

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ЭНЕРГИЯ-2018

ТРИНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

3-5 апреля 2018 г.
г. Иваново

ТОМ 4

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

«ЭНЕРГИЯ-2018»

ТРИНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ

г. Иваново, 3-5 апреля 2018 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 4

ИВАНОВО

ИГЭУ

2018

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ//

Тринадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2018»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4. – Иваново: ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2018. –148 с.

ISBN 978-5-00062-358-9

ISBN 978-5-00062-352-7(Т.4)

Тезисы докладов студентов, аспирантов и молодых учёных, помещенные в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности в области математического моделирования и информационных технологий.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами математического моделирования и информационных технологий.

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

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Председатель оргкомитета: ТЮТИКОВ В.В., проректор по научной работе.

Зам. председателя: Макаров А.В., начальник управления НИРС и ТМ.

Члены научного комитета: Плетников С.Б. – декан ТЭФ; Андрианов С.Г. – декан ИФФ; Мурзин А.Ю. – декан ЭЭФ; Крайнова Л.Н. – декан ЭМФ; Маршалов Е.Д. – декан ИВТФ; Карякин А.М. – декан ФЭУ.

Ответственный секретарь: Шмелева Т.В.

Координационная группа: Бойков А.А., Вольман М.А., Иванова О.Е., Мошкарина М.В., Смирнов Н.Н., Шадриков Т.Е.

СЕКЦИЯ 20
АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ
ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

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

Секретарь –
ассистент **Захаров М.А.**

*К.В. Терещенко, студ.; рук. А.Г. Капустин, к.т.н., доц.
(БГАА, г. Минск)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ УПРАВЛЯЮЩИХ УСТРОЙСТВ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ НЕЧЕТКОЙ ЛОГИКИ *SUGENO* И *MAMDANI*

В работе приведено сравнение методов нечеткой логики *Sugeno* и *Mamdani* при построении управляющих устройств и последующий анализ эффективности их работы [1].

В качестве объекта управления выбран двигатель постоянного тока. В ходе работы разработаны виртуальные модели двигателя постоянного тока, ПИД-регуляторов, интеллектуальных регуляторов на основе нечеткой (*fuzzy*) логики и нейронных сетей (алгоритм Левенберга-Марквардта)[2].

Из сравнительного анализа особенностей моделирования регуляторов в управляющем контуре определены основные особенности применения методов нечеткой логики *Sugeno* и *Mamdani* при построении управляющих устройств.

Показано, что при моделировании регуляторов по методу нечеткого вывода *Mamdani* выходные функции членства будут нечеткими. После объединения, для каждой выходной переменной существует нечеткое множество, которое нуждается в дефазификации (преобразование нечеткого множества в четкое множество) [1].

Метод *Sugeno* – это линейная зависимость каждого правила (*fuzzy*) от входных переменных, что делает его работу оптимальной для включения нескольких линейных регуляторов, которые применяются к различным условиям работы нелинейной системы. Метод *Sugeno* эффективен для моделирования нелинейных систем путем интерполяции между несколькими линейными моделями, что дает возможность встраивать линейные системы в нечеткие алгоритмы; позволяет создать нечеткую систему, которая переключается между несколькими оптимальными линейными регуляторами [2, 3].

Библиографический список

1. **Mamdani, E.H. and S. Assilian**, "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller," International Journal of Man-Machine Studies, Vol. 7, No. 1, pp. 1-13, 1975.
2. **Tsiareshchanka K.V.** Computation of the regulatory impact of a fuzzy controller by means of linguistic variables / Матеріали XIII міжнародної науково-практичної конференції студентів та молодих вчених «Наукові дослідження Східній Європі». Т. 2. – Вінниця: ТОВ «Нілан-ЛТД», 2017. – С. 33-35.
3. **Sugeno, M.**, Industrial applications of fuzzy control, Elsevier Science Pub. Co., 1985.

**И.И. Исломов, аспирант; рук. А.А. Афанасьев, д.т.н., проф.
(ЧувГУ, г. Чебоксары)**

РЕВЕРСИВНЫЙ РЕЖИМ РАБОТЫ МАГНИТНОГО РЕДУКТОРА

Применения магнитного редуктора (МР) в качестве стабилизирующего оборудования в системе генерирования электроэнергии ветроустановки открывает новые возможности для максимального использования энергий ветра. Кроме того использования МР как один из основных оборудования для промышленных станков позволяет получать два разных скорости Ω_1 и Ω_2 . На рисунке 1 приведена конструктивная схема МР. Благодаря преобразователю частоты, который подключен к статору МР, МР может работать в генераторном (P_g) и в двигательном (P_d) режиме, и при увеличении скорости вращения одного их роторов из допустимого значения может рекуперировать ($P_{рек}$) избыточную мощность от статора.

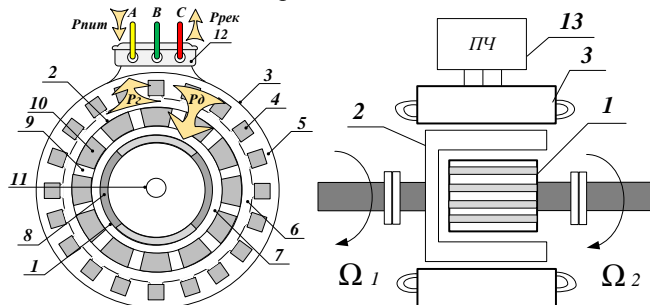


Рисунок 1 – Схема разреза магнитного редуктора: 1 – быстроходный ротор; 2 – тихоходный ротор; 3 – статор; 4 – обмотки статора; 5 – магнитопровод статора; 6 – воздушный зазор между статора и тихоходного ротора; 7 – воздушный зазор между роторами; 8 – постоянные магниты тихоходного ротора; 9 – немагнитная сталь тихоходного ротора; 10 – шихтованные ферромагнитные стержни тихоходного ротора; 11 – вал быстроходного ротора; 12 – выходная фаза обмотки статора; 13 – статический преобразователь частоты

Выводы. Использование МР в качестве стабилизирующего устройства вместо механических редукторов, не только стабилизирует скорость вращения ветрогенератора, но и повышает скорость его вращения.

Рекуперативный режим работы МР является одним из новейших систем управления и для её реализации необходимо разработать автоматизированный алгоритм работы МР в динамических режимах.

Библиографический список

1. Исломов, И.И. Регулируемый магнитный редуктор / Афанасьев, А.А., Генин, В.С., Исломов, И.И., Калинин, А.Г., Токмаков, Д.А. // Электротехника – 2014. № 7. С. 55-59.

*И.А. Калякин, студ.; рук. В.И. Афонин, к.т.н., доц.
(ВлГУ, г. Владимир)*

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПАССАЖИРСКИХ ПОДЪЕМНИКОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ЖКХ

В последнее время традиционные привода пассажирских подъёмников с двухскоростными асинхронными двигателями АС2 постепенно вытесняются компактными приводами с регулируемой скоростью VVVF (электродвигатель + автоматический регулятор скорости на базе статического преобразователя частоты + инкодер).

Подобные приводы обеспечивают непрерывное регулирование частоты и напряжения при любой скорости, совместимой с частотами инвертора. Диапазон частот в котором работают современные частотно-регулируемые редукторные приводы от 0,6 до 1,4 частоты сети. Кроме того, привода VVVF позволили уменьшить габариты лебедок, улучшить комфортность перемещения.

Таблица 1-Показатели энергоэффективности пассажирских подъемников

Q	V	h _м	z _г	Привод АС2 редукторный			Привод АСVVVF		
				Электро-двигатель	P	E	Электро-двигатель	P	E
320	0,71	30	40000	5АН160S6/18	3,0	528,17	АЧ132S6	3,0	320,42
400	1,00	75	70000	5АН180M6/24	4,5	2461	АЧ132M6	5,5	1403,68
630	1,00	75	70000	5АН200МА6/24	6,5	3554,78	АЧ160S6	7,5	1786,4
1000	1,00	85	120000	5АН200МВ6/24	7,5	7968,69	АЧ160M6	11,0	5454,17
Q - грузоподъемность(кг); V- скорость (м/с); h _м - высота (м); z _г - число циклов в год				P для обмотки большой (рабочей) скорости (кВт)			P - мощность (кВт) E - энергия (кВт/ч/год)		

Установлено, что подобные системы управления позволяют снизить потребление электроэнергии по сравнению с традиционными приводами до 50%.

Библиографический список

1. К. Смирнов, Энергетический КПД лифтов, М. Лифт №3, 2010.

С.Д.Цыганкова, студ.; В.Д. Ежов, к.т.н, доц.,
(БНТУ,г.Минск)

ПУСК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ОТ АВТОНОМНОГО ГЕНЕРАТОРА

В автономных электростанциях малой мощности 2...10 кВт существует проблема прямого пуска асинхронного двигателя от синхронного генератора соизмеримой мощности РСГ \approx РАД. Требуется оценить состояние системы генератор – двигатель после подключения к синхронному генератору с $\chi_C^* \approx 1,0$ неподвижного асинхронного двигателя с кратностью пускового тока $\Pi^* \approx 6$ при $\cos\phi \approx 0,3$.

При такой нагрузке реакция якоря генератора практически чисто размагничивающая (Рис.1) и его внешняя характеристика практически линейная (линия АВ Рис.2). Вольт-амперная характеристика неподвижного двигателя $ZAD^* = 1/\Pi^* \approx 0,17$ (линия ОС Рис.2)

При подключении неподвижного двигателя регулятор генератора, пытаясь сохранить номинальное напряжение, задаст максимальное возбуждение, например, $E^* \approx 2$, и установит внешнюю характеристику АВ на Рис.2.

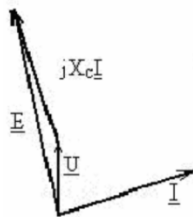


Рис.1

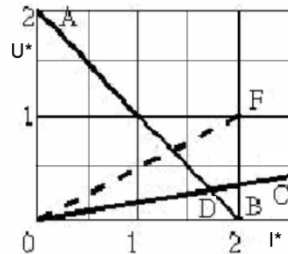


Рис.2

Точка пересечения D характеристик генератора и двигателя характеризует их состояние после подключения: – двигатель при напряжении $U^* \approx 0,25$ развивает момент $M^* \approx 1,2 \cdot 0,252 \approx 0,07$, а генератор перегружен током $I^* \approx 1,7$ и отключается защитой.

Фирмы – производители генераторов рекомендуют подключать двигатели втрое меньшей мощности (характеристика 0F на Рис.2). В этом сочетании двигатель при напряжении $U^* \approx 0,7$ развивает момент $M^* \approx 1,2 \cdot 0,72 \approx 0,6$, а генератор перегружен током $I^* \approx 1,3$. Двигатель успеет набрать скорость и уменьшить потребляемый ток до срабатывания защиты генератора. Для запуска двигателя соизмеримой мощности требуется частотный преобразователь, плавно увеличивающий частоту.

Ю. С. Батанов, студент; рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕГУЛЯТОРОВ ПОЛОЖЕНИЯ С ПЕРЕМЕННОЙ СТРУКТУРОЙ ДЛЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ

Многие примеры применения электромехатронных модулей позиционирования (ЭМП), такие как промышленные манипуляторы и транспортные системы, требует формировать траекторию при позиционировании с учетом заданных параметров движения (скорости, ускорения и т.д.). Для этого в современных системах позиционирования с быстродействующим регулированием контура момента двигателя и регуляторами положения применяют формирователи траектории позиционирования (задатчики интенсивности) [1,2].

Модифицированные ПИД-регуляторы, настроенные на динамику, соответствующую динамике полиномиальных фильтров Бесселя, обеспечивают минимальное искажение ЭМП сигнала задания [2].

Исследуется работа ЭМП с модифицированными ПИД-регуляторами и формирователем траектории позиционирования, в котором на выходе формируется сигнал с учетом уровня его производных. Для этого сформированы имитационные модели в двух программных комплексах *Simulink(Matlab)* и *MathCAD*. *Simulink* характерен структурным моделированием с широким использованием стандартных линейных и нелинейных звеньев. В *MathCAD* модель формируется в виде системы дифференциальных уравнений с формированием вектора правых частей.

Анализ характеристик показывает, что на участках роста (спада) сигнала задания возникает временное запаздывание, определяемое свойствами динамики Бесселя. Рассматриваются варианты решения этой проблемы как за счет совершенствования алгоритмов формирователей траектории, так и за счет изменения структуры ПИД-регуляторов положения.

Библиографический список

1. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки/ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». –Иваново, 2016.–340 с.
2. Терехов В.М., Осипов О.И. Системы управления электроприводов. М.: Изд. дом «Академия», 2005.-304 с.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОПРИВОДА «ИСПОЛНИТЕЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – НАГРУЗОЧНАЯ МАШИНА»

В докладе приводятся результаты разработки и исследования модели системы электропривода «Исполнительный двигатель – нагрузочная машина» (системы «ИД-НМ») лабораторного стенда, предназначенного для изучения систем подчиненного регулирования скорости двигателя. В качестве ИД и НМ используются высокомоментные электродвигатели постоянного тока ДПМ-2.5.

Движение системы «ИД-НМ» описывается системой уравнений

$$\left. \begin{aligned} M_1(s) &= \frac{(U_1(s) - \Omega(s)C_1)C_1}{(1 + T_{Я1}s)R_{Я1}}; \\ M_2(s) &= \frac{(U_2(s) - \Omega(s)C_2)C_2}{(1 + T_{Я2}s)R_{Я2}}; \\ M_1(s) - M_2(s) &= J_{\Sigma} \cdot \Omega(s) \cdot S; \end{aligned} \right\}$$

где $M_1(s)$ и $M_2(s)$ – моменты исполнительного электродвигателя и нагрузочной машины; J_{Σ} – суммарный момент инерции; Ω – угловая скорость системы «ИД-НМ».

На основании системы уравнений в среде Matlab разработана модель системы «ИД-НМ» (рис.1), в которой ИД работает в режиме регулирования скорости, а НМ – в режиме регулирования тока.

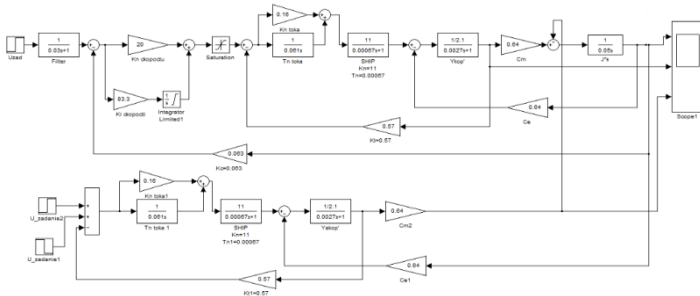


Рис.1. Математическая модель системы «ИД-НМ»

В докладе приведены результаты исследования влияния параметров и структуры регуляторов на статические и динамические свойства исполнительного и нагрузочного электроприводов системы «ИД-НМ».

*М. П. Веретенникова, студент; рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОЛУЧЕНИЕ ПОЛИНОМОВ БЕССЕЛЯ ДЛЯ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ЗАДАННОЙ ПОЛОСОЙ ПРОПУСКАНИЯ

Системы позиционирования на основе электромехатронных модулей (ЭММ) используют при реализации проектов в различных отраслях промышленности, транспорте, энергетике и коммунальном хозяйстве. Наиболее высокие требования к динамике предъявляются при использовании ЭММ при изменении положения исполнительных органов в робототехнике и машиностроении. В максимальной степени потребностям систем позиционирования отвечает настройка систем позиционирования на эталонную динамику, соответствующую полиномиальным фильтрам низкой частоты, использующим полиномы Бесселя [1].

В работе в качестве исходных данных использованы полиномы Бесселя до 10-го порядка включительно, нормированные по времени группового запаздывания в 1 секунду из [2]. По этим полиномам с использованием символьных преобразований *MathCAD* получены временные переходные характеристики, а так же частотные характеристики: логарифмические амплитудные (ЛАЧХ), фазные (ЛФЧХ), времени группового запаздывания. Анализ полученных характеристик подтвердил достоверность исходных данных из [2].

В связи с тем, что основным требованием по динамике при разработке электроприводов станков и промышленных роботов является полоса пропускания, поставлена задача нормирования полиномов Бесселя по этому параметру. С этой целью было выполнено нормирование полиномов первоначально по ЛАЧХ для частоты, соответствующей -3 дБ, а затем для ряда полиномов – по ЛФЧХ для частоты, соответствующей -90°. Результаты анализа характеристик и сопоставление с полученными в [1] полиномами до 7-го порядка позволяет рекомендовать полученные полиномы для практического использования.

Библиографический список

3. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФБОЛУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016.– 340 с.
4. Мошиц Г., Хорн П. Проектирование активных фильтров.– М.: Мир, 1984.–320 с.

**А. В. Воронов, студент; рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)**

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО MATHCAD

В связи с введением нового ФГОС бакалавриата по направлению «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электропривод и автоматика», дисциплина «Компьютерные технологии в математике и технических расчетах» с 2018/19 учебного года переносится с 4-го семестра на 5-ый. При этом меняется характер связи с другими дисциплинами [1,2] и УМКД дисциплины требует модернизации.

С изучением *MathCAD* связано выполнение студентами специальных разделов лабораторного практикума и РГР.

Изучению *MathCAD* в новой рабочей программе отведены 4 части лабораторного практикума.

1. Арифметика, алгебра, тригонометрия, комплексные числа и матрицы, алгебраические уравнения, задание функций и графики.
2. Производные и интегралы, дифференциальные уравнения и системы, символьные операции с выделенными выражениями и командами меню символики.
3. Символьные операции с командами из палитры символики, получение характеристик динамических звеньев по передаточным функциям, блокировка и свертка областей рабочего листа.
4. Символьные операции с компонентами уравнений состояния систем управления, получение и исследование характеристик САУ по уравнениям состояния и выхода.

Сформированы пошаговые инструкции по выполнению лабораторных работ в формате презентации для преподавателя и в *PDF*-формате для студентов. Материалы прошли апробацию с использованием студентов магистратуры кафедры ЭП и АПУ, что позволило внести в материалы коррективы и тем существенно их улучшить. Переработаны и дополнены варианты разделов РГР по дисциплине, связанных с изучением *MathCAD*.

Библиографический список

5. **Колганов А.Р., Лебедев С.К., Ханаев А.В.** Математические основы теории автоматического управления: учебник / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 340 с.
6. **Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е.** Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФБОЛУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. – 340 с.

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

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА НА БАЗЕ БЕСКОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

В докладе рассматривается модель электропривода с бесколлекторным двигателем постоянного тока (БКД), разработанная в компьютерной среде Matlab-Simulink с использованием специализированных блоков. За основу берется пакет SimPowerSystems.

Как известно, БКД – это синхронный двигатель, замкнутый по положению ротора, поэтому он представлен блоком синхронной машины PermanentMagnetSynchronousMachine с отрицательной обратной связью по положению ротора. Инвертор напряжения представлен блоком UniversalBridgeиз раздела PowerElectronics. Математическая модель электропривода с двигателем приведена на рис. 1, а графики скорости и электромагнитного момента – на рис. 2.

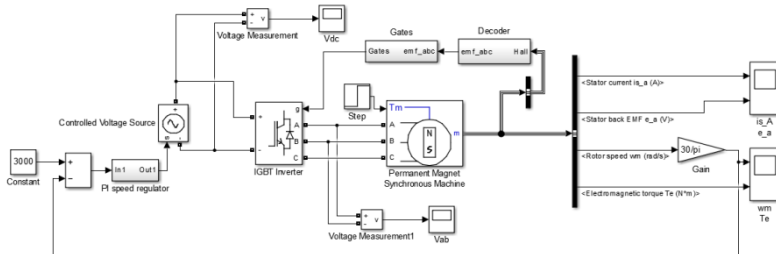


Рис. 1. Математическая модель электропривода с БКД

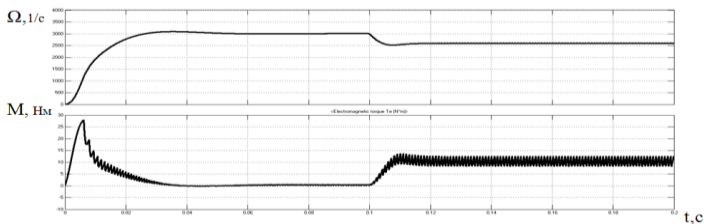


Рис. 2. Переходные характеристики при пуске привода на номинальную скорость и набросе номинальной нагрузки

Результаты моделирования электропривода с БКД в компьютерной среде Matlab-Simulink показали целесообразность использования имеющихся в Matlab специализированных блоков.

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

РАЗРАБОТКА ВХОДНЫХ И ВЫХОДНЫХ ТЕСТОВ В ФОРМАТЕ *MUTESTXPRO* ДЛЯ ДИСЦИПЛИНЫ «КОМПЬЮТЕРНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В МАТЕМАТИКЕ И ТЕХНИЧЕСКИХ РАСЧЕТАХ»

Дисциплина «Компьютерные технологии в математике и технических расчетах» (КТМТР) входит в программу подготовки бакалавров по направлению «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электропривод и автоматика» на кафедре «Электропривод и автоматизация промышленных установок» ИГЭУ. Главным «ядром» учебного процесса по КТМТР является лабораторный практикум, который сформирован вокруг освоения студентами двух программных комплексов – *MathCAD* и *Matlab*. Разделы практикума:

- арифметика, алгебра, тригонометрия, комплексные числа и матрицы, алгебраические уравнения, задание функций и графики;
- производные и интегралы, дифференциальные уравнения и системы, символьные операции с выделенными выражениями и командами меню символики;
- производные и интегралы, дифференциальные уравнения и системы, символьные операции с выделенными выражениями и командами меню символики;
- получение и исследование характеристик САУ по уравнениям состояния и выхода;
- структура и основы функционирования *Matlab*, библиотеки *Simulink*, подсистемы и маскирование параметров;
- применение *LinearAnalysisTool*, моделирование электрических и электронных цепей в *FoundationLibrary* и *SimPowerSystems*.

Студенческие подгруппы для выполнения лабораторных работ разбиваются на бригады по числу компьютеров, работы выполняются бригадами параллельно по одинаковым заданиям. Для оценки подготовки студентов к лабораторным работам, а так же для контроля освоения материала и проверки формирования навыков предлагается использовать систему тестирования *MyTestXPro*. С этой целью разработаны варианты индивидуальных тестов входного и выходного контроля по каждой лабораторной работе практикума. Тесты прошли частичную апробацию на студентах бакалавриата и магистратуры кафедры ЭП и АПУ.

*Р. С. Ионов, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц., М.А. Захаров, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

БЕСКООРДИНАТНАЯ МОДЕЛЬ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Синхронный двигатель, как объект автоматического управления представляет собой сложную динамическую структуру, описываемую системой нелинейных дифференциальных уравнений высокого порядка. По этой причине применение такого описания в разработках систем управления синхронным электроприводом в большинстве случаев оказывается проблематичным. Практически, чаще всего в задачах управления пользуются упрощенным или неаризованными вариантами динамических моделей, что приводит на практике к ухудшению качества процессов регулирования синхронного электропривода.

Главная особенность бескоординатной модели синхронного двигателя состоит в том, что они не содержат ни одной периодически изменяющейся переменной. Входными величинами в этих моделях являются модуль и частота вращения вектора напряжения статора и модуль вектора напряжения обмотки возбуждения.

В качестве исходной принимается тензорная модель синхронного двигателя с электромагнитным возбуждением без демпферной обмотки.

В результате преобразований исходных уравнений в соответствии с обобщенной методикой преобразования тензорных уравнений электромагнитных процессов в синхронном электроприводе к векторной форме для случая различных переменных входящих в тензорные уравнения получается система из 12 дифференциальных уравнений в форме Коши.

В качестве исследуемого был взят синхронный двигатель марки СТД-630-2РУХЛ4 (мощность 630 кВт, напряжение статора 6000 В, частота вращения 3000 об/мин, критическая частота вращения 2390 об/мин, момент инерции ротора 0,053 Тм², ток статора фазный 71 А, $\cos \varphi$ 0,9, К.П.Д. 95,8%, напряжение обмотки возбуждения 31 В, ток возбуждения 245 А, сопротивление фазы статора, $R_s=1,096$ Ом, индуктивность обмотки статора $L_s=0,00019$ Гн, взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и обмоткой статора $L_{mf}=0,00019$ Гн, сопротивление обмотки возбуждения $R_a=0,690$ Ом, индуктивность обмотки возбуждения $L_f=0,000473$ Гн).

*А.В. Киселев, студ.; рук. Б.С. Курнышев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В процессе работы асинхронного электропривода без фильтров электромагнитной совместимости (ЭМС) на входе и выходе преобразователя частоты (ПЧ) возникают высокочастотные перенапряжения. Эти перенапряжения создают широкий спектр высокочастотных помех сложного гармонического состава с амплитудой в сотни вольт, которые распространяются вдоль электрических кабелей, вызывая мощное электромагнитное излучение в окружающую среду. В результате возникает проблема ЭМС электропривода с питающей сетью переменного тока [1, 2].

Качество переходных процессов в электрическом кабеле, соединяющем ПЧ и двигатель, сильно зависит от длины кабеля. Поэтому обычно приходится перестраивать параметры фильтров ЭМС и (или) изменять их структуру в зависимости от длины кабеля.

Предложен вариант фильтра ЭМС (рис. 1) и методика расчета его параметров для диапазона длины кабеля 10÷100 м. Фильтр ограничивает амплитуду перенапряжений и скорость нарастания напряжения на заданном уровне без перестройки параметров, при этом структура фильтра с расчетными параметрами остается неизменной. Качество переходного процесса в указанном диапазоне длины кабеля удовлетворяет требованиям ГОСТ.

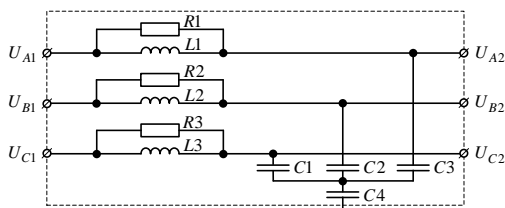


Рис. 1. Схема электрическая принципиальная фильтра ЭМС

Библиографический список

1. ГОСТ Р 51317.3.2-99 (МЭК 61000-3-2-95) «Совместимость технических средств электромагнитная. Эмиссия гармонических составляющих тока техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе). Нормы и методы испытаний».
2. ГОСТ Р 51317.3.3-99 (МЭК 61000-3-3-94) «Совместимость технических средств электромагнитная. Колебания напряжения и фликер, вызываемые техническими средствами с потребляемым током не более 16 А (в одной фазе), подключаемыми к низковольтным системам электроснабжения. Нормы и методы испытаний».

*И.В. Ковалев, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ ТЕПЛОВОЙ СТАНЦИИ

В ходе работы была предложена идея по усовершенствованию тракта тепловой станции, по которому отработанные газы из турбины поступают в котел, для нагрева воды потребителю. Целью работы была замена шибера (регулирующих устройств) тепловой станции, в данном тракте, на воздуходувку, для обеспечения более эффективной работы станции, как с экономической, так и с энергетической точек зрения.

Был рассмотрен технологический процесс работы воздуходувки и выбор ее типа. На основании требований, предъявляемых к оборудованию тепловой станции, произведен выбор системы привода. По рассчитанной часовой производительности и расчетному напору была выбрана воздуходувка ДН-26, построены ее Q-Характеристики. Произведен расчет и выбор асинхронного электродвигателя ДАЗО4-560х-8 и высоковольтного преобразователя частоты ВЧРП-06/600-А-УХЛ4. Было решено использовать частотное регулирование для данной воздуходувки, так как это дает целый ряд преимуществ, таких как: уменьшение износа технологического и технического оборудования, экономия электроэнергии за счет обеспечения оптимального к.п.д., уменьшение шума, увеличение срока службы, сокращение затрат на ремонт и обслуживание, а также сокращение аварийных простоев производства.

В дальнейшем был произведен расчет параметров и компьютерное моделирование системы электропривода воздуходувки. Была создана математическая модель, выдающая на выходе все необходимые параметры, как электродвигателя, так и воздуходувки, для отслеживания и управления работой данной системы.

Библиографический список

1. **Справочник** по автоматизированному электроприводу. Под редакцией В.А. Елесева, А.В. Шинянского. –М.: Энергоиздат, 1983. – 616 с
2. **Правила** устройства электроустановок. –СПб.: Издательство ДЕАН, 2001. – 928с.

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

АЛГОРИТМЫ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ С ЗАДАНИЕМ СКОРОСТИ И УСКОРЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

В формировании структур систем управления электромехатронными модулями позиционирования (ЭММП) в настоящее время сформировались основные концепции с точки зрения задания параметров движения исполнительных органов [1]:

- построение системы по принципам подчиненного регулирования с каскадным включением регуляторов и заданием параметров движения в виде элементов ограничения на соответствующих регуляторах (тока, скорости, положения);
- использование «одноконтурной» системы с регулятором положения и формирователем траектории позиционирования, реализующем задание параметров движения.

Использование современной элементной базы позволяет реализовать ЭММП на основе двигателей переменного тока с реализацией принципов векторного управления с использованием высокоэффективных регуляторов положения (контроллеров движения) [2].

Выполнен синтез и моделирование в среде *SimulinkMatlab* ЭММП с модифицированными ПИД-регуляторами положения, обеспечивающими различную степень астатизма по механической нагрузке. Для каждого ПИД-регулятора рассмотрены два варианта задания параметров движения при позиционировании:

- ПИД-регуляторы с «ограничением»;
- линейные ПИД-регуляторы и формирователи траектории позиционирования с заданием параметров движения.

Разработаны алгоритмы формирования траекторий позиционирования для реализации в ЭММП. Анализ характеристик разработанных вариантов позволил выработать рекомендации по применению алгоритмов позиционирования на практике.

Библиографический список

7. **Терехов В.М., Осипов О.И.** Системы управления электроприводов. М.: Изд. дом «Академия», 2005.-304 с.
8. **Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е.** Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. – 340 с.

Д. С. Кулагин, студ.; рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕМЕНТОВ ЛАБОРАТОРНОГО ПРАКТИКУМА ПО MATLAB

В результате введения нового ФГОС бакалавриата по направлению «Электроэнергетика и электротехника», профиль «Электропривод и автоматика», дисциплина «Компьютерные технологии в математике и технических расчетах» с 2018/19 учебного года переносится с весеннего семестра 2-го курса на осенний семестр 3-го курса. Это меняет связи с другими дисциплинами [1,2], следовательно, в компоненты УМКД дисциплины необходимо внести изменения.

Освоение *Matlab* связано с выполнением студентами специальных разделов лабораторного практикума и РГР. Освоению *Matlab* в новой рабочей программе посвящены следующие части лабораторного практикума.

5. Структура и основы функционирования *Matlab*, библиотеки *Simulink*, подсистемы и маскирование параметров.
6. Применение *LinearAnalysisTool*, моделирование электрических и электронных цепей в *FoundationLibrary* *SimPowerSystems*.

В качестве методических материалов по лабораторному практикуму сформированы пошаговые инструкции для выполнения лабораторных работ. Они выполнены в электронной форме: в формате презентации для преподавателя и в *PDF*-формате для студентов.

Методические материалы прошли апробацию с использованием студентов магистратуры кафедры ЭП и АПУ, что позволило внести в материалы коррективы и тем существенно их улучшить. В настоящее время они готовы к практическому использованию.

С учетом модернизации дисциплины переработаны и дополнены варианты разделов РГР по дисциплине, связанных с изучением *Matlab*. Основные изменения связаны с расширением практической направленности задач, связанных с синтезом и анализом компонентов систем электропривода.

Библиографический список

9. Колганов А.Р., Лебедев С.К., Ханаев А.В. Математические основы теории автоматического управления: учебник / ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 340 с.
10. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки / ФБОЛУВО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2016. – 340 с.

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

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМЫ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Наличие зазоров и упругих элементов кинематической цепи ограничивает быстродействие автоматизированных электроприводов металлорежущих станков и влияет на точность их обработки. При этом возможно возникновение различного рода механических колебаний.

Целью данной работы является разработка и исследование системы многодвигательного электропривода с учётом наличия зазоров и упругих элементов кинематической цепи.

В электроприводах подач металлорежущих станков с большими перемещениями важным фактором является устранения влияния зазоров и упругостей кинематической цепи. Устранение их влияния является особенно актуальным при использовании металлорежущих станков с большими перемещениями.

Для уменьшения влияния зазоров наиболее перспективным представляется использование явления электромеханического торсиона, заключающегося в том, что в системе создается момент распора за счет работы одного двигателя в двигательном, а другого в тормозном режиме [1].

Устранение влияния зазоров заключается в создании предварительного натяга в передачах, которое обеспечивается путём использования идентичных ветвей кинематической цепи. В этом случае при нагрузках меньших половины максимально возможных один из двигателей работает в двигательном режиме, а другой в тормозном. При нагрузках больших половины максимально возможных тормозной двигатель берёт на себя часть нагрузки [2]. Это позволяет уменьшить нагрузку ведущего двигателя, более равномерно загрузить механическую передачу и увеличить быстродействие электропривода.

Выполнена разработка и исследование математической модели многодвигательного электропривода, решающего задачу уменьшения влияния зазора на качество переходных процессов.

Библиографический список

1. **Борцов Ю.А., Соколовский Г.Г.** Автоматизированный электропривод с упругими связями. 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: Энергоатомиздат. Санкт-Петербург. отд-ние, 1992.
2. **Иванов Г.М., Бучева И.А.**, Системы регулирования автоматизированных электроприводов с упругими звеньями механической части. Инфомэлектр. М., 1977.

Д. В. Романов, студ.; рук. С. К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РЕАЛИЗАЦИЯ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ В РЕГУЛЯТОРАХ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Традиционно модальное управление используют для формирования желаемой динамики в многомерных системах [1]. В электромехатронных модулях позиционирования (ЭМП) для станков и роботов в [2] предлагается использовать варианты модифицированных ПИД-регуляторов для реализации требуемого порядка астатизма и заданной полосы пропускания с настройкой регуляторов на динамику Бесселя. Основу современных ЭМП составляют электроприводы переменного тока с векторным управлением, формирующим быстродействующий контур регулирования электромагнитного момента (КМ) [3]. В [2] синтез регуляторов выполнен с пренебрежением инерционностью КМ.

Предлагается настройка ПИД-регуляторов с учетом конечной инерционности КМ. С этой целью получены математические модели ЭМП в виде уравнений состояния, как принято при модальном управлении. Это позволило использовать методы теории пространства состояний для синтеза систем и анализа характеристик. По уравнениям состояния с использованием средств символьных преобразований *MathCAD* получены параметры регуляторов положения, обеспечивающие ЭМП динамику Бесселя. Полученные временные и частотные характеристики подтверждают достижение полосы пропускания гарантировано превышающей заданное значение.

С учетом того, что инерционность механики ЭМП, особенно в промышленных манипуляторах, может изменяться в широких пределах, выполнена оценка робастности разработанных систем. С этой целью выполнен анализ корневых годографов систем позиционирования с ПИД-регуляторами. Это позволило сделать вывод о работоспособности ЭМП в условиях вариации параметров механики.

Библиографический список

1. Кузовков Н.Т. Модальное управление и наблюдающие устройства. М.: Машиностроение, 1986.–184 с.
2. Лебедев С.К., Колганов А.Р., Гнездов Н.Е. Электромехатронные системы позиционирования с наблюдателями нагрузки/ФГБОУВО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина».–Иваново, 2016.–340 с.
3. Виноградов А.Б. Векторное управление электроприводами переменного тока/ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина».–Иваново, 2008.–320 с.

С.Н.Румянцев, маг., Ю.П. Спичков, к.т.н., доц.(ИГЭУ, г. Иваново)
ПУТИ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
НАТЯЖЕНИЕМ ТКАНИ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ
ОБОРУДОВАНИИ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Обработка гибких ленточных материалов на технологическом оборудовании непрерывного действия получила в текстильной промышленности широкое распространение.

Это связано с решением двух главных задач: увеличением скорости обработки ткани и снижением сил трения в зоне обработки с целью снижения бытовой вытяжки. Их решение особенно актуально при создании современного высокоскоростного оборудования заключительной отделки ткани.

Интенсификации технологического процесса обработки тканей в поточном оборудовании, стремление к ведению процессов с минимальными потерями энергии обусловили необходимость совершенствования, прежде всего электропривода. Основной особенностью указанных объектов является объединение локальных систем электроприводов отдельных машин транспортируемым в процессе обработки транспортируемого материала в единую многосвязную электромеханическую систему.

Одну из ведущих позиций в этой области занимает применение регулируемых электроприводов на основе частотных преобразователей, который обеспечивает работу электродвигателя в режиме оптимального к.п.д. во всем диапазоне регулирования скорости поточных линии.

При этом экономится электроэнергия, и улучшаются условия работы электродвигателей и в целом всего технологического оборудования.

Электропривод непосредственно осуществляет синхронизацию движения рабочих машин во всех технологических режимах, производят стабилизацию заданных скоростей и их соотношения, создают условия для управления важнейшими физико-механическими параметрами ткани (натяжением, вытяжкой и т.п.).

Обеспечить высокие технические показатели обработки ткани в поточном оборудовании возможно наряду с совершенствованием электропривода, также и повышением уровня развития самого технологического оборудования. Однако совершенствование приводных устройств поточного оборудования, вызывает повышенные требования к системе автоматического регулирования натяжения обрабатываемой ткани (АСР НТ), одним из элементов которой является зона ее обработки.

Обеспечение качественной обработки ткани за счет снижения ее натяжения во многом зависит от рационального выбора конструкции тканеведущих узлов технологического оборудования в зоне обработки, а также структуры взаимосвязанного электропривода. Это вызывает необходимость комплексного подхода при разработке АСР НТ с учетом особенностей работы электропривода, конструкции оборудования и физико-механических свойств ткани.

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

ПРИНЦИПЫ ОРГАНИЗАЦИИ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

При рассмотрении систем управления с интеллектуальной организацией управляющей структуры руководствуются следующими принципами [1]:

- наличие тесного информационного взаимодействия управляющих систем с реальным внешним миром и использование специально организованных информационных каналов связи;

- принципиальная открытость систем для повышения интеллектуальности и совершенствования собственного поведения;

- наличие механизмов прогноза изменений внешнего мира и собственного поведения системы в динамически меняющемся внешнем мире;

- построение управляющей системы в виде многоуровневой иерархической структуры в соответствии с правилом: повышение интеллектуальности и снижение требований к точности по мере повышения ранга иерархии в системе (и наоборот);

- сохраняемость функционирования (возможно, с некоторой потерей качества или эффективности) при разрыве связей или потере управляющих воздействий от высших уровней иерархии управляющей структуры.

Первый принцип подчеркивает непосредственную связь интеллектуальных управляющих систем с внешним миром. Интеллектуальные системы, взаимодействуя с внешним миром, получают всю необходимую информацию для принятия решений и пополнения знаний. В свою очередь, сама управляющая система оказывает на внешний мир активное воздействие в результате реализации собственного поведения. Модель знаний о внешнем мире интеллектуальной системы должна предполагать в этом смысле возможность изменений внешнего мира и знаний о нем в результате воздействий на него системы. Выполнение принципа информационного взаимодействия системы с внешним миром означает, что любые упрощенные модели типа моделей состояний, вероятностных описаний, игр автоматов со средой и т. п. для представления событий реального внешнего мира непригодны.

Принципиальная открытость систем в соответствии со *вторым принципом* обеспечивается наличием таких подсистем высшего ранга в иерархической структуре, как самонастройка, самоорганизация и самообучение. Знания интеллектуальной системы управления состоят из двух частей: постоянных (проверенных) знаний, которыми система обладает и

постоянно пользуется, и временных (проверяемых) знаний, в которых система не уверена, с которыми она экспериментирует в процессе обучения. Знания второго типа либо отбрасываются системой, либо переходят в знания первого типа в зависимости от результатов анализа своего поведения во внешнем мире. Выполнение второго принципа требует организации в управляющей системе процесса приобретения и пополнения знаний.

В соответствии с *третьим принципом* управляющую систему нельзя считать в достаточной мере интеллектуальной, если она не обладает возможностью прогноза изменений самого внешнего мира и собственного в нем поведения. Система без прогноза, функционирующая в динамически меняющемся внешнем мире, может попасть в критическую ситуацию, из которой не сможет найти выхода из-за временных ограничений на работу механизмов формирования управляющих воздействий, определяющих ее поведение, адекватное сложившейся ситуации.

Четвертый принцип позволяет наметить пути построения моделей сложных управляющих систем в тех случаях, когда неточность знаний о модели объекта или о его поведении можно скомпенсировать увеличением числа уровней интеллектуальности, а также использованием совершенных механизмов принятия решений в условиях неопределенности в соответствующих алгоритмах управления.

Пятый принцип устанавливает лишь частичную потерю интеллектуальности (но не прекращение функционирования) при отказах в работе высших уровней иерархии системы. Сохранение автономного функционирования в рамках более простого (автоматного) поведения системы, характерного для нижних уровней структуры управления, также чрезвычайно важно для автономно функционирующих систем в реальном внешнем мире.

Таким образом, чтобы реализовать сложную структуру организации интеллектуальной системы управления нужно придерживаться приведенных выше принципов.

Библиографический список

1. **Интеллектуальные системы** автоматического управления / Под ред. И. М. Макарова, В. М. Лохина — М. ФИЗМАТЛИТ, 2001 — С. 31-33.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГУЛИРУЕМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В докладе рассматривается математическая модель электропривода насосной установки системы водоснабжения на базе центробежного насоса 1Д315-71, асинхронного двигателя 5АМ280S4 и частотного преобразователя, разработанная в пакете Matlab-Simulink(рис. 1).

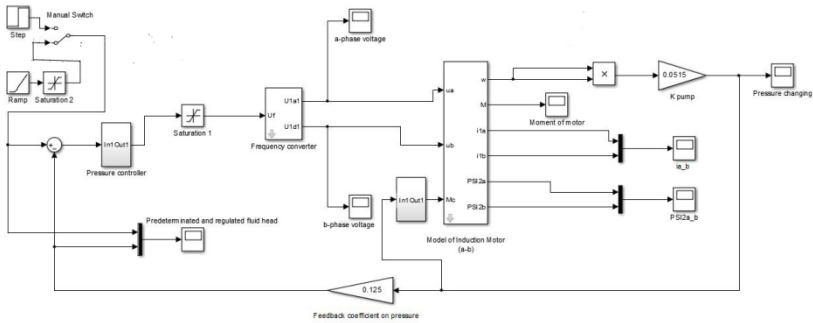


Рис.1. Математическая модель электропривода насосной установки

Модель позволяет исследовать динамические процессы при изменении задающих и возмущающих воздействий всистеме водоснабжения с частотно-регулируемым электроприводом, обеспечивающим стабилизацию и регулирование напора воды с помощью датчика давления.

В докладе приведены процессы отработки скачкообразного и линейного задания напора воды (рис.2), а также и другие результаты исследования.

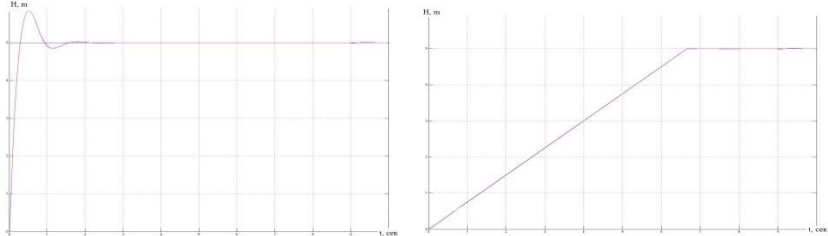


Рис.2. Процессы отработки скачкообразного и линейного задания напораводы

СЕКЦИЯ 21
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И
МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

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

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

*Течи М.Ж. Агуасси, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЕНСАЦИЯ РЕАКЦИИ ЯКОРЯ В ДВИГАТЕЛЕ ПОСТОЯННОГО ТОКА УСТАНОВКИ ПО ПЕРЕРАБОТКЕ САХАРНОГО ТРОСТНИКА

При нагрузке- переработке сахарного тростника в установке, в приводном двигателе постоянного тока создается магнитное поле якоря и возникает реакция якоря (поперечная и продольная). Магнитные поля якоря и индуктора, действующие совместно, образуют результирующее поле. Магнитное поле в зазоре двигателя перераспределяется. Изменение нагрузки и, соответственно, реакции якоря изменяет магнитный поток и рабочие характеристики двигателя. Вследствие искажения магнитного поля возрастает напряжение между соседними коллекторными пластинами, ухудшается коммутация [1]. Поэтому в мощных двигателях постоянного тока применяют меры по снижению влияния реакции якоря.

В высокоиспользуемых мощных двигателях постоянного тока, например, серии LSK 3554C-LEROYSOMER [2], для компенсации реакции якоря применяют компенсационную обмотку. Компенсационная обмотка размещается в полюсных наконечниках главных полюсов и соединяется последовательно с обмоткой якоря, так чтобы МДС обеих обмоток (компенсационной и якоря) были направлены навстречу друг другу. Применение компенсационной обмотки является наиболее эффективным способом подавления поперечной реакции якоря и повышения потенциальной устойчивости двигателей, что позволяет увеличить диапазон регулирования частоты вращения двигателя до 60 % от максимальной номинальной частоты вращения.

В соответствии с рекомендациями [3] спроектирована и рассчитана компенсационная обмотка двигателя постоянного тока мощностью 590 кВт с высотой оси вращения 355 мм. Число зубцов компенсационной обмотки выбрано четным в диапазоне 6-12, а пазовый ток не превышает 2500 А. Проанализировано изменение результирующих магнитных полей в двигателе с отсутствием и наличием компенсационной обмотки.

Библиографический список

1. **Иванов-Смоленский А.В.** Электрические машины. В 2-х т.: учебник для вузов / А.В. Иванов-Смоленский. - 3-е изд., перераб. и доп. - Москва: МЭИ, 2006.
2. www.leroy-somer.com/popup/en/downloads/catalogues/?id=577
3. **Гурин Я.С., Кузнецов Б.И.** Проектирование серий электрических машин - М.: Энергия, 1978. - 480 с., ил.

*Д. Е. Дрязгов, маг.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МОДЕЛЕЙ ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АВТОНОМНОЙ БИБЛИОТЕКИ РАСЧЁТА ФИЗИЧЕСКИХ ПОЛЕЙ

В настоящее время наблюдается тенденция вытеснения экспериментальных методов исследования опытных образцов электрических машин численным экспериментом с использованием точных математических моделей на основе теории поля и цепей. Наиболее распространенными в этом плане являются модели, построенные на основе метода конечных элементов.

Одной из актуальных задач электромеханики является разработка эффективных методов моделирования динамических режимов асинхронных двигателей. В частности, в [1] рассмотрены варианты построения динамических моделей АД на основе динамически подключаемой библиотеки моделирования квазистационарного магнитного поля EMLib (рис. 1). Дальнейшее развитие данной технологии моделирования требует совершенствования алгоритма библиотеки EMLib, в частности, в направлении возможности моделирования нестационарных полей с учетом вихревой составляющей при произвольно заданной внешней цепи. Для создания новой версии библиотеки выбрана система программирования Qt. Система будет реализована в виде DLL.

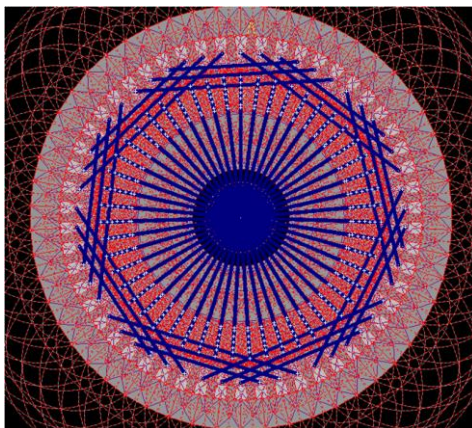


Рис. 1. Конечно-элементная модель асинхронного двигателя в среде библиотеки EMLib

Библиографический список

1. Булатов Л.Н., Тихонов А.И. Численные методы моделирования динамических режимов асинхронных машин / ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2013. – 120 с.

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

УТОЧНЕНИЕ ИНЖЕНЕРНОЙ МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АДЭП

В данной работе рассматривается проблема точности инженерного проектирования асинхронного двигателя с экранированными полюсами (АДЭП). В качестве основы для проектирования взята методика В.П.Ермолина [1], на базе которой выполняются проектировочные и проверочные расчёты. Однако расчёт параметров по данной методике, в частности индуктивных сопротивлений, имеет неточности, что показано в диссертации [2].

Происходящие в АДЭП процессы крайне сложны для исследования, что объясняется наличием на полюсах короткозамкнутых витков и полюсных наконечников, наличием магнитных шунтов между полюсами статора, а также резко эллиптическим полем, создающимся в двигателе.

Для уточнения методики было предпринято:

1) Проведено лабораторное испытание реально существующего АДЭП мощностью 2 Вт, получены характеристики холостого хода, короткого замыкания, нагрузочная.

2) В существующую инженерную методику, с учётом поправок, занесена геометрия исследуемого электрической машины.

3) По полученным данным построена модель в среде ANSYS-MAXWELL. Методами численного моделирования методом конечных элементов получены данные режима холостого хода и нагрузки близкие к расчётным и экспериментальным.

Оставшиеся этапы уточнения методики:

1) Расчёт пусковых и рабочих характеристик двигателя с использованием матричных уравнений токов.

Уточнённая методика расчёта позволит получить более точные данные о двигателе на стадии проектирования, что может способствовать созданию машин с лучшими энергетическими показателями, а также экономии на материалах.

Библиографический список

1. **Ермолин, Н.П.** Электрические машины малой мощности. М.: Высш.шк., 1967. – 503 с.
2. **Царева А.А.** Исследование асинхронного двигателя с экранированными полюсами: дис. магистра электротехники и электроэнергетики. ИГЭУ им. Ленина. Иваново, 2016.

*А.О. Кулагин, студ.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ФОРМИРОВАНИЕ МОДЕЛИ ДЛЯ РАСЧЕТА ПАРАМЕТРОВ ХОЛОСТОГО ХОДА ТРАНСФОРМАТОРОВ ДО 35 кВ

В данной работе рассматривается проблема инженерного расчета потерь и тока холостого хода в трансформаторах до 35 кВ.

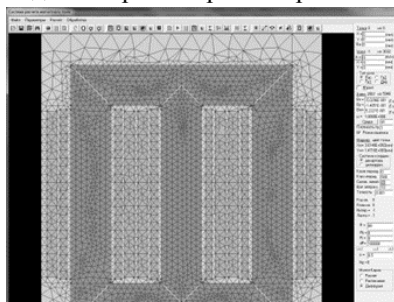


Рис. 1. Конечно-элементная модель

В качестве исследуемого объекта используется силовой трехфазный понижающий трансформатор типа ТМГ-1000. Основой для проектирования выступает методика, изложенная в РД 16 317-86[1], заложенная в основу САПР распределительных трансформаторов, разработанной в

ИГЭУ и функционирующей в среде EXCEL в связке с MATLAB. Данная методика дублируется полевыми расчетами с использованием разработанной в ИГЭУ библиотекой конечно-элементного моделирования магнитного поля EMLib, интегрированной в среду Excel. Подсистема уточненного расчета ХХ автоматически генерирует конечно-элементную модель магнитной системы трансформатора по результатам проектного расчета (рис. 1). Для этого был разработан макрос на языке VBA, который рассчитывает координаты точек, на которые опираются графические примитивы, задает параметры объектов модели и собственно формирует эти объекты, обращаясь к функциям библиотеки EMLib.

Для учета технологических зазоров в модели формируются фиктивные немагнитные вставки, магнитная проницаемость которых уточняется итерационно путем сравнения рассчитанного на модели тока ХХ с результатами инженерного расчета по РД с последующей калибровкой по результатам приемо-сдаточных испытаний серии изготовленных трансформаторов (в качестве производственной базы взят завод «Трансформер», г. Подольск). Для расчета потерь холостого хода реализуется серия расчетов магнитного поля для различных моментов времени при допущении о синусоидальности тока ХХ. Потери в каждом элементе конечно-элементной сетки рассчитываются по максимальной индукции на периоде.

Библиографический список

1. РД 16 317-86 Трансформаторы силовые. Расчет потерь и тока холостого хода

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ СИНХРОННЫХ МАШИН С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ ПОЛЕВЫХ РАСЧЕТОВ

При проектировании электромеханических преобразователей энергии нестандартной конструкции зачастую отсутствуют апробированные инженерные методики проектирования. Расчет в этом случае осуществляется на основе полевых моделей. Для моделирования физических полей в настоящее время используются САЕ-системы. В частности, при проектировании электромеханических устройств наибольшее распространение в России получили такие пакеты, как ANSYSMaxwell, COMSOLMultiphysics, ElCut. Однако САЕ-системы относятся к числу наиболее дорогих и сложных в работе систем, которые сложно сопрягать с другими системами в рамках единой проектной среды.

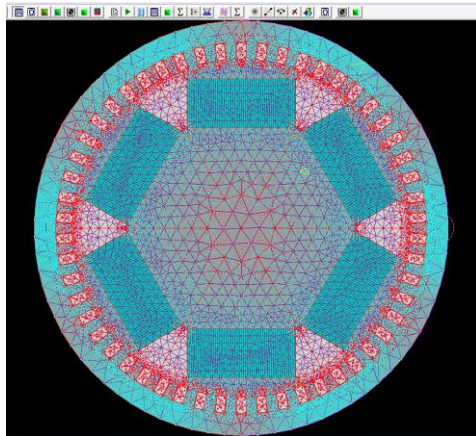


Рис. 1. Конечно-элементная модель синхронной машины в среде библиотеки EMLib

Одно из направлений совершенствования технологий проектирования синхронных машин (СМ) основано на использовании динамически подключаемой библиотеки моделирования магнитного поля EMLib, разработанной в ИГЭУ (рис. 1). В частности, разработан параметрический генератор конечно-элементной модели магнитного поля СМ и методика проектирования, основанная на программируемых сериях полевых расчетов с возможностью полной перестройки моделей на каждом шаге алгоритмов проектного и поверочного расчетов.

В настоящее время ведется разработка моделей динамических режимов работы СМ на основе серий предварительных расчетов магнитного поля, что позволит оценить динамические свойства СМ нетрадиционной конструкции на стадии поверочного расчета.

*А.П. Океанский, студ.; А.Н. Морозов, асп.;
рук. Ю.Б. Казаков, т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

Важнейшим источником информации о состоянии электрических машин является их внешнее электромагнитное поле (ВЭМП). На основе анализа ВЭМП по результатам измерений уже выполняется диагностика состояния асинхронных двигателей (АД).

В то же время к синхронным машинам (СМ) предъявляются все более высокие требования по надежности. Отказ машины может привести к значительному материальному ущербу [1]. Продление срока службы и обеспечение надежности СМ решается своевременным выявлением и устранением дефектов. Наиболее распространенными являются повреждения обмотки возбуждения. Выявление виткового замыкания (ВЗ) в обмотке ротора является трудной задачей технической диагностики. Эти неисправности вызывают несимметрию ВЭМП СМ. Исследование особенностей и характера несимметрии ВЭМП позволят судить о видах этих неисправностей [2].

Целью работы является выявление несимметрий во внешнем электромагнитном поле синхронной машины при электромагнитных несимметриях в статоре и роторе.

Методами численного моделирования методом конечных элементов выявлены изменения ВЭМП СМ при электромагнитных несимметриях в статоре и роторе при разных степенях и характерах нагрузок.

Представлены количественные показатели ВЭМП в процентах от нормального состояния для СМ в режимах холостого хода, при активно-индуктивной нагрузке, фиксированном положении ротора и уменьшении поля возбуждения под полюсом.

Библиографический список

1. **Полищук В. И.** Развитие теории построения систем диагностики синхронных машин: автореф. дис. на соискание ученой степени док. техн. наук. – Самара. – 2016 г. – 36, с.
2. **Ю.Б. Казаков, А.Н. Морозов, А.П. Океанский.** Диагностика электромагнитных несимметрий по внешнему полю электрических машин // «Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологий»: V Всеросс. н.-техн. конф. Тольятти: Изд-во ТГУ, 2017. С. 376-380.

*П.П. Власов маг.; рук. В.Н. Караулов (к.т.н., доц.)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЕРОЧНЫЙ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ РАСЧЕТ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С ТЛА РОТОРОМ

В работе рассматриваются синхронные электродвигатели с анизотропной магнитной проводимостью (СД с АМПР), другое название - синхронные реактивные двигатели (СРД). В СРД статор такой же, как и в асинхронных двигателях. Ротор синхронно-реактивного двигателя может выполняться на основе двух технологий: продольной шихтовки пакета ротора (ALA - Axially Laminated Anisotropic) и поперечной шихтовки пакета ротора с немагнитными барьерами (TLA - Transversally Laminated Anisotropic)[1].

Актуальной является задача создания методики проектирования и поверочных электромагнитных расчетов СРД с ТЛА ротором. В настоящей работе представлена методика создания полевой (2D) модели СРД с ТЛА ротором в среде «Ansoft Maxwell». Приведены результаты поверочного полевого расчета установившегося режима работы СРД. Представлена параметрическая модель СРД, реализующая методику поверочных электромагнитных расчетов, описанную в [2]. Модель реализована в среде «Mathcad». Приведены результаты расчетов. Выполнено сравнение результатов, полученных в средах «Mathcad» и «Ansoft Maxwell».

Представлена методика проведения поверочного электромагнитного расчета СРД с ТЛА ротором.

Библиографический список

1. **Захаров А.В.** Перспективы технического применения синхронных электродвигателей с анизотропной магнитной проводимостью ротора. // Состояние и перспективы развития электро- и теплотехнологии, 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.

С. В. Пантелеев; А. Н. Малашин, к.т.н, доц.
(ВАРБ, г. Минск)

ОПТИМАЛЬНАЯ СТРУКТУРА ЗУБЦОВО-ПАЗОВОЙ ЗОНЫ М-ФАЗНОЙ МАГНИТОЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ С ДРОБНОЙ ЗУБЦОВОЙ ОБМОТКОЙ

Синхронные электрические машины с постоянными магнитами и дробной зубцовой обмоткой (СМПМ ДЗО) являются перспективным классом специальных электрических машин с улучшенными массогабаритными и энергетическими параметрами (удельная мощность $P_{уд} < 1$ кВт/кг) [1]. При многофазном ($m > 3$) исполнении электрической машины имеется возможность увеличения удельной преобразуемой мощности за счет эффективного преобразования высших гармонических составляющих вращающегося магнитного поля (ВМП), получая трапециедальное ЭДС. Основную роль в процессе электромагнитного преобразования энергии в девятифазной электрической машине играет основная (рабочая) и кратная третьей от основной гармонические индукции магнитного поля в воздушном зазоре, созданные суммой магнитодвижущей силой (МДС) обмотки якоря и системой возбуждения [2].

Используя численную расчетную модель электрической машины, проведен анализ коэффициента искажения первой гармонической индукции k_1 и коэффициента искажения суммы первой и третьей гармонических индукций k_{13} для всех практически реализуемых вариантов геометрии зубцово-пазовой зоны в области воздушного зазора: ширина паза к зубцовому делению $x_1 = b_{ш1}/t_1 = 0.1 \div 0.3$; ширина магнита к полюсно-му делению $x_2 = b_m/\tau = 0.7 \div 0.9$. В результате установлено, что оптимальными соотношениями зубцово-пазовой зоны по критерию минимума коэффициента k_{13} являются $x_1 = 0.1$ и $x_2 = 0.8$. А оптимальными соотношениями зубцово-пазовой зоны по критерию минимума коэффициента k_1 являются $x_1 = 0.15$ и $x_2 = 0.7$.

Разработанная методика выбора оптимальной структуры зубцово-пазовой зоны может быть использована при параметрическом синтезе многофазных СМПМ ДЗО.

Библиографический список

1. Шевченко, А. Ф. Электромеханические преобразователи энергии с модулированным магнитным потоком: дис. д-ра техн. наук: 05.09.03 / А. Ф. Шевченко. – Новосибирск: НГТУ, 1999. – 340 с.
2. Голубев, А. Н. Математическая модель синхронного двигателя с многофазной статорной обмоткой / А. Н. Голубев, А. А. Лапин // Электротехника. – 1998. – № 9. – С. 8–13.

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

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА СВОЙСТВА МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Твердой фазой магнитоуправляемых коллоидных систем (МУКС) является мелкодисперсные частицы карбонильного железа или магнетита. При размере менее одного микрона почти все частицы однодоменны и могут образовать цепочечные и кольцевые агрегаты [1]. Такие агрегаты влияют на поведение магнитных жидкостей (МЖ) во внешнем магнитном поле, их реологическую характеристику и седиментационную устойчивость. Наиболее стабильными свойствами обладают жидкости с однородной структурой. Механическое воздействие изменяет свойства жидкостей [2].

Была изготовлена установка интенсивного механического воздействия на жидкие среды. Эксперименты с МЖ на магнетите в трансформаторном масле, показали влияние механического воздействия на намагничивание и гранулометрический состав (рис.1).

Приведены интервалы распределения частиц по диаметрам твердой фазы МЖ исходной 1 и после кратковременного 2 и длительного 3 (60 мин.) механического воздействия при 500 об/мин. Гранулометрический состав рассчитывался по вкладу частиц разного размера в кривую намагничивания МЖ [1]. После воздействия заметнее проявляются частицы меньшего диаметра, их количество растёт, а число частиц большого диаметра уменьшается. Исследуемая МЖ устойчива к механическому воздействию. Планируется исследование влияния механического воздействия на МЖ в магнитном поле.

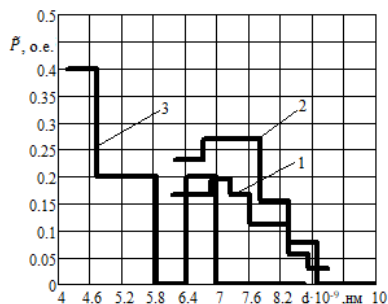


Рис. 1. Распределение частиц по размеру твердой фазы при механическом воздействии: 1 – до воздействия; 2 – после воздействия; 3 – после длительного воздействия

Библиографический список

1. **Страдомский Ю.И.**, Основы феррогидродинамики: учеб.пособие / Ю.И. Страдомский. – Иваново, ИГЭУ, 2004. – 108 с.
2. **Марков В.В.** Влияние способа перемешивания технологических жидкостей на их структуру / В.В. Марков, Е.В. Киселёва //Вестник ИГЭУ. – 2009. – № 3.

*М.В. Сахаров, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМЫ РАЗРАБОТКИ ОБРАЩЁННОГО СДПМ ПРИВОДА ЛЕБЁДКИ МЕТОДОМ ИНЖЕНЕРНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ

В данной работе рассматривается проблема инженерного проектирования обращённого синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ) частотно-управляемого привода лебёдки на основе существующих методик проектирования. В качестве основы для проектирования взята методика В.А. Балагурова[2], на базе которой выполняются проектировочные и поверочные расчёты. Однако данная методика не учитывает особенности эксплуатации проектируемой машины: работу в составе частотного привода и наличие требований не к частоте вращения, но к скорости каната, а также к габаритам машины [1].

Основные черты скорректированной методики:

1) Проектирование машины начинается с выбора внешнего диаметра ротора-барабана. Он принимается нормированным и близким к ограничениям габаритов по ТЗ, а длину машины, соответственно, требуется уменьшать. Это способствует улучшению теплового состояния магнитов, увеличению теплового потока через подшипниковые щиты, что положительно сказывается на энергетических показателях.

2) Выбор числа пар полюсов осуществляется на основе требований к минимальной, номинальной и максимальной требуемым частотам вращения и характеристикам применяемого преобразователя частоты (ПЧ). На основе полученного соответствия частот вращения и требуемых частот напряжения определяют номинальную частоту напряжения ПЧ и соответствующее ей число пар полюсов.

3) Параметры и характеристики спроектированной машины для проверки достоверности полученных результатов сопоставляются с полученными в среде ANSYS MAXWELL и RMXprt.

Скорректированная методика проектирования позволяет получить обращённый двигатель, с учётом особенностей его работы. В дальнейшем планируется спроектировать несколько двигателей разных мощностей и скоростей для проверки методики.

Библиографический список

2. **Меньшов Б.Г., Яризов А.Д., Ершов М.С.** Электротехнические установки и комплексы в нефтегазовой промышленности: Учеб.для вузов. – М.: ОАО «Издательство Недра», 2000. – 487 с.; ил.

3. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб.пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1982. - 272 с.

*О.В. Крестьянинова, студ.; рук. А.М. Шурыгин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ УСТРОЙСТВ ВИБРОЗАЩИТЫ ТЕХНИЧЕСКИХ ОБЪЕКТОВ

Непрерывное возрастание требований к надежности и точности работы технологического оборудования приводит к тому, что эксплуатация машин, станков и механизмов должна выполняться при обеспечении множества технических показателей. Для защиты оборудования от динамических перегрузок применяются различные виброзащитные системы, устанавливаемые в соответствии с реализуемыми задачами.

В основном используются две схемы виброзащиты: 1 – виброзащита основания от вибрирующего объекта, 2 – виброзащита объекта от вибрирующего основания. При решении практических задач в общем случае рассматриваются две указанные схемы, которые в дальнейшем приводятся к единой динамической модели.

В настоящее время достаточно перспективными представляются устройства виброзащиты, реализуемые с применением в качестве диссипативно-жесткостного элемента магнитореологической суспензии (МРС), магнитореологическими свойствами которой можно управлять посредством внешнего магнитного поля [1].

Сложности выбора динамической модели устройства виброзащиты обусловлены тем, что не существует точной модели колебания механического объекта, если виброизолятор выполнен на основе МРС. Вязкость неоднородных систем, образованных суспензией и твердыми телами, увеличивается вследствие взаимодействия на границе раздела, поэтому введение дисперсных частиц в суспензию повышает эффективную вязкость системы даже при отсутствии магнитного поля.

При малой скорости сдвига поведение суспензии становится ньютоновским и тем значительнее отклоняется от ньютоновского, чем меньше скорость сдвига и больше объемная доля твердой фазы в суспензии. Ньютоновские среды обычно характеризуются зависимостью напряжения сдвига τ от скорости сдвига $\dot{\gamma}$. Данная зависимость в конечном итоге и определяет выбор математической модели [2].

Библиографический список

1. **Шурыгин А.М.**, Крылов Н.И., Шурыгин М.Н. Разработка средств гашения колебаний машин и механизмов // Приборы и системы. Управление, контроль, диагностика. – 2009. – № 7. – С. 15-18.
2. **Шурыгин А.М.** Анализ математических моделей устройств виброзащиты технических объектов машиностроительных производств // Информационная среда вуза : материалы XXIVМеждунар. науч.-техн. конф. – Иваново : ИВГПУ, 2017. – С. 335-338.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ ДИСКОВОЙ МУФТЫ В ТОРМОЗНОМ РЕЖИМЕ

В технических устройствах для передачи момента с одного вращающегося вала на другой применяются муфты различного принципа действия, в том числе и дисковые муфты (ДМ).

Из всех режимов работы муфты в зависимости от частот вращения ведущего n_1 и ведомого n_2 валов можно выделить следующие режимы:

- $n_1=var, n_2=var$ – режим регулирования;
- $n_1=n_2$ – синхронный режим;
- $n_1=var, n_2=0$ – тормозной режим.

При работе ДМ в тормозном режиме уравнение вращения замедляемого диска имеет следующий вид [1]:

$$\ddot{\alpha} = \frac{r}{I} F - \frac{\mu_r}{I}, \quad (1)$$

где α – угол поворота диска в процессе торможения ($\alpha(0) = 0$), $\dot{\alpha}(0) = V_0/r$, r – радиус диска, I – приведенный момент инерции диска, F – сила натяжения связи «объект-тормоз», μ_r – момент трения тормозного устройства, V_0 – линейная скорость диска к началу торможения.

Движение объекта в процессе торможения будет описываться следующим уравнением [1]:

$$\ddot{x} = -\frac{1}{m} F, \quad (2)$$

где x – перемещение ($x(0) = 0, \dot{x}(0) = V_0$), m – масса объекта.

Исследование процесса сухого торможения ДМ основано на интегрировании системы дифференциальных уравнений первого порядка на заданном интервале методом Рунге-Кутты. Исходными данными для расчета являются нижняя и верхняя границы отрезка интегрирования, начальный шаг интегрирования, верхняя граница погрешности вычислений и начальные значения рассчитываемых переменных.

Библиографический список

1. Сизов А.П., Шурыгина О.Б. К выбору ферромагнитной жидкости для феррожидкостных устройств сельскохозяйственной техники // Вопросы применения ферромагнитных жидкостей в сельскохозяйственной технике : сб. науч. трудов. – Л., 1986. – С. 3-12.

СЕКЦИЯ 22
МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И
МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ
ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ
СИСТЕМЫ

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

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

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

ПРОГРАММНАЯ РЕАЛИЗАЦИЯ АЛГОРИТМА СИНТЕЗА РОБАСТНЫХ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ С РЕГУЛЯТОРАМИ СОСТОЯНИЙ НА ОСНОВЕ ГРАМИАННОГО ПОДХОДА

Часто при разработке систем автоматического управления инженеры сталкиваются с проблемой чувствительности данных систем к изменению тех или иных параметров ОУ (объекта управления). Для борьбы с этим был разработан метод синтеза робастных электромеханических систем управления на основе грамианного подхода. Данный метод позволяет реализовать двухэтапную итерационную процедуру синтеза САУ с заданными показателями качества, включая свойство параметрической грубости (робастности).

На первом его этапе выполняется структурное преобразование модели объекта в направлении повышения его степени управляемости путём коррекции сингулярных чисел грамиана управляемости. В результате этого синтезируется так называемый предрегулятор, реализующий соответствующее структурно-параметрическое дополнение объекта новыми звеньями и связями с использованием имеющихся физических возможностей (степеней свободы) его собственной (исходной) структуры.

На втором его этапе осуществляется классический синтез основного регулятора САУ методом модального управления для скорректированной предрегулятором структуры объекта и осуществляется проверка робастных свойств синтезированной системы.

Метод имеет четкую последовательность расчетов, но требует от пользователя определенный уровень математических и теоретических знаний. Для его программной реализации и формирования интерфейса пользователя был выбран программный комплекс MATLAB.

Библиографический список

1. Бадриев И.Б., Бандеров В.В., Задворнов О.А. Разработка графического пользовательского интерфейса в среде MATLAB. – Казань: Казанский государственный университет, 2010. – 113с.

2. Бойченко В.А., Курдюков А.П., Тимин В.Н., Чайковский М.М., Ядыкин И.Б. Некоторые методы синтеза регуляторов пониженного порядка и заданной структуры // Управление большими системами. Выпуск 19. -2007.-С. 23-126.

М.А. Чадов, студ.; рук. А.А. Анисимов, д.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГИБКИХ ОБРАТНЫХ СВЯЗЕЙ ПРИ СИНТЕЗЕ РОБАСТНЫХ СИСТЕМ

Современное промышленное производство предъявляет всё более жесткие требования к системам управления технологическим процессом. Непрерывно растут требования к качеству и точности систем управления. Необходимо создавать системы, обеспечивающие заданное качество регулирования в условиях меняющихся параметров объекта и внешней среды.

С данной задачей могут справиться робастные системы, задачей которых является сохранение выходных переменных системы в заданных допустимых пределах.

Данная статья рассматривает результаты повышения робастных свойств систем автоматического управления (САУ) на основе использования дополнительных гибких обратных связей (ОС).

Для исследования выбрана двухмассовая электромеханическая система, для которой были синтезированы астатические регуляторы состояния по скорости и положению.

В дальнейшем в полученные структуры были введены дополнительные гибкие обратные связи, которые рассчитаны на основе [1]. Произведено сравнение областей устойчивости безынерционных ОС с гибкими ОС.

На рисунке 1 представлены области устойчивости безынерционных и гибких ОС для астатической САУ по скорости.

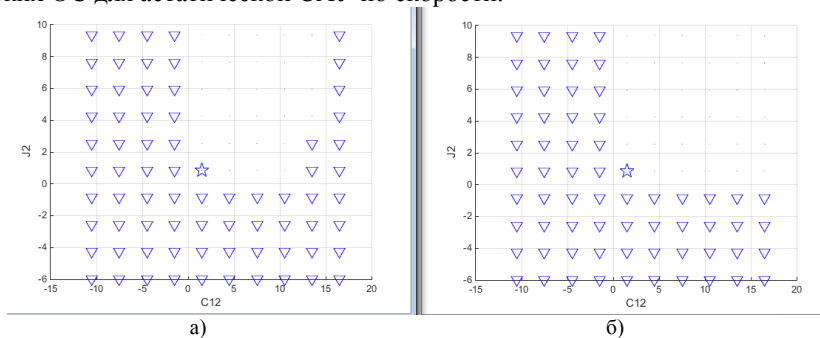


Рис. 1. - Области устойчивости САУ по скорости при а) безынерционных ОС; б) гибких ОС

На рисунке 2 представлены области устойчивости безынерционных и гибких ОС для астатической САУ по положению.

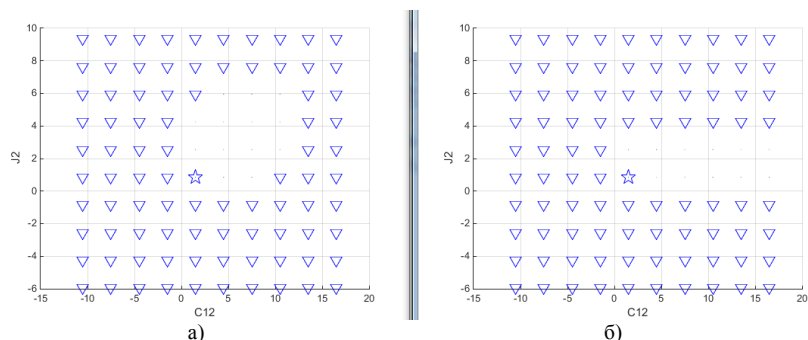


Рис. 2. - Области устойчивости САУ по положению при а) безынерционных ОС; б) гибких ОС

Из результатов можно сделать вывод, что ввод в структуру регулятора состояния дополнительных гибких обратных связей изменяет область устойчивости. В случае астатического САУ по скорости область устойчивости стала больше. А в случае с астатическим САУ по положению область стала менее чувствительна к изменению параметра C_{12} , но более чувствительна к изменению параметра J_2 .

Библиографический список

1. **Аполонский В.В.** Методы структурно-параметрического синтеза робастных систем управления состоянием линеаризуемых динамических объектов: диссертация канд. техн. наук. Иван.гос. энергет. университет, Иваново, 2016.

*А.Е. Адеева, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст. преп.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПРЯМОЕ ПРОГРАММИРОВАНИЕ НА ARDUINO

Arduino — это удобная платформа быстрой разработки электронных устройств, которая пользуется огромной популярностью во всем мире благодаря удобству и простоте языка программирования, а также открытой архитектуре и программному коду.

Команды, написанные на языке Arduino, в процессе компиляции преобразуются в машинный код. Некоторые команды выполняются за один такт работы микроконтроллера, на некоторые требуется больше тактов и, соответственно, времени выполнения.

В ходе работы была протестирована плата *Arduino Mega2560*, работающая с тактовой частотой 16 МГц. На один такт уходит 62,5 нс. В

качестве примера замерялось время выполнения команды изменения значения на цифровом выходе *Arduino* - *digitalWrite()*.

```
void setup() {  
  pinMode(13, OUTPUT);  
}  
void loop() {  
  digitalWrite(13, HIGH);  
  digitalWrite(13, LOW);  
}
```

Результат тестирования показал, что половина периода тактового сигнала равна 5,47 мкс, что соответствует частоте 91,4 кГц. Такая частота значительно меньше тактовых 16 МГц.

Эту проблему можно решить, если обратиться напрямую к порту В, отвечающему за 13 пин. Еще одной причиной задержки является функция *loop()*. Измененный код мигания светодиодом с учетом данных правок будет выглядеть следующим образом:

```
void setup() {  
  DDRB |= (1 << 7); } // pinMode(13, OUTPUT);  
void loop() {  
  while (1) {  
    PORTB |= (1 << 7); // digitalWrite(13, HIGH);  
    PORTB &= ~(1 << 7); } // digitalWrite(13, LOW);  
  }
```

В этом случае период тактового сигнала составит 0,25 мс, в этом случае следует учесть, что запись в порт выполняется за два такта

Данное исследование показало, что использование регистров портов вместо функции *digitalWrite()* позволяет значительно увеличить скорость выполнения программы, однако код становится нечитаемым и сложным в отладке.

Библиографический список

1. УллиСоммер. Программирование микроконтроллерных плат *Arduino/Freeduino*. – СПб.: БХВ-Петербург, 2012. – 256 с.

*Р.И. Горбенков, студ.; рук. А.А. Смирнов, к.т.н., ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

SYSTEME D'ACQUISITION, PRETRAITEMENT ET ROUTAGE DE DONNEES CAPTEURS POUR REALISATION DE LA METHODOLOGIE PHM

Le but de travail est de développer un module d'observation propre, adaptable et peu coûteux, basé sur l'exploitation d'un nanoPC de type *Rapsberry Pi*. Le module doit interfacier des capteurs de natures diverses, aux serveurs, qui font les calculs selon une méthodologie propre de *Prognostics*

and Health Management (PHM). S'agit des données brutes issues de capteurs (vibration, température, acoustique...), qui sont traitées afin de construire des indicateurs de santé des mécanismes. Ainsi, le module permet d'assurer l'intégralité du processus de mise en œuvre des solutions de PHM.

La démarche de développement est présentée ci-dessous :

- spécifier la solution en fonction des caractéristiques fonctionnelles pressenties,
- programmer le nanoPC permettant l'acquisition et le routage des données,
- réaliser des tests de validation fonctionnelles et techniques,
- documenter la solution développée (codes propres et commentés, manuel d'utilisation).

Le module se doit d'être compacte et adaptable, et répondre à des contraintes d'implémentation telles que: la possibilité d'intégrer plusieurs capteurs sur un même nanoPC (facilité de reprogrammation), la possibilité de configurer les fréquences d'acquisition et l'échantillonnage des données (Hz à 30 kHz), le respect des standards de cybersécurité. Enfin, le module est capable d'amplifier les signaux d'entrées, et d'embarquer quelques fonctionnalités de filtrage et prétraitement de données.

Библиографический список

1. David Stark, Prognostics and Health Management (PHM) [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.sematech.org/meetings/archives/emanufacturing/9022/06-Prognostics%20&%20Health%20Monitoring.pdf>

*А.П. Коньков, В.В. Королёв, студ.; рук. А. М. Аббясов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ДИСТАНЦИОННОЕ УПРАВЛЕНИЕ ОБОРУДОВАНИЕМ

Для управления любым оборудованием есть необходимость в передаче информации при нажатии кнопок и использовании джойстиков или манипуляторов. В простейшем случае совокупность кнопок и джойстиков представляет собой геймпад. С помощью платы ArduinoUno, геймпада и радиоприёмника можно дистанционно передавать команды на ПК, что в перспективе поможет в управлении практически любым оборудованием на расстоянии. Визуальное отображение нажатых на джойстике кнопок представлено в программе, написанной на языке Processing.

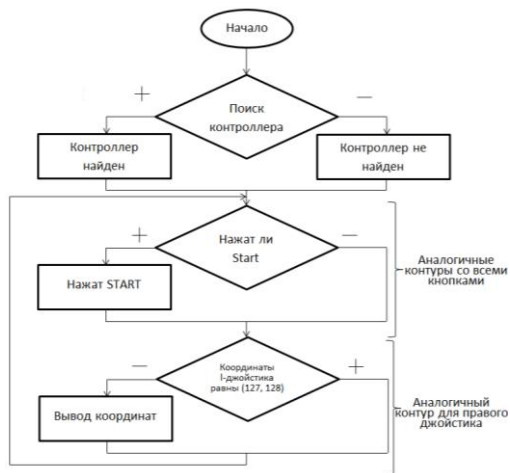


Рис 1. Упрощённая блок-схема работы программы

Представленная упрощенная блок-схема показывает принцип работы передачи команд с джойстика на ПК (рис. 1). Повторяющиеся контуры были исключены для упрощения блок-схемы.

Библиографический список

1.Блум Д. Изучаем Arduino: инструменты и методы технического волшебства. ВHV, 2015. 336 с.

И. В. Кудрявцев, И. С. Прытков, студ.; рук. А. М. Аббясов, ст. преп. (ИГЭУ, г. Иваново)

УПРАВЛЕНИЕ ДПТ ЧЕРЕЗ Н-МОСТОМ С СИНФАЗНЫМИ КЛЮЧАМИ

Н-мост - это универсальная электронная схема управления (готовая ИМС или схема на отдельных радиодеталях), которая даёт возможность приложить напряжение к нагрузке в разных направлениях. Эта схема очень часто используется в робототехнике, чтобы изменять направления вращения мотора. В данном случае была разработана и рассчитана схема Н-моста с синфазными ключами, которые выполнены в виде биполярных транзисторов (рис 1.)

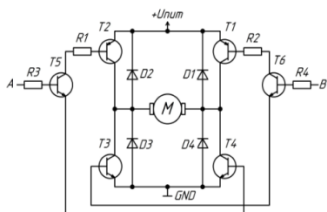


Рис 1. H-мост с синфазными ключами

В данном варианте схемы, синфазные ключи – это пары транзисторов T_1, T_3 и T_2, T_4 , которые управляются через транзисторы T_5, T_6 сигналами А, В с платы ArduinoUno. Транзисторы T_5, T_6 служат как усилители сигнала с платы ArduinoUno, они соединены по схеме с общим эмиттером, которая позволяет получить усиление - как по току, так и по напряжению.

Так как нагрузкой для нашей схемы будет служить двигатель, который является индуктивной нагрузкой, а по законам ТОЭ ток в катушке индуктивности не может возрасти мгновенно до своего максимального значения, то наш двигатель будет работать как генератор при смене логической единицы на логический ноль на входе А и появление логической единицы на входе В и наоборот. При этом появляется так называемая ЭДС самоиндукции, которая противоположна по направлению питающему напряжению схемы. Чтобы избежать этой паразитной ЭДС самоиндукции, в схеме применены диоды D_1, D_2, D_3, D_4 , через которые и пойдет обратный ток при переключении режимов работы схемы.

Библиографический список

1. Галле К. Как проектировать электронные схемы. Пер. с фр. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 208 с.: ил.

*А.А. Тарасюк, З.В. Куликов, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УПРАВЛЕНИЕ СЕРВОПРИВОДАМИ ЧЕРЕЗ UART

Манипулятор оснащен сервоприводами, которые подключены к 32-х каналному контроллеру. Данный контроллер подключается к плате ArduinoUNO. Управление механической рукой осуществляется двухкоординатным аналоговым джойстиком, который также подключен к плате ArduinoUNO.

Непосредственное управление манипулятором с помощью джойстика происходит благодаря использованию управляющих команд, подающихся через Arduino по UART интерфейсу в 32 каналный контроллер сервоприводов. Формат команд, посылаемых контроллеру, для управления

заданным сервоприводом, выглядят следующим образом: #3P800T1000\r\n, где #3 - номер порта на серво-контроллере, к которому происходит обращение; P800 - в данном случае P-position, 800 - значение, указывающее на сколько "пунктов" нужно повернуться сервоприводу. Чтобы узнать сколько "пунктов" нужно изменить для вращения на 1 градус, необходимо из максимального ограничения вычесть минимальное и разделить на 180, так как рассматриваемые сервоприводы имеют максимальный угол поворота в 180 градусов. Предельные значения пунктов поворота для используемых сервоприводов приведены в технической документации и составляют 500 - 2500. Далее необходимо рассмотреть команду T1000. Он отражает время, за которое сервопривод будет производить заданный ранее поворот на новое значение position. Ограничением для этого параметра является предельная скорость вращения сервопривода. Если поставить значение меньшее чем минимальное время вращения, то сервопривод просто не будет реагировать на дальнейшее уменьшение параметра T, и будет вращаться со своей максимальной скоростью.

Обращение к группе сервоприводов можно осуществить простым продолжением строки кода для каждого необходимого сервопривода.

Например: #1P500T1000#2P500T1000#3P500T1000\r\n, где #1,2,3 - номера портов группы сервоприводов. Управление в данном случае будет происходить одновременно тремя сервоприводами. Оставшиеся \r\n означают окончание передачи параметров для управления. После них можно посылать новые команды управления.

Библиографический список

1. Петин В.А. Проекты с использованием контроллера Arduino. – 2-е изд., перераб. и доп. – СПб.: БХВ-Петербург, 2015. – 464 с.: ил.

*А.А. Аравенков, асп.; рук. Ю.А. Пасынков, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Новосибирск)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГАРМОНИЧЕСКИХ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИГНАЛА В СЕТЯХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ОБЩЕГО ПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИ ОПРЕДЕЛЕНИЕ КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ МЕТОДОМ АНАЛИЗА ГАРМОНИК НА ОСНОВЕ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

Решение задач определения и мониторинга качества электрической энергии в условиях современной промышленности и экономики доста-

точно актуально. С одной стороны, стоят экономические вопросы, так как качество электрической энергии напрямую влияет на срок службы эксплуатируемого электронного оборудования, а также на времена производства и качество самой выпускаемой продукции. С другой стороны, технические задачи, которые необходимо решать при выявлении некачественной электроэнергии, что в конечном счете, так же повлияет на себестоимость выпускаемой продукции. В связи с существующая тенденций рынка, приборы учета электрической энергии становятся все более сложными устройствами за счет добавление нового функционала. Такими функциями счетчиков электрической энергии может быть возможность легко организовать многотарифные системы учёта, режим ретроспективы, легко вписываются в конфигурацию систем АСКУЭ и т.д. Одной из новых возможностей современных счетчиков является определение качества электрической энергии, которое позволяет оперативно на месте обнаруживать проблемы в электросетях и искать их источник.

Одной из задач определения качества электрической энергии является измерения параметров гармонических составляющих сетевого напряжения и расчета его коэффициента несинусоидальности. Основой современного спектрального анализа является дискретное преобразование Фурье (ДПФ), на основе которого разработан алгоритм быстрого преобразования Фурье, так называемый БПФ [1]. При использовании метода на основе ДПФ для определения гармонических составляющих сигнала, вычисляется произведение кода функции на значение кода синусоидальной/косинусоидальной составляющей для каждой гармоники. Это требует применения значительной вычислительной мощности и объема памяти в связи с необходимостью хранения как кода программы самого алгоритма умножения, так и промежуточных результатов, которые получаются в ходе таких вычислений. Основной целью БПФ является снижение количества математических операций, по сравнению с использованием дискретного преобразования Фурье [2]. Но все же БПФ, остаётся достаточно требовательным алгоритмом, с точки зрения вычислительных мощностей и объёмов памяти, что вызывает затруднительность использования его в маломощных устройствах. К подобным устройствам можно отнести и счетчики, которые чаще всего выполняются на микроконтроллерах общего назначения с ограниченными ресурсами.

Альтернативным способом определения параметров гармоник сигнала может служить метод спектрального анализа основанный на широтно-импульсной модуляции (ШИМ). Основная идея данного метода заключается в формирование специальных широтно-импульсных сигналов (ШИС), соответствующих синусоидальной и косинусоидальной составляющим исследуемой гармоники. Умножения специальных ШИС на

входной сигнал с последующим интегрированием результатов умножения. После чего находится квадратный корень из суммы квадратов результатов интегрирования. Полученное значение будет равно амплитуде исследуемой гармоники. Преимущество данного метода заключается в том, что операции умножения входного сигнала на ШИС и интегрирование легко реализуются в аналоговом виде, что позволяет снять нагрузку с вычислительного устройства [3]. На рис. 1 приведена структурная схема устройства, которое может использовать алгоритм анализа параметров гармонических составляющих сигнала на основе ШИМ. Здесь: ИУ – инвертирующее устройство, К – ключ, ИП – интегрирующий преобразователь, МК – микроконтроллер, имеющий ИПД – интерфейс передачи данных.

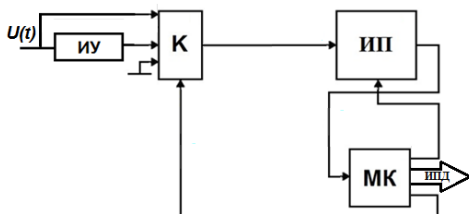


Рис.1. Структурная схема анализатора спектра на основе ШИМ.

Библиографический список

1. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: СПб.: Питер, 2002. – 608 с.: ил.
2. Айфичер, Эммануил С., Джервис, Барри У. Цифровая обработка сигналов: практический подход, 2-е издание. : Пер. с англ. – М.: Издательский дом «Вильямс», 2008 – 992 с. : ил. – Парал. тит. англ.
3. Аравенков А.А. Анализатор гармоник на основе широтно-импульсной модуляции / А.А. Аравенков, Ю.А. Пасынков // Ползуновский вестник. - 2015. - № 3. - С. 120-125.

*А.Т. Мозес, А.О.С. Акинола, студ.; рук. Л.В. Ахметвалеева, к.п.н., доц.
(КГЭУ, Казань)*

ПРИМЕНЕНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ДАЛЬНОМЕРА НС-SR04 ДЛЯ ОБНАРУЖЕНИЯ ОБЪЕКТОВ

Ультразвуковой дальномер позволяет определять расстояние до объектов. Сенсор работает как сонар: посылает ультразвуковой пучок и по задержке отраженного сигнала определяет расстояние до цели.

Ультразвуковой дальномер определяет расстояние до объектов точно так же, как это делают дельфины или летучие мыши. Он генерирует звуковые импульсы на частоте 40 кГц и слушает эхо. По вре-

мени распространения звуковой волны туда и обратно можно однозначно определить расстояние до объекта.

В отличие от инфракрасных дальномеров, на показания ультразвукового дальномера не влияют засветки от солнца или цвет объекта. Даже прозрачная поверхность будет для него препятствием. Но могут возникнуть трудности с определением расстояния до пушистых или очень тонких предметов.

Нами разработано простейшее микропроцессорное радиолокационное устройство. Проектирование проводилось в Arduino UNO на базе МК ATmega328. Ультразвуковой датчик HC-SR04 (частота 40000Гц) монтируется на микросервоприводе и действует как передатчик, приемник и антенна системы. Разработанное устройство может найти применение в различных системах для обнаружения местоположения объектов, а также в учебном процессе при изучении основ проектирования микропроцессорных устройств.



Библиографический список

1. **Ecemis, M.I., and P. Gaudiano.** "Object Recognition with Ultrasonic Sensors." Proceedings 1999 IEEE International Symposium on Computational Intelligence in Robotics and Automation. CIRA'99 (Cat.No.99EX375), 1999. doi:10.1109/CIRA.1999.810057.c

Jose Javier Vanegas Torres, student EU4M **IMPLEMENTATION OF AN OBSERVER IN A ROBOTIC ARM RR**

The control system of Robotic Arm works on the feedback principle, generating the necessary inputs so the outputs follow determined conditions [1]. The robot is based on a CAD model of the IRB 6620 of ABB [2], in particular in Solidworks, which is exported to Simulink, using Simscape Multibody [3] To provide accurate control, a motor is implemented: a 37D Metal Gearmotor [4], of Pololu.

A state observer(Fig. 1) estimates the behaviour of the internal states. First, an analysis of observability is implemented: the observability matrix must be of full rank, using the command rank () of MATLAB. In this case, there are 6

states, with 2 inputs on position (it is a MIMO system, Multiple Input, Multiple Output). The states obtained will be positions, velocities and torques.

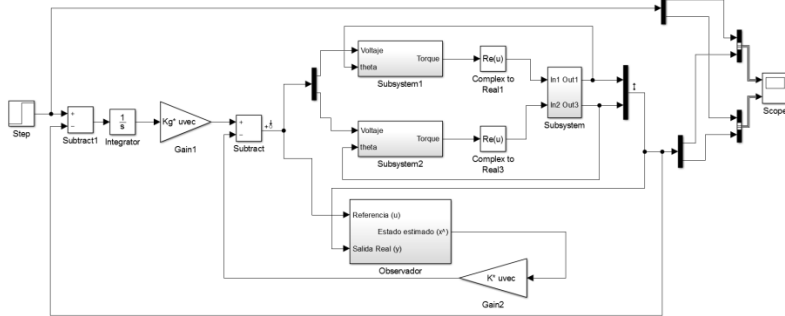


Fig. 1. Simulink representation of the system with state observer

The observer reads the two inputs to the robotic arm, and makes sure there the reference signal is followed properly. The following picture presents a step of 30° in the upper link, and 5° in the other link. In the image we observe, that both references are followed.

The observer is at least three times faster than the closed loop system. If there are more than two poles in the system, the observer must be faster than the dominant second – order system. Likewise, the poles of the observer do not need to be complex conjugates or have the same damping factor of the desired poles of the dynamics. The LQR function has been used to construct the profit matrix K . In addition, the matrices Q and R are proposed, to decouple states and give gains to the outputs of interest.

The realization of this project is undoubtedly an important base for multi-variable industrial control applications, and subsequent works that involve the joint use of multi – domain design and simulation software, such as Solid-Works and MATLAB respectively. In fact, in the simulation of developing prototypes, it is important to incorporate the model of the control elements.

References.

1. **De Luca, A, Schroder, D, Thummel, M.** State Observer Retrieved from <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.96.1839&rep=rep1&type=pdf>
2. **IRB 6620** (2017). The agile spot welder. ABB. Fuente: <http://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-6620>
3. **Simscape** Multibody, MathWorks. Retrieved from <https://www.mathworks.com/help/physmod/smlink/ug/installing-and-linking-simmechanics-link-software.html?requestedDomain=es.mathworks.com&requestedDomain=true>
4. **37D mm Metal Gearmotors**, pololu. Fuente: <https://www.pololu.com/category/116/37d-mm-metal-garmotors>

Zhuldyzay Temirzhanova, la estudiantedelprograma EU4M, Universidad de Oviedo (España), Universidad Energética de Ivanono (Rusia)

CONTROL DE VELOCIDAD Y DE POSICIÓN DE UN MOTOR DE CC

El objetivo de este proyecto es realizar un control de velocidad y un control de posición del motor CC que está situado en una unidad mecánica 33-100 de la marca FEEDBACK (UMF en adelante). Este sistema tiene un amplificador de potencia para acelerar el motor a partir de una entrada analógica o PWM (Pulse Width Modulation). Para hacer funcionar el motor, una fuente de tensión externa debe estar dentro de -15 a 15 voltios. Además de la tensión externa, se necesitan saber las señales proporcionadas desde el conector IDC34:

- Referencia para el control, que servirá como referencia, tanto en el control de posición, como en el control de velocidad.

- Posición del eje de salida que servirá para conocer la posición del mismo en el control de posición.

- Tensión del tacogenerador que servirá para conocer la velocidad del motor en el control de velocidad.

- PWM, que opera a una tensión de 0-5 voltios y una frecuencia de 300 a 50 Hz.

La señal de referencia podrá fijarse con el propio potenciómetro de posición o darse numéricamente mediante un PC.

En este proyecto, se utiliza el PIC (Peripheral Interface Controller) del modelo 16F887. La PCB (Printed Circuit Board) se ha desarrollado mediante el programa Proteus (Fig. 1) y después se han soldado los diversos componentes en relación a la placa.

La PCB está formada por una etapa de amplificación que convierte el rango de entrada de +15 - 15V en 0,3-4,7V dentro del rango de 0-5V que admite el PIC.

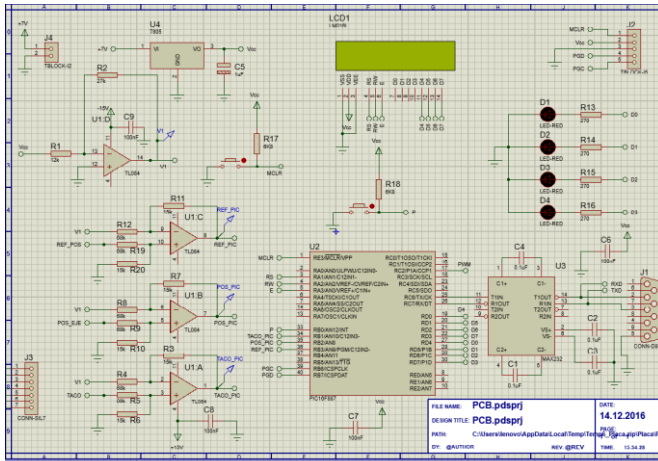


Fig. 1. El PCB que se utilizó en el proyecto

Para cambiar la velocidad de la rotación y la posición del motor, las siguientes partes del microcontrolador se utilizan en este proyecto: los puertos de entrada y salida (B, D, C), TMR1 (se necesita para lanzar nueva conversión A/D), TMR2 (se necesita para la salida PWM), la comunicación serie RS232, la conversión A/D (análogo/digital), LCD (se usa para mostrar el valor de referencia o la velocidad o la posición), modules CCP1, CCP2 son interrupciones.

Fernando Ivan Sanchez Coria, student EU4M
SYNTHESIS OF THE REAR SUSPENSION OF A MOTOR-CYCLE AND SIMULATION OF ITS DYNAMICS

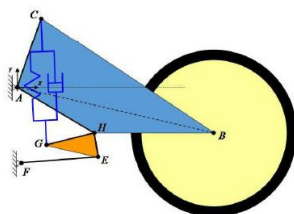
The main purpose of a vehicle suspension is to reduce vertical displacements and accelerations so that the driver feels more comfortable driving it, you must maximize the contact of the tires with the terrain to ensure traction and braking capacity.

The rear suspensions of the motorcycle seek to increase the apparent rigidity as the suspension is compressed.

A suspension must be composed of a structure that is soft enough to absorb the impact of bumps in the road. And it must also be rigid enough to withstand the fall of the weight of a braking and absorb the impact when a large jump occurs.

In this way, it would be possible to adequately filter the small irregularities of the terrain, at the same time, avoid large subsidence in large braking or accelerations.

The main objective of this work is to study, analyze and optimize the rear suspension system Unit-Pro-Link (Fig. 1), which has a swingarm which is an articulated quadrilateral which is attached to a link that in one of its axes (Point G) and assembled to a shock absorber spring which provides a vertical displacement. This system can also be differentiated in that one end of the spring-damper (the upper one) is articulated to the swingarm (Point C).



Unit Pro-Link

Fig. 1

The mathematical modeling of this type of suspensions gives us an approximation of how a real suspension system would be designed if modeled properly, the kinematic methodology can be adapted to almost any system that is desired and in this way generate a robust mathematical model that will later generate a satisfactory computational calculation.

*Е.И. Некрасова, студ.; рук. Л.Г Копылова.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

УТОЧНЕНИЕ МОДЕЛИ АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

В предыдущей работе была построена математическая модель активного магнитного подшипника, представленная на рисунке 1:

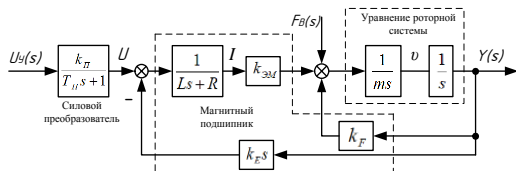


Рис. 1 – Структурная схема одной оси электромагнитного подшипника

Целью данной работы является уточнение построенной модели активного магнитного подшипника, а именно: сила $F_b(s)$, представленная на рисунке - моделирует статическую нагрузку, связанную с силой тяжести, действующей на ротор;

- гидравлическими силами;
- силами, обусловленными несоосностью соединений;
- неуравновешенными силами магнитного притяжения ротора;
- силами инерции

Т.е. эта сила имеет гармоническую составляющую, моделирующую вибрацию ротора. С помощью ГОСТ Р ИСО 14839-4-2014 были установлены требования к системе относительно вибраций ротора. Вибрация, уровень которой не превышает 40% минимального радиального зазора в подшипнике, считают приемлемой с точки зрения неограниченной долговременной работы машин.

Вследствие особенностей рассматриваемого объекта при движении ротора возникают колебания, которые и должны быть учтены при построении модели.

В работе рассматривается радиальный электромагнитный подшипник, который применяется как часть установки центробежного нагнетателя газоперекачивающего агрегата (ЦН ГПА).

Были найдены результаты экспериментальных работ по помпажному тестированию компрессоров с магнитными подвесами ротора и сравнительная газодинамическая характеристика компрессора с той же проточной частью, но с масляными опорами ротора. Объектами испытаний являлись центробежные нагнетатели газоперекачивающих агрегатов ГПА-16 "Волга" (мощностью 16 МВт) и ГПА-12М "Урал" (мощностью 12 МВт).

P_n - давление на входе в нагнетатель (начальное давление);

P_k - давление на выходе из нагнетателя (конечное давление);

ΔP_k - перепад давлений на входномконфузоре;

ΔP_L - перепад давлений на расходомерной диафрагме, установленной в линии на-гнетания;

$V_{пр}$, $V_{св}$ - виброперемещения ротора в радиальном направлении со стороны приводного и свободного концов ротора;

δ - осевое положение ротора;

$F_{ос}$ - осевое усилие, воспринимаемое магнитным подвесом

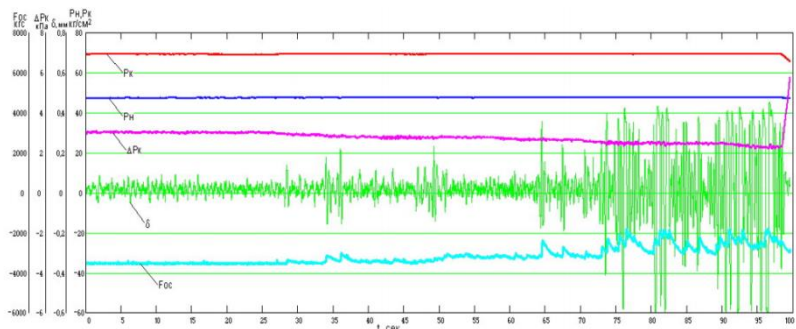


Рис. 2 - Графики режимных параметров нагнетателя

В ходе эксперимента выявлено, что критичные отклонения ротора для работоспособности СУМП (200 - 250 мкм), тогда как при нормальных режимах работы величина размаха этих колебаний обычно не превышает 0,1 мм.

Следующий этап работы предполагает построение регулятора по модели, с заложенной вибрацией найденной частоты и амплитуды, который уменьшит колебания ротора при работе, а значит, улучшит качественные показатели системы.

Библиографический список

1. ГОСТ Р ИСО 14839-4-2014 Вибрация. Вибрация машин вращательного действия с активными магнитными подшипниками. Часть 4. Техническое руководство. М.: Стандартинформ, 2015, - 44 с.
2. Кузменков А.Н., Титов В. Г., Шахов А. В. Разработка и моделирование трехконтурной системы управления электромагнитным подшипником: Вестн. АГТУ. Сер.: управление, вычисл. техн. информ., 2015, № 4, С. 14 – 22
3. Электронный ресурс, file:///C:/Users/user/Downloads/metody-eksperimentalnogo-opredeleniya-granitsy-pompazha-tsentrobeznyh-kompressorov-s-elektromagnitnym-podvesom-rotorov.pdf

*Д.С. Ершов, студ.; рук. В.В. Тютиков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД: ШИМ – ДПП

В настоящее время ШИМ управление используется практически во всех системах управления электродвигателями. Оно позволяет, не меняя аппаратной части, формировать различные формы сигналов.

На кафедре ЭиМС разработан стенд ШИМ для управления двигателями постоянного тока (ДПТ) с питающим напряжением до 24В. Стенд состоит из системы защиты от включения транзисторов в одном плече и неправильного включения питающего напряжения, предварительных

усилителей и транзисторного реверсивного моста, встроенного датчика тока с максимальным выходным напряжением 4,096 В. Выходная мощность до 36 Вт. Ток нагрузки до 1,5 А. Управление осуществляется микроконтроллером PIC18F4520, установленном на отладочной плате UNID56.

Микроконтроллер имеет 2 выхода ШИМ, у каждого из которых своя скважность, но общий период ШИМ.

Для управления с помощью ШИМ необходимо настроить следующие регистры:

- порт С на выход (TRISC=0);
- выводы PC1 и PC2 на режим ШИМ (CCP1CON=0x0C, CCP2CON=0x0C);
- автоматический перезапуск ШИМ (PWM1CON.PRSEN=1);
- период ШИМ (PR2=0xFF);
- длительность импульса вывода PC1 и PC2 (CCPR2L=0x80, CCPR1L=0x05);
- выбор предделителя, при необходимости (биты T2CKPS1, T2CKPS0 регистра T2CON);
- запуск таймера 2 (T2CON.TMR2ON=1).

Используя прерывающую программу от таймера, создают регуляторы для ДПТ. На основе рассчитанного закона управления в каждое прерывание пересчитывается значение выходного напряжения и изменяется значение регистров CCPR2L и CCPR1L, тем самым формируя управляющее воздействие на ДПТ.

Результаты исследований стенда, в составе управляющих приборов микроконтроллер – электродвигатель постоянного тока, подтвердили эффективность использования разработанных программных и аппаратных средств при работе на активно-индуктивную нагрузку.

Работа выполнена в рамках программной части государственного задания Минобрнауки.

Библиографический список

1. Документация на микроконтроллер PIC18F4520. [Электронный адрес]. URL: <http://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/39631E.pdf>.
2. Шило В.Л. Популярныe цифровые микросхемы. Справочник. - 2-е изд., исправленное 1989.

*Р.Ж. Маидже, студент группы 2-34М
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛИФТОМ

Для надёжной и комфортной работы лифта необходимо выбрать максимально эффективный двигатель и схему регулирования. В ходе данной работы был выбран асинхронный электродвигатель с коротко замкнутым ротором.

Асинхронные электродвигатели не имеют подвижных контактов. Они имеют меньшие по сравнению с двигателями постоянного тока размеры, массу и стоимость при той же мощности.

Частотное регулирование асинхронным электродвигателем было разработано еще в тридцатых годах. Развитие частотно-регулируемого электропривода тормозилось высокой стоимостью преобразователей частоты. Появление силовых схем с IGBT-транзисторами, развитие микропроцессорных систем управления позволило различным компаниям создать современные и доступные ПЧ.

Ведётся работа над созданием схемы в программном комплексе Matlab где будет представлен двигатель и ПЧ для выбора максимально эффективной циклограммы при различной этажности и параметров схемы. По возможности будут использоваться экологически чистые компоненты с возможностью рекуперации.

Библиографический список

1. Автоматизированный электропривод: сборник статей / под общ. ред. Н. Ф. Ильинского-Москва: Энергоатомиздат, 1990. - 543 с.

*В.П. Дудов, студ.; рук. А.П. Карандашев, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО МЕХАНИЗМА В КОНТУРЕ РЕГУЛИРОВАНИЯ РАЗРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ УПРАВЛЕНИЯ КОТЛА

Из года в год экономические аспекты использования энергетических ресурсов не дают покоя умам людей. Частные небольшие котельные, мини ТЭС и их много мощные «товарищи» развиваются и модернизируются.

Оптимальное регулирование процесса горения залог наивысшего КПД. Как известно стабильное горение достигается путем поддержания определённого уровня тяги в верхней части топки котла. Это осуществ-

ляет путём контроля и регулирования исполнительных механизмов разных типов.

Анализ методов и возможность их комбинация может привести к более результативному регулированию.

В настоящий момент на котлах используются регуляторы типа ПИ и ПИД, что считается достаточным в штатных режимах работы. Рационально ли использовать другие? Позволяют ли доступные промышленные контроллеры реализовать другие методы?

Построение индивидуального регулятора способствует увеличению КПД, что в свою очередь экономит ресурсы.

Библиографический список

- 1. Рогач В.Я.** Теория автоматического управления теплоэнергетическими процессами.
- 2. Липатников Г.А., Гузев М.С.** Автоматическое регулирование объектов теплоэнергетики.
- 3. Тверской Ю.А.** Регулирование разряжения в топке котла - современный подход.

СЕКЦИЯ 23
ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Председатель –
д.т.н., профессор **Полетаев В. А.**

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

*Т. Ю. Курничева, студ; рук. Т. Ю. Степанова, к. т. н., доц.
(ИГХТУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ НАГРУЗКИ НА ИЗНОС МЕТАЛЛА

Удельная нагрузка при трении оказывает большое влияние на характер и интенсивность протекания процессов, происходящих в поверхностных слоях металлов. Величина удельной нагрузки при трении определяет площадь фактического контакта трущихся поверхностей. Возрастание удельной нагрузки приводит к увеличению глубины слоев металла, которые принимают прямое участие в процессе трения, что способствует изменению интенсивности изнашивания трущихся деталей. При критических значениях удельной нагрузки возникают качественные изменения процессов на поверхности трения и переход от одного вида изнашивания к другому.

Экспериментальные зависимости износа от нагрузки получены при скорости скольжения 1 м/с. При увеличении нагрузки износ возрастает для всех испытанных индустриальных масел. Значения нагрузок, при которых получает развитие процесс схватывания, различны для экспериментальных масел. При испытании масла с присадками на основе полигликолевых эфиров схватывание развивается при нагрузке 280 Н, а при испытании масла без присадки схватывание наблюдается уже при нагрузке 170 Н.

В период приработки (30-40 с) величина сил трения значительно больше, чем в период установившегося процесса. Это свидетельствует о развитии процесса схватывания при больших контактных нагрузках, имеющих место в начальные моменты трения. По мере приработки и увеличения площади контакта значение удельных давлений снижается, что приводит к вырождению процесса схватывания при всех принятых нагрузках. Установлено, что при испытаниях чистого масла силы трения и их колебания гораздо больше, чем у масла с присадкой. Это свидетельствует о способности присадки, содержащей химические вещества, образовывать на поверхности металла защитные (антифрикционные) пленки. Сила трения значительно возрастает и сохраняет большое значение до конца опыта. Дальнейшее увеличение нагрузки приводит к исчезновению этого явления (1200 Н). Полученные данные свидетельствуют о том, что увеличение нагрузки приводит к формированию защитных пленок на поверхности металла в этих условиях трения.

Библиографический список

1. **Аксенов А. Ф.** Трение и изнашивание металлов в углеводородных жидкостях. М.: Машиностроение, 1975. 152 с.

*Л. С. Найденова, маг.; рук. В. А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОК НА ЭЛЕМЕНТЫ КОНСТРУКЦИИ РАКЕТЫ ПРИ ИСПЫТАНИЯХ

Актуальность темы работы определяется тем, что в настоящее время возможно с помощью современного программно-математического обеспечения исследовать работу конструкции и при необходимости исключать конструкторские ошибки еще на этапе моделирования конструкции, тем самым экономя исходные ресурсы и производя более качественную продукцию. В современном мире нужно быстро, качественно и с наименьшими затратами производить новые конструкции и сегодняшний уровень развития средств моделирования позволяет вплотную к этому приблизиться.

В рамках данной работы на основе математической модели в программном комплексе MSC ADAMS построена модель динамической системы оперения и стенда раскладки, включающей в себя элементы конструкции консоли стабилизатора и киля, и внешние силовые факторы, различные для стендовой отработки и условий полёта летательного аппарата. Проведён ряд расчётов динамики раскладки стабилизатора и киля с целью исследования работоспособности и прочности конструкции в разных условиях в процессе раскладки. В результате работы можно не дожидаясь результатов наземных и лётных испытаний иметь достаточно полное представление о работоспособности и прочности проектируемой системы, чтобы при необходимости корректировать конструкторские решения в сторону оптимизации работы и увеличения запасов прочности отдельных элементов конструкции, это должно привести к меньшему количеству отработок уже после изготовления системы и соответственно затрат на наземные и летные испытания.

Результаты работы позволяют утверждать, что современное математическое моделирование позволяет реализовать виртуальные испытания динамических систем в силу следующих возможностей:

- любая требуемая степень детализации в математическом описании элементов динамической системы, ограниченная только наличием исходных данных
- информативность, не имеющая ограничений, присущих натурным испытаниям, в виде неудобств в установке датчиков, в объёмах регистрируемых параметров. Виртуальные датчики имеют меньше ограничений.

*Ю.В. Феофанова, студ.; рук. Н.В. Третьякова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ДОЛГОВЕЧНОСТИ ДЕТАЛЕЙ В РЕЗУЛЬТАТЕ ТИТАНИРОВАНИЯ

Титанирование проводят с целью повышения поверхностной твердости и износостойкости, а также коррозионной и кавитационной стойкости деталей пищевого и текстильного машиностроения, судостроения из сталей, чугунов и цветных сплавов, а также инструментов. Процесс можно выполнять в порошковых смесях, в расплавах солей с электролизом или без электролиза, в паровой фазе с использованием вакуума, в газовых смесях, в пастах с нагревом токами высокой частоты. Насыщение титаном осуществляется при температурах до 1150 °С, глубина титанированного слоя обычно не превышает 0.5 мм.

Различные стальные детали титанируют в смеси из 75 % порошка малоуглеродистого FeTi, 15 % CaF₂, 4 % NaF и 6 % HCl. При титанировании стали с содержанием углерода 0,3 % в течение 8 ч при 1150 °С образуется диффузионный слой толщиной 0,3...0,5 мм с высокой концентрацией титана. По границам зерен и внутри столбчатых кристаллов располагаются карбиды титана, в результате этого микротвердость достигает 22 000...27 000.

В поверхностных слоях низкоуглеродистых сталей в процессе насыщения титаном образуется α-твердый раствор титана в железе. Также возможно образование интерметаллидного соединения TiFe₂. При титанировании в муфельных вакуумных печах при температуре 1050 °С и выдержке 16 ч наибольшая глубина диффузионного слоя получалась на низкоуглеродистых сталях: сталь 08 кп – 0,34 мм; сталь 30 – 0,13 мм; сталь 45 – 0,08 мм; сталь 12X18H10T – 0,12 мм.

Титан является активным карбидообразующим элементом. При титанировании сталей с высоким содержанием углерода в поверхностном слое дополнительно образуются карбидные соединения, резко повышающие его твердость. Карбидные покрытия можно получить при титанировании в газовой среде, содержащей хлориды титана. В рабочую камеру загружают детали, титан в виде губки или порошка, четыреххлористый углерод. При взаимодействии хлористого углерода с титаном образуются хлориды титана TiCl₂, TiCl₃, TiCl₄. Карбиды титана образуются при взаимодействии субхлоридов с углеродом, диффундирующим к поверхности стали. Образующийся тетрахлорид титана после взаимодействия с титаном восстанавливает субхлориды TiCl₂ и TiCl₃, которые вновь реагируют с углеродом стали, т.е. происходит перенос титана циркуляционным методом.

*Г.С. Шумнов, А.А. Щукин, курсанты; рук. В.Е. Иванов, к.т.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

СПОСОБЫ РЕМОНТА РАДИАТОРОВ ОХЛАЖДЕНИЯ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

Система охлаждения двигателя пожарного автомобиля состоит из ряда элементов, которые могут неожиданно выйти из строя в процессе эксплуатации. К таким элементам следует отнести водяной насос (помпу), термостат, вентилятор или радиатор охлаждения. Одной из наиболее частых и серьезных проблем являются течи радиатора. Подобные неисправности приводят к тому, что система охлаждения теряет способность эффективно поддерживать рабочую температуру силового агрегата в заданных рамках. Из-за утечки охлаждающей жидкости возрастает риск перегрева мотора, который сопровождается серьезными последствиями для ДВС и в следствии дорогостоящим ремонтом. По этой причине необходимо осуществить ремонт радиатора в кратчайшие сроки. Одним из видов ремонта, который можно выполнить без помощи профессионалов, является добавка герметиков в охлаждающую жидкость, после чего средство «затягивает» трещины. Другим способом является применение различных клеевых составов, которые наносятся снаружи на поврежденную область радиатора, а для повышения теплоотдачи отремонтированного участка, в состав добавляют алюминиевый порошок. Существует множество различных способов устранения течи с помощью клеевых составов. Наиболее дорогостоящим ремонтом является пайка радиатора. Такой ремонт радиатора применяется в том случае, если трещины серьезные. Для устранения необходимо слить охлаждающую жидкость, снять элемент с авто, и произвести пайку в специальных условиях.

Проведенный обзор позволил выделить не дорогостоящий вид ремонта радиаторов пожарных автомобилей, который может выполнить неквалифицированный персонал. К данному типу ремонта относится использование клеевых составов с алюминиевым порошком, наносимый на наружную поврежденную поверхность радиаторов.

Библиографический список

1. **ГОСТ Р 53247-2009** «Техника пожарная. Пожарные автомобили. Классификация, типы и обозначения».
2. **Безбородько, М.Д.** Пожарная техника: учебник. / Под ред. М.Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 550 с.
3. **Пожарная** и аварийно-спасательная техника: справочник / В.В. Терещнев, А.О. Семенов, Ю.Н. Моисеев и др. – Екатеринбург: ООО «Издательство «Калан», 2009. – 376 с.

*Е.В.Шпенькова, студ.; В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩЕЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЕ СРЕДСТВО ДЛЯ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ И ПРОЦЕССОВ ПОВЕХНОСТНОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

При обработке металлов резанием и отделочно-упрочняющей обработке поверхностей деталей из сталей и цветных металлов резанием и методами поверхностно-пластического деформирования (ППД) применяют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ): водные эмульсии из эмульсолов или растворы неорганических электролитов и поверхностно-активных веществ. Примерами таких продуктов могут служить эмульсолы Э, ЭГТ, НГЛ-205, Укринол-1, ЭМУС и др., состоящие из нефтяных, смоляных (канифольных), жирных сульфокислот в виде солей с едким натрием (калием), минерального масла и стабилизатора - спирта и воды.

Недостатками таких составов смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ) являются наличие неудовлетворительных смазочных свойств и трудность вопросов регенерации и утилизации отработанных растворов. Кроме того, имеется необходимость осуществления подачи СОЖ поливом в зону контакта инструмента и детали, что значительно повышает расход СОЖ при постоянной ее подаче в зону обработки и снижает эффективность использования самого раствора СОЖ (недостаточные стойкость инструментов и величина шероховатости R_a).

Для устранения этих недостатков разработан состав СОЖ [1], включающий следующие вещества: триэтаноламин (ТУ 2423-168-00203335-2007); олеиновая кислота техническая (Технические условия. ГОСТ 758091); полиэтиленглюколь-1000 (ТУ 2483-007 - 71150986-2006); индустриальное масло И-20 (ГОСТ 20799-88).

Технологические (станочные) испытания эффективности СОЖ были проведены при нарезании резьбы метчиками диаметром М6 и при обработке поверхностей деталей алмазным выглаживанием.

Библиографический список

1. **Заявка** на патент РФ №2017140008. Смазочно-охлаждающее технологическое средство (СОЖ) для обработки металлов резанием и процессов поверхностного деформирования./ Полетаев В.А., Ведерникова И.И., Голяс А.А., Шпенькова Е.В., Степанова Т.Ю.

*А.А. Шукин, Г.С. Шумнов, курсанты; рук. В.Е. Иванов, к.т.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ОБЗОР КЛЕЕВЫХ СОСТАВОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ДЛЯ РЕМОНТА ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ

В результате взаимодействия элементов системы человек-машина-природная среда происходит воздействие на пожарные автомобили многочисленных факторов. В условиях новых экономических отношений в Министерстве Российской Федерации по делам гражданской обороны, чрезвычайным ситуациям и ликвидации последствий стихийных бедствий возникли значительные трудности с приобретением новой пожарной техники (150 ед./год) и поэтому возраст и величины пробега находящихся в эксплуатации машин все более увеличиваются. Потери, связанные с обеспечением ремонта машин за период эксплуатации, в несколько раз превышают их первоначальную стоимость. Своевременное устранение незначительных неисправностей, продлевает срок службы техники. Поэтому все чаще для ремонта автомобилей применяются полимерные клеевые составы.

Клеевые составы разделяются на анаэробные, кремнийорганические, эпоксидные и др. и обладают своими преимуществами и недостатками. Анаэробные составы применяются для стопорения и контровки резьбовых соединений, сборки цилиндрических соединений типа «вал-втулка». Кремнийорганические составы используются для уплотнения плоских стыков в узлах двигателей, компрессоров, редукторов, насосов и др. Эпоксидные составы применяются в качестве антикоррозионных покрытий, для устранения трещин и пробоев (в том числе и аварийных повреждений), ликвидации протечек в корпусных деталях, заделки кавитационных, коррозионных и эрозионных раковин и свищей.

Проведенный обзор показал, что использование для ремонта машин полимерных клеевых составов является одним из наиболее простых и дешевых методов ремонта, так как он не требует высокой квалификации ремонтников и использования специального оборудования.

Библиографический список

1. **Безбородько, М.Д.** Пожарная техника: учебник./Под ред. М.Д. Безбородько. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2004. – 550с.
2. **Темников В.Н.** Применение полимерных материалов при техническом обслуживании и ремонте машин / В.Н. Темников, В.И. Башкирцев, Ю.В. Башкирцев. М.: ФГБОУ «РИАМА», 2011. – 229 с.

*Г.В.Шарыгин, студ.; В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Пластическое деформирование поверхностных слоев осуществляется с помощью различных методов, которые условно можно разделить на две группы. К первой следует отнести такие способы, которые предполагают создание деформационного усилия от инструмента путем непрерывного контакта с деталью, ко второй – способы, при которых производится ударное действие на деталь рабочих тел или инструмента. Несмотря на различие методов ППД их объединяет общность основных процессов и воздействий на состояние металла и обрабатываемой поверхности.

Одним из наиболее важных результатов ППД является возникновение в поверхностном слое металла остаточных напряжений сжатия. Причина их возникновения заключается в том, что при пластической деформации поверхностные слои металла увеличиваются в объеме, однако этому препятствуют нижележащие слои. В результате первые оказываются под воздействием остаточных напряжений сжатия, а вторые – под воздействием остаточных растягивающих напряжений. ППД также изменяет микрорельеф поверхности и улучшает физико-механические свойства поверхностного слоя за счет повышения твердости, предела текучести и сопротивления отрыву.

Эти изменения происходят в результате движения, размножения и взаимодействия дефектов кристаллов (дислокации, дефекты упаковки, скопления точечных дефектов и др.). Существует одиннадцать возможных механизмов пластической деформации, которые можно подразделить на три основные группы. В первую группу входят сдвиговые процессы, во вторую – диффузионные, в третью – процессы пластической деформации, вызванные относительным перемещением зерен, блоков зерен и границ, или так называемые периферийные процессы.

Обработка ППД могут подвергаться либо все поверхности деталей, в том числе и концентраторы напряжений (отверстия, пазы), либо только участки концентраторов. Эффективность упрочнения в обоих случаях примерно одинакова и практически определяется режимами обработки зон концентрации напряжений.

*В.В. Кирьянов, курсант; В.О. Луточкин, курсант;
рук. В.В. Киселев, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ БЕТОНОВ ПОД ВОЗДЕЙСТВИЕМ ПОВЫШЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПОЖАРАХ

В данном исследовании мы будем испытывать образцы бетона на устойчивость к высоким температурам в различных условиях. Таких как температура пожара в жилых квартирах, складских помещениях и местах общественного пользования. При рассмотрении влияния высоких температур на бетон и железобетон следует различать, во-первых, действие на конструкцию огня во время пожара и, во-вторых, длительное действие высоких температур на специальные железобетонные сооружения, как-то: дымовые трубы, борова для отходящих газов, фундаменты под специальные печи, бункеры для золы и шлака и т. д. Температура во время длительных пожаров достигает 1000°С, а в отдельных случаях, например, в складах горючих материалов, доходит до 1400—1600°С. При высокой температуре прочность бетона на растяжение значительно понижается и при 600°, а может быть даже между 450 и 600° фактически сводится к нулю. От огнестойких конструкций требуется, чтобы при пожаре, не теряя значительной части своей прочности и без опасных деформаций, они выдерживали не только высокую температуру, но также и поливку водой. нормы требуют от огнестойких конструкций сопротивления температуре в 1000° в течение 3 час. Бетон не в состоянии выдержать таких температур, так как при высоких температурах цементный раствор теряет гидрантную воду, вяжущая сила цемента уничтожается и бетон распадается вследствие разных коэффициентов линейного расширения отдельных камневидных составляющих. Так, известняки разрушаются при температуре выше 800 — 900°С. Для определения потери прочности бетона с повышением температуры еще в начале прошлого столетия Ульсон (США) произвел опыты над кубиками 10х10х10см и призмами 15х15х36 см из бетонов состава 1:2:4, марки 130 в возрасте 33—56 дней. В одной серии опытов щебень был вулканического происхождения, а в других — известняковый. Образцы постепенно в течение 4,5 час. нагревались в газовых печах до 1200°С.

Библиографический список

1. [Соппротивление материалов \(учебное пособие\)](#)/ В.Н. Скопинский, А.А. Захаров .

*Л. С. Найденова, маг.; В. А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ УПРУГОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА С УЧЕТОМ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ И СТАБИЛИЗАЦИИ

Летательный аппарат может быть описан уравнениями движения, которые могут быть решены для получения динамического отклика конструкции летательного аппарата на внешнее воздействие. Это внешнее воздействие может быть обусловлено порывом ветра, например. Однако, отклик летательного аппарата на внешнее воздействие во многом зависит от управляющих воздействий, которые осуществляет лётчик или автоматическая система управления и стабилизации летательным аппаратом. Отклоняя управляющие поверхности, лётчик или система управления меняет аэродинамические силы, действующие на летательный аппарат, тем самым определяя отклик летательного аппарата на внешнее воздействие. Поэтому при моделировании динамики движения летательного аппарата как отклик на внешнее воздействие необходимо составлять и решать уравнения движения летательного аппарата совместно с уравнениями, описывающими работу системы управления и стабилизации летательного аппарата.

Целью данной работы является создание математической модели летательного аппарата для расчёта динамического отклика конструкции на внешнее воздействие с учётом наличия системы управления и стабилизации, влияющей на результат, так и исследование влияния таких параметров, как собственные частоты, формы, и декременты колебаний конструкции летательного аппарата, и собственные частоты колебаний датчиков системы управления и стабилизации, а также частотные характеристики приводов, задающих силовое воздействие на управляющие поверхности на основании измерений, полученных датчиками автоматической системы управления и стабилизации летательным аппаратом.

Построена аэроупругая модель в программе PATRAN, включающая в себя упруго-массовую модель изделия и аэродинамические поверхности в виде панелей, моделирующих несущие поверхности изделия. В программе NASTRAN реализован специальный метод, позволяющий моделировать аэродинамические силы летательного аппарата с учётом взаимовлияния несущих поверхностей и корпуса при дозвуковых скоростях полёта.

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

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМПЬЮТЕРНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ И РАЗРАБОТКИ СВАРНЫХ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

Применение компьютерных технологий значительно расширяет возможности технолога-машиностроителя, дает возможность из множества вариантов технологии выбрать наиболее подходящую или прогнозировать результат.

Сварка – один из основных видов неразъемных соединений, наиболее широко применяемых в сборке металлоконструкций. Технологии сварочных производств затрачивают большое количество времени на подготовку технологической документации.

CAD-системы (ComputerAidedDesign) – средства автоматизированного проектирования, например, Компас-3D позволяют создавать на чертежах конструктивные элементы сварных швов и разделки кромок при 2D- и 3D-проектировании, вводить условное обозначение сварного шва. Интеграция Компас-3D с САПР ТП Вертикаль позволяет решать такие трудоемкие задачи, как автоматизированный подбор режимов для основных видов сварки, подбор сварочных материалов, расчет норм расхода сварочных материалов, расчет основного времени на технологический переход и др.

CAM-системы (ComputerAidedModeling)–позволяют организовать подготовку производства с использованием компьютерных систем. Программные пакеты, управляющие движением роботов при сборке компонентов и перемещении их между операциями. Например, ADEM используется для лазерной обработки и резки. Для создания управляющих программ сварки в ADEM используется движение лазера вдоль объемной кривой с заданным фокусным расстоянием и вектором оси лазерного луча, что позволяет добиться пятикоординатной обработки лазером.

CAE-системы (ComputerAidedEngineering)–позволяют решать прикладные задачи для различных видов сварки – расчет параметров режима сварки, определения расхода сварочных материалов, прогноз ожидаемых механических свойств металла шва и зоны термического влияния, прогноз размеров сварного шва. Например, это программы Simufact.Welding, GMAWSim, SAWSim, TM-EQVSim.

Таким образом, современные средства САПР открывают качественно новые возможности проектирования технологии сварочного производства.

*Е.Ю. Моисеева, курсант; А.А. Вагин, курсант;
А.И. Бурушкин, курсант; Н.А. Лункин, курсант;
А.В. Великанов, курсант; рук. Н.А. Кропотова, к.х.н
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ТОРОИДАЛЬНЫЙ ДВИГАТЕЛЬ – РЕШЕНИЕ СОВРЕМЕННОЙ РОБОТЕХНИКИ

В век «современных технологий» в нашу жизнь плотно вошли как роботы, так и робототехника в целом. Всего на данный момент есть семь основных двигателей, используемых в робототехнике: бесщеточный двигатель постоянного тока, синхронный привод, асинхронный двигатель, шаговый двигатель, сервопривод, пневматический привод и гидравлический привод. Несмотря на это, все они имеют ряд общих недостатков: сложный и дорогостоящий регулятор скорости; не работает без электроники; могут перегреваться, особенно под нагрузкой; невозможность стабильно держать частоту вращения; сложная система подключения и управления; требует квалифицированного обслуживания; высокая стоимость.

Все эти рассуждения наводят на необходимость поиска кардинально нового решения. Одним из таких решений - тороидальный двигатель. Тороидальные двигатели с граммовской обмоткой обеспечивают выполнение в малых габаритах многополюсной системы и дают возможность создать асинхронные высокочастотные низкоскоростные двигатели. Они имеют малые потоки. По этой причине они имеют большое число витков в фазе по сравнению с двигателями нормального исполнения.

На данный момент известно два основных типа: гистерезисный тороидальный двигатель и гистерезисные тороидальные двигатели, их с успехом можно использовать в механизмах, где требуется двигатель небольшой мощности, малой массы и стоимости: в программных механизмах.

Подводя итоги, можно сказать, что каждый тип тороидального двигателя имеет свои особенности расчета, состава и т.д. Но независимо от типа и конструктивного варианта общим для всех них является наличие лобовых частей, расположенных по образующим внутренней и наружной поверхностей тороида-статора. Сопротивление рассеяния тороидальной обмотки определяется потоками рассеяния с наружной и внутренней сторон тороида, с ребер тороида, а при обычном исполнении двигателя и с торцевых поверхностей тороида. Именно эта компоновка, поможет робототехнике сделать шаг вперед. Облегчит и удешевит ее производство.

*К.О.Аладышкина, студ.;рук. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ ДЛЯ УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ

Пластическое деформирование поверхностных слоев осуществляется с помощью различных методов, которые условно можно разделить на две группы. К первой следует отнести такие способы, которые предполагают создание деформационного усилия от инструмента путем непрерывного контакта с деталью, ко второй – способы, при которых производится ударное действие на деталь рабочих тел или инструмента. Несмотря на различие методов ППД их объединяет общность основных процессов и воздействий на состояние металла и обрабатываемой поверхности. Одним из наиболее эффективных способов поверхностного пластического деформирования является алмазное выглаживание.

Алмазное выглаживание отличается от ППД обкаткой лишь конструктивными особенностями используемого инструмента, в котором рабочим элементом служат алмаз, гексанит или другие сверхтвердые материалы.

На качество алмазного выглаживания, т. е. шероховатость поверхности, степень упрочнения, твердость поверхностного слоя, влияет радиус сферической поверхности алмаза, усилие прижатия поверхности к детали, продольная подача и число проходов.

Радиус алмаза выбирают в зависимости от исходной поверхности металла, из которого изготовлена деталь. При этом для материалов твердостью $HV < 300$ радиус алмаза 2,5...3,0 мм; при НКСЭ 35...50- 1.5...2.5 мм и НРХЭ 50...65 - 1,3...2,0 мм, т.е. с увеличением твердости поверхности детали радиус алмаза уменьшается.

Усилие прижатия инструмента к детали также имеет большое значение. При усилии меньше оптимального микронеровности сглаживаются не полностью, а при большем поверхностный слой перенаклепывается и разрушается.

Алмазное выглаживание осуществляют, как правило, за один проход, так как увеличение числа проходов не изменяет существенно шероховатость поверхности упрочняемой детали.

*И.А. Кононов, курсант, В.В. Киселев, к.т.н., доц.
(ИПСАГПС МЧС России, Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ТАКТИКО-ТЕХНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ОСНОВНЫХ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО ПРИБЫТИЯ К МЕСТУ ТУШЕНИЯ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Любой пожар на объектах энергетики для граждан и организаций является бедствием. Полное или частичное отключение электроэнергии в населенном пункте приводит к панике населения, отключению освещения, электрических приборов. Чтобы этого не допустить, специалисты пожарной охраны обязаны в кратчайшие сроки прибыть к месту вызова, чтобы ликвидировать пожар в начальной стадии его развития или оказать помощь в локализации и ликвидации пожара. Разные факторы определяют временной показатель прибытия подразделений пожарной охраны к месту вызова.

Все факторы важны, но необходимо учесть еще и фактор технического состояния пожарных автомобилей, а также их технические и динамические характеристики.

К основным техническим и динамическим характеристикам пожарного автомобиля можем отнести предельно допустимую и безопасную скорость движения. При проезде поворотов и перекрестков водителю приходится существенно снижать скорость, после чего вновь набирать ее. Снижение скорости движения автомобиля перед проездом поворотов необходимо, прежде всего, из-за того, что центр тяжести пожарных автомобилей располагается достаточно высоко.

Одним из возможных путей решения этого вопроса может стать снижение центра тяжести пожарной автоцистерны. Это может быть достигнуто установкой в двигательный отсек другого типа двигателя. При установке рядного горизонтального двигателя на шасси пожарной автоцистерны позволит снизить ее центр тяжести на 5-7 см. Снижение центра тяжести на указанную величину приведет к повышению скорости проезда крутых поворотов и перекрестков. Пропорционально росту скорости сократится и время прибытия пожарной автомобильной техники на пожара, следовательно, и устойчивость автомобиля.

Библиографический список

1. **Кимстач, И.Ф.**, Девлишев П.П., Евтюшкин Н.М. Пожарная тактика М., 1984.

Т.А. Огаркова, Е.А. Платонова, студ.;
рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

БОРИРОВАНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ЛАЗЕРОМ

Особенности формирования структуры борированных слоев при лазерном воздействии были неоднократно рассмотрены в работах различных авторов. Лазерный нагрев боридного покрытия производили двумя способами: расфокусированным лучом и лучом, сканирующим с частотой 220 Гц в направлении, поперечном его перемещению [1]. В результате высокоскоростного нагрева и охлаждения, проходящих по механизму теплопроводности вглубь материала, наблюдается дробление структуры и устранение дефектов в виде пор. Также был рассмотрен способ поверхностного борирования деталей из стали 40 [2]. Он заключается в термомодифузионном насыщении поверхности бором. В работе [3] проведено исследование влияния параметров низкоэнергетического электронного пучка на структуру и свойства сталей.

Применяя способ комбинированного борирования углеродистой стали, методом трехфазного борирования в порошковой смеси в контейнере с плавким затвором на поверхности углеродистых сталей Ст3 и 45 получали борированный слой с толщиной боридной зоны 80-90 мкм. Затем производили обработку поверхности электронным пучком в вакууме без оплавления поверхности.

Таким образом, наиболее эффективным является способ поверхностного борирования стали, т.к. позволяет получить увеличение толщины диффузионного слоя, сократить длительность и снизить температуру процесса термомодифузионного борирования поверхности деталей, при этом понижается хрупкость слоя при сохранении высокой твердости.

Библиографический список

1. **Бирюков, В.П.**, Крукович М.Г., Ильин С.Н., Клочков Н.П. Лазерная обработка боридных слоев. – Ресурсосберегающие технологии ремонта, восстановления и упрочнения деталей машин: Материалы МНПК. – СПб.: Изд-во Политехн. Ун-та, 2010.
2. **Способ** поверхностного борирования деталей из стали 40: пат. 2539128. Рос. Федерация: МПК С23С 8/70.
3. **Сизов И.Г.** Разработка научных основ и технологии электронно-лучевого борирования железоуглеродистых сплавов с получением на поверхности боридов тугоплавких металлов: автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора технических наук. Московский государственный технический университет им. Н.Э.Баумана, Москва, 2003.

*А.М. Филатов, В.И. Ханов, студ.; А.М. Власов, асс.
рук. В. А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПЛАНИРОВАНИЕ И ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТОВ ПО ИССЛЕДОВАНИЮ МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО УПЛОТНЕНИЯ

Процесс исследования магнитожидкостного герметизатора является сложным многофакторным процессом со следующими характерными особенностями: значительным многообразием управляемых, неуправляемых и неконтролируемых факторов, оказывающих существенное влияние на работы уплотнения; большим числом сложных корреляционных связей между факторами; ярко выраженной зависимостью физико-механических, фрикционных и антифрикционных свойств трущихся материалов от температуры, воздействия внешней среды и многих других факторов [1]. Для решения задачи исследования магнитожидкостного герметизатора наиболее приемлемы математические методы планирования экспериментов. Для обработки экспериментальных данных с целью математического моделирования используют регрессионный анализ. Основное назначение регрессионного анализа – получение по экспериментальным данным регрессионных моделей объектов исследования. Фактически с помощью регрессионного анализа решается одна из важнейших исследовательских задач – получение формульных зависимостей, связывающих значение выходной переменной (отклика) объекта с входными факторами. Применение полного факторного эксперимента в данной работе рассмотрено на примере исследование влияния вязкости магнитной жидкости и частоты вращения вала, а также шероховатости наружной поверхности втулки на момент трения магнитожидкостного герметизатора. В проводимых исследованиях в качестве параметра оптимизации выбрано значение момента трения магнитожидкостного герметизатора. На основе априорных данных выбирались основные уровни факторов k : X_1, X_2, X_3 и интервалы их варьирования. Фактором X_1 является вязкость магнитной жидкости η , Па*с, фактором X_2 – частота вращения вала, об/мин, фактором X_3 – шероховатость наружной поверхности втулки Ra, мкм.

Библиографический список

1. **Планирование** и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Евдокимов Ю. А., Колесников В. И., Тетерин А. И. // М.: Наука, 1980.–228 с.

*К.Н. Ермакова, студ.; рук. В.В.Киселёв, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСИНЫ

Влияние разных внешних воздействий:нагрев от солнечных лучей, увлажнение вследствие осадков, наличие различных механических повреждений наразнообразные виды деревянных конструкций, применяемых в современном строительстве(перекрытия, стены и перегородки зданий и многие инженерные сооружения, несущие на себе значительные нагрузки).

Расширение, дополнение известных данных помогает спрогнозировать и увеличить срок службы данных конструкций.

Проведены исследования прочностных свойствхвойных пород древесины в зависимости от различных внешних факторов.

Для поведения исследований было изготовлено шесть деревянных образцов кубической формы размером 50x50x50 мм. Один был принят за эталон. Другие два подвергались механическим воздействиям, четвертый образец подвергался воздействию воды,пятый нагревался в муфельной печи при температуре 60 °С. Для каждого образца определялись значения предельных напряжений на сжатие и изучались характер их разрушений. Испытания прочностных свойств деревянных деталей производились на гидравлическом прессе ПСУ-10.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) Наличие в деревянных конструкциях незначительных повреждений в виде отверстий и т.д., совпадающих по направлению с волокнами древесины и повышенная влажность не снижают их прочности.

2) Прочность деревянных конструкций существенно снижается при условии их длительного нахождения в условиях повышенных температур, а также при наличии механических повреждений в виде отверстий, пропилов и т.д. перпендикулярных волокнам древесины.

Библиографический список

1. **Киселев, В.В.**О проведении исследований прочностных характеристик деревянных конструкций при решении задач прикладной механики. // NovaInfo.Ru (Электронный журнал) – 2017 г. – № 71-1.

2. **Киселев, В.В.** Определение наиболее опасного сечения бруса при деформации растяжение - сжатие // NovaInfo.Ru (Электронный журнал) – 2016 г. – № 56.

*В.И. Ханов, студ.; А.А.Киселев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИНВАРИАНТНОЕ УПРАВЛЕНИЕ ДВИГАТЕЛЕМ

Для современных мощных механизмов слежения и наведения используются высокомомментные бесколлекторные электродвигатели (ВБКД). Системы управления ВБКД часто строятся с помощью прямого токового управления, требующего непосредственного измерения токов статорных обмоток I_q и выполнения сложных координатных преобразований. Это накладывает жесткие требования к быстродействию используемых вычислительных устройств и приводят к снижению помехозащищенности и надежности, а также к значительному усложнению и удорожанию системы управления.

Более эффективным является способ управления ВБКД, когда величина тока определяется путем его восстановления по скорости и напряжению управления посредством наблюдающего устройства (НТ), алгоритм которого определяется системой уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{dY_q}{dt} &= D_1 \cdot (U_q \cdot k_u - \omega \cdot K_n - X_q) \\ X_q &= Y_q - \omega \cdot L \end{aligned} \right\}$$

где k_u , K_n , L – параметры, aD_1 – добротность НТ, X_q – восстановленное значение тока I_q , ω – вычисленное значение скорости вала.

Необходимая достоверность воспроизведения тока I_q обеспечивается вычислением добротности D_1 наблюдателя НТ из условия $D_1 = 1024/T_a \cdot f_1$, где $T_a = L/R$ – электромагнитная постоянная времени обмоток статора, f_1 – частота прерывания управляющего контроллера.

Управление током, a , следовательно, и моментом электродвигателя, достигается посредством ПИ-регулятора с передаточной функцией

$$W_{CC}(s) = \frac{D_c}{s} (1 + K_c s),$$

где D_c и K_c – соответственно добротность и коэффициент коррекции регулятора тока. Оптимальная настройка регулятора тока определяется его добротностью

$$D_c = \frac{D_f}{16 \cdot K_c \cdot K_{FC}}$$

где D_f – добротность цифрового фильтра, обеспечивающего оптимальную полосу пропускания контура тока, K_{FC} – коэффициент связи между выходом наблюдателя и входом регулятора тока.

Такой способ управления обеспечивает инвариантность динамических характеристик ВБКД относительно момента нагрузки.

*Н.А. Мальчиков, студ.; рук. В.П. Зарубин, к.т.н., доц.;
рук. И.А. Легкова, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОВЕДЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ И РЕМОНТА ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Область применения пожарной техники очень обширна и сопряжена с тяжелыми условиями работы. Выполняя тактические задачи узлы и агрегаты машин испытывают большие перегрузки, работают при высоких температурах, и очень часто при высоких оборотах. При этом детали машин подвержены значительному износу и как следствие выходу из строя всего механизма. Поэтому для обеспечения требуемой надежности и долговечности необходимо своевременное и качественное техническое обслуживание пожарной техники.

Качественное и полноценное проведение технического обслуживания техники возможно лишь на специализированных постах которыми должны быть укомплектованы пожарно-спасательные части, однако в настоящее время не представляется возможным. Поэтому проблема ремонта и обслуживания пожарной техники стоит достаточно остро [1].

Решить выше указанный ряд проблем на наш взгляд поможет мобильная специализированная ремонтная мастерская рассчитанная на обслуживание техники нескольких пожарно-спасательных частей. Передвижной пост технического обслуживания позволит проводить все виды номерных видов ТО высококвалифицированными специалистами использующими современное оборудование непосредственно в пожарно-спасательных частях. Это снимет необходимость переброски техники в специализированные мастерские для проведения ТО. Кроме технического обслуживания передвижная мастерская позволит проводить широкий ряд ремонтных мероприятий в полевых условиях при длительных выездах техники на учения или ликвидацию последствий стихийных бедствий, что значительно расширяет область ее применения и увеличивает востребованность.

Библиографический список

1. Сычев С. А. Возможность использования передвижной мастерской для проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники / Сычев С. А., Зарубин В. П. // Надежность и долговечность машин и механизмов Сборник материалов VIII всероссийской научно-практической конференции Иваново, 2017г., С. 240-243.

*Ю.А. Киреева, студ.; Д.В. Трегубова, студ.; Д.П. Топчиенко, студ;
рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗВИТИЕ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ И ИНСТРУМЕНТОВ ПО ЗАКОНУ УВЕЛИЧЕНИЯ СТЕПЕНИ ДРОБЛЕНИЯ

Любая техническая система (ТС) в своем развитии проходит три этапа – «статику», «кинематику» и «динамику». На этапе «статики» действуют следующие законы: полноты частей системы, энергетической проводимости системы и согласования ритмики частей системы. На этапе «кинематики» действуют законы увеличения степени идеальности системы, неравномерности развития частей системы и закон перехода в надсистему. И на этапе «динамики» – закон перехода с макроуровня на микроуровень и закон увеличения степени вепольности системы [1]. На этапе «динамики» действует еще один закон – увеличения степени дробления системы. Суть этого закона заключается в том, что ТС в целом (или ее рабочий орган) в своем развитии проходит путь от монолитного до немонолитного и вплоть до гибкого, жидкого, газообразного состояния и поля. При переходе от монолитного состояния к гибкому состоянию техническая система проходит этапы дробления: сначала на небольшое количество частей с образованием неразъемных, затем разъемных соединений, далее количество частей в системе увеличивается, а связи меняются с жестких на гибкие [2]. В последние годы появились станки, у которых традиционные жесткие связи между узлом, в котором устанавливается обрабатываемая деталь, и узлом, несущим инструмент, заменены на шарнирные штанги, т.е. гибкие связи. Требуемая траектория перемещения инструмента относительно детали обеспечивается согласованным изменением либо длин этих штанг, либо угловых и линейных положений штанг постоянной длины. К станкам со штангами переменной длины относятся так называемые «гексаподы» (с 6 штангами) и «триподы» (с 3 штангами). Металлорежущие инструменты также развивались по такому же пути. Сначала инструменты были монолитными. Затем появились инструменты с напайными режущими пластинками, образующими неразъемные соединения с их державками, системы с разъемными соединениями. Знание законов развития технических систем позволит их производителям правильно прогнозировать параметры будущих конкурентоспособных изделий.

Библиографический список

1. Альтшуллер, Г.С. Творчество как точная наука. – М.: Сов.радио, 1979. – 184 с.
2. Орлов, М.А. Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательского мышления / М.А. Орлов. – М.: СОЛОН-ПРЕСС, 2006. – 432 с.

*Р.А. Масленников, курсант;
рук. В.В. Киселев, к.т.н., доц., П.В. Пучков, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ НА ОБЪЕКТАХ ЭНЕРГЕТИКИ

Авария на Саяно-Шушенской ГЭС - индустриальная техногенная катастрофа. В результате аварии погибло 75 человек, оборудованию и помещениям станции нанесен серьезный ущерб. Работа станции по производству электроэнергии была приостановлена. Последствия аварии отразились на экологической обстановке акватории, прилегающей к ГЭС, на социальной и экономической сферах региона. В результате проведенного расследования Ростехнадзор непосредственной причиной аварии назвал разрушение шпилек крепления крышки турбины. Авария на данный момент является крупнейшей в истории катастрофой на гидроэнергетическом объекте России и одной из самых значительных в истории мировой гидроэнергетики а причиной таких серьезных последствий стало разрушение всего лишь крепежного элемента - шпильки. Из описанной выше крупной техногенной катастрофы, случившейся в энергетической области можно сделать вывод, что крепежным элементам конструкции следует уделять более важное внимание. Правильность проводимых расчетов на прочность, жесткость и устойчивость может позволить избежать многих техногенных аварий, разрушений и человеческих жертв. В настоящее время резьбовые соединения находят самое широкое применение в различных областях техники. На надежность, долговечность и работоспособность резьбовых соединений могут влиять различные внешние факторы: воздействие высоких температур, коррозия, ударные и знакопеременные нагрузки. Проведены исследования влияния высоких температур на механические свойства резьбовых соединений типа шпилька М8- гайка. На основе проведенных исследований было установлено, что при повышении температуры окружающей среды временное сопротивление резьбовых соединений при растягивающей нагрузке резко снижается.

Библиографический список

1. **Киселев, В.В.**, Топоров А.В., Пучков П.В. Перспективы применения магнитоэлектронных устройств в пожарной и аварийно-спасательной технике.// Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. - №2. – С. 63–64.

Ю.М. Тютюнников студ.; рук. А.С. Орлов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ВОЗМОЖНОСТИ ПОЛИГОНАЛЬНОГО ТОЧЕНИЯ

Метод полигонального точения основан на разнице частот вращения шпинделя в котором закреплена заготовка, и режущих элементов приводного инструмента. Главное движение осуществляет фреза, а шпиндель токарного станка осуществляет делительное движение. Данный метод обладает высокой производительностью, применяется для получения граней на наружных поверхностях тел вращения. Например, чтобы получить шестигранную поверхность, при трех резцовых вставках необходимо чтобы частота вращения фрезы превышала частоту вращения шпинделя с заготовкой в 2 раза, в этом случае, когда деталь проворачивается на $1/6$ оборота, инструмент проворачивается на $1/3$ оборота и снимает слой материала одной резцовой вставкой инструмента с одной стороны рис. 1.

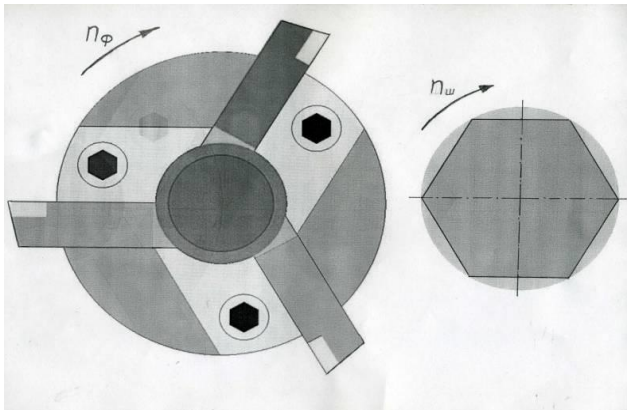


Рис.1 Схема полигонального точения

При изменении частот вращения шпинделя станка и фрезы, можно получить другое количество граней, при той же технологической наладке. Поскольку данный метод не позволяет получить высокую плоскостность сторон, его целесообразно применять в художественных целях, или при обработке неотчетливых поверхностей, например, головок болтов и.т.п.

*А.Р.Дашевский, адъюнкт;
рук. А.В. Топоров, к.т.н., доц. В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИПСА ГПС МЧС России, Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ГАЗОПЛАМЕННОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ К АВАРИЙНО СПАСАТЕЛЬНОМУ ИНСТРУМЕНТУ

Ликвидации чрезвычайных ситуаций, проведение аварийно-спасательных работ, проходят с применением аварийно-спасательного инструмента (АСИ). При разборе завалов режущий аварийно-спасательный инструмент подвергается различным видам механического воздействия. Вследствие чего на режущих кромках появляются различного рода дефекты. Для повышения прочностных характеристик и защиты режущих кромок от механических повреждений и коррозии целесообразно применить метод газопламенной металлизации..[1].

Сущность процесса металлизации распылением, в частности газопламенной, заключается в том, что расплавленный металл под воздействием струи сжатого газа (обычно воздуха) распыляется на мелкие частицы, которые, ударяясь о покрываемую поверхность, расплющиваются и сцепляются с ней и между собой, образуя покрытие слоистого строения толщиной от 0,02 мм. Для нанесения покрытия обычно используется проволока диаметром 1-3 мм.

При помощи металлизации можно наносить покрытие из различных металлов на металлические, керамические, пластмассовые, деревянные и другие изделия. Основными областями применения металлизации являются: восстановление размеров изношенных деталей машин и механизмов, работающих на истирание (коленчатые и распределительные валы, кулачки, цапфы и т. п.); исправление дефектов черного и цветного литья (трещины, раковины, поры); защита изделий от коррозии путем нанесения покрытий из цинка и алюминия; повышение жаростойкости изделий нанесением покрытия из алюминия (алитирование); нанесение декоративных покрытий; нанесение специальных покрытий, например, токопроводящих, на диэлектрики с целью последующей пайки и др.

Таким образом, применение метода газопламенной металлизации является актуальным при упрочнении режущих кромок аварийно-спасательного инструмента.

Библиографический список

1. Дашевский А.Р., Полетаев В.А. Анализ технических характеристик отечественного аварийно-спасательного инструмента. NOVAINFO.RU – 2016 г. – № 53, стр. 47-54.

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

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЙ НАПОЛНИТЕЛЯ И ДЕТАЛИ ПРИ ОБРАБОТКЕ СВОБОДНЫМИ АБРАЗИВАМИ

К методам обработки деталей свободными абразивами относятся вибрационная обработки, центробежно-ротационная обработка, струйно-абразивная обработка, магнитно-абразивное полирование и др. Основой этих процессов являются соударение и скольжение абразивных частиц обрабатываемой среды по обрабатываемой поверхности.

Основополагающие исследования в этой области были проведены И.В. Кудрявцевым, М.С. Дроздом, В.П. Пшибыльским, Е.Г. Коноваловым, Д.Д. Папшевым и М.А. Тамаркиным [1].

Сила и энергия соударения являются важнейшими параметрами. Сила соударения P в большинстве случаев могут быть определены по формуле Герца [2]:

$$P = 6V \sqrt{\frac{m \cdot \sigma_m \cdot R_{ш} \cdot k_m \cdot k_b}{k_2} \left(1 - \frac{3}{8} k^2\right)},$$

где V – скорость соударения, м/с; m – плотность абразивной части, г/см³; $R_{ш}$ – радиус частицы (шара), см; σ_m – предел текучести обрабатываемого материала, МПа; k_m – коэффициент, учитывающий одновременное действие столба частиц среды; k_b – коэффициент, учитывающий демпфирующие свойства обрабатываемой среды; k_2 – коэффициент повторных ударов; k – коэффициент восстановления скорости при ударе.

Сложность моделирования взаимодействий частиц наполнителя и детали связана с большим количеством других показателей процесса неучтенных в формуле Герца: масса, зернистость, твердость наполнителя, интенсивность съема металла и сглаживания шероховатости, микротвердость и глубина деформированного слоя, угол встречи наполнителя и детали и др. Учтя как можно большее количество факторов при моделировании взаимодействий наполнителя и деталей возможно создание модели прогноза показателей производительности и качества процесса обработки свободными абразивами.

Библиографический список

1. **Тамаркин М.А.** Технологическое обеспечение заданного качества поверхностного слоя деталей при обработке динамическими методами поверхностного пластического деформирования / Тамаркин М.А., Шведов А.С., Гребенкин Р.В., Новокрещенов С.А. // Вестник ДГТУ. 2016. № 3 (86). – С. 46 – 52.

2. **Методы** обработки свободным абразивом // Портал о машиностроении. URL: <http://specural.com/articles/category/15/message/958/> (дата обращения: 10.12.2017).

А.М.Филатов, студ.; А.А.Киселев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

КОМПЕНСАЦИЯ ДИСКРЕТНОСТИ УПРАВЛЕНИЯ

Для формирования вектора управления бесконтактным двигателем (БКД) с датчиком скорости типа СКВТ, имеющем малое число пар полюсов, дискретизация системы (частота запросов на прерывание) осуществляется импульсами, сформированными по сигналу этого датчика. Алгоритм вычисления фазового рассогласования имеет вид

$$\gamma = \sum(T \cdot \omega_z - \Delta\varphi),$$

где $\Delta\varphi$ – приращение угла поворота вала за период дискретизации T, ω_z – заданное значение скорости.

При $T = \text{const}$ квазиустановившемся режиме скорость $\omega = \omega_z / T$, что показывает пропорциональную зависимость между задаваемым и действительными значениями скорости. Период дискретизации определяется соотношением $T = 1/f_0 + f_b$, где f_0 – частота питания обмоток СКВТ, f_b – частота, пропорциональная скорости поля, определяемая выражением $f_b = p \cdot \omega / 2\pi$, где p – число пар полюсов СКВТ. При этом сохраняется пропорциональная зависимость между сигналом задания скорости и ее фактическим значением.

Дискретизация управления приводит к ступенчатой форме сигналов питания фазных обмоток приводного двигателя, и, соответственно, к отклонению вектора тока от требуемого значения, что ведет к снижению момента, развиваемого двигателем. На Рис. 1 приведены результаты исследования электропривода с БКД типа 2ДВМ115 с числом пар полюсов $p_m = 3$ и датчиком скорости СКВТ с числом пар полюсов $p = 8$. Определялись отклонения вектора тока от потокосцепления, обусловленного дискретностью обработки информации.

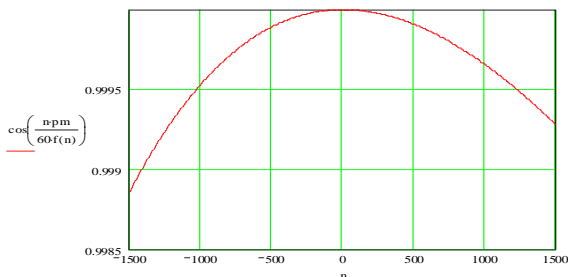


Рис. 1. Зависимость погрешности измерения положения ротора от частоты вращения.

Эти результаты показывают, что погрешность формирования электромагнитного момента при частоте питания $f = 1770$ Гц СКВТ составляет менее 1%.

*Базаркин С.В., магистрант; рук. Павлюкова Н.Л., к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИЗМЕРЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ СЛОЖНОГО ПРОФИЛЯ

Для современного машиностроения характерна разработка и производство деталей сложной формы. Эксплуатационные характеристики таких изделий определяются их функциональными параметрами, в том числе качеством формы и микрогеометрия профиля поверхностей. Применение шаблонов для измерения и контроля таких поверхностей уже не соответствуют современному уровню производства.

Использование оптических дистанционных методов позволяет точно и быстро получать 3D-данные о форме сложных деталей.

Светодиодная технология подсветки объекта применяется в 3D-сканере [SolutionixRexcan CSPlus](#) для получения точных данных о размерах и геометрии деталей. Сканер обеспечивает высочайшее качество сканирования (точность точки до 10 – 15 мкм). 3D-моделирование осуществляется с помощью интегрированной 2-осевой площадки сканирования, которая автоматически поворачивает объект нужным углом к камерам (рис. 1).

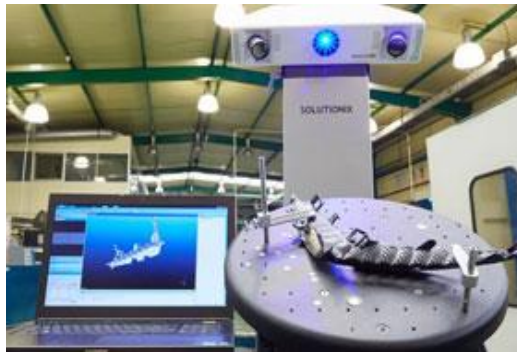


Рис. 1. Измерение сложнопровфильной детали

Преимуществом оборудования является автоматический процесс сканирования, сбор полученных данных в 3D-модель, автоматическое совмещение сканированных изображений, наличие библиотеки шаблонов, которая позволяет упростить и ускорить сканирование схожих объектов, возможность уточнить форму наиболее сложных элементов детали, а также осуществлять контроль качества готового изделия и его соответствия модели

СЕКЦИЯ 24
ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ
МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

Секретарь –
ассистент **Ильина Е.Э.**

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

РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ ЗАШИВКИ ПАССАЖИРСКОГО ПОЛА В ОТСЕКЕ Ф2 САМОЛЁТА МС-21-300

Современные расчеты на прочность деталей летательного аппарата (ЛА) представляют собой не только аналитический расчет, который зачастую сложен своей математической моделью, но и численный расчет модели в компьютерной среде. Таким методом проводятся расчеты на прочность деталей и узлов нового российского самолета Иркут МС-21 ("Магистральный Самолет XXI века").

Результаты статического линейного и нелинейного анализа получены в виде эпюр распределения напряжений и перемещений. Максимальное значение напряжения при вычисленной силе сдвига $P = 40,6368$ кН при линейном анализе равно $\sigma_{max} = 315$ МПа, при нелинейном - $\sigma_{max} = 276$ МПа. Максимальные значения не превышают допустимого $\sigma_b = 407$ МПа. Перемещения не превышают 1 мм и также являются допустимыми.

Минимальный запас прочности для зашивки получен при нагружении «Аварийная посадка» $n_x = 9$ (вперед), при смятии под болт-заклепками Ø5 ОСТ 1 30041-82 крепления к стрингеру, где действующее значение силы равно 2880,5 Н, допускаемое значение силы равно 4578,75 Н [1,2]. Коэффициент запаса $n = 1,59$.

Таким образом, вычисленные значения напряжений и коэффициенты запаса позволяют сделать вывод о том, что конструкция зашивки и ее крепление к каркасу фюзеляжа удовлетворяет условиям прочности.

Библиографический список

1. **Астахов, М.Ф.** Справочная книга по расчету самолета на прочность / Астахов М.Ф., Караваев А.В., Макаров С.Я., Суздальцев Я.Я. / Оборонгиз, 1954.
2. **Лизин, В.Т.** Проектирование тонкостенных конструкций: Учебное пособие для студентов вузов - 3-е изд., перераб. и доп. / Лизин В.Т., Пяткин В.А. / - М.: Машиностроение 1994. - 384 с.

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

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ СТОЕК ПОД ОБОРУДОВАНИЕ ПРА ТМИ НА ИЗДЕЛИИ ИЛ-976

Целью работы является расчет на прочность стоек под оборудование ПРА ТМИ, которые находятся на изделии ИЛ-976[1]. Ставятся две задачи – проведение линейного статического анализа при четырех расчетных случаях аварийной посадки и расчет крепежных соединений при первом расчетном случае.

Конструкция стойки представляет собой набор профилированных элементов (рис. 1).

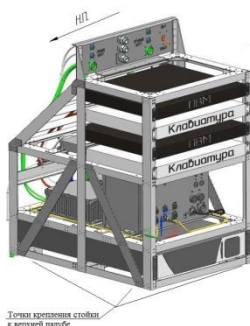


Рис. 1. Конструкция стойки под оборудование ПРА ТМИ

Расчет проводится в программном комплексе NX 8.5. По 3D геометрии стойки были построены срединные поверхности профилированных элементов для дальнейшей работы с 2D элементами. Также создаются точки, обозначающие центры масс приборов, для дальнейшего приложения к ним сил перегрузки.

Статический линейный анализ показал, что стойки выдерживают силы перегрузки с хорошим запасом прочности (>1.64). У заклепочных соединений коэффициент запаса прочности на смятие вертикального и горизонтального профилей под заклепкой больше 1, а коэффициент запаса прочности на срез заклепки получился меньше 1. Поэтому рекомендуется заменить заклепки диаметром 3 мм, выполненные из материала АМЦ, на заклепки диаметром 5 мм из материала Д18.

Библиографический список

1. **Гончаров, П.С.** NX Advanced Simulation. Инженерный анализ/Гончаров П. С., Артамонов И. А., Халитов Т. Ф., Денисихин С. В., Сотник Д. Е./ – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.

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

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ УСТАЛОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Задача повышения долговечности и ресурса создаваемых конструкций является одной из задач современного машиностроения.

Перед началом расчета сопротивления усталости на основе анализа напряженно-деформированного состояния (рис. 1) всех расчетных случаев выбираются наиболее опасные зоны – потенциально критические места. Под комплексной оценкой ресурса подразумевается оценка ресурса полной совокупности зон расчетной модели, т.е. расчет ресурса во всех конечных элементах расчетной модели.



Рис. 1. Диаграмма напряжений нижней окантовки двери багажно-грузового отсека

Цель исследования – разработка инструмента комплексной оценки ресурса элементов авиационных конструкций с учетом анализа полной совокупности зон расчетной модели.

Исходными данными являются локальные конечно-элементные модели деталей и узлов авиационных конструкций, нагруженных эксплуатационными нагрузками. Комплексная оценка ресурса реализуется для всех конечных элементов моделей с учетом расположения расчетных зон. Результатами комплексного расчета приняты значения ресурса в точках, соответствующих расположению конечных элементов модели. Языком разработки процедур выбран язык программирования Python. Выполнен комплексный расчет усталостной прочности элемента авиационной конструкции – выреза люка багажно-грузового отсека самолета SuperJet 100. Проведен анализ результатов комплексного расчета усталостной долговечности и сравнительный анализ с результатами детального расчета ресурса определенного количества элементов.

Библиографический список

1. **Стрижиус В.Е.** Методы расчета усталостной долговечности элементов авиаконструкций: справочное пособие./Стрижиус В.Е./-М.:Машиностроение, 2012. - 272с.

*О.Г. Бизяева, студ.; рук. Л.Н. Крайнова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ПЕРСПЕКТИВНОЙ ФОРМЫ НАТУРНОГО ОТСЕКА ФЮЗЕЛЯЖА САМОЛЕТА

Объектом исследования работы является среднемагистральный пассажирский самолет. Целью является разработка перспективной формы фюзеляжа для среднемагистрального пассажирского самолета, которая будет удовлетворять нормам прочности.

Предложено разработать фюзеляж с сечением в виде двух пересекающихся концентрических окружностей одинакового радиуса.

Проведен анализ напряженно-деформированного состояния натурального отсека фюзеляжа. Отсек нагружался внутренним давлением 0,12 МПа. Исходя из конфигурации сечения в виде двух пересекающихся окружностей, в зоне их пересечения в результате действия давления возникают неуравновешенные касательные силы. Расчет конструкции состоит в определении напряжений и деформаций, необходимых для оценки прочности и жесткости [1].

Максимальное напряжение составляет 412,5 МПа. Из эпюры напряжений можно заметить, что они распределяются равномерно по всему отсеку. Максимальное перемещение конструкции 4,5 мм возникает в зоне пересечения окружностей (рис. 1).

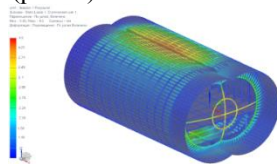


Рис. 1. Деформация натурального отсека

В ходе исследования выявлено равномерное распределение напряжений вдоль всего фюзеляжа. Проведена оценка прочности основных силовых элементов конструкции и определены их запасы прочности.

Исходя из полученных результатов, можно сделать вывод, что при данном типе нагружения, конструкция удовлетворяет нормам прочности. Для полной оценки прочностных характеристик данного типа фюзеляжа в дальнейшем требуется определить поведение конструкции при различных случаях нагружения в режиме полета и посадки.

Библиографический список

1. Стригунов, В.М. Расчет самолета на прочность/Стригунов В.М./М.:МАИ, 986,- 324 с.

*Е.С.Шильцев, студ.;рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н.,доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕТЧАТЫХ КОМПОЗИТОВ

Тонкостенные оболочечные конструкции находят большое применение в ракетостроении, самолетостроении, судостроении и строительстве.

В сетчатых композитных конструкциях основными несущими элементами являются ребра, которые обеспечивают одновременно мембранную и изгибную жесткость конструкции[1].

В работе рассматривается двухдвигательный региональный самолет, который предназначен для перевозки пассажиров, багажа, почты и грузов на внутренних и международных авиалиниях. Самолет предназначен для перевозки 70-75 человек на расчетную дальность 3500 км.

Для анализа напряженно-деформированного состояния фюзеляжа с сечением в виде двух пересекающихся концентрических окружностей радиусом $R = 1820\text{мм}$, было принято решение смоделировать часть фюзеляжа регулярного сечения. Основной отсек представляет собой сетчатую композитную конструкцию подкрепленную шпангоутами лонжероном. Для расчета напряженно- деформированного состояния методом конечно-элементного анализа был использован программная среда SIE-MENSNX8.5 (рис. 1).

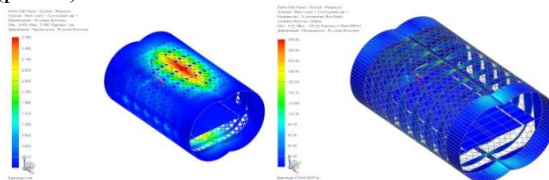


Рис. 1. Распределение напряжений (МПа) и деформаций модели (мм)

В результате расчета получены картины распределения напряжений и деформаций. Наибольшие деформации модели составили 3,78 мм и возникают в области, подкрепленной лонжеронами. Соответственно деформациям, наибольшие напряжения расположены в зоне стыка лонжерона с гермошпангоутом и составляют 245 МПа. Коэффициент запаса прочности для данного типа нагружения составил 1,8.

Библиографический список

1. **Азаров, А.В.** Континуальная модель композитных сетчатых оболочек, образованных системой спиральных ребер./А.В. Азаров/ Композиты и Наноструктуры, 2015, №7, с.151-161.

*В.В. Иванова, студ., А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПРЕДЕЛЕНИЕ КРИТИЧЕСКОЙ СКОРОСТИ ИЗГИБНО-КРУТИЛЬНОГО ФЛАТТЕРА СТАБИЛИЗАТОРА СВЕРХЗВУКОВОГО ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Флаттер — опасное явление, возникающее при определённых скоростях. Основной причиной флаттера является встречный поток воздуха, приводящий к неустойчивым автоколебаниям крыльев, элеронов и других упругих элементов фюзеляжа самолета, что, в конечном счете, может привести к разрушению самолёта. Чтобы не допускать этих автоколебаний, рассчитывается критическая скорость полета.

Рассматривается механизм возникновения автоколебаний стабилизатора, движущегося горизонтально с постоянной скоростью.

Составляется уравнение Лагранжа 2 рода, описывающее колебания системы.

Проводится расчет жесткостных, инерционно-массовых и аэродинамических коэффициентов исследуемого стабилизатора, для определения критической скорости при дозвуковых и сверхзвуковых скоростях полета.

Для принятых и инерционно-массовых, жесткостных и аэродинамических коэффициентов, вычисляется критическая скорость изгибно-крутильного флаттера стабилизатора сверхзвукового летательного аппарата при дозвуке и сверхзвуке ($M = 0,8$, при $M = 3$, где M – число Маха).

При дозвуковых скоростях полета поворотный стабилизатор безопасен от изгибно-крутильного флаттера. При сверхзвуковых скоростях ($M=3$) минимальная критическая скорость флаттера равна $V_{кр}=1165$ м/с.

Сделан вывод о том, что для обеспечения безопасности от флаттера при сверхзвуковых скоростях с нормированным коэффициентом безопасности $f=1.2$ необходимо выполнить оценку требуемых жесткостей крепления стабилизатора.

Таким образом, для определения критической скорости было составлено уравнение Лагранжа, описывающее колебания системы с двумя степенями свободы, определены инерционно-массовые, жесткостные и аэродинамические коэффициенты модели и проведена оценка требуемой жесткости для обеспечения безопасности от флаттера.

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

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ УЗЛА ПАРАШЮТНОЙ СИСТЕМЫ

Прочностной расчет проводится для узла парашютной системы «Мега – 90» - трехместной траверсы с ленточными креплениями, которые обеспечивают подвешивание конструкций с пассажирами при групповых полетах. Узел содержит два карабина, соединяющих траверсу с куполом парашюта (рис. 1).

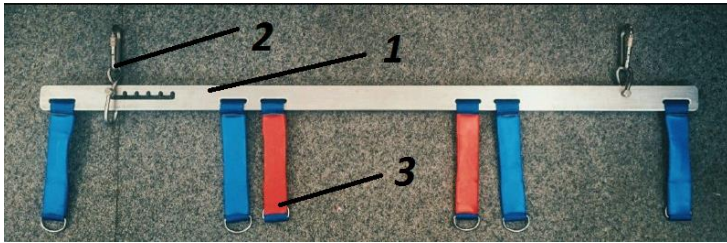


Рис. 1. Узел парашютной системы: 1 – трехместная траверса, 2 – карабины, 3 – ленточные крепления

Рассмотрен расчет на прочность траверсы из алюминиевого сплава В95Т1. Она должна удовлетворять требованиям надежности в реальных условиях эксплуатации – выдерживать полет трех человек с общим весом 250 кг с трехкратным запасом прочности. Порядок закрепления нагрузок на траверсе зависит от веса пассажиров, поэтому изменяется расчетная схема.

Прочностной расчет выполняется численно и аналитически. Для численного решения используется в программный пакет «ANSYS»[1]. Аналитический расчет проводится методами сопротивления материалов.

Результаты сравниваются между собой, даются комментарии по расхождению результатов, по улучшению геометрии конструкции для обеспечения наибольшей прочностной способности, а также по возможности использования других материалов при изготовлении изделия для экономии производственных затрат.

Библиографический список

1. Иванов Д.В., Доль А.В. Введение в AnsysWorkbench: Метод. пособие для студентов естественно-научных дисциплин. – Саратов: Амирит, 2016. – 56 с.

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МОДЕЛИРОВАНИЯ КУПОЛА ПАРАШЮТА

Пошив купола парашюта проводят по лекалам, которые разрабатываются на основе компьютерного 3D моделирования.

Для оптимизации моделирования проведено сравнение двух методов моделирования – нетвердотельного и твердотельного.

Нетвердотельное компьютерное моделирование купола парашюта в программном комплексе AutoCAD[1] характеризуется тем, что осуществляется посредством использования сплайновых поверхностей. Имеются исходные чертежи частей нижнего полотнища купола парашюта, а также чертежи нервюр. Все чертежи переносятся в одно пространство и каждый чертеж размещается под определенным углом к другому.

Получают заготовки чертежей верхнего полотнища парашюта, которые впоследствии переносятся в среду для 2D конструирования.

Доработка чертежей происходит нанесением припусков для швов, а также всех необходимых отметок. Затем разрабатываются лекала, которые используются для пошива купола парашюта в швейных цехах завода.

Твердотельное компьютерное моделирование купола парашюта в программном комплексе Компас-3D выполняется посредством листового моделирования, при этом используются не части нижнего полотнища, а всё нижнее полотнище целиком.

В компьютерной среде осуществляются сгибы имеющегося листового тела под заданными углами, а затем в определенные места эскизами вставляются чертежи нервюр.

Сравнительный анализ двух методов компьютерного 3D моделирования показал, что различия в размерах частей верхних полотнищ парашюта составили 0.16 %. Этот результат входит в диапазон допустимых расчетов.

Библиографический список

1. **Полещук Н.Н.** AutoCAD 2007: 2D/3D-моделирование. – СПб.: БХВ, 2007. – 416 с. .

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

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ НАГРУЗКИ В СТЕНДЕ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ ПОДВЕСНЫХ СИСТЕМ

Задачей практики на АО «Полет» являлось усовершенствование системы измерения нагрузки в стенде для испытания подвесных парашютных систем с целью удобства проведения испытаний и экономии времени.

Во время практики проводились испытания на стенде [1], в котором в качестве измерительного прибора динамических нагрузок, возникающих при введении в действие парашюта, использовался плашечный динамометр ДЛ-2. Нагружение подвесной системы производилось путем сбрасывания жесткого манекена с заданной высоты, обеспеченной слабиной силовых звеньев. При этом манекен в свободном падении, не долетая до земли, рывком нагружает подвесную систему.

Плашечный динамометр ДЛ -2 состоит из двух скользящих одна относительно другой деталей, взаимное перемещение которых ограничивается специальной металлической плашкой и стальным закаленным шариком. Приложение к динамометру растягивающей нагрузки сопровождается вдавливанием шарика в плашку, в результате чего на плашке после снятия нагрузки остается отпечаток шарика.

Сравнение замеренного диаметра отпечатка шарика с тарировочной кривой зависимости диаметра от нагрузки позволяет определить максимальное значение нагрузки, которая действовала на динамометр при введении парашюта в действие.

На заводе ООО «Тестсистемы» подобран электронный динамометр ТС603 с выводом данных на пульт и далее на компьютер в Excel. Также подбираются шарнирные опоры для крепления динамометров к коромыслу стенда.

После замены плашечных динамометров на электронные испытания на прочность подвесной системы парашюта выполняются значительно удобнее и в 3 раза быстрее по времени, чем с плашечными динамометрами, так как исчезла необходимость постоянных замен плашек.

Библиографический список

1. **Методика** №25961-96 «Проведение стендовых испытаний на прочность устройства для отсоединения свободных конов (УОСК) парашюта». –Иваново: Полёт, 2015.

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

ОЦЕНКА ПАРАМЕТРОВ УДАРНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ВИБРОИСПЫТАНИЙ

Тема работы связана с проблемой диагностики подшипников качения. Рассматривается задача восстановления параметров силового воздействия между телами качения шарикоподшипника и беговыми дорожками с целью использования полученных результатов для оценки состояния смазки и степени износа подшипника.

Решена задача идентификации параметров модели измерительного тракта[1]. Решение задачи проводилось частотными методами. В результате была получена полиномиальная модель 6 порядка.

Разработан алгоритм оценки параметров ударного воздействия на базе интеграла Дюамеля, при этом решена обратная задача восстановления входного сигнала по экспериментальным данным отклика измерительного тракта.

Получены графики импульсных воздействий для различного состояния подшипников и проведен сравнительный анализ результатов (рис. 1).



Рис. 1. Восстановленный ударный импульс (несмазанный подшипник)

Результаты позволяют оценить характер ударных воздействий для подшипников с различным состоянием смазки и степени износа.

Библиографический список

1. **Бесекерский, В.А.** Теория систем автоматического управления. / Бесекерский В. А., Попов Е. П. – СПб, Изд-во «Профессия», 2003. – 752 с.

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

РАСЧЕТ УПРУГОГО ПОДВЕСА ВИБРОСТЕНДА

Целью работы является расчет характеристик упругого подвеса электродинамического преобразователя ВЭДС-10 с целью проверки возможности эксплуатации данного объекта и последующей оптимизации.

Упругий подвес является элементом электродинамического преобразователя. Он предназначен для обеспечения большого продольного хода движения рабочей катушки с обмоткой и в то же время крайне малого перемещения по другим направлениям.

Разработана 3D-модель механической системы электродинамического преобразователя, состоящей из двух подвесов и каркаса рабочей катушки [1]. Выполнен статический расчет модели, в результате которого определены максимальные нагрузки, выдерживаемые конструкцией, а также перемещения, которые возникают в конструкции под их воздействием. Произведён динамический расчет модели, в ходе которого определены собственные частоты и формы колебаний свободной конструкции, а также конструкции, нагруженной массой. По полученным данным определен диапазон рабочих частот преобразователя.

Разработана оптимизация модели, а именно – увеличение радиуса кривизны на концах пазов подвесов и ширины самих пазов (рис. 1).

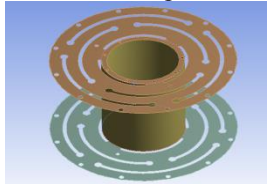


Рис. 1. Модель подвеса

В результате проделанной работы определены параметры упругих подвесов электродинамического преобразователя. Выполнена оптимизация модели, благодаря которой удалось получить более равномерное распределение напряжений по поверхности подвесов, а также обеспечить его больший продольный ход, что позволяет производить измерения вибрации с большей амплитудой. Кроме этого, увеличен диапазон рабочих частот преобразователя.

Библиографический список

1. Бидерман, В.Л. Теория механических колебаний./Бидерман В.Л./М. Высш.Школа, 1980

Е.Э. Ильина, студ.; М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТАЛОСТНОЙ ПРОЧНОСТИ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Для медицинского применения наиболее распространенными являются сплавы с памятью формы на основе титан-никель (Ti-Ni). Однако они содержат токсичный Ni, что накладывает некоторые ограничения на применение. Поэтому в настоящее время все чаще привлекает внимание другая группа перспективных сплавов – безникелевые сплавы с памятью формы на основе Ti[1].

Сплав Ti-Nb-Zr является неисследованным пористым материалом, что вызвало потребность в проведении расчетов напряженно-деформированного состояния изделий из этого материала.

Строится общая схема модели «резец-имплантат-десна» (РИД) (рис. 1).

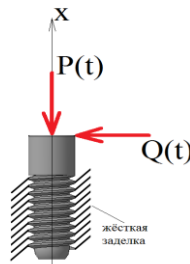


Рис. 1. Расчетная схема модели РИД: $P(t)$ – продольная нагрузка при откусывании; $Q(t)$ – поперечная нагрузка при отрывании

Имплантат в процессе использования испытывает две нагрузки – при откусывании и при отрывании. В результате эксперимента получены следующие значения: среднее напряжение, действующее на центральные резцы, составляет – 3,9 МПа; напряжение, действующее на боковые резцы составляет 5,5 МПа.

Основным результатом расчета является оптимизация свойств материала, наиболее подходящего для применения в стоматологической имплантологии с учетом биосовместимости и биомеханических свойств.

Библиографический список

1. Brailovski, V. Bulk and porous metastable beta Ti-Nb-Zr (Ta) alloys for biomedical applications / Brailovski, V., Prokoshkin S., Gauthier M., Inaekyan K., Dubinskiy S., Petrzhih M., Filonov M. / Materials Science and Engineering, 2011, p. 643–657

И.А. Гуралюк, студ.; рук. З.В.Зарубин, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ С ЭПФ

Цель работы – спроектировать и создать установку термостата с применением пружины из сплава с эффектом памяти формы[1].

Термостат — это регулятор температуры охлаждающей жидкости в системе охлаждения двигателя внутреннего сгорания (рис. 1). Он ускоряет прогрев двигателя и поддерживает нужный ему тепловой режим работы.



Рис. 1. Конструкция и принцип действия термостата

В ходе эксперимента найдены жесткости пружин, входящих в устройство термостата. Определена жесткость возвратной пружины автомобильного термостата. Длина пружины – 27 мм, количество витков – 3 (расстояние между витками 6,5 мм, толщина проволоки – 2,5мм). Диаметр пружины 25 мм. Материал – сталь. Сформулирована задача подбора пружины с ЭПФтак, чтобы в мартенситном состоянии жесткость пружины была меньше 8,3 кН/м, а в аустенитном – больше 8,4 кН/м. Для исследования нитиноловой пружины в программе ANSYS, были написаны две программы. В одной из них решение производилось при помощи элементов BEAM188, а в другой при помощи элементов SOLID 185. Предварительно были подобраны параметры необходимой пружины. Она должна иметь 2 витка, толщина проволоки 1,8 мм, диаметр пружины 19мм, шаг между витками 5.7 мм

Исследования, проведенные в работе, подтвердили возможность использования пружины с эффектом памяти формы в качестве исполнительного механизма автомобильного термостата. Программный комплекс ANSYS позволяет произвести расчет конструкции выполненной из материала с ЭПФ, такого как нитинол.

Библиографический список

1. **Материалы** с эффектом памяти формы: Справ. изд. /Под.ред.Лихачева В.А. - Т.1-4.-СПб.: НИИХ СПбГУ, 1997 -1998.

В.О. Вербицкий, студ., Е.Э. Ильина, асс.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТЕ ИЗ МАТЕРИАЛА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Исследуются напряжения в одном из элементов двигателя Гинеля. Принцип действия двигателя Гинеля такой же, как у обычных двигателей внутреннего сгорания. Двигатель работает с помощью шести пружин из сплава Ni-Ti. Удлинение и сокращение спиралей в зависимости от разности температур горячей и холодной сред оказывают такое же действие, как возвратно - поступательное движение поршня в обычных двигателях, что вызывает вращательное движение рабочего колеса[1].

Целью работы является усовершенствование двигателя Гинеля за счет увеличения количества пружин с 6 до 8-10, изготовленных из сплава с эффектом памяти формы. В работе проводится аналитический расчет напряжений в пружине, а также усталостный расчет пружин в программном комплексе SolidWorks.

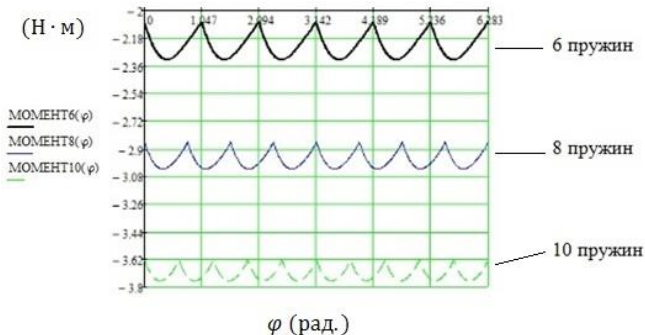


Рис.1. Значения и амплитуды моментов при 6,8,10 пружинах

После увеличения пружин с 6 до 8 и далее до 10 происходит незначительное увеличение крутящего момента (рис.1). При 6 пружинах значение момента составляет 2.32 Н*м, при 8 пружинах 3.03 Н*м, при 10 пружинах 3.76 Н*м. При этом уменьшается амплитуда момента, что приводит к сглаживанию рывков при вращении.

Библиографический список

1. <http://uas.su/books/newmaterial/103/razdel103.php>Зборщик А.М. Конспект лекций по дисциплине «Новые материалы в металлургии». Донецк: ГВУЗ «ДонНТУ»,2008.

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

РАСЧЕТ ДВИЖЕНИЯ СИСТЕМЫ С ЭЛЕМЕНТОМ ИЗ МАТЕРИАЛА С ПАМЯТЬЮ ФОРМЫ

В двигателе Гинеля используются пружины с элементами памяти формы (ЭПФ) из эквипотенциального сплава Нитинол с температурным переходом 45°C [1]. Двигатель работает с помощью шести спиралей. Оси рабочего колеса и кривошипного вала смещены одна относительно другой. Удлинение и сокращение спиралей в зависимости от разности температур горячей и холодной сред, составляющей $10 - 20^{\circ}\text{C}$, действуют так же, как при возвратно-поступательном движении поршня в обычных двигателях, и вызывают вращение рабочего колеса.

Усовершенствование двигателя Гинеля за счет увеличения количества пружин с 6 до 8-10 является целью работы. В работе проводится определение крутящих моментов системы, решение уравнения движений системы численным методом и анализ графиков крутящего момента системы (рис. 1.)

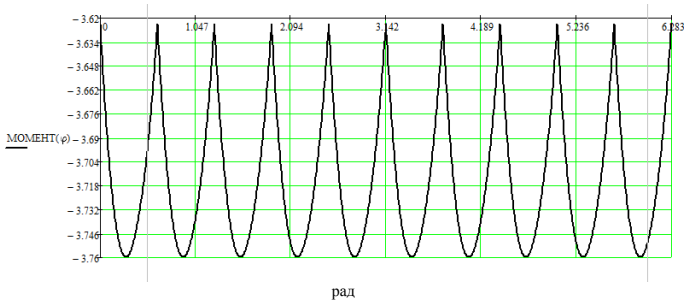


Рис.1. Изменения крутящего момента (Н*м) колеса при 10 пружинах

Частота момента увеличивается при увеличении количества пружин в колесе и при этом уменьшается амплитуда колебаний. Вследствие этого происходит более плавное вращение рабочего колеса.

Библиографический список

1. Тихонов, А.С. Применение эффекта памяти формы в современном машиностроении. / А.С. Тихонов, А.П. Герасимов, И.И. Прохорова. – М.: Машиностроение, 1981. – с.81

*Е.Э. Ильина, асс., Н.А. Сабанеев, ст.преп.;
рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ В ПОРИСТОМ ОБЪЕМЕ

Переломы костей и заживление переломов встречаются в нашей жизни. Хорошо известно, что механическое воздействие может вызывать дальнейшее разрушение места перелома или изменить его биологический путь. Однако механизмы переходящие в биологический отклик, остаются частично неизвестными.

Работа исследует влияние механического воздействия на процесс регенерации костной ткани в объеме пористого имплантата. Для этого с помощью базы данных из фотографических снимков поперечных сечений тела человека в программе ANSYS построена трехмерная конечно-элементная модель большеберцовой кости, которая включает в себя: берцовую большую кость, рамку для фиксации, пористый имплантат и костную мозоль. Для построения модели использован пространственный изопараметрический конечный элемент с параболической интерполяцией геометрии и функций. Задача проникновения мезенхимальных стволовых клеток в зону имплантата решена для периода 120 дней. По начальным данным концентрация активных клеток на границе костной мозоли и на стыке кости с имплантатом равна 100%. Вычислительные эксперименты проводятся при использовании следующих критериев модели: пористость имплантата (50 или 90 %); скорость диффузии клеток в пористом объеме (0,06 или 6,6 мм²/день); величина динамической нагрузки (10 или 100 Гц).

После проведения всех численных экспериментов можно сделать вывод о том, что задача регенерации активных стволовых клеток приближает рассматриваемую модель системы «кость–имплантат» к реальным процессам восстановления кости при реконструкции пористыми имплантатами. Найдены оптимальные параметры гармонических сил для наиболее точного описания механизма структурной перестройки костной ткани после перелома. По полученным картинам видно, что гармоническая нагрузка благотворно влияет на регенерацию и плотность активных клеток в имплантате возрастает по всему объему рассматриваемого участка.

Работа выполнена при поддержке гранта РФФИ № 15-29-04825.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МЫШЦЫ ЧЕЛОВЕКА

Скелетные мышцы являются основным источником механической энергии человеческого тела. Мышечный тонус – это остаточное напряжение мышц во время их расслабления, либо сопротивление пассивным движениям при произвольном расслаблении мышц. Другими словами, это минимальное напряжение мышц, которое сохраняется в состоянии расслабленности и покоя. Еще тонус можно охарактеризовать как жесткость мышцы в направлении, перпендикулярном ее волокнам в этой точке [1].

Для проведения экспериментов по определению тонуса двуглавой мышцы руки человека в формате лабораторной работы по биомеханике участвовали две группы студентов 3 и 4 курсов. Фиксировались характеристики физического состояния испытуемых: пол, возраст, рост, вес, обхват запястья и обхват бицепса. Измерения проводились с помощью испытательного стенда, созданного сотрудниками кафедры ТиПМ ИГЭУ. У испытуемых измерялось перемещение точки мышцы плеча с минимальной нагрузкой 3 Н и с нагрузкой, равной 20 Н. Таким образом, эксперимент проходил для мышцы в изотоническом режиме [2].

У испытуемых №11 и №13 самая малая относительная деформация, что говорит о повышенном тонусе мышц. Возможно это связано с недавними нагрузками перед проведением измерений. У испытуемых, которые не занимаются спортом регулярно, деформация находится в пределах 0,006 до 0,014, для испытуемых, занимающихся спортом регулярно, этот показатель ниже: от 0,006 до 0,003. Сравнивая студентов 3 и 4 курсов, можно сказать, что в среднем тонус мышц студентов третьего курса на 55,1% выше тонуса мышц студентов 4 курса. Это связано, на наш взгляд, с отсутствием регулярных занятий физкультурой у студентов 4 курса.

Библиографический список

1. **Дубровский В.И., Федорова В.Н.** Биомеханика: учеб. для высш. учеб.заведений. – М.: Изд-во ВЛАДОС-ПРЕСС, 2003. – 672 с.
2. **Уткин В. Л.** Биомеханика физических упражнений: Учеб.пособие для студентов фак. физ. воспитания пед. ин-тов и для ин-тов физ. культуры по спец. № 2114 «Физ. воспитание».— М.: Просвещение, 1989.— 210 с.: ил.

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

ФОРМИРОВАНИЕ СПЕКТРОВ ВИБРАЦИИ ДЕФЕКТОВ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Асинхронный электродвигатель (АЭД) представляет сложный электромеханический объект, а природа его дефектов может быть как механическая, так и электромагнитная, причем проявление дефекта может указывать на одну природу, а его происхождение – на другую.

В качестве исходной диагностической информации рассматривался прямой спектр $V_e(f_i)$ виброскорости, измеренной на подшипниковых узлах в радиальных и тангенциальном направлениях (в последнем случае – на корпусе АЭД). Опорные спектры формировались для дефектов, имеющих электромагнитную природу: статический и динамический эксцентриситеты воздушного зазора, дефекты ротора и статора, неисправности питающей электросети.

Объект диагностики: АЭД 4А160М2 мощность 18,5 кВт, синхронная частота вращения 3000 мин^{-1} и скольжение $S=0,021$ – электродвигатель, используемый в качестве привода центробежного насоса GRUNDFOS. Произведен расчет частотных диагностических признаков дефектов и составлен алгоритм диагностики основных электромагнитных дефектов. Большинство из дефектов хорошо разделяются по логическим причинно-следственным связям и информативным признакам проявления. Алгоритм отличается малой разветвленностью, отсутствием обратных связей и односторонней направленностью анализируемого информационного потока, поэтому легко программируется и может использоваться при ручном анализе спектров вибрации.

Формирование опорных спектров вибрации электромагнитных дефектов необходимо для задания эталонов при распознавании дефектов в экспертных системах диагностики, построенных на основе предложенного алгоритма. Отмечено, что опорные спектры будут существенно изменяться при насыщении зубцовой зоны статора или ротора. В этом случае признаки проявления дефектов будут иметь много общих периодических компонент (гармоники оборотной и пазовых частот, частоты питания, а также практически одинаковый характер модуляции низкими частотами).

Синтезированы расчетные дискретные спектры основных видов дефектов, отмечены главные диагностические признаки в режимах без насыщения и с насыщением зубцовой зоны статора или ротора. Произведена оценка сдвига базовых частот и их гармоник в спектрах, вызываемая изменением частоты вращения АЭД при изменении нагрузки.

Р. Э. Дудин, студ.; рук. Ф. Б. Огурцов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАСЧЁТ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНОГО СИЛОИЗМЕРИТЕЛЯ

Динамометры бывают различных типов, таких, как электронные, гидравлические, механические (пружинные, рычажные). Электронные динамометры выполнены на основе электрических датчиков, которые бывают емкостные, индуктивные, и других видов. Самый распространенный из них – датчик сопротивления (тензорезисторный). Он дает возможность динамических и статических измерений. Принцип тензометрического метода измерения усилий заключается в преобразовании силы тяжести груза или силозадающей установки в аналоговый сигнал на выходе датчика с последующей цифровой обработкой[1].

Некоторые типы тензодатчиков представлены на рис. 1 – 3 [2].

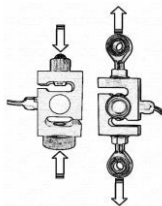


Рис. 1. Тензодатчик
"S-образный"

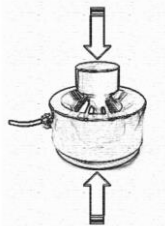


Рис. 2. Тензодатчик
"Шайба"



Рис. 3. Тензодатчик
"Колонна"

Цели работы: изучение различных конструкций тензодатчиков, подбор трёх лучших вариантов для поставленной задачи; моделирование выбранных вариантов в программе «Ansys» с целью определения собственных частот, деформаций и других характеристик; сравнение полученных расчётных данных различных конструкций.

Библиографический список

1. Динамометры. URL: <https://unives.ru/dinamometry> (дата обращения: 14.02.2018).
2. Тензометрические датчики динамометров. <http://dynamometer.su/tenzodatchiki.php> (дата обращения: 14.02.2018).

**В.Н. Трубехин, курсант; рук. А.А. Покровский, к.т.н.
(ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)**

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ГРУЗОВОЙ ЛЕБЕДКИ

Целью работы является расчет основных параметров грузовой лебедки, предназначенной для ремонта и технического обслуживания пожарных автомобилей. Конструкция лебедки включает в себя основание (раму), барабан, электродвигатель и закрытую зубчатую передачу [1,2].

Барабан лебедки выполнен сварным из стали и имеет гладкую рабочую поверхность, рассчитанную на многослойную навивку троса. Рассчитано напряжение сжатия в стенке барабана. Коэффициент запаса прочности для материала стенки барабана принят не менее двух. Конструкция предусматривает жесткое неразъемное соединение барабана с приводом.

Передача крутящего момента от электродвигателя к барабану лебедки осуществляется через закрытую двухступенчатую зубчатую передачу с цилиндрическими косозубыми зубчатыми колесами. Редуктор соединен с электродвигателем при помощи зубчатой муфты.

В ходе расчетов получены основные технические характеристики грузовой лебедки: тяговое усилие 5 кН; диаметр троса 7,7 мм; длина навивки троса 23 м; число слоев навивки троса 2; скорость навивки троса 0,56 м/с; диаметр барабана 150 мм; длина барабана 200 мм.

На основе проведенных расчетов грузовой лебедки возможно проведение мероприятий по ее конструированию и дальнейшему использованию в пожарно-спасательных частях для подъема и перемещения узлов и агрегатов пожарных автомобилей.

Библиографический список

1. **Покровский, А.А.** Мероприятия по улучшению эксплуатационных свойств деталей машин. /Покровский А.А. / Сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции «Надежность и долговечность машин и механизмов». Иваново: ИПСА – 2016. – С. 143 – 145.
2. **Соколова, А.Д.** Подъемно-транспортное и такелажное оборудование для монтажа строительных конструкций. Учеб.для техникумов / А.Д. Соколова, В.С. Визильтер. – М.: Стройиздат, 1987. – 332 с.

*Ермакова К.Н, студ.; В.В.Киселёв, к.т.н., уч.звание доц.
(ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ВНЕШНИХ ФАКТОРОВ НА ПРОЧНОСТНЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ДРЕВЕСИНЫ

Рассматривается влияние внешних воздействий: нагрев от солнечных лучей, увлажнение вследствие осадков, наличие различных механических повреждений – на деревянные конструкции, применяемые в современном строительстве (перекрытия, стены и перегородки зданий и многие инженерные сооружения, несущие на себе значительные нагрузки).

Расширение и дополнение известных данных помогает спрогнозировать и увеличить срок службы данных конструкций [1,2].

Проведены исследования прочностных свойств хвойных пород древесины в зависимости от различных внешних факторов.

Для поведения исследований было изготовлено шесть деревянных образцов кубической формы размером 50x50x50 мм. Один был принят за эталон. Другие два подвергались механическим воздействиям, четвертый образец подвергался воздействию воды, пятый нагревался в муфельной печи при температуре 60 °С. Для каждого образца определялись значения предельных напряжений на сжатие и изучался характер их разрушений. Испытания прочностных свойств деревянных деталей производились на гидравлическом прессе ПСУ-10.

Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы:

1) наличие в деревянных конструкциях незначительных повреждений в виде отверстий и т.д., совпадающих по направлению с волокнами древесины и повышенная влажность не снижают прочности;

2) прочность деревянных конструкций существенно снижается при условии их длительного нахождения в условиях повышенных температур, а также при наличии механических повреждений в виде отверстий, пропилов и т.д. перпендикулярных волокнам древесины.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.** О проведении исследований прочностных характеристик деревянных конструкций при решении задач прикладной механики. // NovalInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2017 г. – № 71-1.
2. **Киселев В.В.** Определение наиболее опасного сечения бруса при деформации растяжение - сжатие // NovalInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 56.

*М. А. Воробьев, студ.; рук. Д.А. Пирогов, к.т.н, ст.преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ КОНСТРУКЦИЙ В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ТЕРМОСИЛОВОГО НАГРУЖЕНИЯ

Особенности объектов одноразового действия и аппаратов, работающих при температуре кратковременно, требуют уточнения и дополнения данных по длительной прочности и ползучести. Расчеты деталей на ползучесть в основном базируются на результатах экспериментального изучения ползучести материала при одноосном растяжении нагрузкой, постоянной во времени [1,2]. В работе в качестве исследуемой стали выступает высоколегированная жаропрочная сталь ВНС-2.

Получены результаты испытания образца при повышенной температуре в условиях ползучести. Расчет на прочность с учетом экспериментальных данных произведен в программном комплексе ANSYS-Workbench. Для расчета была выбрана модель носового отсека крылатой ракеты (рис. 1)

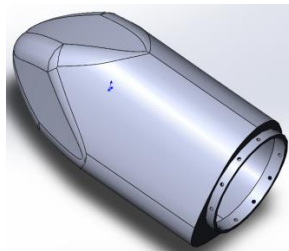


Рис.1. 3D-модель исследуемого отсека

В результате экспериментального исследования получены данные по поведению стали ВНС-2 в условиях ползучести и вычислены константы ползучести, благодаря чему реализована возможность моделирования поведения конструкции в условиях ползучести с приемлемой точностью. Полученные экспериментальные данные дают возможность выполнять расчеты любых деталей и конструкций из данной стали в аналогичных температурных условиях.

Библиографический список

1. **Малинин, Н. Н.** Прикладная теория пластичности и ползучести. [Текст] /Малинин, Н.Н./М.: Машиностроение, 1975.– 398 с.
2. **Работнов, Ю.Н.** Ползучесть элементов конструкций. [Текст] /Работнов, Ю.Н. / М: Наука, 1966. – 752 с.

А.К. Колотилов, студ.; рук. Д.А. Пирогов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ МЕХАНИЗМА ПРОКЛАДКИ УТКА ЛЕНТОТКАЦКОГО СТАНКА

Цель работы – исследовать работоспособность механизма прокладки утка лентоткацкого станка с использованием различных способов динамического анализа.

Механизм привода челноков лентоткацкого станка ТЛА-2/70-С, состоит из сервопривода, от которого зубчато-ременной передачей приводятся в движение шкивы вертикальных валов, с закрепленными на концах зубчатыми колесами, челноков.

Для достижения поставленной цели в работе разработана динамическая модель и решена задача о вынужденных колебаниях. Получены графики угловых деформаций сечения вала под дисками.

Вторым этапом работы является численное исследование динамики механизма привода челноков лентоткацкого станка с использованием MSCAdams. В MSCAdams создана конечно-элементная модель ТЛА-2/70-С и определены угловые деформации сечений каждого вала в местах крепления шкивов и колес.

Анализируя полученные графики на примере угловой деформации сечения вала 1 в месте крепления колеса (рис. 1) видно, что при аналитическом расчете максимальная угловая деформация $1,13 \cdot 10^{-4} \text{ }^\circ$, при численном расчете $1,7 \cdot 10^{-3} \text{ }^\circ$

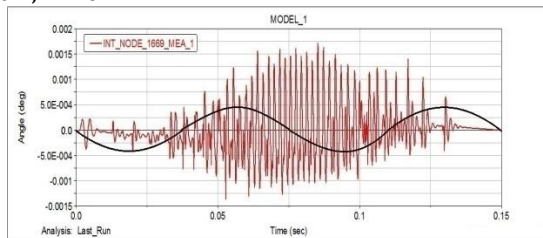


Рис.1. Угловая деформация сечения вала

Различия графиков объясняются принятыми моделями и методами их исследованиями. Решение в MSCADAMS производится методом конечных элементов, где принимается во внимание весь спектр собственных частот, а решение ищется в соответствие с принципом суперпозиции. При этом значительную корректировку в результат могут внести размер и форма конечных элементов, применяемый решатель, демпфирование и многие другие факторы.

*Д.А. Бакаев, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ И ПРОГРАММЫ РАСЧЕТА РЕДУКТОРА ИСПОЛНИТЕЛЬНОГО ОДНООБОРОТНОГО МЕХАНИЗМА

Задача заключается в разработке, согласно заданной кинематической схемы, методики проектирования и программы расчета в среде Matcad многоступенчатого редуктора и ручного привода исполнительного однооборотного механизма (ИОМ) постоянной скорости (прототип – механизмы типа МЭО). Задача ставилась с целью дать информацию студенту, изучающему по своему направлению обучения промышленные технологии и системы автоматического управления:

- об устройстве и принципе работы ИОМ;
- об основах расчета кинематики, геометрии и прочности основных частей редуктора ИОМ.

Основой ИОМ является многоступенчатый редуктор, выполненный на основе цилиндрических (ЦП) и планетарной (ПП) передачи, причем ПП выполняет роль обращенного дифференциала, обеспечивая вместе с червячной передачей (ЧП) ручной привод механизма.

Поскольку ИОМ относится к не силовым, а к приборным механизмам, то методически его расчет отличается от расчета силовых редукторов. Разработанная методика расчета зубчатых передач предполагает в процессе создания кинематической компоновочной схемы ИОМ задание передаточных отношений, чисел зубьев, модулей зацепления, по которым рассчитываются геометрические параметры передач. Методика предусматривает расчет крутящих моментов на валах (включая червячный вал ручного привода) и сил в зацеплении ЦП, а также проверочные расчеты на прочность всех видов передач. Также методика содержит принципы выбора электродвигателей (ЭД) прямого привода редуктора ИОМ (типы УАД или ДАТ) и основные положения конструирования валов (с проверкой на статическую прочность) и выбора подшипников (с проверкой на долговечность).

Разработанная методика обеспечивает получение высоких технических характеристик ИОМ: большое передаточное отношение, обеспечивающее требуемую скорость перемещения регулирующего органа; достаточно высокое к.п.д., что позволяет использовать ЭД меньшей мощности; удобство осуществления ручного привода.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЙ В ЭЛЕМЕНТАХ ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Напряженно-деформированный анализ – неотъемлемая часть процесса проверки оборудования перед выбором его модели и выпуском в производство. Результаты используются также для изменения параметров элементов оборудования.

В шлифовальном станке(рис. 1) это означает, что можно производить замену электродвигателя на менее мощный, материал на более прочный или геометрию элементов на более прочную[1,2].В работе проводится исследование модели на напряженно-деформированное состояние при холостом режиме работы.

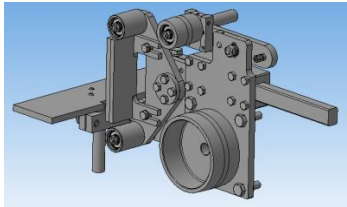


Рис. 1. общий вид сборки

На гранях роликов задаются вычисленные силы. Выводятся значения напряжений (рис. 2).

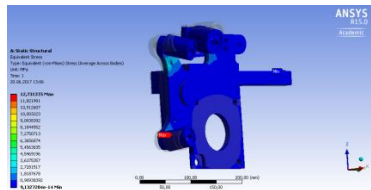


Рис. 2. Расчетное напряженное состояние

Расчеты показывают, что наибольшее усилия на поверхности станка почти в 15 раз меньше допустимых. Эти значения могут изменяться в зависимости от положения регулировочного ролика.

Библиографический список

1. **Коротков, В. И.** Деревообрабатывающие станки / В.И. Коротков. - М.: Академия, 2009. - 304 с.
2. **Лоскутов В.В.** Шлифовальные станки. – 2-е изд., перераб. И доп.- М.: Машиностроение, 1988. -176

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ «ШНЕК»

Современная наука характеризуется более быстрым развитием по сравнению с предшествующими эпохами и продолжает набирать темпы. Это оказывает влияние на жизнь современного человека и не только в научной сфере, но и в повседневной жизни. Люди используют всё более сложные устройства и машины, поэтому в современном производстве больше внимания уделяют качеству товаров. Производитель должен доказывать постоянно, что его товар превосходит или не уступает конкурентам по функциональности и удобству, а так же что он прослужит новому владельцу достаточно долго.

Устройство «шнек» получило обширное применение в современном мире – оно используется в машинах, транспортных и научных установках и бытовых предметах. Иногда, например, в бытовых приборах и устройствах к качеству инструмента не предъявляется высоких требований, однако в промышленности и науке ситуация обстоит иначе. Порой замена или ремонт какой-либо части или агрегата наносит серьёзный урон предприятию или научной организации, в связи с этим необходимо, чтобы устройство отличалось высокой надёжностью и долговечностью.

В связи с вышеизложенным целью работы явилось изменение конструкции «шнек», вызванная необходимостью установки уплотнителя между лопастью и корпусом.

Установка служит для перемещения материалов или смешивания каких-либо реагентов с жидкостями. Таким образом, в результате работы в подшипники может попадать вода или иная агрессивная жидкость. Попадание воды вызовет ржавление в подшипниках, что в свою очередь приводит к преждевременному выходу из строя установки, и как результат материальные затраты и потеря времени (простой).

Однако при изменении конструкции необходимо так же учесть такой фактор, как простота эксплуатации. Установка уплотнителя вызвала серьёзные изменения в конструкции, в связи с чем эксплуатация была несколько усложнена. Принято решение так же изменить конструкцию лопасти путём разбиения её на две части: лопасть и втулка. Соединение между частями обеспечивается болтовым соединением.

В результате работы получена новая конструкция «шнека», которая позволяет защитить подвижные части устройства от попадания агрессивной среды и выхода из строя.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ КОСТИ КАК СЛОЖНОЙ МЕХАНОБИОЛОГИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ

Тема научной работы связана с актуальной проблемой восстановления кости после перелома при реконструкции пористыми имплантатами. Из медицинских исследований известно, что костная ткань при использовании пористых имплантатов не полностью заполняет весь предоставленный ей объём по истечению нескольких лет после перелома. Сложная биомедицинская проблема требует применения методов механики гетерогенных сред и численного моделирования [1].

В рамках работы было проведено исследование изменения физических свойств кости как сложной механобиологической системы при механическом воздействии гармонического характера. Для решения задачи использованы методы компьютерного моделирования и разработанный в [1] алгоритм структурной перестройки костной ткани и механизм образования нового фенотипа ткани. Диффузия активных стволовых клеток приближает рассматриваемую экспериментах модель системы «кость–имплантат» к реальным процессам регенерации и восстановления кости при реконструкции пористыми имплантатами.

Проведён модальный анализ полноразмерной трёхмерной конечно-элементной модели системы «кость–имплантат». Определены собственные частоты и формы колебаний при различных стадиях заживления и значении пористости имплантата. Численные эксперименты выявили закономерности регенерации системы «кость–имплантат» и особенности постепенного заполнения области перестройки костными тканями от отломка и костной мозоли к середине области перелома.

Полученные на трёхмерной модели результаты свидетельствуют о том, что требуется проводить восстановительный процесс таким образом, чтобы при увеличении частоты гармонического воздействия величина динамической составляющей уменьшалась. Оптимальное значение отношения амплитуды вынужденных колебаний к статической составляющей лежит в пределах от 1% до 10%. Из проведённых численных экспериментов найдены оптимальные параметры силового воздействия для описания механизма регенерации костной ткани.

Библиографический список

1. **Маслов, Л.Б.** Математическая модель регенерации костной ткани в пористом имплантате / Маслов Л.Б. // Механика композ. материалов. 2017. Т. 53. № 3. С. 1–24.

*И.Л. Маслова, П.В. Суркова, студ.; рук. Л. Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭНДОПРОТЕЗА ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА В ПРОГРАММНОМ КОМПЛЕКСЕ ABAQUS

Целью данной работы является расчет на прочность модели эндопротеза тазобедренного сустава при статической нагрузке с использованием конечно-элементного анализа.

Современный эндопротез тазобедренного сустава состоит из двух компонентов: тазового, замещающего вертлужную впадину, и бедренного, замещающего головку бедренной кости. Тазовый компонент представляет собой металлическую оболочку со вставкой, состоящую из полиэтилена или керамики. Металлическая оболочка подвергается прессованию или ввинчивается в подготовленную вертлужную впадину. Бедренный компонент состоит из ножки и шаровой головки. Протезная головка изготовлена из керамики или кобальта-хрома. Протезный штوك выполнен из титанового сплава [1].

Ставится задача компьютерного моделирования реконструкции поврежденного таза с помощью тазового имплантата и сравнения распределения напряжений и перемещений в здоровом и восстановленном тазах. Трехмерные конечно-элементные модели имплантата и поврежденного таза строятся с помощью данных компьютерной томографии. К пятому поясничному позвонку прикладывается вертикальная нагрузка 500 Н, таз фиксируется в положении стоя на двух ногах. Согласно исследованию [2], в здоровом тазу распределение напряжений сосредоточено в верхней области вертлужной впадины, дугообразной линии подвздошной кости, крестцово-подвздошном суставе. В восстановленном тазу распределение напряжений сосредоточено в верхней части вертлужной впадины, соединении между CS-фиксатором и вертлужной впадиной и между эндопротезом и крестцово-подвздошным суставом. Следовательно, распределение напряжений в восстановленной биомеханической системе «скелет-эндопротез» качественно и количественно схоже с напряжениями в здоровом тазе.

Библиографический список

1. **Zhou Y.** Finite element analysis of the pelvis after modular hemipelvic endoprosthesis reconstruction / Y. Zhou, L. Min, Y. Liu, R. Shi, W. Zhang, H. Zhang, H. Duan, C. Tu // *International Orthopaedics (SICOT)*. 2013. Vol. 37. P. 653–658.
2. **Klues D.** Finite Element Analysis in Orthopaedic Biomechanics / D. Klues, J. Wieding, R. Souffrant, W. Mittelmeier, R. Bader / *Finite Element Analysis*. 2010. P. 151–170.

*И.А. Зелинский, студ. ИППТ СПбПУ, инженер СПбПУ;
рук. М.А. Жмайло, ведущий инженер СПбПУ
(СПбПУ, г. Санкт-Петербург)*

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТАЗОБЕДРЕННОГО СУСТАВА ПОСЛЕ ОПЕРАЦИИ ЭНДОПРОТЕЗИРОВАНИЯ

В настоящее время актуальна задача о разработке передовых протезных конструкций для улучшения качества жизни людей. Целью проведения эндопротезирования является, в частности, обеспечение нормального функционирования суставов. Априорное прогнозирование срока службы протеза возможно только при учете набора факторов, включающих сложную форму изделий, гетерогенные материалы, динамические нагрузки, многочисленные контактные взаимодействия.

Основной задачей работы являлось исследование напряженно-деформированного состояния и определение прочности биомеханической системы «скелет-эндопротез» тазобедренного сустава при условии нагружения, соответствующего двухопорному стоянию человека.

Одним из эффективных способов решения данной задачи является прямое конечно-элементное моделирование [1]. В работе представлены постановка задачи компьютерного моделирования и результаты конечно-элементного анализа напряженно-деформированного состояния системы, образованной скелетом и эндопротезом тазобедренного сустава человека при двухопорном стоянии. Основное внимание уделено расчету напряжений в тазовом компоненте эндопротеза при статической нагрузке на конструкцию, возникающей от усилия затяга медицинских винтов в кость и собственного веса пациента.

В результате расчетов в системе конечно-элементного анализа ABAQUS выявлено, что наиболее уязвимым местом является кортикальный слой тазобедренной кости вокруг отверстий для титановых винтов, подверженный высоким нагрузкам ввиду затяга винтов. Таким образом, при проведении операции, с целью обеспечения прочности тазобедренной кости, наибольшее внимание следует уделить правильному позиционированию конструкций относительно скелета и точной установке винтов во избежание нежелательного разрушения кортикального слоя кости вокруг отверстий.

Библиографический список

1. **Zhou Y.** Finite element analysis of the pelvis after modular hemipelvic endoprosthesis reconstruction / Y. Zhou, L. Min, Y. Liu, R. Shi, W. Zhang, H. Zhang, H. Duan, C. Tu // International Orthopaedics (SICOT). 2013. Vol. 37. P. 653–658.

*П. В. Лебедев, студ.; рук. Т. В. Шмелева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ БИОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Орте́з — внешнее медицинское приспособление, предназначенное для изменения структурных и функциональных характеристик нервно-мышечной и скелетной системы: разгрузки, фиксации, активизации и коррекции функций повреждённого сустава или конечности. В частности это корсеты, бандажи, аппараты, специальная обувь, стельки и пр. [1]

Ортез применяется при нестабильности связочного аппарата суставов, травмах, при занятиях спортом, артрозе и артрите суставов, в послеоперационный период.

В ходе работы были напечатаны образцы для испытания (3D печать) из материала разных производителей. В процессе эксплуатации производят нагрев ортезов для придания им формы. Поэтому были произведены испытания образцов до нагрева и после нагрева (с последующим охлаждением до комнатной температуры).

Получены прочностные и жесткостные характеристики. Выполнен сравнительный анализ и подобран оптимальный вариант материала.

Полученные экспериментальные данные позволяют произвести расчет на прочность и жесткость в программном комплексе ANSYS ортезов, выполненных с различным коэффициентом заполнения и подобрать оптимальный вариант.

Библиографический список

1. Ортез. <https://ru.wikipedia.org>.

*П.В. Королёв, асс.; рук. Л.Б. Маслов, доц., д.ф-м.н.,
М.А. Шилов, доц., к.т.н.*

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ЗАДАНИЯ КАЧЕНИЯ ШИНЫ НА РЕЗУЛЬТАТЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

Колёса автомобилей, в отличие от многих других машин массового производства, подвергаются изменчивым и разнообразным внешним воздействиям. Поэтому оценивать конструкции автомобильной шины приходится по множеству эксплуатационных свойств, а их совершенствование можно осуществлять только на основе все более глубокого изучения рабочих процессов взаимодействия покрышки с окружающей средой, в том числе через совершенствование способов задания качения шины при моделировании.

В работе приведен сравнительный анализ результатов моделирования качения шины по поверхности при линейном и радиальном способе задания движения. Для достижения поставленной цели использовался программный комплекс конечно-элементного моделирования AbaqusCAE [1]. Для оптимизации вычислительного эксперимента материалы шины приняты линейно упругими, а форма шины максимально упрощена [2]. В ходе эксперимента оценивались: максимальное напряжение по Мизесу, контактное давление в точке и перемещение шины в пространстве (рис. 1).

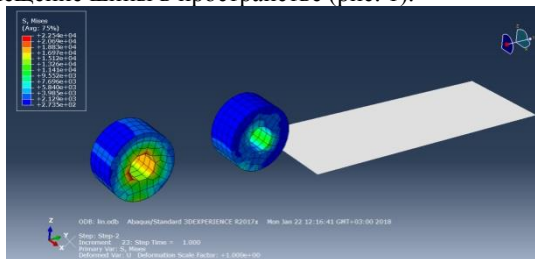


Рисунок 1 – Результаты МКЭ

Установлено, что способ задания качения шины в ходе динамического численного эксперимента оказывает значительное влияние на результат. Исследование только квазистатического качения не предоставляет полной информации о физико-механических свойствах шины при пиковых нагрузках при торможении или ускорении автомобиля.

Библиографический список

1. **Yang X.** Finite element analysis and experimental investigation of tyre characteristics for developing strain-based intelligent tyre system. - Birmingham, 2011. - September. - С.86-88.
2. **Маслов, Л.Б.** Моделирование динамики шины методом конечных элементов // Л.Б. **Маслов, М.А. Шилов, П.В. Королёв.** - Автоматизированное проектирование машиностроения, 2017. - № 5. – С. 58-61.

С.А. Маньшин, студ.; рук. Д.А. Пирогов, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЖЕСТКОГО СТЕРЖНЯ БОЛЬШОЙ КРИВИЗНЫ

В работе решается задача математического моделирования напряженно-деформированного состояния нити утка как составной части сформированной объемной тканой структуры (рис.1).

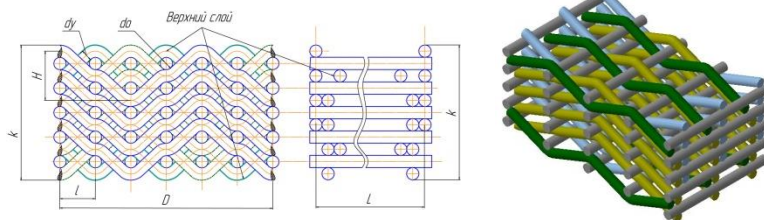


Рис.1.Геометрическая модель элемента утка

Для этого деформированная нить утка рассматривается в виде жесткого стержня большой кривизны круглого поперечного сечения[1]. Заранее известны его геометрические характеристики в исходном и деформированном состояниях (рис.1.). Далее по известным относительным деформациям определяются силовые факторы в поперечных сечениях стержня.

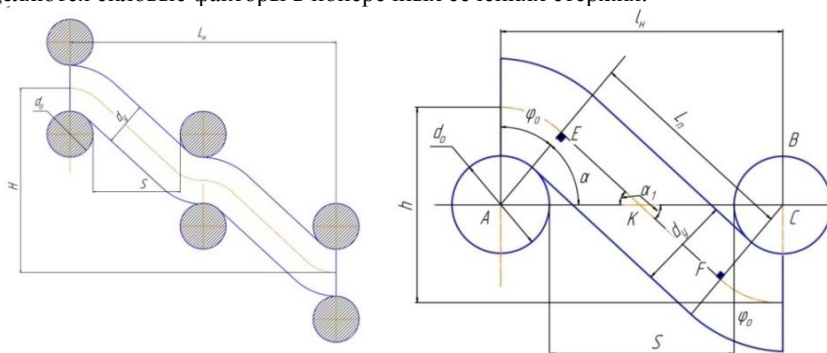


Рис.2.Геометрическая модель элемента утка

Для определения внутренних усилий и внешних связей в соответствие с расчетными схемами (рис.2) рассмотрено статическое равновесие деформированного стержня (нити утка). В результате определяются поперечная сила Q_z и реакция, действующая со стороны нити основы R_z .

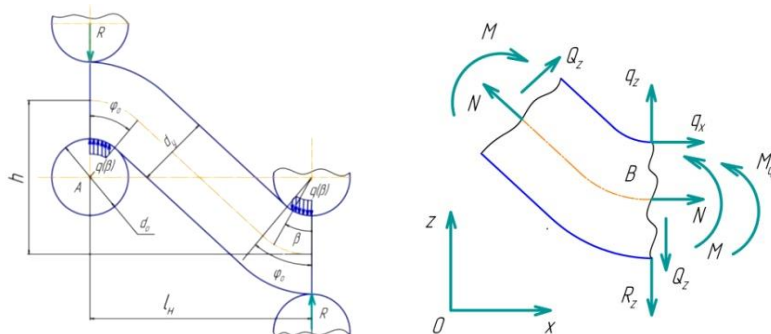


Рис.3. Расчетные схемы к приближенному определению внутренних усилий и внешних связей

В результате разработана математическая модель квазистатического деформированного состояния нити утка объемной тканой структуры, учитывающая функциональную связь между возникающими в сечениях нити нормальными напряжениями и ее относительным удлинением.

Таким образом, определение сил, действующих со стороны нити утка на нити основы, дает возможность исследования напряженно-деформированного состояния объемной тканой структуры.

Библиографический список

1. **Беляев, Н.М.** Сопроотивление материалов [Текст]/Н.М. Беляев. – М.: Наука, 1976. – 608 с.

СЕКЦИЯ 25
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

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

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

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

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ДИСПЕРСНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Работа любого смесителя характеризуется двумя основными факторами: его производительностью и предельно достижимой однородностью смеси. При смешивании склонных к сегрегации разнородных дисперсных материалов полностью однородная смесь не достижима в принципе. Существует оптимальное время смешивания, при котором однородность достигает максимального значения; при продолжении смешивания она снова снижается. При однократной загрузке смесителя компонентами его производительность тем больше, чем больше загружено смеси. Однако при этом увеличивается высота слоев загруженных компонентов. Используя описанную в работе [1] ячеечную модель кинетики смешивания, численными экспериментами было показано, что с уменьшением высоты загрузки может быть получена все более однородная смесь, а максимальная однородность достигается при меньшем времени смешивания, но при этом, естественно, снижается производительность, поскольку компоненты приходится загружать в несколько приемов.

Для выбора рациональной организации процесса была предложена следующая целевая функция. Это полное время цикла смешивания, которое состоит из времени собственно смешивания и времени загрузки. При уменьшении величины загрузки время собственно смешивания убывает, а время загрузки возрастает, поскольку для достижения одинаковой производительности смесь приходится загружать несколько раз. В численных экспериментах показано, что при заданной производительности существует оптимальное число загрузок отдельных порций сырья, которое существенно зависит от времени загрузки отдельной порции.

Библиографический список

1. Mizonov, V., Balagurov, I., Berthiaux, H., Gatamel, C. A Markov chain model of mixing kinetics for ternary mixture of dissimilar particulate solids. *Particuology*, 31 (2016) 80-86.

*Е.Ю. Курылин, студ.; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭВОЛЮЦИИ СОСТОЯНИЯ ЦЕПИ МАРКОВА С ПЕРИОДИЧЕСКИ МЕНЯЮЩЕЙСЯ МАТРИЦЕЙ ПЕРЕХОДНЫХ ВЕРОЯТНОСТЕЙ

Рассматривается задача об эволюции состояния эргодической цепи Маркова с периодически меняющейся матрицей переходных вероятностей. Эта эволюция описывается рекуррентным матричным равенством [1]

$$\mathbf{S}^{k+1} = \mathbf{P}\mathbf{S}^k, \quad (1)$$

где \mathbf{S}^k – вектор k -го состояния цепи, а k – номер временного перехода (дискретный аналог времени). Матрица переходных вероятностей \mathbf{P} это трехдиагональная квадратная матрица размером $m \times m$ (m – число ячеек цепи), элементами которой являются вероятности переходов из одних ячеек цепи в другие. Эти элементы в рассматриваемой задаче должны рассчитываться по следующим формулам:

$$P_{j+1,j}^k = d + e v_0 \sin(\omega k), \quad j=1, \dots, m-1, \quad (2)$$

$$P_{j,j+1}^k = d + (1-e) v_0 |\sin(\omega k)|, \quad j=1, \dots, m-1, \quad (3)$$

$$P_{j,j}^k = 1 - \sum(\mathbf{P}(:,j)) \quad , \quad j=1, \dots, m, \quad (4)$$

где d – вероятность чисто стохастических (симметричных) переходов, $v_0 \sin(\omega k)$ – пульсирующая вероятность конвективных (несимметричных) переходов (ω – частота колебаний), $e=1$ при $v_0 \sin(\omega k) > 0$ и $e=0$ при $v_0 \sin(\omega k) < 0$.

На основе описанной выше модели были выполнены численные эксперименты. Асимптотическое состояние цепи не зависит от начального вектора состояния \mathbf{S}^0 , но является нестационарным с периодически повторяющимся вектором \mathbf{S} , изменяющимся волнообразным образом. Амплитуда этой волны зависит от частоты колебаний ω , причем имеется частота, при которой амплитуда волны максимальна. При $\omega \rightarrow \infty$ асимптотическое состояние является стационарным и равномерным.

Библиографический список

1. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е. Введение в теорию цепей Маркова и ее инженерные приложения: Учеб.пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». Иваново, 2010. – 80 с.

Д.С.Крылов, студ.; рук. Н.Р.Лезнова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г.Иваново)

О ДВИЖЕНИИ ТОЧКИ ОКОЛО ГРАНИЦЫ РАЗДЕЛА ДВУХ СРЕД

Рассматривается следующая задача динамики материальной точки. Точка падает в воздухе с нулевой начальной скоростью с высоты h при линейном сопротивлении среды в жидкость, где k действующим на нее силам добавляется сила Архимеда и меняется (возрастает) коэффициент линейного сопротивления. Необходимо описать движение точки при различных соотношениях ее плотности и плотности жидкости.

Уравнения движения точки имеют вид

$$x < h: m dv/dt = mg - k_1 v, \quad (1)$$

$$x > h: m dv/dt = mg - k_2 v - mg(\rho_2/\rho_1), \quad (2)$$

$$dx/dt = v, \quad (3)$$

где m – масса точки, ρ_2 , ρ_1 и k_1 , k_2 – плотности жидкости и точки и коэффициенты сопротивления в воздухе и в жидкости, соответственно.

Система (1)-(3) решалась численно в среде MATLAB. На рисунке показаны законы движения и изменения скорости точки при различных соотношениях плотности жидкости и точки.

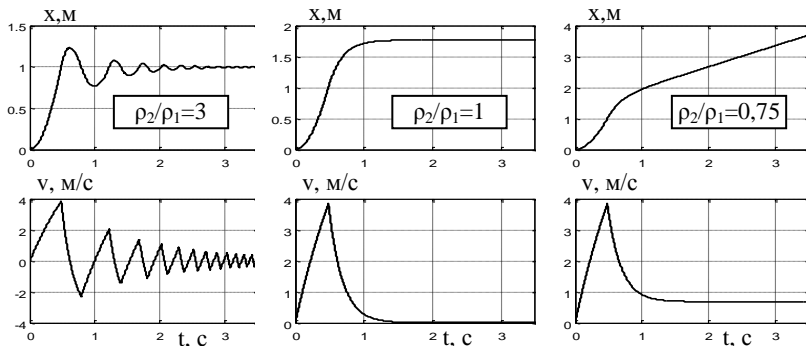


Рис. Закон движения и изменения скорости точки при различных соотношениях плотности жидкости и точки

При $\rho_2/\rho_1 > 1$ движение носит характер затухающих колебаний с периодически «выпрыгиванием» точки над поверхностью жидкости, при $\rho_2/\rho_1 = 1$ точка асимптотически уравнивается на определенной глубине в жидкости и при $\rho_2/\rho_1 < 1$ точка неограниченно погружается в жидкость с асимптотически постоянной скоростью.

**В.С. Гарманов, студ.; А.В. Тумаков студ.; рук. А.В. Митрофанов,
к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)**

ЯЧЕЕЧНАЯ МОДЕЛЬ ТЕРМОПРЕОБРАЗОВАНИЯ БИООРГАНИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ В ЦИРКУЛИРУЮЩЕМ КИПЯЩЕМ СЛОЕ

В энергетических аппаратах для достижения эффективного контакта газ-частица широко используется режим форсированного псевдоожижения, допускающий унос частиц из основного реактора и принудительный возврат обратно. Высокая стохастичность движения частиц при этом не позволяет строить детальные модели процесса, в то же время неоднородность слоя ограничивает возможность его описания как системы с сосредоточенными параметрами. Целью работы является разработка и проверка модели компромиссной структуры, где параметры процесса фиксируются в ячейках малого, но конечного объема.

Математической основой описания процесса является теория цепей Маркова: пространство основного реактора представляется как цепь ячеек, между которыми вводятся перетоки воздуха и частиц, а также связанных с ними аддитивных свойств фаз (теплоты, влагосодержания). Доли переносимых между соседними ячейками свойств контролируются соответствующими матрицами переходных вероятностей, являющихся основными операторами моделей на основе цепей Маркова. Для описания циркуляции частиц вводится дополнительная единичная вероятность перехода из последней ячейки цепи в первую. Данный переход осуществляется без задержки по времени. Параметрическая идентификация модели произведена ранее [1], на данном этапе работы была выполнена эмпирическая ее проверка при проведении натуральных экспериментов по сушке частиц чечевицы в аппарате с циркулирующим кипящим слоем (ЦКС). Эксперимент предполагал замеры локальных параметров процесса по высоте установки (концентрации частиц, влажности и температуры воздуха), а также интегральных параметров процесса (среднего влагосодержания частиц).

Показано хорошее соответствие расчетных прогнозов и результатов натурального эксперимента, что позволяет расценивать предлагаемую модель в качестве научной основы для поиска рациональных режимов работы аппаратов ЦКС.

Библиографический список

1. **Митрофанов, А.В.** Расчетно-экспериментальное исследование процесса сушки картофеля в кипящем слое // Изв. вузов. Пищевая технология.–2017.– № 4.– С. 71-74.

*Е.Р. Шумыло студ.; И.С. Панюшкин студ.; А.С. Трушевич, студ.;
рук. А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ЦЕПЕЙ МАРКОВА К МОДЕЛИРОВАНИЮ РАЗЛИЧНЫХ РЕЖИМОВ СУШКИ ЧАСТИЦ ВО ВЗВЕШЕННОМ СОСТОЯНИИ

Сушка сыпучего материала может быть реализована в плотном и псевдоожиженном состоянии. На кинетику процесса оказывают влияние как гидродинамический режим, так и температура сушильного агента. Выбор между сушкой в плотном или псевдоожиженном состоянии не всегда очевиден, так как реализация более форсированных режимов не обязательно интенсифицирует целевой процесс, а надежные модели для его прогнозирования в значительной мере основаны на эмпирических данных и не гарантируют качество прогноза при выходе за границы исследованных диапазонов режимов и материалов.

В настоящей работе на расчетном и экспериментальном уровне исследованы сценарные варианты реализации процесса. Математическое описание процесса на основе теории цепей Маркова и параметрическая идентификация модели была проведена в предыдущей работе [1]. На настоящем этапе исследования было проведено сравнение результатов расчета с результатами натурных экспериментов, в которых сыпучий влажный материал высушивался в режиме фильтрации сушильного агента через неподвижный слой и в режиме псевдоожижения. От эксперимента к эксперименту варьировались как расходы оживающего агента, так и тепловые его характеристики.

Расчетным и экспериментальным путем показано, что при высоких температурах сушильного агента ($>35^{\circ}\text{C}$) в условиях эксперимента процесс лимитируется внутренней диффузией влаги в частицах, поэтому увеличение расхода воздуха не является целесообразным. При более низких температурах напротив: переход от плотного слоя к кипящему, а затем – все к более форсированным режимам оживающего агента значительно интенсифицирует процесс.

Для всех режимов достигнуто хорошее соответствие расчетных и экспериментальных параметров процесса, что позволяет рассматривать предложенную модель в качестве достоверной научной основы для описания теплообменных процессов во взвешенном слое.

Библиографический список

1. **Митрофанов, А.В.** Математическая модель эволюции состояния слоя дисперсного топлива при нагреве и сушке в плотном и псевдоожиженном слое. – Вестник ИГЭУ. – 2015. – № 2. – С. 67-70.

*Д.А.Осипов, асп.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИЗМЕЛЬЧЕНИЯ СМЕСИ РАЗНОПРОЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

В технологических процессах измельчению часто подвергаются не отдельные компоненты, а смесь неоднородных разнопрочных компонентов, которые в силу технологической необходимости целесообразно разделить [1]. На тепловых электрических станциях примером такой технологической необходимости является измельчение угля, содержащего включения серного колчедана, попадание которого в энергетические котлы приводит сернокислой коррозии газо-воздушного тракта котла и к загрязнению окружающей среды окислами серы.

Целью исследования является моделирование процесса измельчения разнопрочных компонентов для определения эффективных технологий для их разделения.

Для исследования процесса селективного измельчения предложена математическая модель, построенная на использовании принципа максимума информационной энтропии [2].

Для численного решения задачи измельчения смеси компонентов разработан метод, построенный на синтезе аналитического решения задачи измельчения монофракции отдельного компонента при заданном подводе энергии и численного решения задачи оптимального распределения энергии по фракциям компонентов. Решение указанной оптимизационной задачи выполнено методом статистического программирования.

Разработанная математическая модель служит основой для создания и анализа методов разделения компонентов в технологических установках различного назначения.

Библиографический список

1. **Жуков В.П., Осипов Д.А., Otwinowski H., Urbaniak D.** Расчетно-экспериментальные исследования измельчения смеси разнопрочных компонентов. Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2017. Т. 60. Вып. 6. С. 109-115.
2. **Zhukov V., Mizonov V., Filitchev P., Bernotat S.** The modelling of grinding process by means of the principle of maximum entropy. PowderTechnology. 1998. V. 95. P. 248.

*Д.Е.Дрязгов, студ; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТРИЧНАЯ ФОРМАЛИЗАЦИЯ И РЕШЕНИЕ ЗАДАЧИ СТАЦИОНАРНОЙ ТЕПЛОПРОВОДНОСТИ

Для решения задач теплопроводности разработано большое число аналитических и численных методов и прикладных программ для их реализации. Однако для решения некоторых узконаправленных технологических задач часто требуется анализ теплового состояния оборудования в рамках отдельного авторского программного комплекса с использованием простого программного кода при обеспечении достаточной для инженерных расчетов точности. Примером таких задач может служить анализ температурного состояния электрических машин или электронных устройств.

Целью исследования является моделирование и матричная формализация расчета теплового состояния электромеханических объектов.

Формулировка и решение задачи выполнено на основе уравнения теплопроводности, для решения которого использован метод конечных разностей, который при простоте реализации кода обладает достаточной для инженерных расчетов точностью. Основная проблема, решаемая при разработке правил формализации модели, заключалась в формировании алгоритма, позволяющего представлять анализируемый объект произвольным числом элементов выбирать число этих элементов таким образом, чтобы получить требуемую точность решения. Разработанный алгоритм позволяет при решении уравнения теплопроводности автоматически получать расчетную матрицу, а также записывать матрицу искомых температур в виде вектора, необходимого для получения решения, и сворачивать этот вектор в таблицу, необходимую для наглядного представления результатов расчета. Одним из важных результатов исследования является определение влияния числа элементов на точность вычислений и нахождение числа ячеек необходимого для получения точности, достаточной для инженерного анализа теплового состояния электромеханической системы.

Разработанная формализация расчета служит основой для создания и анализа эффективных методов контроля теплового состояния электромеханического оборудования различного назначения.

*К.А. Касаткин, студ.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ ПРИ СКОЛЬЗЯЩЕЙ ГРАНИЦЕ ФАЗОВОГО ПЕРЕХОДА

Методы решения задач теплопередачи в поверхностных теплообменных аппаратах обычно применимы в тех случаях, когда фазовое состояние теплоносителей в каждой ступени теплообменного аппарата остается постоянным и известно заранее. В этом случае для описания каждой элемента (ступени) может, например, использоваться одна из известных моделей [1].

Если границы начала или окончания фазовых переходов теплоносителей заранее неизвестны, то расчет теплообмена в поверхностном подогревателе существенным образом усложняется в силу необходимости учитывать моменты начала или окончания указанных переходов в одном или обоих теплоносителях.

Для возможности проведения расчетов, позволяющих на каждом шаге решения задачи отслеживать фазовое состояние теплоносителей, предложен специальный алгоритм: поверхность теплообмена разбивается на участки конечной площади; на каждом участке определяется фазовое состояние каждого теплоносителя и выбирается соответствующая расчетная матричная модель [1]; по заданным входным параметрам определяются выходные параметры анализируемой ступени; расчет выполняется до достижения конечного участка поверхности нагрева рассчитываемого подогревателя.

Результаты решение задачи теплообмена, полученные согласно представленного алгоритма, позволяют определить фазовое состояние и параметры теплоносителей в каждой точке теплообменника.

Разработанный подход позволяет проводить расчет эффективности теплообмена при возможном фазовом переходе в каждом теплоносителе и определять технологические условия, при котором такой переход возможен.

Библиографический список

1. **В.П. Жуков, Е. В. Барочкин.** Системный анализ энергетических тепломассообменных установок ISBN 978-5-89482-625-7 Иваново 2009,176с

Р.О. Горелкин, студ.; рук. Е.А. Шуина, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЦЕПЕЙ МАРКОВА С КОЛЛЕКТОРОМ ЧАСТИЦ

Теория цепей Маркова применялась к моделированию перемешивания многими авторами: Ю.И. Макаровым, В.Ф. Першиным и многими другими. Однако это применение в большинстве было фрагментарным и касалось решения частных задач моделирования процесса. В 2000г международная группа под руководством В.Е. Мизонова и А. Бертье начала всестороннее систематическое применение этой теории к моделированию процессов смешивания, мы являемся последователями этой школы.

В данной работе исследовались цепи с порождением частиц и поглощающей (абсорбирующей) ячейкой. Эта ячейка – коллектор частиц: попав в это состояние, частицы покидают рабочие ячейки цепи навсегда. Вектор порождения частиц – это вектор подачи компонента в рабочий объем смесителя. После каждого перехода он добавляется к текущему вектору состояния, и кинетическое уравнение приобретает вид $S^{k+1} = PS^k + Sf^k$. На рисунке 1 показан пример эволюции единичной порции компонента, введенной в первую ячейку, в цепи с абсорбирующей последней ячейкой, куда асимптотически переходит весь компонент. Выход компонента в абсорбирующую ячейку рассчитывается по показанной выше формуле, а его график представляет собой гистограмму распределения времени пребывания (РВП), выраженного через число переходов. Она показана на рис. 1 справа и характеризуется моментами этого распределения. Первый момент – это среднее время пребывания компонента в цепи, второй центральный – дисперсия РВП; моменты более высоких порядков используются редко.

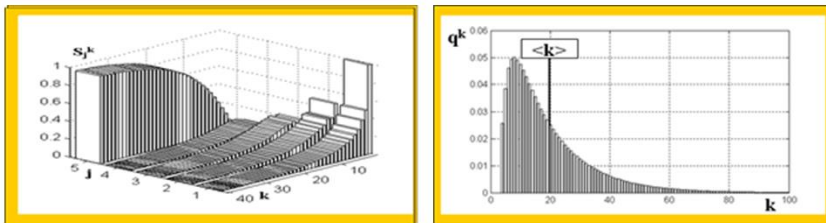


Рис.1. Эволюция состояния цепи с абсорбирующей ячейкой ($d=0,3$; $v=0,2$) и гистограмма выхода материала в абсорбирующую ячейку – распределение времени пребывания (РВП) частиц в цепи

А.С. Курилов, студ.; рук. Е.А. Шуина, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ СТАТИЧЕСКОГО ПОВОРОТНОГО СМЕСИТЕЛЯ

Статические смесители довольно широко распространены в промышленности. Их конструкции разнообразны, но в направлении определяющей движущей силы (силы веса) принцип действия однотипен и может быть описан на основе теории цепей Маркова. Предположим, что в верхней части вертикального канала расположены два компонента А и В, которые необходимо смешать. Расчетная схема процесса представлена на рис.1 слева. При постоянной матрице М (однородный марковский процесс) кинетика прохождения компонентами зоны смешивания описывается матричными уравнениями.

$$S_A^{k+1} = M_A (S_A^k + S_{fA}^k), \quad (1)$$

$$S_B^{k+1} = M_B (S_B^k + S_{fB}^k), \quad (2)$$

где S_{fA} и S_{fB} – векторы-столбцы подачи материала в зону смешивания, матрицы M_A и M_B – матрицы переходных вероятностей для компонентов А и В. На рис.1 справа права внизу показана эволюция неоднородности смеси при одинаковом времени пребывания компонентов в зоне смешивания (нет сегрегации, нижняя кривая) и при разном. Во втором случае однородная смесь недостижима при любом числе поворотов смесителя.

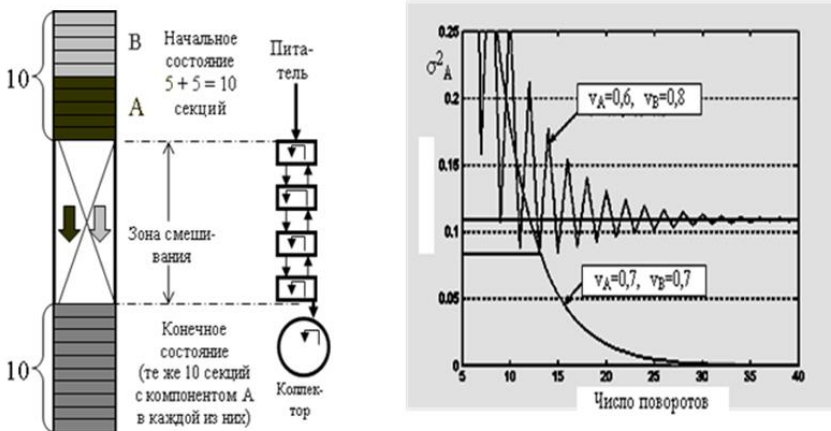


Рис.1. Расчетная схема процесса в статическом смесителе и эволюция состояния смеси

*А.Ф. Camelo, асп.; А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА ИНЖЕНЕРНОГО МЕТОДА ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ СУШИЛОК ПЛОТНОГО И ПСЕВДООЖИЖЕННОГО СЛОЯ

Наиболее энергоемким этапом подготовки дисперсного твердого топлива является сушка, чаще всего реализуемая во взаимодействии с потоком сушильного агента. Вопрос выбора энергоэффективного способа реализации сушки является актуальным для инженера-технолога.

Оказывать принципиальное влияние на протекание процесса в условиях инженерной практики возможно двумя путями: за счет изменения температуры сушильного агента и за счет изменения его расхода. Повышение температуры и расхода сушильного агента, казалось бы, должно увеличивать скорость достижения заданной влажности топлива, однако, это не так. При реализации все более форсированных режимов изменяется характер взаимодействия потока с сыпучим материалом (плотный его слой переходит в псевдоожигенное состояние, которое может сопровождаться разной степенью перемешивания частиц, появлением газовых пузырей и т.п.), который неразрывно связан с тепломассообменом. Таким образом, происходит качественное изменение характера сушки. Кроме того, свойства зернистого материала (гранулометрический состав и др.) также влияют на кинетику сушки, а в ряде случаев могут выступать в качестве лимитирующего фактора.

Задачей настоящей работы является формирование обобщающей модели теплообмена, которая позволяет на единой основе прогнозировать протекание процесса сушки для различных режимов работы аппаратов. Основой формирования модели является теория цепей Маркова: пространство аппарата представляется как цепь ячеек, между которыми вводятся вероятности переноса воздуха и частиц, а также связанных с ними аддитивных свойств фаз (теплоты, влагосодержания). Значения вероятностей переноса поставлены в соответствие с текущими параметрами процесса, что сделало предлагаемую модель нелинейной, а также позволило осуществить прогнозирование сушки и эволюции слоя в лабораторной установке, выявить лимитирующие стадии процесса, оценить эффективность сушки в плотном и псевдоожигенном слое.

Библиографический список

1. Митрофанов, А.В. Расчетно-экспериментальное исследование процесса сушки картофеля в кипящем слое // Изв. вузов. Пищевая технология.—2017.— № 4.— С. 71-74.

Содержание

Секция 20.

<i>Анализ и синтез систем электроприводов</i>	3
К.В. Терещенко ; рук. А.Г. Капустин. Моделирование управляющих устройств электрических машин с применением методов нечеткой логики sugeno и tamdani.....	5
И.И. Исломов ; рук. А.А. Афанасьев. Реверсивный режим работы магнитного редуктора.....	6
И.А. Калякин ; рук. В.И. Афонин. Применение регулируемого электропривода пассажирских подъемников для повышения энергоэффективности ЖКХ.....	7
С.Д. Цыганкова ; рук.В.Д. Ежов. Пуск асинхронного двигателя от автономного генератора.....	8
Ю. С. Батанов ; рук. С. К. Лебедев. Исследование регуляторов положения с переменной структурой для электромехатронных модулей позиционирования.....	9
О.А. Бачуров ; рук. А.Н. Ширяев. Моделирование системы электропривода «исполнительный двигатель – нагрузочная машина».....	10
М. П. Веретенникова ; рук. С. К. Лебедев. Получение полиномов Бесселя для систем позиционирования с заданной полосой пропускания.....	11
А. В. Воронов ; рук. С. К. Лебедев. Разработка элементов лабораторного практикума по mathcad.....	12
А.А. Доброхотов ; рук. А.Н. Ширяев. Разработка модели электропривода на базе бесколлекторного двигателя постоянного тока.....	13
Д. А. Замкова ; рук. С. К. Лебедев. Разработка входных и выходных тестов в формате mytestxpro для дисциплины «компьютерные технологии в математике и технических расчетах».....	14
Р. С. Ионов ; рук. А. М. Захаров, М.А. Захаров. Бескоординатная модель синхронного двигателя.....	15
А.В. Киселев ; рук. Б.С. Курнышев. Электромагнитная совместимость асинхронного электропривода.....	16
И.В. Ковалев ; рук. А.М. Захаров. Разработка электрооборудования тепловой станции.....	17
А. М. Куканов ; рук. С. К. Лебедев. Алгоритмы позиционирования с заданием скорости и ускорения электромехатронных модулей.....	18
Е.А. Миколаенко ; рук. А.В. Пруднов. Разработка и исследование системы многодвигательного электропривода.....	19
Д. С. Кулагин ; рук. С. К. Лебедев. Разработка элементов лабораторного практикума по matlab.....	20

Д. В. Романов ; рук. С. К. Лебедев. Реализация модального управления в регуляторах положения электромехатронных модулей.....	21
С.Н.Румянцев ; Ю.П. Спичков. Пути совершенствования систем управления натяжением ткани в технологическом оборудовании непрерывного действия.....	22
А.А. Филиппов ; рук. П.В. Вилков. Принципы организации интеллектуальных систем управления.....	23
Ю.М. Баров , Д.А. Чернов; рук. А.Н. Ширяев. Моделирование регулируемого электропривода насосной установки.....	25
Секция 21.	
<i>Электромеханика и магнитожидкостные устройства</i>	27
Течи М.Ж. Агуасси ; рук. Ю.Б. Казаков. Компенсация реакции якоря в двигателе постоянного тока установки по переработке сахарного тростника.....	29
Д. Е. Дрязгов ; рук. А.И. Тихонов. Разработка моделей динамических режимов асинхронного двигателя с использованием автономной библиотеки расчёта физических полей.....	30
А.А. Каржевин ; рук. В.П. Шишкин. Уточнение инженерной методики проектирования АДЭП.....	31
А.О. Кулагин ; рук. А.И. Тихонов. Формирование модели для расчёта параметров холостого хода трансформаторов до 35 кВ.....	32
А.С. Метлов ; рук. А.И. Тихонов. Разработка методики проектирования синхронных машин с использованием библиотеки полевых расчётов.....	33
А.П. Океанский ; А.Н. Морозов; рук. Ю.Б. Казаков. Анализ внешнего электромагнитного поля синхронных машин.....	34
П.П. Власов ; рук. В.Н.Караулов. Поверочный электромагнитный расчет синхронного реактивного двигателя с ТЛА ротором.....	35
С. В. Пантелеев ; А. Н. Малашин. Оптимальная структура зубцово-пазовой зоны М-фазной магнитоэлектрической машины с дробной зубцовой обмоткой.....	36
К.В. Пискарев ; рук. Н.А. Морозов. Влияние механического воздействия на свойства магнитной жидкости.....	37
М.В. Сахаров ; рук. В.Н. Караулов. Проблемы разработки обращённого СДПМ привода лебёдки методом инженерного проектирования	38
О.В. Крестьянинова ; рук. А.М. Шурыгин. Выбор математической модели устройств виброзащиты технических объектов.....	39

А.А. Утюгова ; рук. А.М. Шурьгин. Исследование работы дисковой муфты в тормозном режиме.....	40
Секция 22.	
Микроэлектронные и микропроцессорные информационно-управляющие системы	41
А.А. Герасимов ; рук. А.А. Анисимов. Программная реализация алгоритма синтеза робастных электромеханических систем управления с регуляторами состояний на основе грамианного подхода.....	43
М.А. Чадов ; рук. А.А. Анисимов. Исследование влияния гибких обратных связей при синтезе робастных систем.....	44
А.Е. Адеева ; рук. А.М. Аббясов. Прямое программирование на ARDUINO.....	45
Р.И. Горбенков ; рук. А.А. Смирнов. Systeme d'acquisition, pre-traitement et routage de donnees capteurs pour realization de la methodologie PHM.....	46
А.П. Коньков , В.В. Королёв; рук. А. М. Аббясов. Дистанционное управление оборудованием.....	47
И. В. Кудрявцев , И. С. Прытков; рук. А. М. Аббясов. Управление ДПТ через H-мостом с синфазными ключами.....	48
А.А. Тарасюк , З.В. Куликов; рук. А.М. Аббясов. Управление сервоприводами через UART.....	49
А.А. Аравенков ; рук. Ю.А. Пасынков. Определение параметров гармонических составляющих сигнала в сетях электроснабжения общего пользования при определении качества электрической энергии методом анализа гармоник на основе широтно-импульсной модуляции.....	50
А.Т. Мозес , А.О.С. Акинола; рук. Л.В. Ахметвалеева. Применения ультразвукового дальномера HC-SR04 для обнаружения объектов.....	52
Jose Javier Vanegas Torres . Implementation of an observer in a robotic ARM RR.....	53
Zhuldyzay Temirzhanova . Control de velocidad y de posición de un motor de CC.....	55
Fernando Ivan Sanchez Coria . Synthesis of the rear suspension of a motorcycle and simulation of its dynamics.....	56
Е.И. Некрасова ; рук. Л.Г Копылова. Уточнение модели активного магнитного подшипника.....	57
Д.С. Ершов ; рук. В.В. Тютиков. Лабораторный стенд: ШИМ – ДТП..	58
Р.Ж. Маидже . Автоматическая система управления лифтом.....	61
В.П. Дудов ; рук. А.П. Карандашев. Выбор исполнительного механизма в контуре регулирования разряда в системе управления	

котла.....	61
Секция 23. Технология машиностроения	63
Т. Ю. Кирпичева ; рук. Т. Ю. Степанова. Влияние нагрузки на износ металла.....	65
Л. С. Найденова ; рук. В. А. Полетаев. Исследование нагрузок на элементы конструкции ракеты при испытаниях.....	66
Ю.В. Феофанова ; рук. Н.В. Третьякова. Повышение долговечности деталей в результате титанирования.....	67
Г.С. Шумнов , А.А. Щукин; рук. В.Е. Иванов. Способы ремонта радиаторов охлаждения пожарных автомобилей.....	68
Е.В. Шпенькова ;рук. В.А. Полетаев. Смазочно-охлаждающее технологическое средство для обработки металлов резанием и процессов повехностного деформирования.....	69
А.А. Щукин , Г.С. Шумнов; рук. В.Е. Иванов. Обзор клеевых составов, применяемых для ремонта пожарных автомобилей.....	70
Г.В. Шарыгин ; рук. В.А. Полетаев. Применение методов поверхностного пластического деформирования.....	71
В.В. Кирьянов ; В.О. Лутошкин; рук. В.В. Киселев. Оценка прочностных свойств бетонов под воздействием повышенных температур при пожарах.....	72
Л. С. Найденова ; рук. В. А. Полетаев. Исследование устойчивости упругого летательного аппарата с учетом системы управления и стабилизации.....	73
Д.В. Круглов ; рук. Н.Л.Павлюкова. Использование компьютерных систем для автоматизации и разработки сварных металлоконструкций.....	74
Е.Ю. Моисеева ; А.А. Вагин; А.И. Бурушкин; Н.А. Лункин; А.В. Великанов; рук. Н.А. Кропотова. Тороидальный двигатель – решение современной роботехники.....	75
К.О. Аладышкина ; рук. В.А. Полетаев. Применение алмазного выглаживания для упрочнения деталей.....	76
И.А. Кононов , В.В. Киселев. Повышение тактико-технических характеристик основных пожарных автомобилей для оперативного прибытия к месту тушения на объектах энергетики.....	77
Т.А. Огаркова , Е.А. Платонова; рук. И.И. Ведерникова. Борирование и упрочнение лазером.....	78
А.М. Филатов , В.И. Ханов; А.М. Власов; рук. В. А. Полетаев. Планирование и проведение экспериментов по исследованию моментов трения магнитожидкостного уплотнения.....	79
К.Н. Ермакова ; рук. В.В. Киселёв. Влияние различных внешних	

факторов на прочностные характеристики древесины.....	80
В.И. Ханов ; А.А.Киселев. Инвариантное управление двигателем.....	81
Н.А. Мальчиков ; рук. В.П. Зарубин; рук. И.А.Легкова. Оптимизация проведения технического обслуживания и ремонта пожарной техники.....	82
Ю.А. Киреева ; Д.В. Трегубова; Д.П. Топчиенко; рук. В.Н. Копосов. Развитие металлорежущих станков и инструментов по закону увеличения степени дробления.....	83
Р.А. Масленников ; рук. В.В. Киселев, П.В. Пучков. Исследование влияния различных внешних факторов на механические свойства резьбовых соединений на объектах энергетики.....	84
Ю.М. Тютюнников ; рук. А.С. Орлов. Возможности полигонального точения.....	85
А.Р.Дашевский ;рук. А.В. Топоров, В.А. Полетаев. Применение газопламенной металлзации к аварийно- спасательному инструменту....	86
И.Д. Колобков ; рук. Н.Л. Павлюкова. Проблемы моделирования взаимодействий наполнителя и детали при обработке свободными абразивами.....	87
А.М.Филатов ; рук. А.А.Киселев. Компенсация дискретности управления.....	88
С.В.Базаркин ; рук. Н.Л.Павлюкова. Измерение поверхностей сложного профиля.....	89
 <i>Секция 24.</i>	
<i>Динамика и прочность сложных механических систем.....</i>	91
П. В. Суркова ; рук. Л. Б. Маслов. Расчёт на прочность зашивки пассажирского пола в отсеке Ф2 самолета МС-21-300.....	93
И.Л. Маслова ; рук. Л. Б. Маслов. Расчет на прочность стоек под оборудование пратми на изделии ИЛ-976.....	94
Д. В. Корепов ; рук. М.А. Ноздрин. Разработка системы комплексной оценки усталости элементов авиационных конструкций.....	95
О.Г. Бизяева ; рук. Л.Н. Крайнова. Компьютерное моделирование перспективной формы натурального отсека фюзеляжа самолета.....	96
Е.С.Шильцев ; рук. Л.Б. Маслов. Анализ авиационных конструкций на основе сетчатых композитов.....	97
В.В. Иванова , А.Б. Колобов. Определение критической скорости изгибно-крутильного флаттера стабилизатора сверхзвукового летательного аппарата.....	98
А.А. Губина ; рук. М.А. Ноздрин. Прочностной расчет узла парашютной системы.....	99

А.А. Губина ; рук. М.А. Ноздрин. Сравнительный анализ методов моделирования купола парашюта.....	100
В.О. Вербицкий ; рук. М.А. Ноздрин. Усовершенствование системы измерения нагрузки в стенде для испытаний подвесных систем.....	101
А. В. Швед ; рук. Ф. Б. Огурцов. Оценка параметров ударного воздействия по результатам виброиспытаний.....	102
В.А. Чувашов ; рук. Ф.Б. Огурцов. Расчет упругого подвеса вибростенда.....	103
Е.Э. Ильина ; рук. М.А. Ноздрин. Исследование усталостной прочности материала с эффектом памяти формы.....	104
И.А. Гуралюк ; рук. З.В.Зарубин. Моделирование конструкции с ЭПФ.....	105
В.О. Вербицкий , Е.Э. Ильина ; рук. М.А. Ноздрин. Исследование напряжений в элементе из материала с эффектом памяти формы.....	106
В.М. Старостина ; рук. М.А. Ноздрин. Расчет движения системы с элементом из материала с памятью формы.....	107
Е.Э. Ильина , Н.А. Сабанеев ; рук. Л.Б. Маслов. Анализ результатов исследования регенерации костной ткани в пористом объеме.....	108
П.В. Суркова , рук. М.А. Ноздрин. Исследование биомеханических характеристик мышцы человека.....	109
А. В. Карпова ; рук. А.Б. Колобов. Формирование спектров вибрации дефектов электродвигателя.....	110
Р.Э.Дудин ; рук. Ф. Б. Огурцов. Расчёт тензорезисторного силоизмерителя.....	111
В.Н. Трубехин ; рук. А.А. Покровский. Расчет основных параметров грузовой лебедки.....	112
К.Н. Ермакова ; Киселёв В.В. Влияние внешних факторов на прочностные характеристики древесины.....	113
М. А. Воробьев ; рук. Д.А. Пирогов. Моделирование конструкций в условиях интенсивного термосилового нагружения.....	114
А.К. Колотилов ; рук. Д.А. Пирогов. Исследование динамики механизма прокладки утка лентоткацкого станка.....	115
Д.А. Бакаев ; рук. А.Б. Колобов. Разработка методики и программы расчета редуктора исполнительного однооборотного механизма.....	116
Д.О. Теплякова ; рук. М.А.Ноздрин. Исследование напряжений в элементах шлифовального станка.....	117
И.М. Варламов ; рук. М.А. Шилов. Совершенствование конструкции «Шнек».....	118
В.М. Седов ; рук. Л.Б. Маслов. Моделирование изменения физических свойств кости как сложной механобиологической системы.....	119
И.Л. Маслова , П.В. Суркова ; рук. Л. Б. Маслов. Моделирование	120

эндопротеза тазобедренного сустава в программном комплексе ABAQUS.....	
И.А. Зелинский ; рук. М.А. Жмайло. Расчет напряженно-деформированного состояния тазобедренного сустава после операции эндопротезирования.....	121
П. В. Лебедев ; рук. Т. В. Шмелева. Компьютерное моделирование и прочностной расчет биомеханических систем.....	122
П.В. Королёв ; рук. Л.Б. Маслов, М.А. Шилов. Влияние способа задания качения шины на результаты моделирования методом конечных элементов.....	123
С.А. Маньшин ; рук. Д.А. Пирогов. Исследование напряженно-деформированного состояния жесткого стержня большой кривизны.....	124
 Секция 25.	
Математические методы в технике и технологиях	127
И.А. Балагуров ; рук. В.Е. Мизонов. Совершенствование вибрационного перемешивания дисперсных материалов	129
 Е.Ю. Курылин ; рук. В.Е. Мизонов. Моделирование эволюции состояния цепи Маркова с периодически меняющейся матрицей переходных вероятностей.....	130
Д.С. Крылов ; рук. Н.Р. Лезнова. О движении точки около границы раздела двух сред.....	131
В.С. Гарманов ; А.В. Тумаков; рук. А.В. Митрофанов. Ячеечная модель термопреобразования биоорганических частиц в циркулирующем кипящем слое	132
Е.Р. Шумыло ; И.С. Панюшкин; А.С. Трушевич; рук. А.В. Митрофанов. Применение цепей Маркова к моделированию различных режимов сушки частиц во взвешенном состоянии	133
Д.А.Осипов ; рук. В.П. Жуков. Моделирование измельчения смеси разнопрочных компонентов	134
Д.Е. Дрязгов ; рук. В.П. Жуков. Матричная формализация и решение задачи стационарной теплопроводности	135
К.А. Касаткин ; рук. В.П. Жуков. Моделирование процесса теплопередачи при скользящей границе фазового перехода.....	136
Р.О. Горелкин ; рук. Е.А. Шуина. Моделирование цепей Маркова с коллектором частиц.....	137
А.С. Курилов ; рук. Е.А. Шуина. Математическая модель статического поворотного смесителя.....	138
А.Ф. Camelo ; А.В. Митрофанов. Разработка инженерного метода	

оценки эффективности работы сушилок плотного и псевдооживленного слоя.....	139
---	------------

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

Тринадцатая международная научно-техническая
конференция студентов, аспирантов и молодых учёных
«ЭНЕРГИЯ-2018»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

Печатается в авторской редакции

Составитель – доцент Шмелева Т.В.

Подписано в печать .03.2018. Формат 60x84 1/16 .

Печать плоская. Усл. печ. л. . Уч.-изд. л.

Тираж 45 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет имени В.И. Ленина».

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ
153003, г. Иваново, ул. Рабфаковская, 34.