки позволит снизить степень износа трущихся деталей пожарной техники, а, следовательно, увеличить показатели долговечности и безотказности работы.

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.

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

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПОДЪЕМНЫХ УСТРОЙСТВ В ПОЖАРНО-СПАСАТЕЛЬНЫХ ЧАСТЯХ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Проведение многих видов работ по техническому обслуживанию автомобильной техники не возможно без применения разнообразных подъемных устройств. Некоторые типы подъемных устройств используются при вывешивании всего автомобиля, другие могут использоваться для монтажа/демонтажа разнообразного навесного оборудования и тяжелых узлов и агрегатов. В условиях ограниченного пространства гаражей пожарно-спасательных частей размещение крупногабаритных подъемных устройств становится проблематичным, поэтому актуальным является применение универсальных подъемных устройств с возможностью их сложения или перемещения внутри помещений гаража.

Анализ рынка подъемных устройств и приспособлений выявил отсутствие универсальных разборных подъемников с возможностью перемещения. Чаще всего производственными компаниями предлагаются либо стационарные подъемные устройства, либо передвижные подъемники с небольшой грузоподъемностью и ограничениями по высоте подъема. Поэтому создание подъемных универсальных мобильных подъемных устройств для пожарно-спасательных частей является важной хозяйственной задачей.

К преимуществам таких устройств также можем отнести возможность транспортировки их в другие пожарно-спасательные части, где используется аналогичная пожарная техника. Хранить разборную конструкцию подъемного устройства возможно в любом подсобном помещении, что не приведет к загромождению гаражной территории пожарно-спасательной части. Подъемное устройство должно быть оснащено лебедкой с возможностью приведения ее в работу ручным приводом. Такая функция позволит обеспечить проведение технического обслуживания в полевых условиях.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.** Развитие технических средств для поведения обслуживания и ремонта пожарной техники. // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 3. № 57. С. 151-156.

*М.В. Квасов, курсант; рук. И.А. Легкова, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА КОНСТРУКЦИИ ПОДЪЕМНОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ РЕМОНТА АВТОМОБИЛЕЙ

При проведении некоторых операций по техническому обслуживанию и ремонту автомобиля с него необходимо снимать достаточно тяжелые узлы и агрегаты, для этих целей нами было разработано мобильное подъемное устройство.

Подъемник состоит (рис. 1) из нижней рамы 1, установленной на колесах 2; верхней рамы 3; X-образных боковых стоек 4; гидравлического домкрата 5 и цепной передачи 6. Принцип действия устройства прост. В сложенном состоянии подъемник закатывается под автомобиль, стоящий над смотровой канавой. С помощью гидравлического домкрата 5 и цепной передачи 8 верхняя рамка 3 поднимается под снимаемый агрегат. Агрегат отсоединяется от автомобиля, опускается вниз и выкатывается из-под автомобиля. После ремонта исправный агрегат также с помощью подъемника закатывается под автомобиль и устанавливается на свое место.

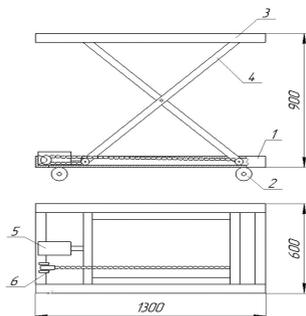


Рис. 1. Чертеж разработанного подъемного устройства: 1 – нижняя рама; 2 – колеса; 3 – верхняя рамка; 4 – стойки; 5 – домкрат; 6 – цепная передача

Применение в конструкции подъемника гидравлического домкрата позволяет без усилий поднимать достаточно тяжелые узлы и агрегаты. Простая конструкция гарантирует надежность в работе и простоту в эксплуатации. Также следует отметить что, стоимость разработанного мобильного подъемного устройства ниже аналогичного существующего оборудования.

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

ПРОГНОЗИРОВАНИЕ СТОИМОСТИ (ЦЕНЫ) ИЗДЕЛИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ НА РАННИХ СТАДИЯХ ПРОЕКТИРОВАНИЯ

На начальных стадиях проектирования изделия, когда закладываются его основные технико-экономические показатели и оформляются в виде технического задания на проектирование, создаются первые шаги по обеспечению его конкурентоспособности на рынке. Одним из таких показателей является стоимость (цена) изделия, которую достоверно можно рассчитать только после разработки конструкции изделия и технологии его изготовления. Но на ранней стадии проектирования, когда конструкция и технология изготовления изделия еще не разработаны, знание предположительной стоимости (цены) изделия крайне важно. Это в конечном итоге может повлиять на принятие решения о целесообразности разработки изделия. Знание прогнозируемой стоимости (цены) изделия важно и в том случае, когда исполнителю нужно договориться о сумме договора с заказчиком, который сам определил в техническом задании технико-экономические показатели будущего изделия.

Конечно, даже на ранней стадии проектирования стоимость изделия желательно знать с максимальной точностью. Но здесь возникает противоречие: количество информации об изделии мало, а стоимость (цену) его необходимо рассчитать как можно точнее.

Известно много методов прогнозирования стоимости (цены) изделия. Это методы экспертных оценок, параметрические методы, в частности, метод корреляционно-регрессионного анализа, агрегатный, балловый методы и др.

Несмотря на многообразие этих методов их применение вызывает определенные сложности. Они дают слишком большую погрешность прогнозирования. По мнению автора наиболее удачным методом прогнозирования стоимости (цены) изделий будет метод, построенный на базе нейросетевых технологий. Нейронные сети – мощный метод моделирования, позволяющий точно воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Они позволяют справиться с решением задач прогнозирования в случае большого числа переменных.

Для расчета себестоимости (цены) изделия автором были выбраны следующие параметры: габариты изделия; материал, из которого изготовлено изделие; область применения данного изделия; конечный потребитель с учетом системы лояльности.

*И.А. Кононов, курсант; рук. А.В. Топоров, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ РАБОТОСПОСОБНОСТИ АВАРИЙНО-СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА В УСЛОВИЯХ НЕДОСТАТКА ВОЗДУХА

В настоящее время существует проблема использования аварийно-спасательного инструмента с двигателем внутреннего сгорания в условиях задымления и недостатка воздуха. Решение проблемы было представлено в [1], но проведенные оценочные расчеты показали, что запаса воздуха из баллона хватит лишь на 3-4 минуты работы. Увеличить время работы возможно за счет оптимизации подачи воздуха.

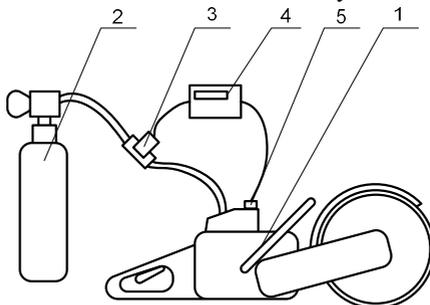


Рис. 1. Принципиальная схема устройства

Предлагается реализовать схему представленную на рисунке 1. Инструмент 1 подсоединяется к баллону со сжатым воздухом 2 через электромагнитный клапан 3, управляемый микроконтроллером 4 к которому подключен датчик количества кислорода 5. В зависимости от концентрации кислорода по команде микроконтроллера 4 происходит автоматическое открывание и закрывание электромагнитного клапана 3, тем самым обеспечивается оптимальный расход воздуха. Предложенная схема позволит увеличить время работы инструмента от баллона со сжатым воздухом

Библиографический список

1. Максимкин В.А. Улучшение эффективности работы звеньев газодымозащитной службы в непригодной для дыхания среде с использованием аварийно-спасательного инструмента для вскрытия конструкций (бензореза) Сборник материалов «Есть идея!» XII Международного салона средств обеспечения безопасности «Комплексная безопасность 2019» 5-7 июня 2019 года. М.: ФГБУ ВНИИПО, 2019. 716 с. С. 26-33.

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

ТЕНДЕНЦИИ ПЕРЕХОДА МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОИЗВОДСТВ К ЦИФРОВОМУ ПРЕДПРИЯТИЮ

Цифровизация промышленности – это модель нового цифрового пространства, целая система, которая включает в себя все производственные мощности, системы обеспечения жизнедеятельности предприятия и его безопасности.

Эта модель включает в себя не только уже широко применяемые на машиностроительных производствах системы компьютерного конструирования (CAD), компьютерного проведения инженерных расчетов (CAE), компьютерного проектирования технологических процессов (CAPP), компьютерного программирования станков с ЧПУ (CAM) [1], но и системы управления цепочек поставок (SCM), управления данными об изделии (PDM), поддержки жизненного цикла изделия в (PLM) [2], управления производственными ресурсами (MRP-II), разработка интерактивных электронных технических руководств (SCADA) и др. Внедрение этих систем обеспечивает создание единого информационного пространства предприятия.

Актуальность создания цифровых производств возникает из-за необходимости обработки большого количества данных. Преимуществом такого предприятия перед традиционным, является повышение производительности за счет повышения скорости разработки нового продукта, скорости его производства, представлении на рынке и поставке потребителю.

Затрудняет быстрый переход к цифровому предприятию такие факторы, как износ основных средств производства, производство малого количества наукоемкой продукции, низкая компетентность кадров, неактуальность и высокая стоимость внедрения цифровых технологий для небольших машиностроительных предприятий.

Библиографический список

1.Круглов Д.В. Использование компьютерных систем для автоматизации и разработки сварных металлоконструкций / Д.В. Круглов, Н.Л. Павлюкова // ЭНЕРГИЯ-2018. Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых: Материалы конференции. В 6-ти томах. 2018. – С. 74.

2.Марков И.С. Применение компьютерной инженерии для построения цифровых производств в машиностроении / И.С. Марков, Н.Л. Павлюкова // Электромеханотроника и управление. Пятнадцатая Всероссийская (седьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Энергия-2020": Материалы конференции. В 6 томах. 2020. – С. 75.

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

ОБОСНОВАНИЕ ВЫБОРА МЕТОДА УПРОЧНЕНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛИ

Из методов упрочнения без изменения химического состава поверхности, но с изменением ее структуры, наиболее распространены способы поверхностной закалки и различные виды поверхностного пластического деформирования, из которых необходимо выбрать наилучший вариант.

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

Оценка методов упрочнения поверхностей 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 повышения 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.

*Лелетич В.С., студ., Баранов Б.Ш., маг.;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ПРОЦЕССА ИЗНОСА РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ВЫРУБНОГО ШТАМПА

Для улучшения качества штампуемых деталей за счет подходящих условий для разделительных операций используется CAE – система «DEFORM-2D». DEFORM – это система моделирования, в ее основы входит метод конечных элементов (МКЭ), который предназначен для рассмотрения всевозможных процессов формовки и термообработки, применяемых для изготовления металлов и близких отраслей.

Модели износа могут определяться в DEFORM для каждой пары объектов, соприкасающихся во время процесса. Норма износа вычисляется для ведущего объекта, у ведущего объекта должна быть сетка конечных элементов.

После получения результатов пользователь может оценить глубину износа, как для последнего шага, так и для определенного шага моделируемого процесса. Кроме вышеперечисленного, можно вывести скорость скольжения, давление между контактами и температуру раздела на поверхности контакта. Это означает, что для данной модели были вычислены все возможные данные деформации. Исходя из этого, пользователь может проанализировать модель износа без повторного запуска моделирования.

Создание модели конечных элементов (МКЭ) в Deform 2D. Количество элементов на рабочих частях штампа и заготовки равно 5000. Выполнено местное сгущение сетки конечных элементов в местах скругления режущей кромки инструмента и повышенного износа.

Для заготовки был выбран материал АМцН2, а для инструмента У10А. Анализ величины заусенца при различном значении радиуса режущей кромки показал, что величина образующегося заусенца увеличивается с нарастающей интенсивностью. Величина заусенца растет с увеличением притупления режущих кромок инструмента в эксплуатации штампа. Анализ глубины износа пуансона и матрицы показал, что среднее значение износа матрицы режущей кромки инструмента больше, чем на пуансоне в 2,4 раза.

Библиографический список

1. **Информационные технологии** управления: учебное пособие для вузов / под ред. Г. А. Титоренко. – 2-е изд., доп. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2003. – 439 с.

*Лелетич В.С., студ., Пятанин М.И., маг.;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМЫ СНЯТИЯ СВАРОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ

В процессе изготовления возникают значительные отклонения конструкции от проектируемых параметров вследствие действия высокого уровня сварочных напряжений и деформаций. Проведение термических операций, направленных на снижение негативных факторов, вносимых сваркой (остаточные сварочные напряжения, неоднородность структуры и механических свойств и т.д.), является энергоемким и труднореализуемым технологическим процессом, особенно с учетом больших габаритов и сложной геометрической формы данного вида оборудования. При этом, проводимые термические операции, устраняя остаточные напряжения, не исправляют в полной мере геометрическую форму конструкции.

Одним из перспективных направлений в экономии материальных и энергетических ресурсов является повышение точности сварных заготовок и деталей технологического оборудования в процессе их изготовления с применением различного вида технологических операций, направленных на снижение уровня остаточных сварочных напряжений и деформаций.

Установка для вибростабилизации является экспериментальной установкой, предназначена для обработки металлов вибрацией. Может быть применена в машиностроении и металлургии для того, чтобы снимать остаточные напряжения в сварных, литых и сварно-литых конструкциях. Благодаря ей снижается время обработки металла. Установка имеет в своей конструкции устройство управления и настройки вибрационного поля, которое основано на использовании эффектов динамического гашения колебаний в механических системах с тремя степенями свободы. Основным элементом системы, формирующем структуры и свойства, необходимые для вибрационного поля технологической машины, является траверса, на которой расположен динамический гаситель колебаний.

В процессе проведенных исследований проводился контрольный замер детали, затем выполнялась операция вибростабилизации на режимах № 1, после чего опять проводился замер и устанавливались изменения существующих размеров. Аналогично осуществляли эксперименты на других режимах вибростабилизации. По проведенному анализу результатов устанавливались оптимальные режимы обработки.

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

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ТРЕХМЕРНОЙ МОДЕЛИ СБОРКИ РЕДУКТОРА

В современном машиностроении разработка конструкторской документации происходит в электронном виде с применением средств компьютерной инженерии [1]. Одним из удобных, быстрых и гибких инструментов твердотельного проектирования является программа Solid Edge компании Siemens.

Разработка редуктора в **Solid Edge** было реализовано методом снизу-вверх, который предусматривает первоначальное проектирование отдельных деталей. Такой подход значительно облегчает моделирование трехмерной сборки и позволяет избежать таких ошибок, как «столкновение» и «пересечение» деталей.

Работа проводилась на основе данных сборочного чертежа и его детализировки. Первый этап работы – это подготовка трехмерных изображений деталей редуктора: строится эскиз в выбранной плоскости и переводится в трехмерный чертеж. Основа трехмерной модели шестерней проектировалась с помощью конструктора зубчатых передач путем задания основных параметров: модуля зубчатого колеса, числа зубьев, межосевого расстояния и др.

Из созданных трехмерных деталей с помощью средств проектирования сборок Solid Edge создана сборочная модель редуктора (рис. 1). Для стандартных изделий сборки применялись библиотеки программы.

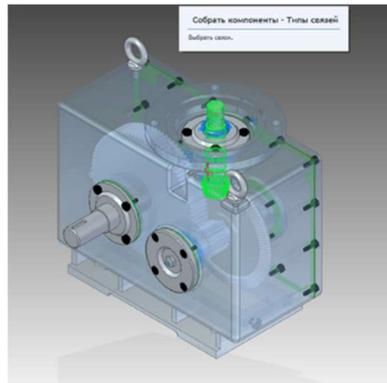


Рис. 1. Трехмерная модель сборки редуктора

Библиографический список

1. Волкова М.Ю. Использование средств компьютерной инженерии при конструировании адаптационного тренажера / М.Ю. Волкова, Н.Л. Павлюкова // Надежность и долговечность машин и механизмов. Сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции. Посвящается 30-й годовщине МЧС России и 75-й годовщине Победы в Великой Отечественной войне 1941-1945 годов. ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России. 2020. С. 156-158.

Я.А. Малютин, курсант; рук. В.П. Зарубин, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)

ПРЕДЛОЖЕНИЯ КОНСТРУКЦИИ ЛАБОРАТОРНОЙ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ НА ТРЕНИЕ

Как известно, трение в узлах и механизмах отрицательно влияет на их долговечность. Самым распространенным способом борьбы с трением является применение различных смазочных материалов. Разработка новых смазок, а так же наполнителей и присадок к ним невозможна без проведения большого количества лабораторных исследований на машинах трения.

В настоящей работе предлагается разработка конструкции узла трения для определения противоизносных свойств масел и смазок в условиях лаборатории. Узел трения устанавливается на станок сверлильный настольный без проведения каких-либо конструкционных изменений станка.

Узел трения состоит из корпуса 2 (рис. 1) который устанавливается на стол станка. В корпус 2 устанавливается неподвижный образец 3 (шайба) и фиксируется винтами 5. В патрон 1 станка зажимается державка 4. Державка имеет два технологических отверстия для установки либо сферического, либо цилиндрического образцов 7. Образцы фиксируются в державке по средствам винта 6. При включении привода станка державка 4 вместе с образцами совершает вращательное движение, а образцы перемещаются по кольцевой траектории. Нагрузка на образцы осуществляется через стандартный механизм подачи. Испытуемый смазочный материал подается непосредственно в зону трения капельным путем. Износ образцов определяется либо весовым методом, либо измерением пятна износа.

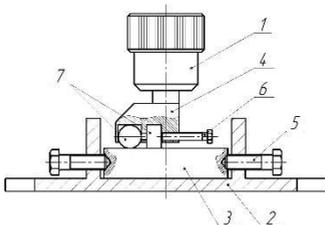


Рис. 1 – Принципиальная схема трения:

1 – патрон станка; 2 – корпус; 3 – образец неподвижный (шайба); 4 – державка; 5 – крепежный винт корпуса; 6 – винт крепления образцов; 7 – цилиндрический и сферический образец.

*И.С. Марков, студ.; рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЗОНЕ РЕЗАНИЯ ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ РЕЖИМОМ ОБРАБОТКИ

Используемые в настоящее время методы исследования тепловых процессов в зоне резания разнообразны. С их помощью можно определить количество выделяемой теплоты и его распределение между стружкой, деталью и инструментом.

Целью НИР является изучение методов измерения температуры в зоне резания, а также выбор конкретного метода измерения.

Калориметрический метод. Зная количество воды в калориметре, вес стружки и ее теплоемкость, можно определить среднюю температуру стружки в калориметре до, и после резания.

Метод термопары. Данный метод применяется для измерения средней температуры контактных поверхностей инструмента и заготовки.

Метод двух резцов. Разновидностью метода естественной термопары является "метод двух резцов", который сводится к резанию одновременно двумя резцами, изготовленными из разных материалов.

Метод искусственной термопары. При помощи этой термопары можно измерить местную температуру в резце, изделии, деталях металлорежущего станка.

Метод бегущей термопары. В заготовку заделываются термопары, которые при перерезании их режущим лезвием инструмента образуют слой термопары.

Бесконтактный метод. Для измерения температуры применяются специальные приборы – пирометры, которые регистрируют тепловое излучение от нагретого тела.

Для контроля режимов резания и управления ими предлагается использовать метод термопар из-за их широкого диапазона измерения температур.

Библиографический список

1. **Устройство для измерения температуры резца естественной термопарой** /Плотников А.Л., Кристаль М.Г., Сергеев А.С. и др. //Патент РФ № 2650827 С1 МПК G01K 13/00. Заявка 2017100236. Оpubл. 2018.04.17: <https://patenton.ru/patent/RU2650827C1>
2. **Способ определения температуры в зоне резания металла**/ Река Н.Г., Коуров Г.Н., Лютов А.Г.// Патент РФ № 2585917 С1 МПК И23И 25/06. Заявка 2014148819/02. Оpubл. 2016.06.10.: <https://patenton.ru/patent/RU2585917C1>

*Р.А. Масленников, курсант; П.В. Пучков, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ЗАПРАВКИ ПОЖАРНОГО АВТОМОБИЛЯ ПЕНООБРАЗОВАТЕЛЕМ

Одним из основных средств тушения пожаров после воды является воздушно механическая пена (ВМП). Способы заправки пожарных автомобилей водой всем известны в отличие от способа заправки пожарных автомобилей пенообразователем. Бак пенообразователя можно заправить с помощью обычного ведра, электрического насоса, ручного насоса и т.д. Каждый из существующих способов заправки бака пенообразователя имеет свои достоинства и недостатки. Поэтому разработана конструкция нового устройства для заправки пожарного автомобиля пенообразователем с помощью мускульной силы ног человека (рис.1).

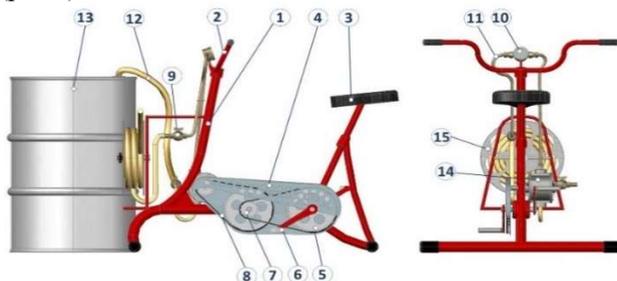


Рис. 1. Устройство для заправки пожарного автомобиля пенообразователем: 1- рама; 2 – руль велосипедный; 3 – седло; 4 – защитный кожух цепи; 5 – ведущая звездочка (большая); 6 – педаль; 7 – ведомая звездочка (малая); 8 – цепь велосипедная; 9 – кран шаровой G ¼; 10 – счетчик-расходомера; 11 – трубка G ¼; 12 – шланг армированный ПВХ; 13 – бочка с пенообразователем; 14 – катушка для шланга; 15 – насос роторный

Перекачка пенообразователя из емкости (бочки) в бак пенообразователя пожарной автоцистерны производится с помощью роторного насоса (14), приводимого в движение за счет физической силы ног пожарного. Объем перекаченного пенообразователя контролируется с помощью счетчика-расходомера (10). Подачу пенообразователя из бочки в бак пенообразователя производится по шлангу ПВХ (12), хранящегося на катушке (15) [1].

Библиографический список

1. Пучков П.В. Устройство для ремонта и обслуживания пожарных рукавов // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2019 г. – № 107, С 9-11

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

СОКРАЩЕНИЕ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ВРЕМЕНИ ПУТЁМ ОПТИМИЗАЦИИ РАСПОЛОЖЕНИЯ ИНСТРУМЕНТОВ В МАГАЗИНЕ СТАНКА ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР»

В настоящее время одним из путей развития машиностроения является применение станков типа «обрабатывающий центр». С внедрением данных станков становится осуществимым сочетание высокой производительности и коротким периодом освоения производства, что является залогом высокой конкурентоспособности предприятия.

Актуальность темы определяет необходимость создания методики, позволяющей произвести расчет вспомогательного времени с учетом всех особенностей работы станка. Это позволит выбрать оптимальную компоновку магазина и снизить вспомогательное время. В предложенном методе, используя исходные данные и ограничения, производится расчет перемещения магазина. При обработке деталей, инструменты в гнездах магазина согласно инструкции по эксплуатации размещаются в порядке их использования в соответствии с технологическим процессом обработки. За время одного цикла обработки детали один и тот же инструмент может подаваться в шпиндель станка несколько раз. Это вызывает дополнительное перемещение магазина, при этом в процессе поиска адреса очередного предусмотренного технологическим процессом инструмента деталь не обрабатывается. В результате станок простаивает и его производительность снижается.

Расчет ведется по эвристическому алгоритму. Задается исходный порядок размещения инструментов в магазине. Затем определяется суммарная величина перемещения магазина за один цикл обработки. Далее два рядом расположенных инструмента меняются местами. Для нового порядка размещения инструментов вычисляется суммарная величина перемещения и сравнивается с ранее полученной величиной и т.д. Каждый последующий порядок размещения получается из предыдущего путем перестановки пары инструментов. Процесс перестановки пар инструментов продолжается до тех пор, пока не будет достигнута минимальная суммарная величина перемещения магазина.

Применяя данную методику расчета, можно наглядно увидеть, что при рациональной компоновке магазина можно уменьшить число циклов и время на замену инструмента, что приведет к сокращению потребления электроэнергии и снижению вспомогательного времени на обработку детали.

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

МАГНИТНО-АБРАЗИВНОЕ ПОЛИРОВАНИЕ ДЕТАЛЕЙ

Магнитно-абразивное полирование является одним из перспективных методов финишной обработки инструментов. Сущность метода: магнитно-абразивный порошок располагается между полюсами электромагнитов, создавая режущий инструмент в виде своеобразной полирующей щетки. При движении заготовки через рабочую зону порошок оказывает давление на деталь в каждой точке поверхности, что приводит к съему металла и сглаживанию микронеровностей. В роли связки абразивных зерен используется магнитное поле, обладающее упругими силами воздействия на единичные зерна.

Работоспособность многих деталей и инструментов зависит от состояния поверхностного слоя, который в значительной мере определяет их эксплуатационные свойства. Для изделий и инструментов, к которым предъявляются требования долговечности и надежности, важны такие характеристики поверхности, как: коэффициент трения, длительность обработки, износостойкость, наличие дефектов в виде микротрещин, внутренние остаточные напряжения, коррозионная стойкость. Именно на эти параметры обращают особое внимание на последних стадиях изготовления инструмента при формировании микрогеометрии рабочих поверхностей деталей и режущего инструмента.

Магнитно-абразивное полирование (МАП) можно использовать для деталей любых размеров и геометрической формы из магнитных и немагнитных материалов. Однако наибольшее применение этот метод получил при чистовой обработке плоских поверхностей, наружных и внутренних поверхностей тел вращения и фасонной формы

СОЖ в магнитно-абразивном полировании — это носитель поверхностно-активных веществ, а не средство охлаждения детали. Так как зону обработки заполняет СОЖ, возникает процесс электролиза, в результате которого растворяются поверхностный слой детали и ферромагнитное покрытие зерен абразива. Анодное растворение поверхностного слоя детали облегчает съем с нее металла, а растворение ферромагнитной основы зерен обеспечивает вскрытие абразивных частиц и способствует увеличению их режущей способности.

Метод МАП превосходит многие традиционные процессы полирования (химико-механическое, магнито-реологическое), очистки и зачистки поверхностей по технологическим возможностям, экономическим и экологическим показателям.

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

ВЫБОР РАЦИОНАЛЬНЫХ КОМПОНОВОЧНЫХ РЕШЕНИЙ ПРИЕМО-СДАТОЧНОЙ СЕКЦИИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО СКЛАДА ЗАГОТОВОК ДЛЯ СТАНКОВ ТИПА «ОБРАБАТЫВАЮЩИЙ ЦЕНТР»

В настоящее время одним из путей развития машиностроения является применение обрабатывающих центров (ОЦ). Приемно-сдаточная секция (ПСС) является основным компонентом при компоновке цеха, ее правильная компоновка сокращает время на подачу заготовок к ОЦ.

На эффективность работы производственного участка и цеха в целом оказывает влияние планировка участка и цеха в целом, а в частности правильное использование компоновки склада заготовок. Выбор рациональной компоновки склада зависит от производительности ПСС, а именно системы «ПСС-ОЦ».

Актуальность темы определяет необходимость создания методики, позволяющей произвести расчет ПСС с учетом всех особенностей ее работы. Это позволит рассчитать время цикла транспортного средства $t_{ц}$.

В предложенном методе, используя исходные данные и ограничения, производится расчет времени цикла работы.

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 транспортного средства между ПСС и ОЦ $T_{см.год}$. Величина $T_{см.год}$ по сравнению с $t_{ц}$ дает более наглядное представление о том, к каким изменениям длительности транспортных циклов перемещения транспортного средства приводят решения по компоновке ПСС.

Применяя данную методику расчета, можно наглядно увидеть, что при рациональной компоновке ПСС можно уменьшить длительность транспортных циклов транспортного средства, что приведет к сокращению потребления электроэнергии и капитальных затрат на систему, а также увеличит срок службы транспортного средства.

Муратов Д.А., студ., Макин М.А., магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЕТ РЕЖИМОВ СВАРКИ

Предметом разработки является процесс сборки и сварки основания стрелы подъемного механизма. Предлагается ввести следующие изменения в технологическом процессе:

- сократить время производственного цикла за счет применения полуавтоматической сварки в среде защитного газа;
- избавиться от возможного появления холодных и горячих трещин в теле шва и околшовной зоне, путем введения термического нагрева и неразрушающего ультразвукового контроля шва;
- произвести рациональный выбор оборудования, что позволит получить достаточно высокий экономический результат за счет более эффективного использования возможностей выбранного оборудования.

В данной работе применяется сварка плавящимся электродом в смеси газа Ar+CO₂ (смесь аргона с двуокисью углерода в соотношении 80 % аргона и 20 % двуокиси углерода) по ТУ 2114-004-00204760-99, так как существует ряд преимуществ этих способов.

Сварочный ток определим по формуле:

$$I_{св} = \frac{\pi \times d_s \times \alpha}{4} = \frac{3.14 \times 1.2^2 \times 120}{4} = 135 \text{ A,}$$

где α – плотность тока в электродной проволоке, А/мм² (При сварке в CO₂ $\alpha=110...130$ А/мм²);

d_s – диаметр электродной проволоки, мм.

Рассчитаем напряжение горения дуги по формуле:

$$U_d = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{d_s^{0.5}} \times I_{св} \pm 1 = 20 + \frac{50 \times 10^{-3}}{1.2^{0.5}} \times 135 \pm 1 = 26.2 \text{ В}$$

Потенциальную склонность стали к образованию холодных трещин можно рассчитать по значению эквивалентного содержания углерода $C_{эКВ}$. Стали, для которых $C_{эКВ} > 0,45\%$, чувствительны к образованию холодных трещин при сварке. Углеродный эквивалент можно вычислить по методу Международного института сварки.

$$C_{эКВ} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

$$C_{эКВ} = 0.096 + \frac{1.42}{6} + \frac{0.26 + 0.08 + 0.032}{5} + \frac{0.34 + 0.3}{15} = 0.41$$

Шов нечувствителен к образованию холодных трещин.

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

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ТОЧНОСТИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ КОРПУСНЫХ ДЕТАЛЕЙ

Проблема повышения точности получения плоскостей и отверстий корпусных деталей является актуальной задачей. Точность изготовления зависит от точности станка, приспособления, инструмента и метода обработки.

Цель работы - повышение точности растачивания основных отверстий корпусных деталей за счет применения приспособлений с аэростатическими опорами. Одним из наиболее целесообразных видов отделочной обработки ответственных отверстий корпусных деталей является тонкое растачивание, которое дает высокую чистоту поверхности

В настоящей работе рассматривается возможность повышения точности обработки за счет новой конструкции приспособления, которая позволяет повысить точность растачиваемых отверстий в приспособлениях с аэростатическими опорами.

Наибольший эффект применения аэростатических опор достигнут при создании высокоскоростных фрезерно-сверлильных станков для обработки отверстий малых и средних диаметров.

Точность обработки зависит от точности установа и настройки звеньев технологической системы. Нестабильность силы резания и жесткости элементов вызывает неравномерность упругого отжатия инструмента, заготовки и приспособления, в результате чего возникают погрешности формы обработанной поверхности и расположения осей отверстий.

Таким образом, точность обработки зависит от жесткости элементов технологической системы

Положение аэростатической опоры определяется толщиной зазора h_0 в центральной точке и углом перекоса каретки φ (поворот вокруг оси u). Опора гораздо менее чувствительна к повороту вокруг оси x , поэтому он не рассматривается. Состояние несущего газового слоя также зависит от линейной скорости V и угловой – ω

$$V = \frac{dh_0}{dt}, \quad \omega = \frac{d\varphi}{dt},$$

Библиографический список

1. **Приспособления для обработки с аэростатическими опорами.** / Царёв А.М. (RU), Хусаинов Т.Д. (RU), Мустафаев Р.А. Патент RU 9648 U1/G01B 11/03/заявка: 98107177/02/ Дата публикации: 16.04.1999.

2. **Аэростатическая опора.** / Дворянинов В. Г, Воинов Н. А, Буренков Н. А Патент В65G 7/06/ Опубликовано: 15.12.1981.

Д.Ю. Палин, аспирант; рук. А.В. Топоров, к.т.н., доцент
(ИПСА, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГЕРМЕТИЧНОСТИ ТРАДИЦИОННОГО И МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Одной из основных характеристик определяющих работоспособность уплотнительного устройства является удерживаемый перепад давлений [1].

В качестве испытательных образцов использовалось манжетное и магнитожидкостное уплотнение (далее МЖУ) с магнитной системой, состоящей из магнитных эластомерных шайб в количестве 10 штук.

Оценочные испытания по герметичности уплотнений проводились на специальной экспериментальной установке разработанной авторским коллективом. Главным показателем, характеризующим потерю герметичности уплотнительных устройств, являлась величина момента трения. Эксперимент проводился при разных частотах вращения вала. Результаты исследования представлены на (рис. 1 а, б).

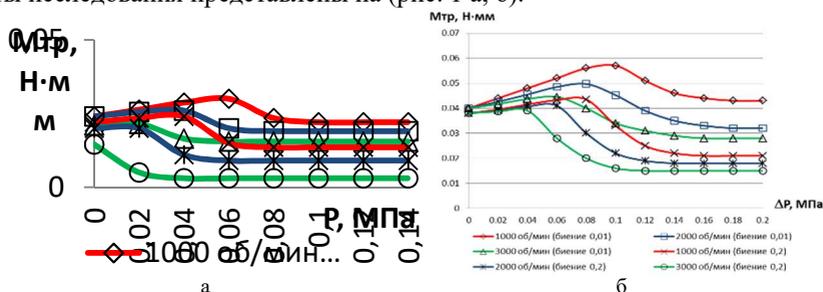


Рисунок 1- График зависимости момента трения от давления: а - манжетного; б - магнитожидкостного уплотнения

На графиках показано, что после того как наступает критический перепад давления $M_{тр}$ в уплотнениях снижается до определенных значений. Это обуславливается тем, что в рабочей области соединений происходит пробой контактирующих поверхностей с последующим выходом герметизируемой среды. В ходе эксперимента было выявлено, что МЖУ обладает наилучшей герметизирующей способностью.

Библиографический список

1. Сайкин М.С. Магнитожидкостные герметизаторы технологического оборудования: Монография. – СПб.: Издательство «Лань», 2017. – 136 с.

К.Е. Попов, студент, рук. А.М. Власов, ст. препод.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВЛИЯНИЯ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ РАБОЧЕГО ЗАЗОРА НА МОМЕНТ ТРЕНИЯ МАГНИТОЖИД- КОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ

Момент трения (МТР) и нагрев являются важнейшие эксплуатационные показателями магнитожидкостных герметизаторов (МЖГ). Возрастание частоты вращения вала увеличивает скорость сдвига слоев магнитной жидкости (МЖ), что повышают вязкостные (диссипационные) потери в МЖ и ее разогрев. На вязкость МЖ, МТР и нагрев нелинейно влияют конструктивные и режимные параметры: частота вращения вала; градиент скорости сдвига МЖ в зазоре; время работы; диффузия магнитных частиц; температура окружающей среды; напряженность магнитного поля; а также величина зазора, учитывающая шероховатости поверхностей, контактирующих с МЖ. [1].

Эксперименты показали, что при увеличении шероховатости поверхности с 0,357 до 7,21 мкм температура МЖГ повысилась на 20 %, а МТР – на 55 %.

На рис. 1 представлены графики изменения температуры в МЖГ и момента трения в зависимости от шероховатости поверхности втулки, том же полусе и при тех же частотах вращения.

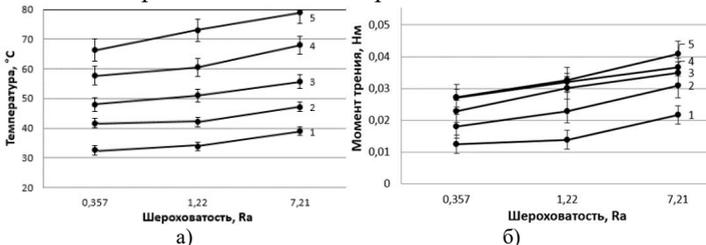


Рис. 1. Изменения температуры в МЖГ (а) и момента трения (б) от шероховатости поверхности втулки при полусе (сталь 3; Ra = 3,301 мкм) и частоте вращения вала: 1 – 556 об/мин.; 2 – 1146 об/мин.; 3 – 1793 об/мин.; 4 – 2331 об/мин.; 5 – 2897 об/мин (на 30 минуте работы)

Библиографический список

1. Казаков Ю.Б., Власов А.М. Частотно-регулируемые электродвигатели с магнитожидкостной герметизацией выходного вала // Труды XVIII Международной Конференции «Электротехника, Электротехнологии, Электротехнические Материалы и Компоненты». М.: Знак, 2020. С. 95–100.

**В.И. Репный, курсант; рук. В.П. Зарубин, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)**

РАЗРАБОТКА ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ ЗАМЕНЫ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ В УЗЛАХ ТРЕНИЯ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Как известно, своевременная замена смазочного материала в узлах трения машин и механизмов продлевает их срок службы [1]. Для облегчения проведения операций по замене жидких смазочных материалов предлагается к использованию устройство работающее по принципу подачи смазки за счет избыточного давления.

Принципиальная схема устройства представлена на рисунке 1.

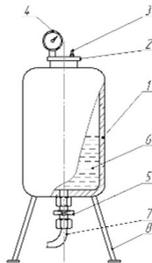


Рис. 1 – Общий вид устройства для заправки узлов трансмиссий жидкими маслами:

- 1- корпус, 2- крышка заливной горловины, 3 – ниппель для закачки воздуха,
- 4 – манометр, 5 – кран, 6 – смазочный материал, 7 – раздаточный шланг, 8 – опора.

Устройство имеет достаточно простую конструкцию и может быть изготовлено в условиях ремонтной мастерской. Принцип работы установки и порядок действия при замене масла не требуют задействования дополнительных специалистов. Весь комплекс операций может провести один человек. Конструкция устройства обеспечивает «чистоту» проведения работ и минимизирует потери смазочного материала. Это в свою очередь положительно влияет на весь комплекс проведения технического обслуживания пожарных автомобилей. Устройство не требует длительного времени на подготовку к работе и обслуживания после работы. После использования устройство не требует консервации и специальных условий хранения, что является его преимуществом перед другими более сложными агрегатами.

Библиографический список

1. Зарубин В.П., Легкова И.А. Влияние смазочных материалов на процесс трения и изнашивания в узлах трения пожарной техники. Научно-популярный журнал NovaInfo.Ru (Электронный журнал). 2016. №53 (т.2). С. 34-36.

*А.В. Романов, курсант, Н.А. Кропотова, к.х.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

ИНЖЕНЕРНОЕ РЕШЕНИЕ ДЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Обеспечение безопасности – это первоочередная мера при организации различных работ, проводимых подразделениями пожарной охраны. Ни одно мероприятие не обходится без средств передвижения как личного состава, так и доставки огнетушащих веществ к месту тушения пожара. Износ любой техники сопровождается усталостными, коррозирующими, разрушающими последствиями, следовательно, пожарная техника подвергается большему износу, чем любая другая, например, грузовая техника тяжелого или среднего класса. Состоящие на вооружении пожарно-спасательных подразделений модели парка пожарных автомобилей во многом устарели, имеют недопустимо низкий ресурс. Поэтому для поддержания своевременного технического обслуживания и ремонта пожарной техники предлагается инженерная конструкция прицепа-тележки (рис.1).

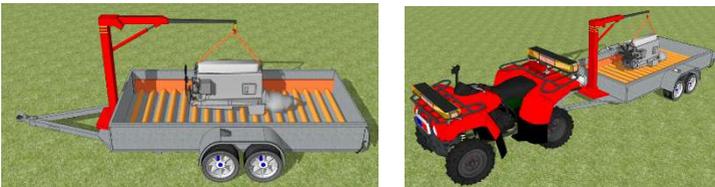


Рис. 1 Модель тележки-прицепа для облегчения труда личного состава пожарной охраны при техническом обслуживании и ремонте пожарной техники

Практическое исследование показало, что мобильные тяговые конструкции пожарно-спасательных частей ограничены применением стационарной лебедки, станций технического обслуживания, вследствие чего возникают затруднения при перегоне пожарной техники, если ремонт возможно было бы осуществить непосредственно в части. Обеспечение пожарно-спасательных частей прицепом-тележки позволит облегчить проведение погрузочно-разгрузочных работ отдельных агрегатов и узлов пожарной техники, а также отдельных запасных частей, колес, аккумуляторных батарей и т.д.

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

ПРИМЕНЕНИЕ КОНЦЕПЦИИ СКВОЗНОГО АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

Отрасли, в которых необходимы знания машиностроения очень разнообразны: станкостроение, инструментальное производство, энергетическое машиностроение и др. В авиастроении также требуются глубокие знания технологии машиностроения, в частности, таких дисциплин, как «Основы компьютерной инженерии» [1] и «Системы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении».

Магистры кафедры технологии машиностроения ИГЭУ участвуют в проектировании самолета Ил 114-300, реализуя полученные при обучении компетенции на практике.

Работа над проектированием самолета ведется с 2014 года и за достаточно короткий промежуток времени развернуто сборочное производство в г. Луховицы Московской области. А в конце 2020 был совершен первый полет нового пассажирского самолета Ил 114-300 на аэродроме в Жуковском [2].

Почти вся конструкторская документация (чертежи, спецификации, расчеты и пр.) генерируется системой автоматически в соответствии с требованиями ГОСТ и СТП. На протяжении всей работы необходим контроль всех изменений объекта. Часто в готовую документацию необходимо вносить изменения, связанные с различными доработками.

Эти изменения связаны с тем, что проектирование самолета происходит длительное время. За этот период могут возникнуть новые современные материалы, новые агрегаты, новая авионика.

Реализация методики сквозного проектирования, позволило существенно сохранить сроки реализации проекта создания Ил 114-300, создав при этом абсолютно новый самолет (новые двигатели, винты, авионика и др.), отвечающий современным требованиям, без импортных комплектующих, параллельно создавая научную базу для дальнейших разработок.

Библиографический список

4. **Марков И.С.** Применение компьютерной инженерии для построения цифровых производств в машиностроении / И.С. Марков, Н.Л. Павлюкова // Электромехатроника и управление. Пятнадцатая Всероссийская (седьмая международная) научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых "Энергия-2020": Материалы конференции. В 6 томах. 2020. – С. 75.

5. **Проект Ил-114-300: решающий 2020 год** // Военное образование: [сайт]. URL: <https://topwar.ru/171784-proekt-il-114-300-reshajuschij-2020-god.html>.

*Синодеева П.И., студ., Долунц Г.В., магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ДОЛБЯКОВ

Зуборезные долбяки применяются для нарезания цилиндрических прямозубых, косозубых и шевронных колес наружного и внутреннего зацепления, а также зубчатых реек. Они позволяют нарезать колеса, которые нельзя или нерационально нарезать другими зуборезными инструментами: колеса с малым выходом инструмента (малые зубчатые венцы блочных колес, зубчатые венцы с буртами или расположенные в упор), колеса с внутренними зубьями, шевронные колеса и зубчатые секторы.

Характерной особенностью задачи проектирования долбяка является необходимость выполнения проверок семи условий: проверка на заострение зубьев долбяка, интерференцию и подрезание ножек шестерни и колеса, срезание вершин зубьев шестерни и колеса. При обычном расчете при невыполнении какой-либо из этих проверок приходится заново назначать смещение исходного контура и снова выполнять эти проверки, что требует большой вычислительной работы, поскольку приходится решать многократно трансцендентные уравнения для отыскания углов по их инволютам.

Первой основной задачей при проектировании долбяка является выбор приемлемого смещения A . Второй задачей является выбор расстояния A от исходного сечения до сечения, являющегося границей допустимых переточек долбяка. Поскольку с каждой переточкой диаметральные размеры долбяка уменьшаются, то возрастает опасность срезания боковых сторон у вершины зубьев и опасность подрезания ножек зубьев нарезаемых шестерни и колеса, т. е. требуется проверка еще четырех условий. В большинстве методик решение этих задач выполняется следующим образом: назначается (или вычисляется по эмпирическим формулам) смещение A исходного сечения и выполняется проверка соблюдения первых трех условий на заострение зубьев долбяка и на отсутствие интерференции зубьев шестерни и колеса. Если хотя бы одно из этих условий не выполняется, то значение A корректируется и вновь выполняются проверки всех трех условий и так до тех пор, пока все они не будут соблюдены. Благодаря подбору оптимальных параметров зубчатых колёс увеличено время работы диском прямозубым долбяком.

*П.И.Синодеева, студ., И.В. Еремеев, магистрант;
рук. И.И. Ведерникова к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМЫ ПРОЕКТИРОВАНИЯ НЕСУЩИХ КОНСТРУКЦИЙ КОВШЕЙ

Обеспечение прочности машин и аппаратов осуществляется следующим образом. На стадии их проектирования производится расчётная или экспериментальная оценка возможности развития в несущих элементах проектируемых конструкций процессов разрушений различных типов: усталостного, хрупкого, квазистатического, разрушения вследствие ползучести материала, коррозии, износа в процессе эксплуатации и т. п. При этом должны быть рассмотрены все возможные в условиях эксплуатации конструкции известные на данный момент механизмы разрушения материала, из которого выполнены её несущие элементы. Для сокращения времени и упрощенного расчета воспользуемся конструкторско-расчетной программой Solid Edge Simulation.

Solid Edge Simulation позволяет проводить наиболее востребованные типы расчётов: статическая прочность, анализ собственных форм и частот вынужденных колебаний, анализ формы потери устойчивости при продольном нагружении, стационарный тепловой анализ, термоупругость. Поддержка работы со сборками позволяет задавать условия контактного взаимодействия между деталями или телами в многотельной детали, моделировать нагрузки болтовых соединений. Simulation обладает необходимым набором команд для заданий различных условий нагружения и закрепления модели, в том числе и учёт геометрической симметрии для снижения ресурсоёмкости расчётов.

Следует отметить, что для расчета ковшей моделируются две ситуации: правильной и неправильной (наихудшей) работы ковша. Правильная работа, это работа ковша всеми зубами. При таком виде работ нагрузка распределяется равномерно на поверхности ковша и всех его элементах. Неправильной (наихудшей) работой ковша является нагрузка одного, а именно крайнего из зубьев. Такой вариант работы запрещен на всех моделях и групп экскаваторах. Он не подлежит гарантийным обязательствам. При расчете такую нагрузку принимают за критическую, превосходящую максимальной нагрузке. В результате наглядно видно, что кронштейн первоначального варианта ковша при наилучшем варианте работы нагружен сильнее, чем доработанный. Особенно это видно по нижней балке, которая у нового образца почти не нагружена, и при отсутствии так называемого упора, который в старой модели принимает максимальную нагрузку.

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

ВЛИЯНИЕ СОТС НА ПРОЦЕСС АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

Алмазное выглаживание представляет собой процесс пластического деформирования исходного микропрофиля под действием усилия, приложенного к алмазу. Эффективность применения алмазного выглаживания зависит от выбора условий обработки и смазывающе-охлаждающего технологического средства (СОТС). Роль СОТС в процессе обработки алмазным выглаживанием заключается в образовании на поверхности обрабатываемой детали защитных плёнок из компонентов активной среды СОТС. Подбор оптимальной СОТС повышает производительность обработки, качество обработанных поверхностей, снижает себестоимость процесса за счёт увеличения ресурса инструмента и снижения энергозатрат. В начальный момент выглаживания происходит пластическое деформирование. Часть металла перед инструментом вспучивается в виде валика, а часть выдавливается на край детали, создавая небольшой наплыв на торце, который увеличивается вследствие обратного течения металла за инструментом в сторону торца. К моменту прохождения выглаживающим наконечником самой кромки детали натяг исчезает. Была поставлена задача разработать СОТС, которая позволит повысить ее эффективность и стабильность, согласно изобретению СОТС содержит мас %: хлорид меди (4-7), триэтаноламин (8-13), полиэтиленгликоль (35-40), уксусная кислота (17-30), вода (14-23), моноалкиловые эфиры полиэтиленгликоля на основе первичных жирных кислот (10-26). Были проведены эксперименты по измерению величины шероховатости и микротвердости, которые показали, что при процессе алмазного выглаживания и изготовленной СОТС на образцах стали 45, 12Х18Н10Т, 40Х13 микротвердость поверхности повышается в 2 раза и шероховатость поверхности уменьшается в 1,5 раза.

Библиографический список

1. **Патент №2660909** Смазочно-охлаждающее технологическое средство для процессов поверхностного деформирования./Полетаев Владимир Алексеевич, Ведерникова Ирина Игоревна, Шпенькова Елизавета Валерьевна (Соловьева Е.В.), Голяс Антон Андреевич, Степанова Татьяна Юрьевна. Заявка № 2017116926 от 15.05.2017, Оpubл. В Б.И. № 20 от 11.07.2018

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

ИЗНАШИВАНИЕ ТВЕРДЫХ ТЕЛ

Проблема разрушения поверхностных слоев в процессах фрикционного взаимодействия является одной из главных в трибологии, которые вынесены в специальную область теории прочности и разрушения. Силовое взаимодействие, происходящее при трении тел, характеризуется локальностью и происходит на пятнах контакта из-за шероховатости поверхности и неоднородности физико-механических свойств. Малые размеры пятен контакта являются причиной высокой величины давления. Вследствие физико-химических процессов взаимодействия поверхностей на их относительное перемещение при трении накладываются связи. Реакции связей представляют собой касательные контактных напряжений, значения которых возрастают с повышением давления. Появления дополнительных касательных поверхностных сил может существенно повысить нагруженность приповерхностного материала. Процессы фрикционного разрушения ограничены слоем, который определяется действительным распределением внешних сил по принципу Сен-Венана при напряженно-деформированном состоянии. Вследствие гетерогенности субмикроструктуры материалов сдвиг не может быть реализован в одной плоскости скольжения и, поэтому в него входит система плоскостей скольжения и охватывает тонкий поверхностный слой субмикроскопической толщины.

Стоит отметить, что при гидродинамической или граничной смазке зона наибольшей деформации сдвига локализована в зоне смазочного материала. В кинематическом аспекте поверхностный слой локализирует в себе разрыв скорости, обусловленный относительным перемещением тел. Также следует отметить, что в используемых моделях трения и износа при решении задач поверхностный слой отсутствует. В итоге приходим к трехуровневой структуре системы, которая состоит из поверхностного подповерхностного слоя и глубинного материала.

Библиографический список

1. **А.Ю. Ишлинский** Проблемы изнашивания твердых тел в аспекте механики [Текст]/ А.Ю. Ишлинский, И.В. Крагельский, Н.М. Алексеев, А.В. Бломен, М.Н. Добычин. // Трение и износ. – 1986.- Т.6. - №4.- С.581

*Сухов И.А. студ.; рук. С.А. Егоров к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

РАСЧЕТ ОБЪЕМА ПАРОГЕНЕРАТОРА ДЛЯ ПОДАЧИ СОТС В ЗОНУ РЕЗАНИЯ

В современном машиностроении механическая обработка протекает с применением смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). В данной работе предлагается рассчитать объем емкости для подачи смазочно-охлаждающей жидкости в паровой фазе металлообрабатывающего станка на одну смену работы.

Расход СОТС при подаче его в зону обработки составляет 20 л/мин. подача СОТС в паровой фазе сопровождается увеличением объема среды. За счет чего можно сократить расход до 2 л/мин.

Парогенераторы бывают закрытого и открытого типа, с ограниченным и не ограниченным объемом, так же их различают по видам потребляемого топлива. [1,2,3]

Выбор был остановлен на парогенераторе закрытого типа. Для работы в одну смену необходимо иметь емкость объемом, который позволяет испарять количество СОТС обеспечивающее необходимые охлаждающие свойства.

Расчеты показывают, что на одну смену требуется 960 л. По итогам расчетов, получается что из 1 литра СОТС получается 1,24 м³ пара. Пар в зону резания подается под давлением 1...2,5 Мпа.

Библиографический список

- 1.Махалов В.В.** ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ПАРОГЕНЕРАТОР. Патент № 13412 U1 РФ / Заявка: 99125741/20, 1999.12.08 /Опубл. 2000.04.10
- 2.Гилев С.В.** Парогенератор для банной печи Патент №189278 U1 РФ / Заявка: 2019102136, 25.01.2019/ Опубл. 17.05.2019
- 3.Steven A., Ashton S.L.,** Colin M., Nicholas E.G. Патент № US20130279890 Electric steam generation/ Заявка:13879583/ 14.10.2011/ Опубл. 24.10.2013

*П.А. Теньковский, маг., Н.А. Кропотова, к.х.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

РОБОТОТЕХНИЧЕСКОЕ УСТРОЙСТВО ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ

В настоящее время одной из основных мер по обеспечению безопасности является предупредительно-профилактические мероприятия. Исходя из причин аварийных ситуаций на водных объектах по перевозке нефтепродуктов видно, что 40 % из всего числа аварий относят к износу судов. В данной статье приводится решение данной проблемы и предлагается робототехническое устройство, (рис.1).

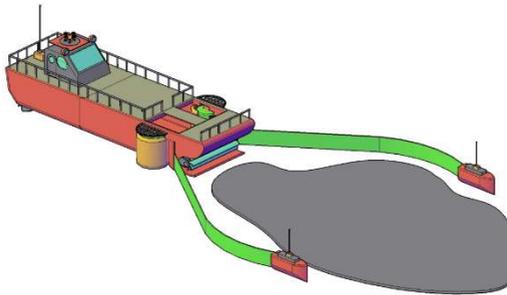


Рис. 1 Условная схема локализации разлива нефтепродуктов для последующего удаления с поверхности воды

Данный робот предназначен для мониторинга в зоне дислокации как основной платформы, так и сопутствующими мониторинговыми коптерами, обеспечивающих расширение зоны мониторинга поверхности водного пространства. Наличие активных датчиков позволяет приблизить платформу на безопасное расстояние, после чего производится отбор проб воздуха и поверхностных вод на наличие источников загрязнения. Система скрин-тестов позволяет вывести в центр принятия решений основное решение и расчет вспомогательных сил, при необходимости.

Библиографический список

1. **Леушин Е.Н., Кропотова Н.А.** Разработка робототехнического комплекса и системы для противопожарной защиты и ликвидации последствий пожаров и взрывов на водных объектах // Современные пожаробезопасные материалы и технологии: сборник материалов II Международной научно-практической конференции. Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2018. С. 355 – 357.

*Д.А. Шкрамада, курсант, А.А. Покровский, к.т.н., доц.
(ИПСА, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ УСЛОВИЙ ЭКСПЛУАТАЦИИ НА ВЫБОР ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Подшипники качения являются частью различных узлов машин и механических передач и служат опорными конструкциями валов. На ресурс работы подшипника качения влияет их правильный выбор при проектировании устройства. Существуют два метода подбора подшипников качения – по статической грузоподъемности, когда кольцо подшипника вращается с частотой не более одного оборота в минуту и динамической грузоподъемности, в случае большей скорости вращения.

Под статической грузоподъемностью радиальных и радиально-упорных подшипников понимают радиальную нагрузку, при которой перемещение тел качения и колец в наиболее нагруженной зоне контакта равно 0,0001 диаметра тела качения. Для упорных и радиально-упорных подшипников вместо радиальной нагрузки применяют осевую. В данном случае выбор подшипника производится путем сравнения требуемой величины статической грузоподъемности со значением установленным заводом изготовителем, указанным в справочной литературе.

Выбор подшипника по динамической грузоподъемности проводится по приведенной нагрузке и ресурсу в миллионах оборотов. По рассчитанной динамической грузоподъемности проводят выбор подшипника по справочной литературе, учитывая, что расчетное значение динамической грузоподъемности должно быть меньше величины установленной заводом изготовителем.

Методы расчета подшипников по статической и динамической грузоподъемности предусматривают проверку только по признаку усталостного выкрашивания и местного смятия рабочих поверхностей. Поэтому приведенные методы выбора подшипников качения на основе расчетов позволяют обеспечить их работоспособное состояние в течение заданного срока службы без возникновения усталостных разрушений.

Библиографический список

1. **Покровский А.А.** Основные причины потери работоспособности деталей машин //NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2020 г. – № 113; URL: <https://novainfo.ru/article/17676>

*Г.С. Шумнов, курсант, В.Е. Иванов, к.т.н.
(ИПСА, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ РЕМОНТА РАДИАТОРОВ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В каждой пожарно-спасательной части МЧС России проводится плано-предупредительная работа, которая выражена в техническом обслуживании и ремонте пожарной техники, предусматривающая обязательное выполнение комплекса работ в период эксплуатации техники, в процессе ее хранения и транспортирования. Применяется система технического обслуживания и ремонта техники по фактическому состоянию, предусматривающая проведение работ по поддержанию исправного состояния пожарной техники и вооружения.

Для выявления основных неисправностей, которые могут повлиять на быстрое реагирование и постоянную готовность техники в случае чрезвычайной ситуации, находящейся в эксплуатации в пожарно-спасательной части, был проведен анализ за период с 2015 года по 2020 год. Согласно проведенному анализу неисправность автомобиля по причине поломки радиатора занимает второе место. Поэтому в работе были проведены исследования по ремонту радиаторов клеевыми составами. При проведении исследований были учтены разные технические особенности работы систем охлаждения двигателя внутреннего сгорания на пожарной автоцистерне АЦ-40 (130) и на пожарной автоцистерне АЦ-5.5-40(5557). При проведении исследований температура измерялась как по встроенным датчикам, так и по значениям внешних термодатчиков, подсоединенных к входному и выходному патрубкам радиатора. На основании проведенных исследований выявлено, что максимальная площадь заделки радиатора пожарной автоцистерны АЦ-40 (130) с помощью клеевых составов составляет 13% от общей площади. Для пожарной автоцистерны АЦ-5.5-40 (5557) составляет 18 % соответственно. При превышении этих значений, радиатор не справляется с задачей охлаждения двигателя внутреннего сгорания пожарного автомобиля, что может привести к серьезной поломке автомобиля.

Библиографический список

1. **Иванов В.Е.** Восстановление деталей пожарных автомобилей клеевыми составами / В.Е. Иванов, Г.С. Шумнов, А.А. Шукин, А.А. Скачко // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник IX Всероссийской научно-практической конференции. Иваново. 2018. С 277-279.

СЕКЦИЯ 24
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

Секретарь –
ассистент **Ильина Е.Э.**

*Посвящается памяти
профессора кафедры теоретической и прикладной механики
Вадима Ивановича Шапина (1941 - 2021)*

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНИЧНЫХ УСЛОВИЙ НА ДИНАМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЛАСТИН

Цель работы заключается в исследовании экспериментальной установки и ее последующим внедрением в учебный процесс по разделу механики «Динамика стержней, пластин и оболочек».

Задача состоит в нахождении собственных частот колебаний пластины тремя методами: экспериментальным, численным и аналитическим и дальнейшим сравнением экспериментального с двумя другими для точности проводимых экспериментов.

Собрана экспериментальная установка, состоящая из звукового генератора, усилителя, пластины и электродинамического вибратора и были замерены ее собственные частоты, прогиб.

Посчитаны численным методом в программном комплексе «Ansys» различные типы закрепления пластины, и были найдены собственные частоты для каждого закрепления.

Собственные частоты так же были посчитаны аналитически по формулам из [1] и был выполнен сравнительный анализ методов в виде диаграммы (рис.1).



Рисунок 1 – Диаграмма сравнения методов исследования колебаний пластины, закрепленной по контуру

Из диаграммы можно сделать вывод о погрешности измерительного эксперимента.

Необходимо доработать либо сам стенд, либо использовать другой метод измерения собственных форм колебаний пластины

Библиографический список

2. **Филиппов А. П.** Колебания деформируемых систем / А. П. Филиппов . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1970 . - 736 с.
3. **Вайнберг Д.В.** Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. Киев, Будивельник, 1973. - 488с.

*О.В.Андреева, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИБРОМОНИТОРИНГА РОТОРНЫХ МАШИН

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

Работа посвящена созданию методической и технической базы учебного программно-технического комплекса (УПТК) на основе программных систем (ПС) «АГАТ-Протокол» и «ВИБРОДИЗАЙНЕР-Эксперт» и измерительных средств: виброанализаторов АГАТ (ООО «Диамех») и STD-3300 (ООО «ТД «Технекон»). Обучающий эффект УПТК заключается в приобретении навыков и умений в областях:

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

Вибромониторинг осуществляется на основе параметров вибрации измеряемых при эксплуатации тягодутьевых механизмов и различных типов центробежных насосов.

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

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

Обучаемые получают возможность:

- теоретического изучения технологии «off-line» ВМ и нормативной базы по виброконтролю;
- отработать навыки и умения проведения измерений и анализа на реальном оборудовании, пройти допусковое (аттестационное) тестирование по основам вибрации машин и вибродиагностики;
- использования информационных технологий интегрированных в среду «off-line» ВМ для выполнения оценки ТС и диагностирования основных узлов и агрегатов, формирования сводного отчета о ТС.

Библиографический список

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

А.А.Белов, магистр.; А.В.Чернов, студ.;
рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ТЕХНОЛОГИЯ ВИБРОМОНИТОРИНГА И ВИБРОДИАГНОСТИКИ РОТОРНЫХ МАШИН

Концептуальные положения технологии вибромониторинга (ВМ) роторных машин для оценки их технического состояния (ТС), а также анализ опыта практического применения ВМ приведены в [1]. Базовые методические вопросы по оценке ТС изложены в [2].

Анализ практических результатов оценки ТС показал как эффективность технологии ВМ, так и необходимость методической доработки с целью учета статистической неоднородности результатов измерений, а также дополнения задачами вибродиагностики (ВД).

В работе предложена новая методика установки ограничительных уровней, которая может считаться дополнением к ГОСТ ИСО 10816. Методика основана на статистическом анализе и предполагает:

- определение базового уровня и доверительных границ его изменения в каждой контрольной точке измерения;
- выбор границ зон состояний на основе расчетных среднестатистических величин вибрации машин находящихся в работоспособном состоянии («средняя нормаль»);
- формирование правил выбора уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ в зависимости от близости границ интервала к границам зон состояний, в том числе, установленных по критерию «средняя нормаль».

Приведено сравнение результатов выбора ограничительных уровней с использованием разных подходов.

Предложена методика ВД основных дефектов роторных машин на основе анализа эталонных характеристик распределения (КХР) вибрации. Сформирован эталон КХР вибрации работоспособного состояния насосного агрегата.

Проанализирована возможность использования метрических методов распознавания и методов статистических решений для ВД.

Библиографический список

1. **Колобов А.Б.** Анализ результатов и опыт реализации вибромониторинга роторных машин / А.Б. Колобов, Ф.Б. Огурцов // Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов XI Всероссийской научно-практической конференции, Иваново, 16 апреля 2020 г. – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановская пожарно-спасательная академия ГПС МЧС России, 2020, с. 199 – 204.
2. **Колобов А.Б.** Вибромониторинг промышленных машин: учебное пособие / А.Б.Колобов. – Москва; Вологда: Инфра-Инженерия, 2021. – 256 с.

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

ВЛИЯНИЕ УГЛЕРОДНЫХ НАНОСТРУКТУР НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗИН

В работе исследованы физико-механические свойства резин на основе каучуков СКИ-3 и СКС-30-АРКМ-15, армированных гибридным наполнителем технической углерод/углеродные нанотрубки (ТУ/УНТ). Резина получена по методике, представленной в работах [1, 2].

Испытания на эластичность проведены по методике, представленной в ГОСТ 27110-86 (СТ СЭВ 108-85), на упругомере УМР-2 типа Шоба. Определение твердости проведено по методу Шора А в соответствии с ГОСТ 263-75 и ГОСТ 20418-75 с помощью твердомера ТМ-2. Определение упругих свойств для каждого типа резины реализовано по нескольким режимам испытаний, проводимых на автоматизированной разрывной машине Sumadzu серии AG-X по стандартной методике.

Проведенные исследования показали, что введение в состав резин на основе каучуков СКИ-3 и СКС-30-АРКМ-15 углеродных наноструктур – технической углерод/углеродные нанотрубки (ТУ/УНТ) снижает эластичность резины на 17 % и повышает твердость по Шору А на 12 %. Это связано с наличием наполнителя (ТУ/УНТ), который встраивается в структуру резины и снижает величину высокоэластичности за счет связывания молекул эластомера. Снижение эластичности резины одновременно связано и с повышением ее твердости. Это показатель является существенным при практическом использовании резин.

При одноосном растяжении испытанных резин установлено, что наличие в структуре резины наноструктурированного наполнителя ТУ/УНТ приводит к увеличению условной прочности для резины на основе СКИ-3 на 19,6 %, а на основе СКС-30-АРКМ-15 на 22,5 %. Введение в рецептуру резиновой смеси на основе каучуков СКИ-3 и СКС-30-АРКМ-15 наноструктурированной добавки позволяет получить резины с улучшенными упруго-прочностными показателями.

Библиографический список

1. Мансурова И. А., Бурков А. А., Шилов И. Б., Долгий Э. О., Белозеров В. С., Хусаинов А. Д. Влияние гибридного наполнителя технической углерод/углеродные нанотрубки на релаксационное поведение вулканизатов // *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2019. Т.62, вып. 11. С. 106–111.
2. Мансурова И. А., Бурков А. А., Исупова О. Ю., Заграй И. А., Хлебков А. Г., Дурнев Е. А., Гаврилов К. Е. Функционализация углеродных нанотрубок техническим углеродом или полимерами для модификации динамических механических свойств резин // *Перспективные материалы*. 2017. Вып. 8. С. 69–80.

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

РАСЧЕТ ДАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОИЗОЛИРУЮЩЕГО МАТЕРИАЛА НА КОРПУС ЦИФРОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Рассматривается цифровой трансформатор тока и напряжений, который был разработан преподавателями и аспирантами кафедры автоматического управления электроэнергетическими системами ИГЭУ совместно с ООО НПО «ЦИТ» (г.Иваново). Корпус трансформатора состоит из цилиндра и днища(пластины), заполненного изолирующим материалом.

Для надежной работы трансформатора необходимо обеспечить его механическую прочность, для чего необходимо определить усилия, действующие на корпус.

При работе трансформатора тепловое действие тока приводит к его нагреву. Это приводит к появлению внутреннего давления на корпус трансформатора вследствие разности коэффициентов линейного расширения материала корпуса и изолирующего материала, которое и является расчетной нагрузкой.

Расчет давления на днище основывается на модели корпуса трансформатора, как статического неопределимого стержня при его нагреве и соответствующих теоретических расчетах.

Расчет давления на цилиндр основано на модели цилиндра, находящегося под действием внутреннего давления и соответствующих ей уравнениям теории упругости, с учетом температурного воздействия, в результате получено выражение давления на цилиндра.

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

ОПТИМИЗАЦИОННЫЙ РАСЧЕТ МАТЕРИАЛА ЗУБЧАТОГО КОЛЕСА

Зубчатое колесо или шестерня – основная деталь зубчатой передачи в виде диска с зубьями на цилиндрической или конической поверхности, входящими в зацепление с зубьями другого зубчатого колеса.

В программном комплексе КОМПАС-3D создана модель зубчатого колеса. Модель перенесена в ANSYS Workbench где приложены нагрузки в виде силы и момента кручения. Построена эпюра нормальных напряжений [1,2](Рис.1)

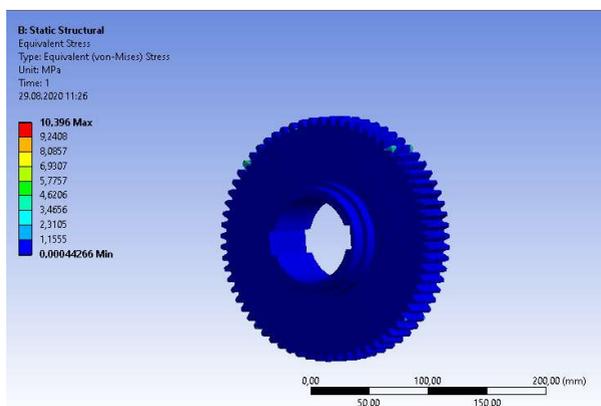


Рис.1 Эпюра напряжений(МПа)

Подобран материал зубчатого колеса– алюминий, минимальные допустимые напряжения которого равны 11 МПа.

Библиографический список

1. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. 468
2. Конохов, А. В. Основы анализа конструкций в ANSYS / А. В. Конохов. – Казань, Изд-во КГУ, 2001.

А. Ю. Дмитриук, студ.; рук. З.В. Зарубин, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЧЕРВЕОБРАЗНОГО ДВИЖЕНИЯ ГИБКОГО РОБОТА

В последние несколько десятилетий активно анализируют движение роботов способных ползать внутри труб в целях технического осмотра или внутри человеческого тела для медицинских применений. Во многих случаях такие роботы должны преодолевать местность с анизотропными свойствами, высокой гибкостью, различными размерами и низкими коэффициентами трения. Ключевым элементом в конструкции робота-ползуна является наличие небольшого количества двигателей и контролеров, что позволяет упростить конструкцию.

Существует две основные схемы передвижения: червеобразное и волнообразное. В данной работе рассматриваем моделирование и анализ червеобразной концепции движения. Принцип движения данного робота осуществляется за счет череды сокращений и удлинений продольной волны.

В конструкции робота используется плетеная сетка, подобная той, что применяется в искусственных мышцах с пневматическим приводом, чтобы создать связь между осевым и радиальным движением с помощью одного исполнительного механизма. Каждый сегмент этой сетки состоит из механизма с четырьмя нитями, что приблизительно соответствует способности плетеной сетки изгибаться и является важной способностью к образованию волн.

В работе предложен анализ червеобразного движения с основными прогнозами в аналитической модели (трение и проскальзывание). Двумерное моделирование осуществлено в программном комплексе Mathcad, которое предполагает использование плетеной сетки (рис.1а) и предложена возможная техническая реализация модели (рис.1б).

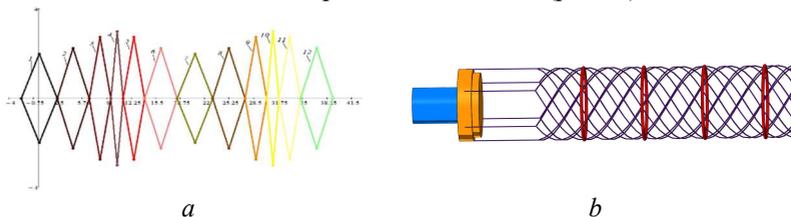


Рис.1 Червеобразная концепция движения,
а – двумерное моделирование; б – возможная техническая реализация

Библиографический список

1. Alexander R.M., Principles of Animal Locomotion, Princeton University Press, Princeton, New Jersey, p. 88.

2. Boxerbaum A.S., Chiel H.J., Quinn R.D., Continuous Wave Peristaltic Motion in a Robot. Proc. IEEE Int. Conf. Robot. Autom. 2012;302-318
3. D. Zarrouk, I. Sharf, and M. Shoham, Conditions for worm-robot locomotion in a flexible environment: theory and experiments, *IEEE Transaction on Biomedical Engineering*, vol. 59, no. 4, pp. 1057-1067, 2012.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПЛАСТИКА PLA

Испытания на растяжение являются основным и наиболее распространенным методом контроля механических свойств материалов. Целью работы является изучение физико-механических свойств материала для дальнейшего изготовления фюзеляжа авиамоделей летающей лодки с помощью 3D печати.

Работа включает в себя изучение аддитивных технологий и определение физико-механических свойств материала при одноосном растяжении. Эксперименты воспроизводились многократным повторением и были выполнены согласно ГОСТ 11262-80 [1]. В качестве образцов были использованы: продольная и поперечная оболочка, а также массивная конструкция.

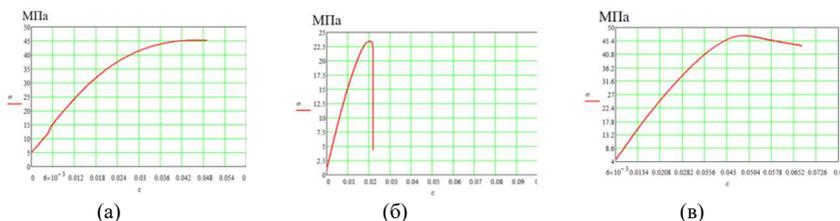


Рис.1. Диаграмма растяжений образцов: с продольным расположением волокон (а), поперечное расположение волокон (б), массивная конструкция (в)

В результате проведения испытаний были получены физико-механические свойства материала. Предел прочности для массивной конструкции равен 45,2 МПа, модуль Юнга 1335 МПа, коэффициент Пуассона 0,39. Это необходимо для дальнейшего анализа напряженно-деформированного состояния 3D модели конструкции корпуса гидроплана.

Библиографический список

1. ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытаний на растяжение.

*Жеглова А.Р., студ., Шабакеев Р.Р., студ.;
рук. Шмелева Т.В., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИОННОЙ ДЕТАЛИ ФЮЗЕЛЯЖА САМОЛЕТА

Задачей работы является исследование прочности детали фюзеляжа самолёта (рис.1.). Деталь по профилю напоминает шпангоут самолёта - это силовая деталь, определяющая профиль самолёта[1]. Проведен расчёт следующих частей и соединений: отверстия под крепёж по верхнему/нижнему фланцу, ребро жёсткости, соединение «ухо-вилка», стык стрингера и шпангоута[2].

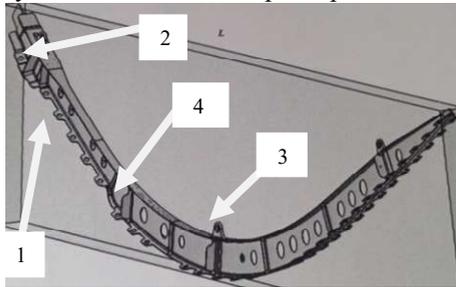


Рис.1. Конструкционная деталь фюзеляжа: 1-отверстия под крепёж по верхнему/нижнему фланцу, 2-ребро жёсткости, 3-соединение «ухо-вилка», 4-стык стрингера и шпангоута.

Результаты расчётов получились следующие: момент инерции всей фигуры относительно оси x составил 0.768 in^4 (31.96 см^4); по приложенным силам в центр верхнего и нижнего фланца, проведены расчёты на сжатие фланцев; на верхнем фланце нормальные напряжения равны $\sigma = 16136 \text{ Psi}$ (100 МПа), запас прочности $MS=3.6$. На нижнем фланце соответственно 28861 Psi (190 МПа) и 0.7 .

Библиографический список

1. Житомирский, Г.И. Конструкция самолётов[Текст]/Г.И.Житомирский – М., Инновационное машиностроение, 2018.
2. Миртова, К.Д. Конструкция и прочность самолётов и вертолётов[Текст]/ Миртова К.Д., Черненко Ж.С.- М., Транспорт, 1972.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ ОБРАЗЦА ПОЛЯРИЗАЦИОННО-ОПТИЧЕСКИМ МЕТОДОМ

Поляризационно-оптический метод исследования напряжений позволяет находить поля деформаций и напряжений с применением плоских и объемных прозрачных моделей при просвечивании их поляризованным светом. В основе метода лежат такие оптические явления, как поляризация света, эффект двойного лучепреломления, интерференции света.

Достоинства метода – высокая точность, наглядность и простота измерений, возможность вести измерения в зонах концентрации напряжений на весьма малых базах, получать поля напряжений внутри объема модели.

На изображениях представлено распределение напряжения по детали в виде прямоугольника; напряжение, которое изображено красным цветом – максимальное, синим – минимальное (рис.1).

Сверху расположена стальная пластина, но для получения оптимальной картины напряженно-деформированного состояния на поверхности приложения распределенной нагрузки она не показана. Сила, приложенная на единицу площади поверхности, равна 50 кН.

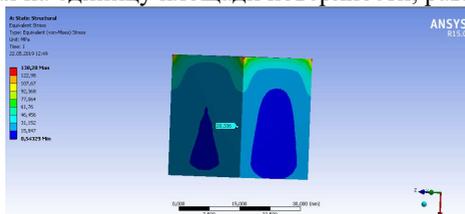


Рис.1. Эпюра напряжений

По результату численного расчета при действии на деталь силы равной 50кН максимальное напряжение, возникающее в образце, равно 138,28 МПа.

Библиографический список

1. Определение механических напряжений в прозрачных телах методом фотоупругости: методические указания по выполнению лабораторной работы №94 по курсу «Физика» для студентов инженерно-технических специальностей /Курск, гос. техн. ун-т; сост.: Л.А. Желанова, А.А. Родионов. – Курск, 2010. – 7 с. Библио-огр.: с. 7.;
2. Изучение поляризованного света и внутренних напряжений в твердых телах оптическим методом: методические указания к лабораторной работе № 66 по курсу общей физики /Уфимск. гос. авиац. техн. ун-т; сост.: Э.В. Сагитова. – Уфа, 2005. – с. 16.;

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

ОПТИМИЗАЦИЯ НАГРУЗОК ДЕТАЛИ “ПОВОДОК”

Поводок – деталь, используемая для смены передачи в различных станках.

В программе КОМПАС-3D создана 3D модель поводка для дальнейшего переноса в ANSYS Workbench, где добавлены опоры и нагрузки.

С помощью ANSYS оптимизированы [1,2] нагрузки и построена эпюра напряжений (рис. 1).

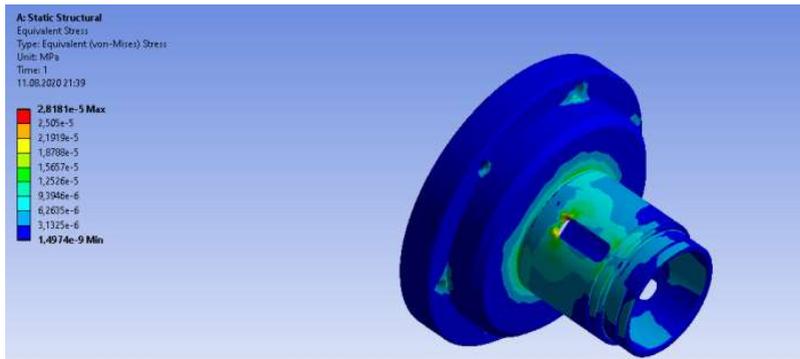


Рис.1. Эпюра напряжений модели поводка.

После расчета напряжений подобран материал, подходящий для поводка - алюминий и его сплавы марки А85М, А8М, минимальные допустимые напряжения которых равны 11 МПа.

Библиографический список

1. **Басов, К. А.** ANSYS: справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005.
2. **Конюхов, А. В.** Основы анализа конструкций в ANSYS / А. В. Конюхов. – Казань, Изд-во КГУ, 2001.

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, начинают с на поверхности лопатки и распространяются внутрь. Разрушения определяются совместным действием нагрузок от центробежных и газовых сил и термическими нагрузками. Термические напряжения образуются в следствие не равномерного 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).

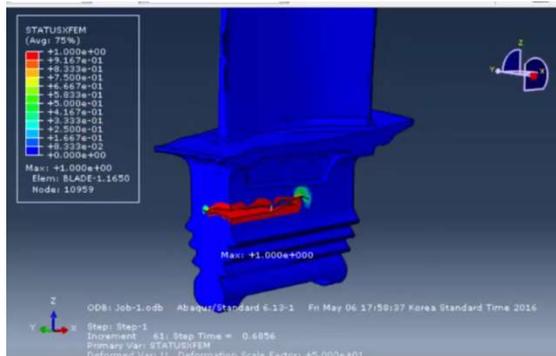


Рис. 1. Модель разрушения лопатки турбины расширенным методом конечных элементов

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

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

ТОПОЛОГИЧЕСКАЯ ОПТИМИЗАЦИЯ АНТЕННОГО СООРУЖЕНИЯ СОТОВОЙ СВЯЗИ

Целью работы является топологическая оптимизация антенного сооружения сотовой связи в программном комплексе Ansys.

Башня сотовой связи имеет высоту, равную 10 метрам и состоящую из 5 секций, каждая по 2 метра. Вес полученной конструкции составил 12184 килограмм.

В процессе работы осуществлено создание геометрической компьютерной модели башни, создание конечно-элементной сетки модели и расстановка граничных условий. В созданной модели проведен аналитический расчет элемента для определения его напряженно- деформированного состояния и топологическая оптимизация конструкции.[1,2]



Рис.1. Модель после проведения топологической оптимизации

В результате исследования получена оптимизированная модель антенного сооружения сотовой связи, вес которой уменьшился на 973 кг, при этом сохранились прочностные и жесткостные характеристики.

Топологическая оптимизация такой конструкции имеет большие проблемы в производстве из-за ее сложной геометрической конструкции.

Библиографический список

1. **Басов, К. А.** ANSYS: справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. 468
2. **Конюхов, А. В.** Основы анализа конструкций в ANSYS / А. В. Конюхов. – Казань, 2001. 10-11

*В.А. Зуев, магистр.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.;
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЙ ЭЛЕМЕНТ БАМПЕРА

При дорожно-транспортных происшествиях с участием пешеходов первый элемент, соприкасающийся с человеком при ударе – бампер, поэтому проведение теоретико - экспериментальных работ в области повышения его конструктивной безопасности представляет собой актуальную задачу. Необходимо использовать материал, способный свести к минимуму вероятность получения тяжелых травм в результате ДТП.

Актуальность исследований в данной области обусловлена необходимостью разработки конечно-элементной модели, способной смоделировать упругопластическое поведение материалов при воздействии на них статических и динамических нагрузок. Такая модель продемонстрирует поведение материала в заданных условиях при заданных нагрузках еще на этапе проектирования. Это позволяет экономить время и ресурсы на проведение реальных испытаний – краш-тестов.

Объектом исследования выступает упругопластический элемент бампера (поглотитель), способный рассеивать и демпфировать часть кинетической энергии от столкновения. Это ключевая конструкция, которая помогает поглощать кинетическую энергию при сильном ударе и обеспечивать сопротивление изгибу при слабом ударе. Высокая конструкционная ударопрочность является существенным требованием при проектировании автомобильных деталей.

В результате исследований получаем конечно-элементную модель ударного воздействия на бампер автомобиля и напряженно-деформированное состояние элемента бампера при ударе [1,2]. Данная модель станет основой для исследования при подборе оптимальных свойств материала и дальнейшего его использования в конструкции автомобилей.

Библиографический список

1. **Пановко Я.Г.** Введение в теорию механического удара. М.: Машиностроение, 1977. 220 с.
2. **Малинин, Н. Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести: учебник для вузов / Н. Н. Малинин. – Изд. 2-е, перераб. и доп. – М., «Машиностроение», 1975. – 400 с.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ЧЕЛЮСТИ ГРЕЙФЕРА

Грейфер — это грузозахватное навесное устройство, с помощью которого можно выполнять разгрузочно-погрузочные, землеройные и планировочные работы.

Проводиться расчет грейфера проводится в программной среде Microsoft Excel и КОМПАС-3D. Сравнение усилий на конце зуба правой и левой лопасти гидроцилиндра. Рассматривается грейфер GFL-2000. (рис1)

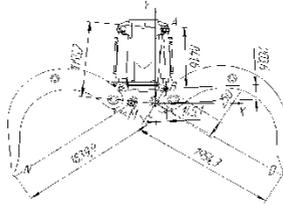


Рис.1- Расчетная схема

Исходные данные:

Длина гидроцилиндра $L_{гид} = 888,5$ мм

Расстояние BC $L_{BC} = 250,1$ мм

Координаты точки А $X_A = 104,9$ мм $Y_A = 1045,8$ мм

Плечо правой челюсти ковша CD $L_{CD} = 1954,3$ мм

Плечо левой челюсти ковша NM $L_{NM} = 1839,9$ мм

Максимальная длина гидроцилиндра $L_{гид} \max = 1220$ мм

Давление гидроцилиндре $p=36$ МПа= 360 кг/см²

Диаметр поршня $D_{II} = 90$ мм

Результаты расчета:

Усилие в правой части челюсти грейфера: $F_{II} = \frac{M_{челюсть}}{L_{CD}} = 1800,329$ кг,

Усилие в левой части челюсти грейфера: $F_{II} = \frac{M_{челюсть}}{L_{CD}} = 1694,85$ кг

Сравнив усилия на разных частях, можно сделать вывод, что усилие в правой части больше. Это обусловлено различной длиной плеча захвата гидроцилиндра.

Библиографический список:

1. Г.С Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев – Справочник по сопротивлению материалов, «НАУКОВА ДУМКА» Киев - 1975

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

ВЛИЯНИЕ ДЕФЕКТОВ НА ПРОЧНОСТЬ АНТЕННО – МАЧТОВЫХ СООРУЖЕНИЙ

Повышение спроса, расширение рынка услуг, развитие технологий мобильной связи приводит к интенсивному развитию проектирования, строительства и обслуживания специальных конструкций – антенно-мачтовых сооружений (АМС), на которых устанавливается оборудование [1]. На сегодняшний день практически в каждом сооружении (даже только что смонтированном), существуют дефекты и повреждения. Кроме того, следует обратить внимание на то, что эксплуатация таких сооружений происходит с большим количеством отказов.

Расчет на прочность проводился в программе конечно-элементного анализа ANSYS . Данный программный продукт позволяет автоматизировано провести все расчеты, связанные с прочностью разработанной конструкции.



Рис. 1. Деформации конструкции с учетом дефекта

Для оценки влияния наиболее значимых дефектов на мачтовых сооружения решено рассмотреть дефект «Искривление распорки/раскоса ствола» [2]. При сравнении полученных результатов при расчете на прочность конструкции и конструкции АМС с дефектом разница в деформациях составила 50%, а для изгибающего момента 12,82%.

Библиографический список

1. Краснощеков Ю.В. Эффективность антенных опор, возводимых на ограниченной площади // Вестник СибАДИ, №5(27), 2012. С.60-65.
2. Мельников Н.П. Антенные сооружения (башни, мачты, радиотелескопы). М. «Знание», 1969. 49 с.

*И.С. Смирнов, студ.; рук. Ф.Б. Огурцов, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Целью работы является исследование упругих свойств изделий из полимерных материалов, изготовленных с помощью 3D-печати.

Исследование включает в себя изучение аддитивных технологий, сборку и настройку 3D принтера [1], проведение экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств материалов [2].

Для реализации данной работы использовались аддитивные технологии и изготовление образцов с различным процентным соотношением заполнения.

Ставилась задача экспериментальным путем получить модуль Юнга, приложив сосредоточенную силу (рис.1) и распределенную нагрузку на образцы (рис.2).



Рис.1.Сосредоточенная сила $\Delta P=2H$ Рис.2.Распределенная нагрузка $\Delta P=2H$

В результате испытаний были определены прогибы шарнирно закрепленного на двух опорах образца в середине пролета. Расчет модуля Юнга производился по известным формулам [3].

Полученные результаты модулей Юнга с различными процентными соотношениями заполнения и способами нагружения образцов приведены в табл.1.

Табл.1.Сравнение экспериментальных данных.

Процент заполнения	Модуль Юнга при сосредоточенной силе, МПа	Модуль Юнга при распределенной нагрузке, МПа
100%	680	399
70%	748	436
40%	385	319
10%	308	327

Как видно из таблицы, значение модуля Юнга зависит не только от процента заполнения, что физически вполне объяснимо, но и от способа приложения нагрузки, то есть от картины распределения напряжений в образце. Для случая распределенной нагрузки зависимость не явля-

ется монотонной. Причины этого предполагается исследовать в ходе дальнейших этапов работы.

Библиографический список

2. Абдус Салам, Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития, МЦТФ, 2013. – 192 с.
3. ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытаний на растяжение
4. **Феодосьев, В.И.** Сопrotивление материалов : учебник для вузов / В. И. Феодосьев. - 17-е изд., испр. – М. : Издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2018. – 542 с.

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ПАЛЬЦА РОБОТИЗИРОВАННОЙ РУКИ

Целью научной работы является создание модели элемента роботизированной руки – указательного пальца, а также расчёт наиболее опасной детали конструкции, аналогом которой в человеческом организме является пястная кость.

В процессе работы создана модель антропоморфного пальца (рис.1), обладающая подвижностью, максимально приближенной к подвижности пальца человеческого пальца [1].

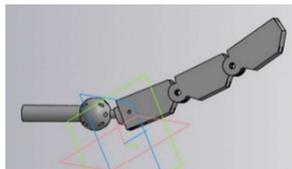


Рис.1. Указательный палец роботизированной руки.

Проведены расчёты на прочность и устойчивость [2], из которых получена максимальная грузоподъёмность пальца в 30.59 кг, при условии приложения нагрузки на центр основной фаланги при сжатом кулаке. Данная работа не учитывает предельные нагрузки для сервопривода, но показывает возможности механического узла и даёт представление о его пригодности к различным силовым работам.

Библиографический список

1. Синельников Р.Д., Синельников Я.Р. Атлас анатомии человека 1 том. Учение о костях, соединении костей и мышцах. М. “Медицина”. 1996.

2. **Беляев Н.М.** Сопротивление материалов. Издание четырнадцатое. М. “Наука”. 1965.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОПТИЧЕСКИ ПРОЗРАЧНЫХ ОБРАЗЦОВ МЕТОДОМ ФОТОУПРУГОСТИ

Метод фотоупругости является широко распространенным экспериментальным методом решения задач механики деформируемого твердого тела. Он позволяет определять распределение напряжений (деформаций) на прозрачных моделях в исследуемой области без использования аппарата математической теории упругости [1].

В работе проводилось экспериментальное определение напряжений, возникающих в оптически прозрачных образцах, выполненных из оргстекла марки СЭП ГОСТ 17622-72, методом фотоупругости на специально разработанной экспериментальной установке. Физико-механические характеристики оргстекла данной марки получены в соответствии с методикой, представленной в ГОСТ 11262-2017 Пластмассы [2]. В процессе нагружения диска одноосной сжимающей нагрузкой 200 Н в плоскости экрана получали визуализацию поляризационно-оптической зависимости от прикладываемой нагрузки. Впоследствии чего были определены максимальные напряжения, возникающие в зоне контакта диска и сдавливающей поверхности и равные 13.58 МПа.

По известным из теории упругости и сопротивления материалов формулам был проведен аналитический расчет напряжений в плоском диске. Согласно вычислениям максимальные эквивалентные напряжения располагаются в области приложения нагрузки и равны 11.92 МПа.

Сопоставляя полученные результаты работы можно сделать вывод, что они близки друг другу. Оценка степени соответствия результатов эксперимента, аналитического расчета и конечно-элементного моделирования показала правильность и целесообразность метода фотоупругости.

Библиографический список

1. **Шнейдер А.Е.** Метод линейной фотоупругости : учеб. пособие / А.Е. Шнейдер; - Свердловск : Темплан, 1990. - 101с.
2. ГОСТ 11262-2017 Пластмассы. Метод испытания на растяжение.

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

ДИНАМИЧЕСКИЕ ДЕФОРМАЦИИ ПЛАСТИНЫ ПРИ ВАРЬИРОВАНИИ ЗАКРЕПЛЕНИЙ

Цель работы заключается в создании экспериментальной установки и ее последующим внедрением в учебный процесс по разделу механики «Динамика стержней, пластин и оболочек».

Задача состоит в нахождении собственных частот колебаний пластины, прогиба, напряжений (по Мизесу) тремя методами: экспериментальным, численным и аналитическим и дальнейшим сравнением экспериментального с двумя другими для точности проводимых экспериментов.

Собрана экспериментальная установка, состоящая из звукового генератора, усилителя, пластины и электродинамического вибратора и были измерены ее собственные частоты, прогиб.

Посчитаны численным методом в программном комплексе «Ansys» различные типы закрепления пластины, и были найдены собственные частоты, напряжения и деформации (прогиб) для каждого закрепления.

Показано, что максимальные напряжения возникают в заделках и равны $7,69 \cdot 10^6$ Па.

Собственные частоты, прогибы и напряжения посчитаны аналитически и выполнен сравнительный анализ методов в виде диаграммы.

Из диаграммы можно сделать вывод о погрешности измерительного эксперимента, поэтому необходимо доработать либо сам стенд, либо использовать другой метод измерения собственных форм колебаний пластины.

Библиографический список

- 1. Филиппов А. П.** Колебания деформируемых систем / А. П. Филиппов . – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Машиностроение, 1970 . - 736 с.
- 2. Вайнберг Д.В.** Справочник по прочности, устойчивости и колебаниям пластин. Киев, Будивельник, 1973. - 488с.

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

МОДЕРНИЗАЦИЯ КОНСТРУКЦИИ ВИЛОЧНОГО ПОГРУЗЧИКА

Постоянное развитие техники основного производства и задачи увеличения производительности труда определили потребность совершенствования методов комплексной механизации и ликвидации тяжелого ручного труда.

Одним из перспективных направлений является разработка и создание машин напольного безрельсового транспорта. В отличие от рельсовых, пневмоколесных и гусеничных кранов погрузчики имеют возможность передвигаться с грузом на некоторое расстояние и обслуживать большие складские и производственные площадки. Они по сравнению с другими видами подъемно-транспортных средств более компактны и маневренны, имеют меньшую массу и наиболее высокие эксплуатационные показатели. Вилочные погрузчики требуют относительно малых капиталовложений при достаточно коротких сроках окупаемости.

Объектом исследования выступает вилочный погрузчик [1]. Его рабочее оборудование расположено в передней части, а основные грузозахватные приспособления – "вилочный" захват. Элементом рассмотрения является узел «Вилы».

В работе составлена расчетная схема и проведен расчет напряженно – деформированного состояния, анализ результатов расчета.

Библиографический список

1. **Ефимов Г.П.** Погрузчики: Справочник. М.: Машиностроение, 1989. 238 с.

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

РАСЧЕТ УСИЛИЙ ГРЕЙФЕРА

На экскаваторах с гидравлическим приводом устанавливают жестко подвешенные грейферы, которые крепят на рукояти обратной лопаты вместо ковша. Основное преимущество жестко подвешенного грейфера по сравнению с канатным заключается в том, что им можно создать необходимое давление на грунт при врезании, т. е. независимо от массы грейфера успешно разрабатывать плотные грунты.

Цель работы – расчет усилий на концах клещей грейфера GFL – 850 и KLZ-100.

В работе объектами исследования являются два грейфера GFL – 850 и KLZ-100 (рис. 1, рис. 2). Длина цилиндра составляет $L_{гид} = 1180,712881$ мм, диаметр поршня равен $D_{п} = 90$ мм. Также нам известно, что плечо левой части ковша составляет $CD = 1256,234453$ мм, а провой - $L_{EM} = 1131,432$ мм.

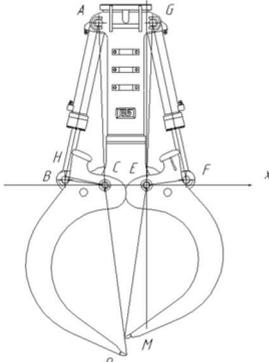


Рис.1. Расчетная модель GFL – 850

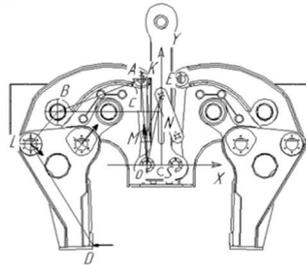


Рис. 2. Расчетная модель KLZ-100

Для расчета усилий действующих на концы грейфера нужно вычислить площадь треугольника S_{ABC} , полупериметр сторон треугольника P_{ABC} и плечо гидроцилиндра L_{CH} .

Площадь поршневой полости

$$S_{порш} = \frac{D_{п}^2}{4} * \pi, \text{ где } \pi = 3,14$$

Усилие гидроцилиндра

$$F_{гидр-ра} = p * S_{порш}$$

Момент создаваемый гидроцилиндром

$$M_{гидр-ра} = F_{гидр-ра} * L_{CH}$$

Момент, создаваемый гидроцилиндром равен моменту, создаваемый челюстью

$$M_{гидр-ра} = M_{челюсть}$$

Усилие на зубе левой челюсти

$$F_{челюсть} = \frac{M_{челюсть}}{L_{CD}}$$

При выполнении расчета усилий на концах клещей грейфера GFL – 850 и KLZ-100 были получены следующие величины усилий:

1. Для грейфера GFL – 850:

- Усилие на зубе левой челюсти
 $F_{челюсть} = 5399,512$ кг
- Усилие на зубе правой челюсти
 $F_{челюсть} = 5995,103$ кг

2. Для грейфера KLZ-100:

- Усилие на зубе челюсти
 $F_{\text{искомая}} = 63063,727 \text{ кг}$

Библиографический список

1. Таубер Б.А. Грейферные механизмы. — М.: Машиностроение, 1967.- 424 с.;
2. Ясиновский А.М. К методике прочностного расчета элементов челюстей канатных грейферов//Сборник «Детали машин и подъемно-транспортные машины», вып.8. Киев, «Техніка», 1968. С. 101-110 (ОПИ).

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

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО – ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ БАКА ГИДРОАККУМУЛЯТОРА

В работе объектом исследования является бак гидроаккумулятора из стального проката, который подвергается внутреннему избыточному давлению $p = 30 \text{ атм}$ с учетом слоистости упругого линейного материала.

Цилиндр имеет внутренний радиус $R=240 \text{ мм}$, высоту $h=800 \text{ мм}$ и толщину стенки $t=2 \text{ мм}$. Горисферическая головка состоит из трех частей: коронка, костяшки пальцев и фланец. Коронка имеет внутренний радиус $R_c=423 \text{ мм}$, костяшка имеет внутренний радиус $R_k=52 \text{ мм}$ и прямой фланец $s=70 \text{ мм}$ внутри

Результаты вычислений напряжений представлены на рис.1-2

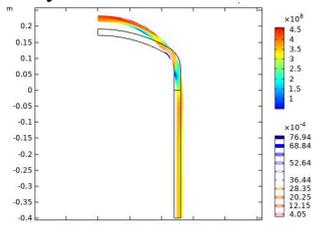


Рис. 1. Распределение напряжений в баке, МПа

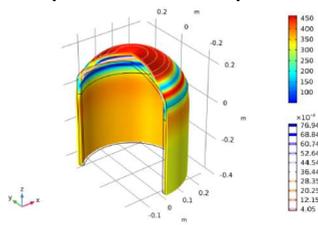


Рис.2. Распределение напряжений COMSOL Multiphysics

Напряжение Мизеса при 10% - ом заданном объеме, которое возникает при внутреннем давлении, достигает 31,4 МПа. Для изотропной стали с пределом текучести 381 МПа данный объем достигается при $P = 29 \text{ МПа}$. Поэтому с ортотропной сталью давление, необходимое для достижения 10% полученного объема, примерно на 8% выше, чем при использовании изотропной стали.

Библиографический список

1. Беликов С.Е. «Гидроаккумуляторы и расширительные баки» «Гидроаккумуляторы и расширительные баки / Беликов С. – доктор технических наук»: Аква-Терм; Москва; 2011

ние влияния конструкции опирания стальных стоек на устойчивость эстакады и определение резонансных частот конструкции.

При выполнении расчетов рассматривалась возможность как жесткого соединения стальных опор с фундаментами, так и шарнирного опирания, которое возможно при условии обеспечения устойчивости опор в продольном направлении трубами и анкерными опорами. Учитывались вертикальные нагрузки от веса трубопроводов с изоляцией, веса транспортируемого продукта, горизонтальные нагрузки и воздействия от трубопроводов, а также снеговые и ветровые нагрузки, при наиболее неблагоприятном их сочетании.

В результате численных расчетов промежуточных и анкерных опор эстакады проведено сравнение условий закреплений на статическую прочность конструкций эстакад трубопроводов, в программном комплексе получены критические силы, соответствующие разным формам потери устойчивости стальных опорных конструкций эстакады, выполнен расчет собственных частот и форм колебаний конструкции.

Библиографический список

3. **Смирнов А.Ф., Александров А.В., Лашеников Б.Я., Шапошников Н.Н.** Строительная механика. Динамика и устойчивость сооружений. – М.: Стройиздат, 1984. – 416с.
4. Пособие по проектированию отдельно стоящих опор и эстакад под технологические трубопроводы (к СНиП 2.09.03–85) /ЦНИИ промзданий.— М.: Стройиздат, 1989.— 80 с.

*И.С. Смирнов, студ.; рук. Ф.Б. Огурцов, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УПРУГИХ СВОЙСТВ ИЗДЕЛИЙ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ МЕТОДОМ 3D-ПЕЧАТИ

Целью работы является исследование упругих свойств изделий из полимерных материалов, изготовленных с помощью 3D-печати.

Исследование включает в себя изучение аддитивных технологий, сборку и настройку 3D принтера [1], проведение экспериментальных исследований по определению физико-механических свойств материалов [2].

Для реализации данной работы использовались аддитивные технологии и изготовление образцов с различным процентным соотношением заполнения.

Ставилась задача экспериментальным путем получить модуль Юнга, приложив сосредоточенную силу и распределенную нагрузку на образцы.

В результате испытаний определены прогибы шарнирно закрепленного на двух опорах образца в середине пролета.

Полученные результаты модулей Юнга с различными процентными соотношениями заполнения и способами нагружения образцов приведены в табл. 1

Табл.1. Сравнение экспериментальных данных.

Процент заполнения	Модуль Юнга при сосредоточенной силе, МПа	Модуль Юнга при распределенной нагрузке, МПа
100%	680	399
70%	748	436
40%	385	319
10%	308	327

Как видно из таблицы, значение модуля Юнга зависит не только от процента заполнения, что физически вполне объяснимо, но и от способа приложения нагрузки, то есть от картины распределения напряжений в образце. Для случая распределенной нагрузки зависимость не является монотонной. Причины этого предполагается исследовать в ходе дальнейших этапов работы.

Библиографический список

1. Абдус Салам, Доступная 3D печать для науки, образования и устойчивого развития, МЦТФ, 2013. – 192 с.
2. ГОСТ 11262-80 Пластмассы. Метод испытаний на растяжение

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

ОЦЕНКА УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ СИСТЕМЫ «КОСТЬ – ИМПЛАНТАТ»

Одной из характеристик, влияющих на безопасность и эффективность применения эндопротезов тазобедренного сустава, является усталостная прочность системы «кость – имплантат». Риск возникновения послеоперационных осложнений возможно предсказать с помощью методов цифрового проектирования.

В [1] описаны основные характеристики сопротивления многоциклового усталости материала. В работах [2, 3] приведены кривые Веллера для костной ткани и для различных сплавов титана, используемых при изготовлении эндопротезов. Описаны механизмы и факторы, влияющие на возникновение и накопление усталостных трещин в данных материалах.

При оценке циклической прочности для определения количества допустимых рабочих циклов расчетной модели в режиме двухопорного стояния амплитуда рабочего цикла представляет собой нагрузку – раз-

грузку (с учетом веса пациента – без учета веса пациента). В режиме ходьбы нагрузка – разгрузка представляет собой наиболее нагруженное состояние тазобедренной кости и наименее нагруженное состояние соответственно.

Моделирование различных сценариев поведения пациента и расчеты напряженно-деформируемого состояния системы проводятся в конечно-элементном комплексе ABAQUS. Ввод и вывод массивов данных, полученных в ABAQUS, осуществляются посредством сценариев, написанных на языке Python. Пост-обработка данных (вычисление размаха интенсивности, оценка циклической прочности) осуществляется с помощью программ, написанных на языке Matlab MathWorks. Результаты могут быть представлены в виде поэлементной оценки числа циклов, выдерживаемых объектом перед разрушением.

Библиографический список

1. Феодосьев, В.И. Сопrotивление материалов : учебник для вузов / В . И. Феодосьев. - 17-е изд., испр. - Москва : Издательство МГТУ им . Н. Э . Баумана, 2018. – 542 с.
2. Kruzic J.J., Ritchie R.O. Fatigue of mineralized tissues: Cortical bone and dentin // J Mech Behav Biomed Mater. – 2008. – P. 3-17.
3. Gunawarman, Akahori T., Niinomi M., Fukui H., Ogawa M., Toda H. Improvement in fatigue characteristics of newly developed beta type titanium alloy for biomedical applications by thermo-mechanical treatments // Mater Sci Eng. – 2005. – Vol. 3. – P. 248-254.

*А.В. Чернов, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н. доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ВИБРОМОНИТОРИНГА СОСТОЯНИЯ ПРОМЫШЛЕННЫХ РОТОРНЫХ МАШИН

Вибромониторинг рассматривается как процесс измерения, анализа и наблюдения во времени интегральных параметров широкополосной вибрации.

Используя общие рекомендации изложенные в ГОСТ Р ИСО 17359-2015, а также подходы к организации вибрационного контроля состояния промышленных машин, разработана универсальная структура вибрационного контроля промышленных роторных машин различного типа и назначения.

В работе предложен метод, дополняющий требования серии ГОСТ ИСО 10816, устанавливающие правила определения уровня ПРЕДУПРЕЖДЕНИЕ и ОСТАНОВ, что повышает содержательность и информативность контроля.

Оценки запаса работоспособности позволяют определить перечень машин, включаемых в оперативную карту техобслуживания (ТО) по со-

стоянию в летний период ремонтно-восстановительных работ (РВР) обслуживания котельной ИГЭУ. Предлагаемая оценка является предварительной и очень обобщенной, поэтому для установки объема РВР необходимо, по возможности, провести диагностику причин ухудшения состояния.

ГОСТ Р ИСО 13381-1-2016 отмечает, что прогнозирование технического состояния машины, т.е. предсказание о степени работоспособности машины в будущем, не предполагает безошибочных решений. В работе приведены результаты оценки ресурсных показателей при использовании линии регрессии (функции математического ожидания): линейная и нелинейная модель (по средней линии и верхней границе доверительного интервала). Результаты расчетов остаточного ресурса коррелируются с выполненными ранее расчетами по оценке текущего запаса работоспособности.

Все полученные в ходе ВКР результаты с выводами переданы в отделы главного механика (ОГМ) и главного энергетика (ОГЭ) службы эксплуатации котельной ИГЭУ.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 17359-2015. Контроль состояния и диагностика машин. Общее руководство. – М.: Стандартинформ. 2016. – 33 с.
2. ГОСТ ИСО 10816-1-97. Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерения вибрации на невращающихся частях. Часть 1. Общие требования. – М.: Стандартинформ. 2007. – 18 с.
3. Колобов А.Б. Основы вибромониторинга машин: Учеб. пособие/ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2019. – 248 с.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАЗРУШЕНИЯ БОЛТОВОГО СОЕДИНЕНИЯ ПРИ СДВИГЕ

В работе представлен анализ повреждений болтов с помощью модуля XFEM программного комплекса Simulia Abaqus. Болты и болтовые соединения уже давно используют для крепления различных механических деталей. Без использования простых болтов, обычно встречающихся в повседневной жизни до самолетов, будет трудно найти механические детали без крепежа. Механика болтовых соединений уже хорошо изучена, но повреждения от поломок болтов все еще можно легко найти. Можно встретить как простое разрушение игрушек, так и повреждения реактора. Исследования механизма разрушения различных болтов с использованием метода конечных элементов (МКЭ) продолжают до сих пор.

У программного комплекса Simulia Abaqus есть специальная функция под названием XFEM. Abaqus имеет значительные преимущества по отношению к другим программным комплексам в области механики разрушения, а с помощью модуля XFEM (Расширенный метод конечных элементов) можно моделировать рост трещины. Разрушение в модуле XFEM моделируют не с помощью сетки, а используя контурный интеграл механики разрушения для прогнозирования размера трещины и направления ее роста (рис. 1).

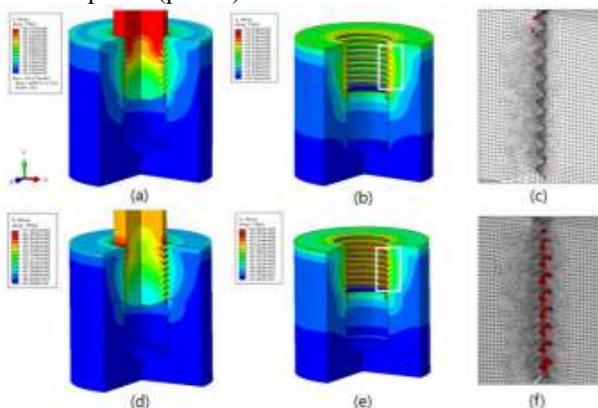


Рис. 1. Визуализация напряженно-деформированного состояния болтового соединения при трещинообразовании

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ШТАМПОВКИ СКОБЫ

Штамповка – один из видов обработки металлов давлением, при котором металл деформируется пластически в холодном состоянии. К основным операциям листовой штамповки относятся разделительные и формоизменяющие. В данной задаче использована формоизменяющая операция – гибка. Гибка – это операция штамповки, применяемая для изготовления изогнутых пространственных деталей из плоской или профильной заготовки [1].

В ANSYS Workbench создана упрощенная модель штамповочного устройства, где матрица (упругий материал) жестко закреплена, а пуансон (упругий материал) двигался вертикально, прижимая пластину (упруго-пластичный материал) вниз к матрице [2]. На рис.1 выведена эпюра напряжений, которые остаются в скобе после поднятия пуансона.

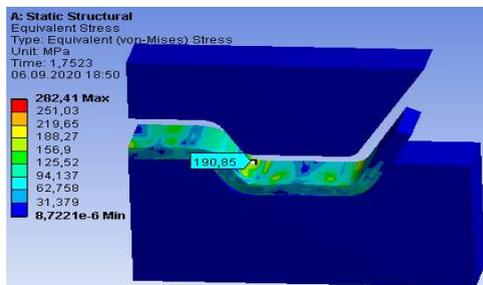


Рис.1 Напряжения, оставшиеся в скобе, МПа

Пластина при штамповки испытывает значительные напряжения, что говорит о ее упруго-пластичной деформации. В ходе работы рассчитано усилие для деформации скобы, равное 56,9 кН.

Библиографический список

1. Шухов Ю.В., Еленев С.А. Холодная штамповка: Учебник для техн. училищ. М.: «Высш. школа», 1977. – 208 с.: ил.
2. Бруйка В.А. Инженерный анализ в ANSYS Workbench: Учеб. пособ. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т, 2010, 2010. – 271 с.: ил.

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

УСТАЛОСТНО-ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ЛИСТОВОЙ РЕССОРЫ

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, ее листы имеют изогнутую форму в виде серпа. Рессоры обычно рассчитывают только на наибольшую возможную вертикальную нагрузку [3]. Нагрузка, действующая на эту деталь автомобиля, равна 6000 Н. На рис.1 выведена эпюра напряжений рессоры с приложенной к центру силы.

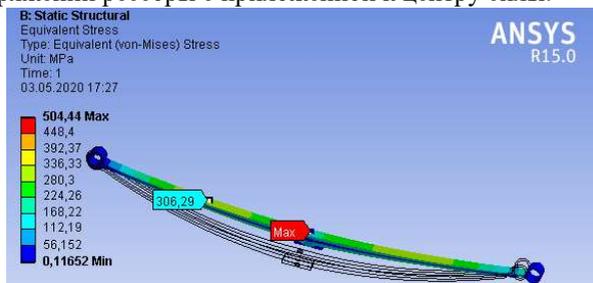


Рис.1 Распределение напряжений на рессоре, МПа

Расчет на усталостную прочность произведен в нестационарных режимах, т.е. при изменяющейся амплитуде цикла. Была выведена матрица средних напряжений и размахов напряжений, а также матрица повреждений [4]. Конструкция выдерживает заданные нагрузки с коэффициентом запаса прочности 1,2981.

Библиографический список

3. Пархиловский И.Г. Автомобильные листовые рессоры. Машиностроение 1978.
4. Радкевич М.В. Разработка метода определения долговечности рессоры автомобиля – UNIVERSUM: Технические науки. Машиностроение и машиноведение №7 (40)

*Шабакаев Р.Р., студ., Данилов С.Д., студ.;
рук. М.А. Ноздрин (к.т.н., доц.)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ИССЛЕДОВАНИЕ ДЕФОРМАЦИИ БРУСА
ПРИ УДАРНОЙ НАГРУЗКЕ**

Задачей работы является проведение исследований на ударную нагрузку бруса. Данный вид нагрузки присутствует в различных сферах машиностроения и механических системах: двигатели внутреннего сгорания (удар поршней), детали дробилок, кузнечных молотов, работа узлов ЭПК (электро-пневмоклапан), проектирование геометрии рельс и колёс локомотива. Основу расчёта составляет динамический коэффициент, именно с помощью него находим динамические деформации и напряжения. Экспериментальная установка представлена двумя случаями без пружины и с пружиной (рис.1). Датчик установки определяет силу удара груза о брус.



Рис.1. Экспериментальная установка (с пружиной):

- 1-испытательная машина (ИР-5057); 2-стержень; 3-груз; 4- пружина;
5- брус.

В результате исследования получены значения динамических коэффициентов, деформаций и напряжений. Значения динамического коэф-

фициента значительно уменьшаются при ударе о пружину: $3.658 * 10^4$ (без пружины) и 12.871 (с пружиной). Также соответственно и значения сил ближе к экспериментальным в случае с пружиной: ($1.731 * 10^6$ Н (без пружины) и 608.995 Н (с пружиной)).

Библиографический список:

1. **Беляев, Н.М.** Сопротивление материалов [Текст] / Н.М. Беляев - Главная редакция физико-математической литературы изд-ва «Наука», издание четырнадцатое, 1965.
2. Интернет-ресурс: <http://soprotmat.ru/dinamika.htm>

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

СОСТАВЛЕНИЕ РАСЧЁТНОЙ МОДЕЛИ ТЕЛЕСКОПИЧЕСКОЙ СТРЕЛЫ АВТОКРАНА КС-55713-1В-4

Целью работы является исследование напряженно-деформированного состояния телескопической стрелы и решение проблемы минимизации заделок в секциях этой стрелы в выдвинутом состоянии, что позволит увеличить радиус действия автокрана. Стрела крана состоит из 4 секций. Механизм выдвижения секций стрелы основан на работе полиспастов, которые представляют собой системы подвижных и неподвижных блоков с канатами. Расчёт стрелы производится при полном выдвижении секций, а также при положении наиболее близком к горизонтальному при поднятии разрешенного груза согласно грузовой характеристике крана. С помощью программного комплекса ANSYS Workbench исследовано напряженно-деформированное состояние стрелы.

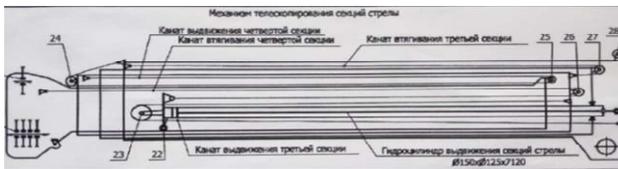


Рис.1. Устройство стрелы автокрана. Цифрами на рисунке обозначены блоки, образующие систему полиспастов.

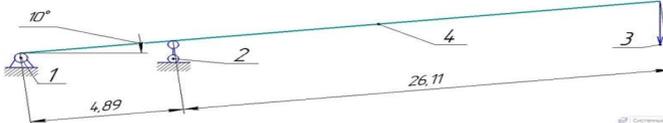


Рис.2. Расчётная схема стрелы автокрана. Обозначения: 1- крепление стрелы к опорно-поворотному устройству; 2- закрепление гидроцилиндра подъёма стрелы; 3- груз; 4- стрела автокрана. Длины участков указаны в метрах.

*А.С. Шмелев, студ.; рук Т.В. Шмелева, к.т.н., рук. Д.А. Пирогов, к.т.н.,
(ИГЭУ, г. Иваново), (ИВГПУ, г. Иваново)*

ВЫПОЛНЕНИЕ РАСЧЕТА НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЕЧАЙКИ ГЛАВНОГО БАРАБАНА РАЗРЫХЛИТЕЛЬНО- ЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЫ

ООО ИПФ «ТексИнж» является преемником СКБ чесальных машин, созданного в 1959 году. За годы работы были созданы десятки моделей чесальных машин для переработки хлопковых, льняных, шерстяных и синтетических волокон. С начала 1990-х годов основным направлением деятельности предприятия является проектирование и производство оборудования по глубокой переработке короткого льноволокна.

Важнейшим пунктом очистки волокнистой массы хлопка и котонированного льноволокна от сорных примесей, и разъединение ее на отдельные волокна, является разрыхлительно-чесальная машина. Машина одновременно выполняет структурное преобразование волокнистого потока, его перемешивание, частичную параллелизацию, распрямление и ориентацию волокон вдоль сформированного продукта.

Главный барабан является одним из основных рабочих органов разрыхлительно-чесальной машины. Он представляет собой тонкостенный цилиндр (обечайку), укрепленную на валу двумя крестовинами, расположенными на концах барабана. Главный барабан наиболее массивная вращающаяся деталь машины.

Неравномерное распределение пороков прочеса вдоль образующей главного барабана, являющееся следствием различной величины радиальной деформации обечаек, создает неодинаковые условия чесания.

Обечайку относят к тонкостенным цилиндрическим оболочкам у которых отношение радиуса к толщине равно $\frac{r}{h} \leq 15 \div 20$. Увеличение толщины стенки увеличивает массу и момент инерции барабана, что отрицательно сказывается на режиме работы машины в период пуска и останова.

Жесткость обечайки является условием одного из главных технологических требований – сохранения постоянства разводов.

В ходе работы выполнен расчет напряженно-деформированного состояния обечайки. Проведено сравнение с результатами вычисления в конечно-элементном программном комплексе ANSYS.

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

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ОПОРЫ ПОДШИПНИКА

В настоящее время выполнение оптимизационной задачи очень актуально, так как оно позволяет узнать о поведении детали в условиях изменения нагрузки: установить чувствительность конструкции к внешним воздействиям, дает возможность уменьшения массово-габаритных показателей детали для экономической и технологической эффективности.

Целью проведения оптимизационного исследования опоры подшипника в программной среде Ansys Workbench является минимизация массы и размеров модели и максимизация силы. Расчеты производятся с максимальной точностью измерений на основе метода планирования эксперимента [1] с помощью таких модулей как: DesignXplorer для создания 3D модели/меша, Static Structural для задания нагрузок и вывода выходных данных, Response Surface Optimization для создания поверхности отклика на основе полученных результатов и дальнейшей их оптимизации. По итогам оптимизации выбирается кандидат с наибольшим количеством звезд. [2]

Из результатов исследования можно сделать вывод, что удалось достигнуть максимальной точности измерений при 10 опытах с сохранением статистической достоверности результатов. Различия полученных кандидатов не имеют существенной разницы, но лучшим кандидатом является кандидат №1: минимальный размер диаметра = 18,54 см; (при начальном значении = 20 см) максимальная приложенная сила = 5192,5 (начальная сила = 5000Н) Н; масса = 0,95158 кг. (начальная масса = 1,0474 кг)

Библиографический список:

1. **Басов, К. А.** Ansys: справ. пользователя М.: Пресс, 2005. – 640 с. – ISBN 5-94074-8-8.
2. **Singiresu S.Rao** The finite element method in engineering. Fourth edition. – Elsevier Science & Technology Books, 2004.

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

РАСЧЕТ УСИЛИЯ В ЭЛЕМЕНТАХ ЧЕЛЮСТИ ГРЕЙФЕРА. ПОСТРОЕНИЕ ВТУЛКИ

В настоящее время выполнение расчетов усилий и моментов очень актуально, так как они позволяют теоретически просчитать поведение детали при изменении нагрузок и других параметров, давая точный результат. А моделирование 3D объектов помогает визуализировать эти расчеты.

Создав расчетную схему грейфера в программе КОМПАС-3D, были получены усилия в элементах грейфера (Рис.1) с помощью программной среды Microsoft Excel, а именно определено точное значение усилия на конце зуба для левой и правой лопасти при использовании конкретного гидроцилиндра. А создание втулки (Рис.3) в программной среде КОМПАС-3D дает нам готовую для печати и дальнейшего использования 3D модель.

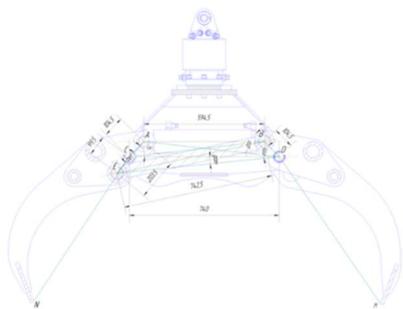


Рис.1-Расчетная схема грейфера



Рис.2-3D модель втулки

Из результатов исследования можно сделать вывод, что левая челюсть грейфера имеет расчетный момент = 1765065 кг·м и усилие на зубе челюсти = 2068кг, а правая челюсть - 1770064 кг·мм и 2016 кг.

Библиографический список:

1. Г.С. Писаренко, А.П. Яковлев, В.В. Матвеев Справочник по сопротивлению материалов, «НАУКОВА ДУМКА» Киев, 1975

СЕКЦИЯ 25
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Председатель –
д.т.н., профессор **Мизонов В. Е.**

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

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

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТЕФАНА С ПОМОЩЬЮ ЯЧЕЕЧНОЙ МОДЕЛИ ПРОЦЕССОВ ПЕРЕНОСА

Необходимость расчета процессов переноса (теплопроводности, диффузии) на отрезке с подвижными границами (задача Стефана) возникает во многих отраслях науки и технологии. В настоящей работе для ее численного решения разработана математическая модель, базирующаяся на теории цепей Маркова. Алгоритм построения модели описан на примере одномерной нелинейной теплопроводности на отрезке с краевыми условиями второго рода на левой границе и третьего рода (теплоотдачи) на правой границе, причем правая граница движется в сторону левой по мере протекания процесса. Причиной этого движения может быть, например, выгорание поверхности с уносом сгоревшего вещества, ее растворение, промерзание и т.п.

Собственно теплопроводность описана ячеечной моделью, когда домен решения задачи разбивается на конечное число малых ячеек, образующих цепь, распределение параметров состояния внутри которых считается равномерным, а тепловые потоки между ними рассчитываются в соответствие с законом Фурье. Эволюция теплового состояния описана матрицей теплопроводности. Теплота поступает в домен через правую ячейку, контактирующую с окружающей средой, благодаря чему в ней происходят фазовые превращения и/или химические реакции. Считается, что, когда эти превращения достигают некоторого критического состояния, вещество покидает домен, то есть цепь становится на одну ячейку короче, а внешний тепловой поток переходит уже на следующую ячейку. Таким образом, можно последовательно проследить процесс до полного исчезновения домена, представляющего реальный объект.

Кинетика этого процесса зависит от того, какую форму материала представляет исследуемый домен: плоскую стенку, цилиндр или сферическую частицу. В предложенной структуре матрицы теплопроводности переход от одной формы домена к другой достигается изменением только одного целочисленного параметра, то есть описание имеет достаточно универсальный характер. Приведены примеры численных экспериментов с разработанной моделью.

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

ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ВЛАЖНОСТИ ПАРА НА РЕЗУЛЬТАТЫ МАТРИЧНОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ ТУРБИНЫ

Последние ступени части низкого давления (ЧНД) турбины Т-100/120-130 работают в области влажного пара и при относительно больших объемных расходах пара. Известно, что данные факторы отрицательно влияют на тепловую экономичность не только ступеней ЧНД, но и турбины в целом. Поскольку относительный внутренний КПД турбины является важным показателем, который характеризует техническое состояние ее проточной части, то расчет поправок, учитывающих влияния вышеуказанных факторов, является актуальным для мониторинга и диагностики состояния энергетического оборудования.

Для оценки влияния влажности пара матричная модель [1] турбины Т-100/120-130 интегрируется в итерационный алгоритм, построенный с использованием формулы Флюгеля-Стодола. В итерационном режиме уточняются свойства воды и водяного пара по проточной части турбины. Расчет непосредственно самих поправок к относительному внутреннему КПД ЧНД, учитывающих потери от влажности пара и потери энергии с выходной скоростью в последней ступени, осуществляется на основании известных зависимостей [2]. Результаты расчета относительного внутреннего КПД отсеков турбины Т-100/120-130 с учетом (вариант А) и без учета (вариант В) вышеуказанных поправок представлены в табл.1.

Таблица 1 – Результаты расчета относительного внутреннего КПД отсеков турбины Т-100/120-130 в конденсационном режиме

Наименование отсека	ЧВД	ЧСД	ЧНД
Вариант А	0,798	0,804	0,636
Вариант В	0,787	0,785	0,665

Таким образом, полученные данные свидетельствуют о том, что учет в матричной модели поправок на влажность пара и выходную скорость пара в последней ступени для ЧНД значительно влияет на результаты расчета турбины с точки зрения мониторинга и диагностики состояния ее проточной части.

Библиографический список

1. **Жуков, В.П.** Матричное моделирование технологических систем/ В.П.Жуков, А.Н. Беляков, А.Е. Барочкин – Иваново, 2020. – 88 с.

*Н.С. Галкина, магистрант; рук. А.В. Огурцов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ГРАНБАШНИ С КИПЯЩИМ СЛОЕМ

Целью исследования является моделирование, расчет и оптимизация работы гранбашни с кипящим слоем.

Перспективы значительного увеличения выпуска азотсодержащих удобрений побудили в конце прошлого века предпринять поиск способа, позволяющего интенсифицировать процесс приллирования. В основу разрабатываемого способа было положено предположение о возможности сохранить сферическую форму гранулы и при большей степени неполноты кристаллизации вещества, если в конце падения они будут падать не на металлический конус или бетонное дно башни, а на подвижную рыхлую массу “кипящего” слоя гранул. Размещение кипящего слоя по всему сечению башни даёт ряд важных преимуществ по сравнению с типовыми грануляционными башнями: усиление торможения полета гранул, увеличение времени их падения на единицу высоты башни, уменьшение степени отверждения при свободном падении, обеспечивается достаточное охлаждение продукта без установки отдельного аппарата-охладителя [1].

Однако процесс охлаждения гранул в башнях с кипящим слоем сопровождается их истиранием, что приводит к частичной потере ценного продукта и загрязнению окружающей среды.

Предлагаемая математическая модель процесса основана на теории цепей Маркова. Для характеристики состояния процесса выбран вектор состояния, который составлен из массовых долей частиц разной крупности. Этот вектор однозначно характеризует фракционное состояние загрузки аппарата.

Дальнейшее моделирование процесса истирания сводится к определению матрицы переходных вероятностей. модель построения матрицы переходных вероятностей при истирании с использованием традиционных функций разрушения: селективной и распределительной [2].

Библиографический список

1. Гильперин Н.И., Айнштейн В.Г., Кваша В.Б. Основы техники псевдоожижения. М.:Химия, 1967. 664с.
2. Мизонов В.Е., Ушаков С.Г. Аэродинамическая классификация порошков.- М.:Химия, 1989.-158с

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

РАСЧЕТНЫЙ АНАЛИЗ СЕМИКАНАЛЬНОГО ТЕПЛООБМЕННОГО АППАРАТА

Многоканальные теплообменные аппараты, в которых число теплоносителей больше двух, представляют интерес для энергетической отрасли. Целью исследования является разработка математической модели семиканального аппарата и определение изменения температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена. Для расчета теплообменного аппарата (ТОА) используется матричный метод моделирования [1]. Расчетная схема модели с указанием направления тепловых потоков приведена на рис. 1. Математическая модель теплопередачи в виде системы семи дифференциальных уравнений может быть записана в матричном виде следующим образом: $d\mathbf{T}/dF = \mathbf{A} \mathbf{T}$, где $\mathbf{T} = [t_1 \ t_2 \ t_3 \ t_4 \ t_5 \ t_6 \ t_7]^T$ – вектор искомых температур теплоносителей, F – площадь поверхности теплообмена, $\mathbf{A} = \{a_{ij}\}$ – матрица размером 7×7 коэффициентов a_{ij} , порядок определения которых подробно рассмотрен в работе [1].

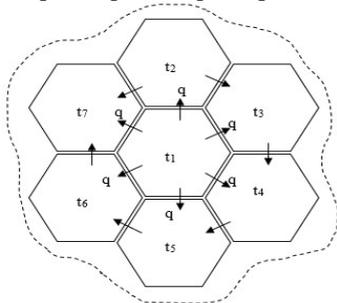


Рис. 1. Расчетная схема прямоточного семиканального ТОА

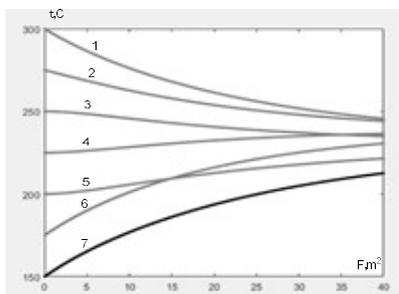


Рис. 2. Изменение температуры теплоносителей вдоль поверхности теплообмена (цифры на графике соответствуют номеру теплоносителя)

Результаты решения системы уравнений представлены на рис. 2 в виде зависимостей температуры теплоносителей от площади поверхности теплообмена. Полученные результаты могут быть использованы для оптимизации и диагностики состояния поверхностей теплообмена ТОА.

Библиографический список

1. Жуков, В.П. Матричное моделирование технологических систем/ В.П.Жуков, А.Н.Беляков, А.Е.Барочкин – Иваново, 2020. – 88 с.

**Ю.Д. Кутумов, аспирант; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

К РАСЧЕТУ ТЕПЛООВОГО СОСТОЯНИЯ ПОДЗЕМНОГО КАБЕЛЯ

Рассматривается модель теплопроводности в полубесконечной плоской области, внутри которой локализован тепловой источник, вызванный прохождением электрического тока через подземный кабель, а с внешней поверхности области происходит теплоотдача в окружающую среду. Применяется ячеечная модель теплопроводности, использующая математический аппарат теории цепей Маркова и хорошо зарекомендовавшая себя при моделировании тепловых процессов [1,2]. Считается, что при отсутствии теплового возмущения температура среды меняется с глубиной по экспоненциальному закону. Действие теплового источника накладывается на это поле, изменяя его, что, в свою очередь, влияет на температуру источника, то есть на нагрев кабеля, на который наложены технологические ограничения, связанные с работоспособностью изоляции.

Процесс моделируется на сетке ячеек размером $n \times m$. Тепловое состояние домена представлено матрицами теплоты Q_m и температуры T_m размерами $n \times m$, которые для проведения вычислений преобразуются в векторы теплового состояния Q_v и T_v размерами $n \times 1$. Эволюция векторов состояния (кинетика теплового процесса) описывается матрицей теплопроводности P , правила построения которой для неоднородной среды описаны в работе [1]

Для моделирования описанного процесса в среде MATLAB разработана программа, позволяющая исследовать температуру кабеля в зависимости от величины тока в кабеле, глубины его погружения в грунт, теплофизических свойств грунта, температуры на его поверхности.

Библиографический список

1. Mizonov, V., Yelin, N., Sakharov, A. Theoretical study of the thermal state of building envelop in the neighborhood of embedded item. Applied Thermal Engineering, 79(2015)pp.149-152.
2. Мизонов В.Е., Елин Н.Н., Попельшко А.В. Ячеечная модель теплового состояния поперечного сечения теплоизолированного трубопровода. Изв. Вузов «Химия и хим. технология». Т.56, №4, 2013. С.112-115.

*Е.И Сударкин, студ.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И АНАЛИЗ ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ

Целью работы является получение количественной оценки влияния межпредметных связей на эффективность образовательного процесса. Известно, что структура образовательной технологии во многом определяет качество и стоимость обучения. Несмотря на многолетний опыт практического использования образовательных технологий, совершенствование этих технологий не прекращается и по настоящее время. Наиболее эффективным методом совершенствования образовательного процесса является использование адекватных математических моделей. Одной из таких моделей, которая позволяет по-новому осмыслить образовательную технологию и получить на ее основе практические рекомендации, является матричная модель обучения [1]. При решении задачи по оценке влияния межпредметных связей на эффективность обучения была разработана матричная модель образовательной технологии, структура которой аналогична структуре системе «Ритм», реализуемой в настоящее время в ИГЭУ. Расчетная схема модели обучения по одной дисциплине включает четыре блока обучения и четыре блока промежуточных контролей. Для анализа межпредметных связей в модели включены две технологические цепочки, которые соответствуют двум одновременно изучаемым предметам, между которыми анализируются межпредметные связи. Примерами таких дисциплин могут служить высшая математика и информатика, межпредметные связи между которыми могут быть налажены посредством синхронизации изучения связанных тем: численного и аналитического решения задач дифференцирования, интегрирования и дифференциальных уравнений. Для описания таких связей в модель вводится показатель степени матрицы обучения, значение которого варьируется от 1 (межпредметных связей нет) до 2 (сильные межпредметные связи). Для оценки эффективности выбраны два критерия: доля отличников после обучения и затраты на обучение. В результате расчетного анализа установлено, что при увеличении показателя степени межпредметных связей от 1 до 2 доля отличников увеличивается на 5,67 % при одновременном снижении затрат на обучение на 10,4%, то есть наличие межпредметных связей значительно повышает эффективность образовательного процесса.

Библиографический список

1. **Жуков, В.П.** Матричное моделирование технологических систем/ В.П.Жуков, А.Н.Беляков, А.Е.Барочкин – Иваново, 2020. – 88 с.

*Д.Н. Шлынов, магистрант; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЗАДАЧА О БЛУЖДАНИИ В ЛАБИРИНТЕ ПЕРЕМЕННОЙ КОНФИГУРАЦИИ

Рассматривается модель блуждания в лабиринте с периодически меняющейся конфигурацией. Модель построена на основе теории цепей Маркова. Целевой функцией является вероятность выхода через определенное число шагов. При известной постоянной структуре лабиринта по его конфигурации строится соответствующий граф цепи Маркова, состоящий из графического обозначения всех возможных положений блуждающего субъекта, соединенных стрелками, символизирующими возможные переходы между положениями. Совокупность вероятностей пребывания во всех положениях организована в вектор-столбцы. По графу цепи Маркова строится соответствующая ему матрица переходных вероятностей, численные значения которых определяются выбранной моделью стратегии поведения субъекта. Эволюция вектора состояния описывается рекуррентным матричным равенством $\mathbf{S}^{k+1} = \mathbf{P}\mathbf{S}^k$, где \mathbf{S} – текущий вектор состояния, \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей, k – номер текущего состояния. Зависимость вероятности выхода от числа шагов (переходов) определяется равенством $S_e = S_e(k)$, где e – номер состояния, соответствующий выходу из лабиринта. Используя эту зависимость легко вычислить среднее число шагов до выхода из лабиринта.

Спецификой настоящей работы является то, что в исследуемом лабиринте с периодичностью K переходов меняется конфигурация лабиринта, то есть граф цепи Маркова и соответствующая ему матрица переходных вероятностей, которая через K переходов меняется с \mathbf{P}_1 на \mathbf{P}_2 .

Естественно, что целевая функция $S_e = S_e(k)$ зависит от того, насколько отличаются конфигурации лабиринтов, то есть матрицы \mathbf{P}_1 и \mathbf{P}_2 , и от того, как часто происходит их смена.

Для моделирования описанного процесса в среде MATLAB разработана программа, позволяющая менять конфигурацию лабиринта и периодичность ее смены. На ее основе выполнены численные эксперименты, позволившие отслеживать целевую функцию при различных условиях задачи.

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

О ВЫБОРЕ ПРЕДСТАВИТЕЛЬНОГО ОБЪЕМА ДЛЯ ГЕТЕРОГЕННОЙ СРЕДЫ ГАЗ-ЧАСТИЦЫ

Технологические процессы развиваются в пространстве и во времени. При моделировании эволюции пространственно-временных характеристик этих процессов можно ограничиться рассмотрением локальной области, полагая, что во всех остальных точках системы значения этих характеристик будут одинаковыми. Однако для значительной части процессов в технических системах такое допущение будет грубым в силу их явной пространственной неоднородности. Наиболее распространенным вариантом решения этой проблемы является разбиение системы на объемы дифференциально малых размеров. Однако при компьютерной реализации такого метода так или иначе объект представляется как набор ячеек (представительных объемов) малых, но все-таки конечных размеров. На этом этапе исследования вполне возможно искажение масштабного представления изучаемой среды. В частности, выбранный объем может оказаться меньше отдельных элементов, составляющих среду, что лишает задачу физического смысла. В то же время при выборе размера ячейки «запасом» может ухудшиться точность прогнозирования.

В настоящей работе исследуется влияние выбора размера ячейки при моделировании движения частиц в псевдооживленном слое на основе математического аппарата теории цепей Маркова, подробное описание которой приведено в работе [1]. Численные эксперименты с одномерной моделью показывают, что при уменьшении высоты ячейки сверх значения, обоснованного физически, вычислительная устойчивость теряется раньше, чем происходит заметное ухудшение качества прогноза. Последнее, очевидно, связано с тем, что поперечный размер ячеек много больше характерного размера частиц. В то же время при увеличении высоты ячейки удается определить точное ее значение, за которым качество прогноза резко снижается.

Библиографический список

1. Митрофанов А.В. Математическая модель эволюции состояния слоя дисперсного топлива при нагреве и сушке в плотном и псевдооживленном слое // Вестник ИГЭУ. – 2015. – Вып. 2. – С. 67–70.

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АНАЛИЗА ПОЛЕЙ КОНЦЕНТРАЦИИ ЧАСТИЦ В КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

В настоящей работе изложена методика анализа цифрового изображения кипящего слоя с целью восстановления поля концентрации твердой фазы в нем. Для простоты исследования был взят заведомо двумерный слой, где частицы не могли быть закрыты одна другой в силу того, что расстояние между стенками аппарата было в полтора раза больше диаметра частицы. Применяемые в настоящее время алгоритмы анализа цифровых изображений включают в себя ряд обязательных шагов: уменьшение числа распознаваемых цветов (обычно перевод изображение в бинарное), идентификацию объектов, определение необходимых пространственно-временных соотношений. Под последним понимается, например, определение смещения частицы в аппарате на двух изображениях, сделанных с небольшим временным интервалом, для определения скорости частицы.

Очевидно, что адекватный анализ изображения требует высокой степени достоверности при реализации всех шагов, однако, если перевод изображения в бинарный вид выполнен плохо, то качество последующих этапов уже не имеет значения. Перевод изображения в бинарный вид может быть выполнен при помощи различных программных продуктов, но сложность заключается в установлении порогов, то есть выборе «чувствительности», с которой будут преобразовываться цвета. В настоящей работе решена задача глобального установления пороговой чувствительности при анализе цифровых изображений и разработан алгоритм выбора порогового значения исходя из заранее известного числа элементов (частиц) на изображении. Для тестовых опытов использовалась программа распознавания образов, разработанная для восстановления распределения концентрации частиц в кипящем слое [1], которая была дополнена алгоритмом подбора пороговых значений исходя из заданного числа элементов на изображении. Показана адекватность этого алгоритма при анализе изображений кипящего слоя.

Предложенный подход представляется продуктивным, так как число элементов часто можно оценить заранее по тестовым опытам с сыпучим материалом.

Библиографический список

1. Mitrofanov A.V., Mizonov V.E., Tannous K., Ovchinnikov L.N. A Markov chain model to describe fluidization of particles with time-varying properties // Particulate Science and Technology – 2018. – Vol. 36. – No. 2. – pp. 244-253.

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

РАСЧЕТНАЯ СХЕМА ПРОЦЕССА ПИРОЛИЗА ДИСПЕРСНЫХ ЧАСТИЦ В ЦИЛИНДРИЧЕСКОМ РЕАКТОРЕ

В настоящей работе предложена методика расчета цилиндрического реактора для проведения процесса пиролиза дисперсного топлива при атмосферном и повышенном давлении, базирующаяся на основе явной разностной схемы. Аппарат представлен совокупностью из счетного числа цилиндрических слоев, каждый из которых рассматривается в качестве представительного объема с идеальным перемешиванием свойств внутри. Цилиндрические поверхности, образующие представительные объемы, полагаются изотермическими. При этом каждая такая ячейка обладает отличными от соседних объемов характеристиками: значениями температур газовой и твердой фаз, коэффициентов эффективной теплопроводности и т.д. Таким образом, предложенная расчетная схема позволяет моделировать реактор как объект с распределенными пространственными параметрами.

Изменение во времени радиальных распределений температур твердой и газовой фаз исследовано при проведении вычислительных экспериментов. Полученные результаты являются качественно непротиворечивыми в отношении априорной информации о процессе, что подтверждает адекватность разработанной математической модели и свидетельствует о возможности ее продуктивного использования в инженерной практике для расчетов пиролиза биомассы.

Разработанная модельная схема для расчета эволюции пространственно-временных характеристик дисперсной биомассы может оказаться полезной и в отношении углубления понимания основных физических и химических процессов, протекающих в условиях взаимодействия высокотемпературного газового потока со слоем дисперсных реакционноспособных частиц в аппаратах с различными гидродинамическими режимами и в широком диапазоне характеристик частиц твердой фазы. Продуктивность выбранного подхода подтверждается и результатами сравнения с экспериментальными данными [1].

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>

Содержание

Секция 20. Анализ и синтез систем электроприводов

<i>Алексеев А.А.</i> Система управления шпиндельным электроприводом; рук. Куленко М.С.	5
<i>Виноградов Н.Д., Мокрецкий И.В.</i> Формирователи траектории для электромехатронных модулей позиционирования; рук. Лебедев С.К. .	6
<i>Дорохов Д.В.</i> Частотный регулятор скорости для трехфазного электродвигателя; рук. Еремочкин С.Ю.	7
<i>Кадигроб Д.В., Горт М.В., Куплевацкий Д.В.</i> Управление вентильным двигателем по сигналам ЭДС вращения; рук. Шабуров П.О.	8
<i>Лукин О.А.</i> Электропривод запорно-регулирующей арматуры; рук. Ширяев А.Н.	9
<i>А.М. Магомедов</i> Применение ANSYS TWIN BUILDER в идентификации и управлении асинхронного электропривода; рук. Захаров А.М.	10
<i>Пыхов Д.В.</i> Сравнительный анализ векторно-управляемых электроприводов переменного тока механизма подач консольно-фрезерных станков; рук. Спичков Ю.П.	11
<i>Савин К.О.</i> Разработка метода адаптивного управления контуром тока вентильно-индукторного двигателя; рук. Калашников В.И.	12
<i>Смирнов К.С.</i> Автоматизированный стенд для исследования тягового электродвигателя трамвая дат-72; рук. Вилков П.В.	13
<i>Фомичев И.А., Пеганов С.С., Ахмеров Д.Р.</i> Перспективы применения электрических приводящих двигателей в рулевых механизмах ракетносителей; рук Шабуров. П.О.	14
<i>Хабарин М.Р., Ерехинский Н.А.</i> Направления развития курсового проектирования систем управления электроприводов; рук. Ширяев А.Н.	15
<i>Черкунов П.А., Сеницын И.А., Тимофеев Д.А.</i> система управления квадрокоптером с ультразвуковой коррекцией полета; рук. Вилков П.В.	16
<i>Чепига А.А., Корытченкова Е.Е.</i> Разработка энергоэффективного метода управления синхронным реактивным двигателем; рук. Анучин А.С.	17

Секция 21. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

Ахмеров Д.Р., Пеганов С.С., Фомичёв И.А. Расчёт габаритов электродвигателя электронасосной системы подачи компонентов топлива;

рук. Шабуров П.О.....	21
<i>Белов В.С.</i> Анализ влияния гидродинамики магнитной жидкости на работу магнитожидкостного герметизатора; рук. Страдомский Ю.И..	22
<i>Брыксин Д.А.</i> Проектирование электрической машины возвратно-поступательного движения; рук. Караулов В.Н.	23
<i>Егоров И.С., Морозов Н.А.</i> Определение силы возврата при сдвиге слоя магнитной жидкости; рук. Казаков Ю.Б.....	24
<i>Каржевин А.А.</i> Векторная диаграмма трансформатора в matlab simulink; рук. Тихонов А.И.....	25
<i>Киселев М.А.</i> Анализ магнитных систем в двигателях постоянного тока с постоянными магнитами; рук. Шишкин В.П.....	26
<i>Корепов А.П.</i> Анализ тока чередующихся пазов ротора асинхронного двигателя; рук. Казаков Ю.Б.....	27
<i>Крылов Д.С.</i> Магнитоэлектрический двигатель обращенной конструкции для привода малой колесной техники	рук.
Казаков Ю.Б.....	28
<i>Маширина Д.А.</i> Разработка методики расчета параметров короткого замыкания двухобмоточных трансформаторов; рук. Тихонов А.И.....	29
<i>Семко А.А.</i> Методы и способы диагностики повреждений в электрических машинах; рук. Морозов Н.А.....	30
<i>Серета К.</i> Авторегулирование напряжения автономного синхронного генератора с возбуждением от третьей гармонической поля; рук. Караулов В.Н.....	31
<i>Табачинский А.С.</i> Разработка технологии изготовления машин переменного тока с уменьшенным вылетом лобовых частей; рук. Грачев П.Ю.....	32
<i>Шеременда Г.</i> Изыскания оптимальной конструкции ротора однофазного синхронного реактивного двигателя малой мощности; рук. В.П. Шишкин.....	33

Секция 22. Микроэлектронные и микропроцессорные информационно-управляющие системы

<i>Бельцов Р.В.</i> Разработка эталонной модели с контуром адаптации для настройки систем управления мехатронными объектами; рук. А.А. Анисимов.....	37
<i>Долгих Г.А.</i> Измерительные преобразователи в системах автоуправления; рук. А.И. Терехов.....	38
<i>Колосова М.С.</i> Разработка системы управления технологической зоной деформации транспортируемого материала; рук. Тютиков В.В.	39
<i>Коньков А.П., Королёв В.В.</i> Bluetooth low energy - от доступа к машине до контроля давления в шинах; рук. Терехов А.И.....	40

<i>Коптев А.М.</i> Компенсация зазора в кинематической передаче электромеханической системы; рук. Аполонский А.В.....	41
<i>Кузьмин Д.М.</i> Методы обучения нейронных сетей; рук. Аполонский В.В.....	42
<i>Овчинников И.К., Павликов Р.П.</i> Разработка модели «умной» теплицы с возможностью дистанционного управления; рук. Аббясов А.М.....	43
<i>Шлынов Д.Н.</i> Микропроцессорная система управления транспортированием бумажного полотна; рук. Копылова Л.Г.....	45
<i>Синицын И.А.</i> ПИД – регулятор положения шарика для пинг-понга; рук. Аббясов А.М.....	46
<i>Синицын И.А., Черкунов П.А., Тимофеев Д.Е.</i> Ультразвуковая система коррекции полета квадрокоптера; рук. Долунц Г. В.....	47

Секция 23. Технология машиностроения

<i>Баскакова А.В.</i> Проблемы защиты интеллектуальной собственности при реверсном инжиниринге; рук. Павлюкова Н.Л.....	51
<i>Берзин В.В.</i> Конструктивное исполнение грузоподъемного устройства для ремонта ходовой части пожарных автомобилей; рук. Покровский А.А.....	52
<i>Бушуев А.Н.</i> Контроль силы резания; рук. Егоров С.А.....	53
<i>Зайцев Д.Д.</i> Повышение износостойкости трущихся деталей пожарной техники; рук. Киселев В.В.....	54
<i>Зимин К.А.</i> Особенности применения подъемных устройств в пожарно-спасательных частях для технического обслуживания пожарных автомобилей; рук. Киселев В.В.....	55
<i>Квасов М.В.</i> Разработка конструкции подъемного устройства для ремонта автомобилей; рук. Легкова И.А.....	56
<i>Дьяков Д.О.</i> Прогнозирование стоимости (цены) изделий машиностроения на ранних стадиях проектирования; рук. Копосов В.Н.....	57
<i>Кононов И.А.</i> Устройство для обеспечения работоспособности аварийно-спасательного инструмента в условиях недостатка воздуха; рук. Топоров А.В.....	58
<i>Кощачков М.А.</i> Тенденции перехода машиностроительных производств к цифровому предприятию; рук. Павлюкова Н.Л.....	59
<i>Куликов И.Э.</i> Обоснование выбора метода упрочнения поверхностей детали; рук. Копосов В.Н.....	60
<i>Лелетич В.С., Баранов Б.Ш.</i> Создание модели процесса износа рабо-	

чих частей вырубного штампа рук. Ведерникова И.И.....	61
<i>Лелетич В.С., Пятанин М.И.</i> Проблемы снятия сварочных напряжений; рук. Ведерникова И.И.....	62
<i>Лукин Д.Д.</i> Проектирование трехмерной модели сборки редуктора; рук. Павлюкова Н.Л.....	63
<i>Малютин Я.А.</i> Предложения конструкции лабораторной установки для проведения испытаний на трение; рук. Зарубин В.П.....	64
<i>Марков И.С.</i> Измерения температуры в зоне резания для управления режимом обработки; рук. Егоров С.А.	65
<i>Масленников Р.А.</i> Устройство для заправки пожарного автомобиля пенообразователем; рук. Пучков П.В.	66
<i>Масляев А.А.</i> Сокращение вспомогательного времени путём оптимизации расположения инструментов в магазине станка типа «обрабатывающий центр»; рук. Копосов В.Н.	67
<i>Менцель О.Д.</i> Магнитно-абразивное полирование деталей; рук. Копосов В.Н.....	68
<i>Муратов Д.А.</i> Выбор рациональных компоновочных решений приемосдаточной секции автоматизированного склада заготовок для станков типа «обрабатывающий центр»; рук. В.Н. Копосов.....	69
<i>Муратов Д.А., Макин М.А.</i> Расчет режимов сварки; рук. Ведерникова И.И.....	70
<i>Новичихин А.А.</i> Обеспечение точности изготовления корпусных деталей; рук. Егоров С.А.....	71
<i>Палин Д.Ю.</i> Исследование герметичности традиционного и магнитожидкостного уплотнения; рук. Топоров А.В.....	72
<i>Попов К.Е.</i> Влияния качества поверхностей рабочего зазора на момент трения магнитожидкостных герметизаторов, рук. Власов А.М.....	73
<i>Репный В.И.</i> Разработка приспособления для замены смазочных материалов в узлах трения машин и механизмов; рук. В.П. Зарубин...	74
<i>Романов А.В.</i> Инженерное решение для технического обслуживания и ремонта пожарной техники; рук. Кропотова Н.А.....	75
<i>Салтанова М.А.</i> Применение концепции сквозного автоматизированного проектирования; рук. Павлюкова Н.Л.....	76
<i>Синодеева П.И., Долунц Г.В.</i> Проектирование долбяков ; рук.. Ведерникова И.И.....	77
<i>Синодеева П.И., Еремеев И.В.</i> Проблемы проектирования несущих конструкций ковшей; рук. Ведерникова И.И.....	78
<i>Соловьева Е.В.</i> Влияние СОТС на процесс алмазного выглаживания; рук. Ведерникова И.И.....	79
<i>Соловьева Е.В.</i> Изнашивание твердых тел;	80

рук. Ведерникова И.И.....	
Сухов И.А. Расчет объема парогенератора для подачи СОТС в зону резания; рук. Егоров С.А.....	81
Теньковский П.А. Робототехническое устройство для обеспечения безопасности ; рук. Кропотова Н.А.....	82
Шкрамада Д.А. Влияние условий эксплуатации на выбор подшипников качения; рук. Покровский А.А.....	83
Шумнов Г.С. Особенности ремонта радиаторов пожарных автомобилей; рук. Иванов В.Е.....	84

Секция 24. Динамика и прочность сложных механических систем

Аксенов А.Д. Исследование влияния граничных условий на динамические деформации пластин; рук. Ноздрин М.А.....	87
Андреева О.В. Разработка системы вибромониторинга роторных машин; рук. Колобов А.Б.....	88
.Белов А.А.; Чернов А.В. Технология вибромониторинга и вибродиагностики роторных машин; рук. Колобов А.Б.....	89
Бритова А.А. Влияние углеродных наноструктур на физико-механические свойства резин; рук. Шилов М.А.....	90
Данилов С.Д. Расчет давления электроизолирующего материала на корпус цифрового трансформатора; рук. Смирнов С.Ф.....	91
Данилов С.Д. Оптимизационный расчет материала зубчатого колеса; рук. Ноздрин М.А.....	92
А. Ю. Дмитрюк. Моделирование червеобразного движения гибкого робота; рук. Зарубин З.В.....	93
Долунц Г.В. Определение физико-механических свойств пластика PLA; рук. Маслов Л. Б.....	94
Желова А.Р. Шабакаев Р.Р. Исследование конструкционной детали фюзеляжа самолета; рук. Шмелева Т.В.....	95
Желова А.Р. Исследование напряженного состояния образца поляризационно-оптическим методом; рук. Ноздрин М.А.....	96
Замилев Н.О. Оптимизация нагрузок детали “поводок”; рук. Ноздрин М.А.....	97
Замилев. Н.О. Моделирование развития трещины в лопатке турбины; рук. Шилов М.А.....	98
Замилев Н.О.. Топологическая оптимизация антенного сооружения сотовой связи; рук. Ноздрин М.А.....	99
Зуев В.А. Моделирование ударного воздействия на упругопластический элемент бампера; рук. Ноздрин М.А.....	100
Исмаилова В.Р. Определение усилий в элементах челюсти грейфера;	101

рук. Ноздрин М.А.....	
<i>Исмаилова В.Р.</i> Определение усилий в элементах челюсти грейфера; рук. Ноздрин М.А.....	102
<i>Смирнов И.С.</i> Исследование упругих свойств изделий, изготовленных методом 3D-печати; рук. Огурцов Ф.Б.....	103
<i>Кувенев О.М.</i> Разработка модели пальца роботизированной руки; рук. Ноздрин М.А.....	104
<i>Кузьмичева М.Д.</i> Определение напряженно-деформированного состояния оптически прозрачных образцов методом фотоупругости; рук. <i>Шилов М.А.</i>	105
<i>Мажара А.С.</i> Динамические деформации пластины при варьировании закреплений; рук. <i>Ноздрин М.А.</i>	106
<i>Мажара А.С.</i> Модернизация конструкции вилочного погрузчика; рук. Ноздрин М.А.....	107
<i>Мажара А.С.</i> Расчет усилий грейфера; рук. Ноздрин М.А.....	107
<i>Медведева В.М.</i> Расчет Напряженно – деформированного состояния бака гидроаккумулятора; рук. <i>Шилов М.А.</i>	109
<i>Перепелкин Е.И.</i> Расчет усилия в рукояти; рук. Ноздрин М.А.....	110
<i>Рева Л.С.</i> Исследование устойчивости эстакады технологического трубопровода; рук. <i>Л. Н. Крайнова.</i>	110
<i>Смирнов И.С.</i> Исследование упругих свойств изделий, изготовленных методом 3D-печати; рук. Огурцов Ф.Б.....	111
<i>Соловьев Д.О.</i> Оценка усталостной прочности системы «Кость – имплантат»; рук. <i>Маслов Л.Б.</i>	112
<i>Чернов А.В.</i> Разработка системы вибромониторинга состояния промышленных роторных машин; рук. <i>Колобов А.Б.</i>	113
<i>Чекурда В.В.,</i> Моделирование разрушения болтового соединения при сдвиге; рук. <i>Шилов М.А.</i>	114
<i>Чекурда В.В.</i> Моделирование процесса штамповки скобы; рук. Ноздрин М.А.	115
<i>Чекурда В.В.</i> Усталостно-прочностной расчет листовой рессоры; рук. Ноздрин М.А.....	116
<i>Шабакаев Р.Р., Данилов С.Д.</i> Исследование деформации бруса при ударной нагрузке; рук. <i>М.А. Ноздрин.</i>	117
<i>Шабакаев Р.Р.</i> Составление расчётной модели телескопической стрелы автокрана КС-55713-1В-4; рук. <i>Степанов С.Г.</i>	118
<i>Шмелев А.С.</i> Выполнение расчета напряженно-деформированного состояния обечайки главного барабана разрыхлительно-чесальной машины; рук <i>Шмелева Т.В.,</i> рук. <i>Пирогов Д.А.</i>	119
<i>Якимов А.А.</i> Оптимизация прочностных параметров модели опоры подшипника; рук. Ноздрин М.А.....	120

Якимов А.А. Расчет усилия в элементах челюсти грейфера. построение втулки; рук. Ноздрин М.А..... 121

Секция 25. Математические методы в технике и технологиях

Басова Е.В. Решение задачи стефана с помощью ячеечной модели процессов переноса; рук. Мизонов В.Е..... 125

Бубнов К.Н. Оценка влияния влажности пара на результаты матричного моделирования турбины; рук. Жуков В.П..... 126

Галкина Н.С. Оптимизация работы гранбашни с кипящим слоем; рук. Огурцов А.В..... 127

Кокулин И.А. Расчетный анализ семиканального теплообменного аппарата; рук. Жуков В.П..... 128

Кутумов Ю.Д. К расчету теплового состояния подземного кабеля; рук. Мизонов В.Е..... 129

Сударкин Е.И. Моделирование и анализ образовательных технологий; рук. Жуков В.П..... 130

Шлынов Д.Н. Задача о блуждании в лабиринте переменной конфигурации; рук. Мизонов В.Е. 131

Шпейнова Н.С. О выборе представительного объема для гетерогенной среды газ-частицы; рук. Митрофанов А.В..... 132

Шпейнова Н.С. Разработка системы анализа полей концентрации частиц в кипящем слое; рук. Митрофанов А.В..... 133

Шпейнова Н.С. Расчетная схема процесса пиролиза дисперсных частиц в цилиндрическом реакторе; рук. Митрофанов А.В..... 134

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ШЕСТНАДЦАТАЯ ВСЕРОССИЙСКАЯ
(ВОСЬМАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ)
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ
«ЭНЕРГИЯ-2021»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Том 4

*Составители: Макаров А.В., Шмелева Т.В.
Компьютерная верстка Шмелевой Т.В.
Печатается в авторской редакции*

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.
Подписано в печать .2021. 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