

ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

**ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА
И УПРАВЛЕНИЕ**

ЭНЕРГИЯ-2017

**ДВЕНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ
И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ**

**4-6 апреля 2017 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»
Академия электротехнических наук РФ

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

«ЭНЕРГИЯ - 2017»

ДВЕНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ

г. Иваново, 4-6 апреля 2017 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 4

ИВАНОВО

ИГЭУ

2017

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ // Двенадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия - 2017»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4 – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2017. -272 с.

ISBN 978-5-00062-232-2
ISBN 978-5-00062-237-7 (Т.4)

Доклады студентов, аспирантов и молодых ученых, помещенные в сборник материалов конференции, отражают основные направления научной деятельности в области электромеханотроники и управления.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами 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; Сорокин А. Ф. – декан ЭЭФ; Крайнова Л. Н. – декан ЭМФ; Маршалов Е. Д. – декан ИВТФ; Карякин А.М. – декан ФЭУ.

Ответственный секретарь: Бойков А. А.

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 19

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Председатель – д.т.н., проф. Колганов А.Р.

Секретарь – ассистент Захаров М.А.

Альтахер Аббас А. Карим, асп.;

В.И. Доманов, к.т.н., зав. кафедрой «Электропривод и АПУ»

(УлГТУ, г. Ульяновск)

АНАЛИЗ ТОЧНОСТИ РАБОТЫ МОДЕЛИ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

В настоящее время широкое распространение получили электроприводы, построенные по схеме преобразователь частоты – асинхронный двигатель (АД). Развитие таких электроприводов привело к созданию бездатчиковых систем векторного управления АД [1]. В этом случае применяется наблюдатель скорости (НС), который используя доступные сигналы (ток и напряжение статора) вычисляет текущее значение координаты. Отмечается [2], что существует большое разнообразие схем НС. В то же время статическая и динамическая точность работы НС будет зависеть как от выбранной схемы, так и от соответствия ее параметров реальным значениям. В работе оцениваются ошибки, возникающие при вариации параметров модели АД в процессе работы.

Предположим, что по каким-либо причинам (нагрев, нелинейность характеристики) изменились реальные значения параметров двигателя. В этом случае исходная модель будет работать с определенной погрешностью и координаты, полученные на модели, будут отличаться от первоначального варианта. Для оценки таких погрешностей была создана модель, которая содержит два блока:

М1 – модель с исходными параметрами;

М2 – модель с измененными параметрами.

Погрешность скорости определяется по выражению:

$$\Delta\omega = \omega_{ИСХ} - \omega_{ИЗМ}.$$

В процессе исследований поочередно изменялись на 10% значения параметров двигателя. На рис. 1 и 2 приведены результаты моделирования.

По результатам проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

- изменения значений сопротивления статора, ротора и момента инерции приводят к появлению динамической ошибки от задающего воздействия; изменению сопротивления статора соответствует минимальная амплитуда ошибки, а изменению момента инерции – максимальная.

- возмущающее воздействие приводит к появлению статической ошибки при изменении сопротивления ротора, а изменение сопротивления статора и момента инерции практически не влияют на процесс.

- для достижения высоких точностных показателей при задающем воздействии необходимо с высокой точностью определять значение момента инерции и его текущее изменение.

- для достижения высоких точностных показателей при возмущающем воздействии необходимо с высокой точностью определять значение сопротивления ротора и его текущее изменение.

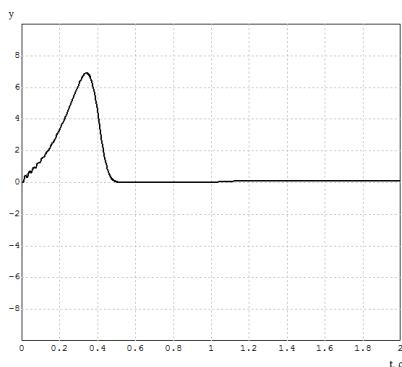


Рис. 1. Изменение ошибки скорости при вариации сопротивления статора.

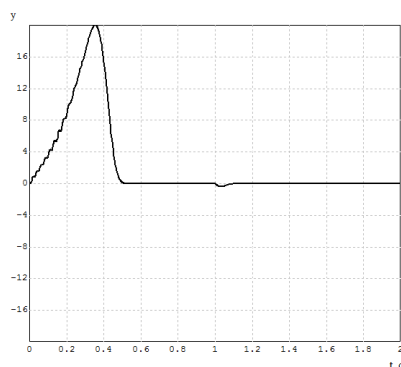


Рис. 2. Изменение ошибки скорости при вариации момента инерции.

Результаты, полученные в данной работе, могут быть использованы при синтезе НС АД и оценке ошибок наблюдателя при эксплуатации.

Библиографический список

1. **Соколовский Г. Г.** Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.: Издательский центр «Академия», 2006. – 272 с.
2. **Анучин А. С.** Системы управления электроприводов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373 с.

*М.А. Беляков, студ.; рук. А.В. Пруднов, к.т.н., доц.,
М.А. Соломаничев
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗАЦИИ
ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТКАЦКИХ НАВОЕВ**

В современных машинах, агрегатах и поточных линиях текстильной промышленности применяются системы многодвигательных электроприводов, осуществляющих регулирование по натяжению или вытяжке обрабатываемого материала. Для рассматриваемого технологического процесса наиболее перспективным является второй вариант, поскольку требуется обеспечение заданной вытяжки [1].

Аналоговые системы управления вытяжкой не обеспечивают требуемой точности, поэтому актуальным становится применение цифровых систем, содержащих датчики, измеряющие скорость движения материала на входе и выходе зоны обработки, цифровой измеритель вытяжки, цифроаналоговый преобразователь и узел сравнения.

В указанных системах используются различные модели измерителя вытяжки, одна из которых представлена на рис. 1 [2].

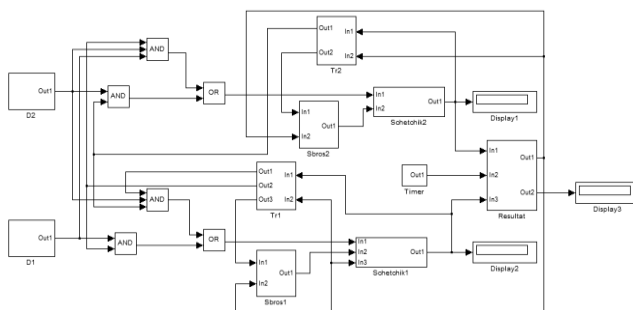


Рис. 1. Общая структура математической модели измерителя соотношения скоростей

Блоки Schetchik1 и Schetchik2 осуществляют подсчет числа импульсов, поступающих соответственно с блоков D1 и D2 (имитируют датчики скорости соответствующих валов) через логические элементы, моделирующие схемы совпадения. При переполнении одного из счетчиков срабатывают соответствующие ему управляющий триггер (блок Tr1(Tr2)) и далее блок Sbros1(Sbros2), формирующий сигнал сброса в «0» данного счетчика. При переполнении второго счетчика подсчет импульсов прекращается. По завершении отсчета времени цикла (блок Timer) с помощью блока Resultat вычисляется и записывается в память конечный результат расчетов, а также сбрасываются в «0» счетчики.

В ходе решения поставленной задачи разработана математическая модель серийно-выпускаемого измерителя вытяжки (рис. 2).

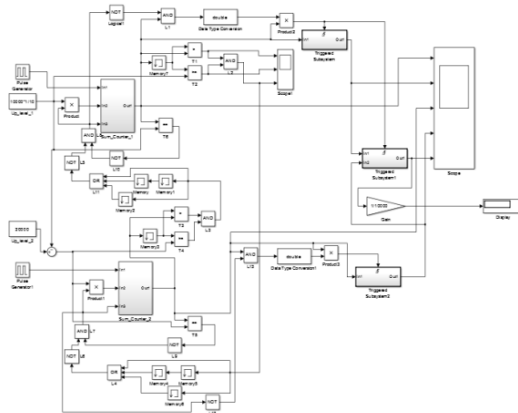


Рис 2. Структура математической модели измерителя вытяжки

Здесь входной сигнал (скорость материала) преобразуется в последовательность импульсов (частота следования пропорциональна величине сигнала), поступающих на суммирующий счетчик, верхний предел которого определяется заранее и заносится в блок Up_level. При равенстве состояния счетчиков этому пределу, элементы T5, T6 и T2 формируют импульс сброса обоих счетчиков в «0». По переднему фронту этого импульса в блоке Memoгу происходит запоминание предыдущего состояния счетчика. Сравнение запомненных состояний счетчиков происходит по заднему фронту импульса сброса любого из них. При этом относительное рассогласование скоростей материала

(выводится на осциллограф) есть отношение полученной разницы состояний счетчиков к максимальному состоянию первого счетчика.

Предложенная модель (рис. 2) прошла апробацию и будет внедрена в систему автоматизации процесса формирования ткацких навоев.

Библиографический список

1. Пат. 2061807 Российская Федерация, МПК D 02 H 13/28. Способ формирования ткацких навоев и устройство для его осуществления/ Ю.К. Кутьин, В.Л. Маховер, Н.И. Генварев, С.К. Паникрагов, А.Ю. Кутьин, А.В. Пруднов и др.; заявитель и патентообладатель ИвНИИТИ. – № 5051285-12; заявл. 06.07.92; опубл. 10.06.96, Бюл. № 16.
2. Данилов А.В., Данилов К.В., Пруднов А.В. Разработка модели измерителя соотношения скоростей: тез. докл.// сб. материалов V рег. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых (с межд. участием) «ЭНЕРГИЯ-2010» Т. 4. Иваново: ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2010. 128 с.

А. Болатова, маг.;
рук. Б.С. Курнышев, д.т.н, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ТЕЛЕКОММУНИКАЦИОННЫЕ СЕТИ В РЕЖИМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ ПЕРЕДАЧИ ДАННЫХ

Исследованию телекоммуникационных сетей в режимах автоматизированной передачи данных посвящено достаточно много научных работ в связи с актуальностью данной темы. В отличие от предыдущих работ других авторов в данной работе рассмотрены вопросы автоматизированной передачи данных по критерию качества услуг. Такая постановка вопроса является актуальной.

В связи с поставленной целью исследования решены следующие задачи.

1. Обоснована актуальность темы работы.
2. Рассмотрено современное состояние проблем передачи данных по телекоммуникационным сетям.
3. Сформулирована цель исследования телекоммуникационных сетей передачи данных.
4. Сформулированы задачи исследования для достижения поставленной цели.
5. Определена ожидаемая научная новизна исследования.

6. Определена ожидаемая практическая значимость работы.
7. Рассмотрено понятие качества передачи данных.
8. Сформулирован критерий "качество услуг".
9. Проведён анализ современных структур телекоммуникационных сетей.
10. Выявлены основные характеристики и параметры телекоммуникационных сетей.
11. Рассмотрены методы определения характеристик и параметров сетей.
12. Проанализированы вопросы автоматизации телекоммуникационных процессов передачи данных.

В процессе моделирования телекоммуникационных сетей автоматизированной передачи данных разработаны структуры базовой математической модели, базовая расчетная схема, программы для расчёта процессов передачи данных. Выполнена апробация базовой математической модели в модельных экспериментах.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ ЧАСТОТНО- ТОКОВОГО ВЕКТОРНОГО УПРАВЛЕНИЯ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ СЕРИИ 4А В СРЕДЕ MATLAB

Современные системы управления электрической машиной имеют преимущественно скалярный вид [1,2]. Основной недостаток такого управления заключается в малом быстродействии при регулировании скорости и момента, так как для перехода в установившийся режим работы требуется завершение процессов распределения моментобразующего тока и потокообразующего тока, которое в таких системах происходит через некоторое время само по себе. Для увеличения быстродействия системы регулирования, требуется управление моментобразующим и потокообразующим токами, являющихся ортогональными. Такой вид управления назван векторным управлением [2].

Для моделирования процесса работы векторного управления асинхронным двигателем с короткозамкнутым ротором серии 4А выполнен расчет рабочих характеристик и составлена модель двигателя в среде компьютерного моделирования MATLAB. При

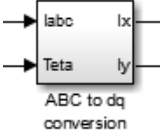
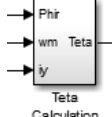
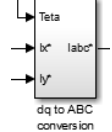
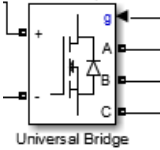
моделировании сопоставлены характеристики прямого пуска двигателя и пуска двигателя при векторном управлении [2,3].

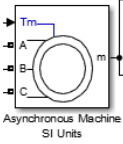
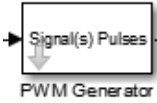
Результаты анализа переходных процессов показывают, что векторная система управления асинхронным двигателем работает согласно настроенному критерию оптимизации.

Моделирование системы управления асинхронным двигателем в среде Matlab/Simulink позволило сделать вывод об адекватности настройки регуляторов по параметрам схемы замещения двигателя, а также о правильной работе алгоритмов в блоках оценки потокосцепления ротора и ограничения момента.

Предложенный подход к моделированию векторной системы управления позволяет исключить ошибки и неточности при проектировании системы управления асинхронным двигателем, а также произвести отладку алгоритмов управления в эксплуатационных режимах работы системы управления.

Таблица 1 – Блоки, используемые при моделировании

Вид блока в MATLAB	Описание работы
 <p>ABC to dq conversion</p>	<p>Преобразователь трехфазной системы координат в Декартовую систему координат.</p>
 <p>Teta Calculation</p>	<p>Вычислитель угла ζ.</p>
 <p>dq to ABC conversion</p>	<p>Преобразователь координат из Декартовой в трехфазную.</p>
 <p>Universal Bridge</p>	<p>Блок инвертора.</p>

	<p>Блок упрощенной модели асинхронной машины.</p>
	<p>Блок ШИМ.</p>

Библиографический список

1. **Анучин А.С.** Системы управления электроприводов: учебник для вузов. – Москва: Издательский дом МЭИ, 2015. – 373. С.: ил.
2. **Герман-Галкин С.Г.** Matlab&Simulink. Проектирование мехатронных систем на ПК. – Санкт-Петербург: КОРОНА-Век, 2008. – 368 с.
3. **Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Афонин В.И., Соболенская Е.А.** Асинхронные двигатели серии 4А. Москва: Энергоиздат, 1982. 504 с.

С.В. Гаврилова, асп.;
В.И. Доманов, к.т.н., зав. кафедрой «Электропривод и АПУ»
(УлГТУ, г. Ульяновск)

АНАЛИЗ РАБОТЫ МНОГОДВИГАТЕЛЬНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В промышленности широко используются системы согласованного вращения двигателей (СВД). В зависимости от технических требований реализация схемы СВД может быть различной. При этом наиболее простым и надежным решением задачи являются параметрические схемы. В работах [1, 2] рассматривается возможность использования в таких схемах двухскоростных асинхронных двигателей (ДСАД). При этом повышается надежность по сравнению со схемой на основе асинхронного двигателя с фазным ротором и имеется возможность улучшить качественные показатели системы. Один из вариантов схемы приведен на рис.1.

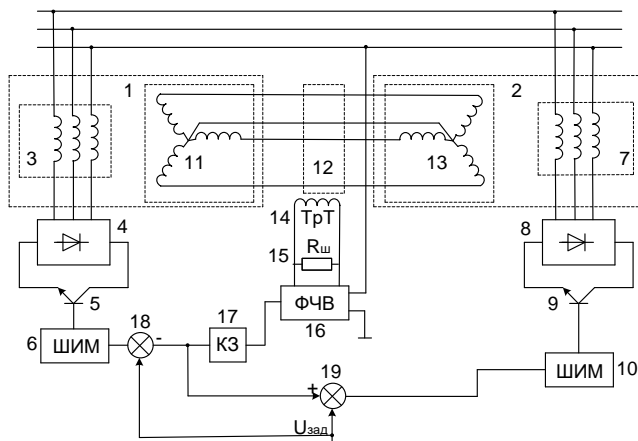


Рис. 1. Схема устройства согласованного вращения асинхронных двигателей

Устройство содержит два асинхронных двигателя с короткозамкнутыми роторами, каждый из которых содержит по две независимые группы обмоток на статоре. Начала первых групп обмоток статоров двигателей соединены с питающей сетью, а концы этих обмоток соединены с трехфазными выпрямителями, к полярным выходам которых подключены транзисторы. Базы транзисторов подключены к выходам широтно-импульсных модуляторов. Выходы вторых групп обмоток статоров двигателей соединены в «звезду», выходы соединений «звезда» и их нулевые точки соединены четырехпроводной линией связи. В одном проводе линии связи включена первичная обмотка трансформатора тока, вторичная обмотка которого соединена с шунтовым резистором и сигнальным входом фазо-чувствительного выпрямителя. Синхронизирующий вход фазо-чувствительного выпрямителя подключен к фазному напряжению питающей сети. Выход фазо-чувствительного выпрямителя подключен через корректирующее звено к первым входам сумматоров. На вторые входы сумматоров подается напряжение задания. Выходы сумматоров соединены с входами широтно-импульсных модуляторов.

Устройство работает следующим образом: напряжение задания $U_{зад}$ через сумматоры 18 и 19 поступает на входы широтно-импульсных модуляторов 6 и 10, которые, в свою очередь, формируют управляющие импульсы для переключения транзисторов 5 и 6.

Сквозность импульсов пропорциональна величине $U_{\text{зад}}$. Изменение сквозности регулирует действующее значение напряжения, поступающего на группы обмоток 3 и 7 асинхронных двигателей 1 и 2. При этом изменяется скорость вращения асинхронных двигателей 1 и 2.

В случае равенства скоростей вращения двигателей ЭДС, наводимые на группах обмоток 11 и 13, равны. При этом ток по линии связи 12 не протекает. Нарушение согласованного вращения двигателей приводит к нарушению равенства ЭДС групп обмоток 11 и 13. При этом по линии связи будут протекать уравнивающие токи. Для двигателя с большей скоростью вращения эти токи будут создавать тормозящий момент, а для двигателя с меньшей скоростью вращения – двигательный момент.

Библиографический список

1. **Доманов В.И.**, Доманов А.В., Гаврилова С.В. Параметрические системы управления многодвигательного электропривода грузоподъемных механизмов/ Электроника и электрооборудование транспорта. 2015. №4. С. 35-38.
2. **Доманов В.И.**, Доманов А.В., Гаврилова С.В. Системы согласованного вращения асинхронных двигателей. Известия Самарского научного центра РАН. Т17, №2(4). 2015. С. 732-735.

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

ЭЛЕКТРОПРИВОД НА БАЗЕ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В настоящее время в электроприводе ряда производственных механизмов широко применяются синхронные двигатели с постоянными магнитами (СДПМ).

Одним из наиболее важных параметров такого электропривода является диапазон регулирования скорости привода. Увеличение диапазона регулирования скорости связано с излишними потерями мощности в двигателе.

В данной работе в качестве критерия оценки диапазона регулирования введено понятие постоянства потерь мощности (ППМ), выполнен синтез системы управления и анализ динамики электропривода на основе СДПМ, работающего в режиме постоянства потерь мощности.

Функциональная электропривода на базе СДПМ с регулятором, работающим в режиме постоянства потерь мощности (регулятор ППМ), приведена на рис. 1.

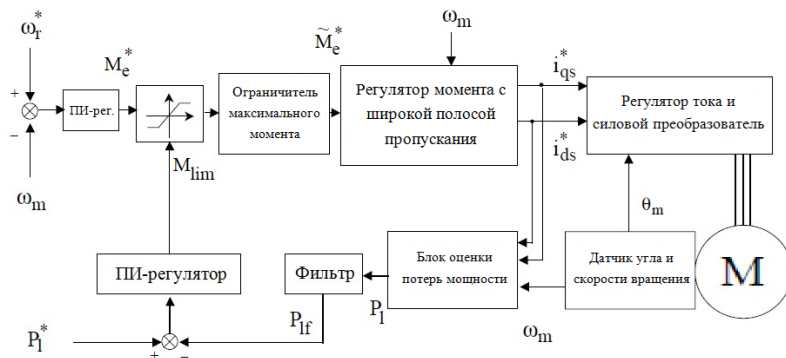


Рис.1. Функциональная электропривода на базе СДПМ с регулятором ППМ

Регулятор вращающего момента с широкой полосой пропускания обеспечивает линейный вращающий момент на всем диапазоне регулирования, включая диапазон ослабления поля. Для этого регулятора может быть использован любой закон управления. Потери в меди и стали машины оцениваются на основе заданий по токам осей d и q , i_{qs}^* и i_{ds}^* , а также измеренной скорости ω_m .

Все переменные, необходимые для оценки потерь мощности, доступны для измерения в большинстве высокоэффективных систем управления движением.

P_l всегда является положительным числом, а P_{lf} – это отфильтрованный сигнал P_l . Ошибка регулирования минимизируется при помощи ПИ-регулятора.

Выходной сигнал регулятора потерь мощности определяет максимально допустимый вращающий момент M_{lim} . Задание вращающего момента M_e^* является выходным сигналом ПИ-регулятора скорости.

Если заданное значение вращающего момента больше M_{lim} , то система автоматически регулирует вращающий момент до максимально возможного значения M_{lim} . Если задание вращающего момента меньше максимально возможного на заданной скорости, то

ограничение фиксируется на уровне максимально допустимого вращающего момента.

Такое же абсолютное ограничение вращающего момента применяется как для положительного, так и отрицательного задания вращающего момента.

Бросок вращающего момента в динамических режимах работы ограничивается блоком ограничения вращающего момента. Задание момента и скорости являются также входными сигналами для регулятора вращающего момента с широкой полосой пропускания. Выходными сигналами этого блока являются i_{qs}^* и i_{ds}^* .

Регулятор тока и силовой преобразователь обеспечивают требуемую амплитуду и фазу тока СДПМ. Входными сигналами этого регулятора являются i_{qs}^* , i_{ds}^* и положение ротора θ_m .

Характерными особенностями системы с регулятором ППМ являются:

- отсутствие необходимости предварительного расчета максимального вращающего момента в зависимости от скорости;
- регулирование потерь мощности в зависимости от требования технологического процесса;
- возможность использования идентификатора параметров L_q , $\Psi_{тпм}$ и R_s для повышения точности регулирования потерь;
- возможность реализации замкнутой системы в режиме реального времени.

*Р.С. Ионов, студ.; рук. М.А. Захаров
(ИГЭУ, г. Иваново)*

К ВОПРОСУ МОДЕРНИЗАЦИИ АТОМНОЙ СТАНЦИИ С РЕАКТОРОМ ВВЭР-1000 С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ ЭКОНОМИИ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД

Одной из важных проблем, существующей на сегодняшний день в атомной энергетике является проблема экономии энергозатрат на собственные нужды. Её можно частично решить путем внедрения частотного регулирования приводных механизмов.

Для АЭС с водным теплоносителем основные потребители выглядят следующим образом: питательные насосы, главные циркуляционные насосы, циркуляционные насосы конденсаторов, конденсатные насосы.

В связи с выходом Федерального закона от 23 ноября 2009 г. №261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности в РФ», повышение энергоэффективности собственных нужд сейчас является одним из основных вопросов эксплуатации АЭС.

В среднем по ГК «Росатом» энергопотребление собственных нужд находится в пределах от 4,5 до 8,5% от общей генерации, а на аналогичных АЭС в странах Западной Европы и Америки находится в пределах от 4,5 до 5,5% от общей генерации. Снижение энергопотребления собственных нужд на 2-3% в масштабах всей атомной энергетики РФ позволит увеличить генерацию на 0,7 ГВт электроэнергии, что эквивалентно строительству нового энергоблока.

Потребляемая мощность насоса пропорциональна кубу скорости вращения. То есть при снижении скорости вращения двигателя, потребляемая мощность падает в кубе. Исходя из этого применение частных преобразователей в составе привода насосов ПЭН, КЭН может обеспечить 15-20% экономии электроэнергии. А применение частотного регулирования на ГЦН - до 40% экономии. При этом сроки окупаемости ЧРП на насосах АЭС могут составить от 1,5 до 5 лет в зависимости от конкретного применения.

В ходе работы будут исследованы различные режимы работы для определения оптимальных настроек, а также для уменьшения потребления затрат на собственные нужды.

Д.С. Киселёв, маг.;
рук. Б.С. Курнышев, д.т.н, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Широкое внедрение в промышленность регулируемых асинхронных электроприводов с преобразователями частоты неизбежно приводит, как показывает практика, к проблеме электромагнитной несовместимости, если не принимать специальных мер.

Преобразователи частоты таких электроприводов работают в режиме широтно-импульсной модуляции с частотой переключений примерно от 3 кГц до 16 кГц. Мощность современных преобразователей, выпускаемых промышленностью, находится в

пределах от единиц киловатт до сотен киловатт. Каждое переключение транзисторов в преобразователях вызывает мощный импульс кондуктивных помех в двигательном и сетевом кабелях (по напряжению – сотни вольт). Поскольку современные транзисторы (типа IGBT), применяемые в преобразователях частоты, обладают способностью переключаться за время порядка 0,1 мкс, то спектр частот, возникающих в результате каждого переключения, составляет сотни, тысячи, десятки тысяч и более мегагерц. При этом электрические кабели, соединяющие преобразователь с сетью переменного тока и с двигателем, становятся антеннами, излучающими в пространство электромагнитную энергию большой мощности (десятки и сотни ватт).

Таким образом, каждый работающий преобразователь становится источником и кондуктивных, и индуктивных помех большой мощности. Эти помехи оказывают значительное влияние на другие потребители электрической энергии, часто приводящее к их полной неработоспособности.

Под электромагнитной совместимостью (ЭМС), согласно международным стандартам и Российским ГОСТ, в настоящее время понимают возможность электрооборудования действовать удовлетворительно в электромагнитной среде без производимых им электромагнитных помех таких уровней, которые были бы недопустимы для другого электрооборудования, находящегося в этой среде.

Для защиты электрооборудования от электромагнитных помех в настоящее время применяют устройства, работающие на принципах фильтров пассивного типа, содержащих реакторы, конденсаторы и резисторы (фильтры ЭМС). Однако структура и параметры такого типа фильтров в значительной степени зависят от конфигурации и параметров промышленной сети и от характера нагрузки, обусловленной другими потребителями электрической энергии, подключенными к данной сети. В целом возникает достаточно сложная задача определения структуры и параметров пассивных фильтров, обеспечивающих ЭМС в заданной промышленной сети. При этом требования современных стандартов (МЭК и ГОСТ России) таковы, что уровни помех в сети в сотни вольт должны быть снижены до уровня десятков милливольт при любой конфигурации сети.

В решении такой задачи применение только экспериментального метода определения структуры и параметров фильтров ЭМС приводит к большим финансовым затратам. Поэтому в данном случае метод имитационного моделирования является хорошим дополнением к

экспериментальному методу, и, следовательно, разработка математических и программных средств решения указанной задачи является актуальной не только в настоящее время, но и в обозримом будущем.

Целью работы является исследование электропривода переменного тока с полупроводниковым преобразователем частоты и фильтрами электромагнитной совместимости.

Для достижения поставленной цели данной исследовательской работы поставлены следующие основные задачи:

1. Разработка базовой расчетной схемы.
2. Разработка базовой математической модели.
3. Разработка программы для расчёта переходных процессов.
4. Апробация базовой математической модели в модельных экспериментах.

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».

3. **Ключев В.И.** Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985.

4. **Корн Г., Корн Т.** Справочник по математике для научных работников и инженеров. – М.: Наука, 1973.

И.В. Ковалев, студ.; рук. А.М. Захаров, к.т.н., доц.;

П.В. Вилков, 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 воздухоудвки 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 воздухоудвка ДН-26, построены ее Q-H 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 воздухоудвки, 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 воздухоудвки. Была создана математическая модель, выдающая на выходе все необходимые параметры, как электродвигателя, так и воздухоудвки, для отслеживания и управления работой данной системы.

Библиографический список

1. Справочник по автоматизированному электроприводу. Под редакцией В.А. Елесеева, А.В. Шинянского. – М.: Энергоиздат, 1983. – 616 с
2. Правила устройства электроустановок. – СПб.: Издательство ДЕАН, 2001. – 928 с.
3. Производство, передача и распределение электроэнергии под общ. ред. профессора МЭИ В.Г. Герасимова и др. (гл. ред. А.И. Попов). – 7 – е изд., стер. – М.: Издательство МЭИ, 2004. – 964 с..
4. Справочник по электроснабжению и электрооборудованию: в 2 т. / Под общ. ред. А.А. Федорова. Т.2. Электрооборудование. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 592 с.; ил.

***В.И. Манаков, В.А. Чапурин, студ.;**
рук. А.Н. Ширяев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД НАСОСНОЙ УСТАНОВКИ

В последние годы частотно-регулируемый электропривод всё чаще используется как основной элемент управления на насосных станциях

и в системах водоснабжения крупных предприятий всех отраслей промышленности и коммунального хозяйства (металлургические заводы, рудничные площадки, станции теплоснабжения и т.п.).

Применение частотного привода позволяет в значительной мере сократить потребление электроэнергии по сравнению с традиционными методами регулирования такими, как дросселирование и привод постоянного тока.

Основным энергетическим элементом насосной станции является насосная установка, содержащая один или несколько насосов, всасывающую и нагнетательную систему трубопроводов, запорную арматуру, приводной двигатель, а также датчики технологических параметров установки. Общий вид насосной установки приведен на рис. 1.

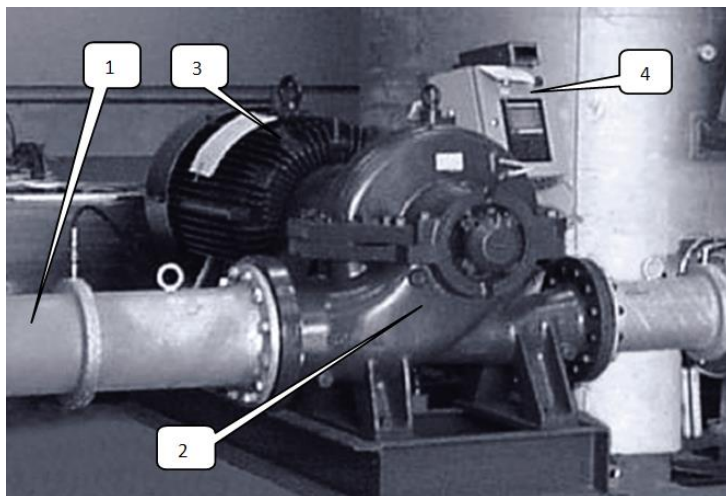


Рис. 1. Общий вид насосной установки:

- 1 – трубопровод; 2 – центробежный насос; 3 – асинхронный электродвигатель;
4 – преобразователь частоты

В работе рассматривается насосная установка, которая входит в состав насосной станции, предназначенной для подачи холодной воды в водопроводную сеть жилищного комплекса. Насосная установка обеспечивает следующие технические характеристики:

- номинальная подача воды $315 \text{ м}^3/\text{ч}$;
- максимальная высота напора 65 м.

Требуемые характеристики установки реализуются при использовании центробежного насоса 1Д315-71 с электроприводом на базе асинхронного двигателя 5AM280S4 и частотного преобразователя фирмы АВВ серии ACS550-01-195А-4.

В составе электропривода частотный преобразователь обеспечивает выполнение следующих основных функций:

- векторное управление без датчика и с датчиком обратной связи;
- высокий крутящий момент двигателя на низких частотах вращения;
- фиксированные скорости (до семи скоростей);
- автоматическое и ручное управление;
- автоматический перезапуск;
- повышение частоты коммутации при снижении перегрузочной способности;
- автоматическое снижение шума двигателя;
- автоматический контроль включения и выключения вентилятора охлаждения привода;
- управление группой насосов (карта насосов);
- защита двигателя и преобразователя;
- макросы управления – 8 стандартных, 3 пользовательских;
- встроенный фильтр электромагнитной совместимости;
- длина кабеля от преобразователя до двигателя до 300 м в стандартной комплектации;
- встроенный входной дроссель и дроссель в звене постоянного тока;
- отключение электродвигателя при превышении заданных крутящих моментов.

Выбор преобразователя ACS550 обусловлен простотой приобретения, установки, конфигурации и эксплуатации. ACS550 позволяет существенно уменьшить время пуска-наладки, конфигурирования и обслуживания привода, поскольку большинство характеристик и функций являются стандартным исполнением преобразователя частоты.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ КАСКАДНОГО МНОГОУРОВНЕВОГО ИНВЕРТОРА НАПРЯЖЕНИЯ

В последнее время возрос интерес к мощным электроприводам среднего напряжения. В слабых сетях, не допускающих перегрузок и сильных просадок напряжения, невозможен прямой пуск. В таких условиях рационально использовать высоковольтные преобразователи частоты, в том числе для исключения паразитных гармоник и регулируя скорость на объекте добиться увеличения срока его эксплуатации. Однотипная многоячейчатая структура, позволяет добиваться высоких уровней напряжения, а модульное построение силовой схемы удобно для обслуживания и быстрым ремонтом преобразователя. Учитывая сложность и дороговизну МВПЧ целесообразно уделить внимание компьютерному моделированию всей преобразовательной системы. В работе для исследования выбрана топология многоуровневого инвертора напряжения с каскадным соединением низковольтных ячеек. Модель позволяет провести количественную и качественную оценку работы ПЧ, а также сопоставить результаты моделирования с данными существующих альтернативных преобразовательных систем.

Модель ПЧ разработана в среде MATLAB/Simulink [1]. По результатам компьютерного моделирования выполнен сравнительный анализ систем скалярного и векторного управления высоковольтным асинхронным двигателем. Проведена оценка алгоритмов формирования ШИМ и распределения импульсов управления IGBT-транзисторами инверторной ячейки. Matlab-модель позволяет в реальном времени проводить исследования статических и динамических режимов работы регулируемого привода, а также оценить электромагнитные процессы в переходных режимах, происходящих в системе.

Библиографический список

1. Герман-Галкин. С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MATLAB 6.0: учебное пособие / С.Г. Герман- Галкин. - СПб.: КОРОНА принт. 2001. - 320 с., ил. ISBN 5-7931-0158-6.

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

ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ ОБЪЕКТАМИ

Одной из ключевых проблем управления мехатронными объектами является реализация заданного управляемого движения. Это касается не только обеспечение заданных законов движения объекта, но и достижение заданной точности при нелинейном характере этого движения.

Для создания качественно новых объектов мехатроники требуется решение очень широкого спектра сложных задач:

- обеспечение динамической развязки быстродействующих приводов с учетом компенсации взаимного влияния отдельных степеней подвижности;

- создание быстродействующих алгоритмов управления, инвариантных к типу кинематической схемы многосвязного мехатронного объекта;

- решение некорректных задач;

- учет факторов неопределенности и т.д.

Классические принципы теории управления не могут обеспечить решения этих задач по ряду следующих причин:

- большое число источников информации о разнородных физических величинах;

- большой объем вычислений, который не позволяет многоканальной системе работать в режиме реального времени;

- нехватка информации для принятия аналитического решения;

- входная информация содержит помехи и неопределенности.

Таким образом, на первый план могут выйти новые технологии управления, которые основаны на обработке постоянно меняющихся знаний об объекте. Эти новые технологии в последнее время называют интеллектуальными, так как являются базой для самообучения автономных объектов, функционирующих в условиях безлюдных технологий.

К разряду интеллектуальных технологий можно отнести следующие информационные технологии:

- экспертные системы;

- системы нечеткой логики;

- нейросетевые структуры;

- системы с ассоциативной памятью.

В настоящее время наибольшее развитие получили технологии экспертных систем и нейросетевых структур. Перспективным направлением может являться применение технологии с ассоциативной памятью.

Экспертная оценка выполняет функции интеллектуальной надстройки над известным ПИД-регулятором и периодически подстраивает его коэффициенты в зависимости от изменения параметров следящего электропривода. Однако экспертный регулятор, обеспечивая адаптивное управление в широком диапазоне, не может обеспечить необходимое для управления в реальном масштабе времени быстроедействие.

Нейросетевой регулятор, построенных на базе восьмидесяти статических нейронов и обученный на оптимальный по быстрдействию принцип функционирования, включается в контур системы управления последовательно с объектом, что обеспечивает очень высокое быстроедействие при слежении за различными входными воздействиями и инвариантность к определенному рода внешним возмущениям.

Таким образом, чтобы достичь необходимой точности механического движения, носящего нелинейный характер, для мехатронных объектов необходимо осуществить использование высокоэффективных микропроцессорных систем управления, которые позволят реализовать различные структуры управления механическими многостепенными объектами.

Библиографический список

1. **Шалобаев, Е.В.** Теоретические и практические проблемы развития мехатроники // Сборник "Современные технологии" под ред. С.А.Козлова. – СПб.: СПбГИТМО-ТУ, 2001. – С.46-67.

***И.В. Холмов маг., В.Т. Филитчев к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)***

МОДЕЛИРОВАНИЕ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ТИРИСТОРНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ НАПРЯЖЕНИЯ

Использование асинхронного электропривода с фазовым управлением в большинстве случаев определяется технологическими требованиями производственных механизмов (транспортёров, насосов,

вентиляторов и др.), требующих плавного пуска и ограничения ударных моментов, ускорений и рывков, возникающих при прямом подключении асинхронных двигателей к номинальному напряжению сети, а также при небольших диапазонах регулирования скорости в кратковременном или периодически – кратковременном режимах [1].

Разработка модели асинхронного тиристорного электропривода с фазовым управлением для включения ее в учебный процесс специальности «Электропривод и автоматика» является актуальной поскольку отвечает рекомендациям конференции по автоматизированному электроприводу по применению устройств плавного пуска для нерегулируемых двигателей значительной мощности.

Моделирование позволяет анализировать установившиеся и переходные процессы в в рабочих и аварийных режимах в разрабатываемом электроприводе как в разомкнутой , так и в замкнутой системах регулирования [2].

Для реализации модели электропривода с тиристорным регулятором напряжения использованы стандартные блоки пакета расширения Simulink – SimPowerSystems.

Модель электропривода включает в себя следующие основные элементы: модель силовой части, состоящей из трех пар встречно-параллельно включенных тиристоров Thyristor, модели системы импульсно-фазового управления с управлением в разомкнутой и замкнутой системах Discrete Synnchronized 6-pulse Generator, а также известной модели описания асинхронного двигателя с учетом электромагнитных процессов AsynchnronsMachine SI Units.

Библиографический список

И.Я.Браславский, З.Ш. Ишматов, В.Н.Поляков Энергосберегающий асинхронный электропривод, М. Академия, 2004.

И.В.Черных Моделирование тиристорного регулятора напряжения с использованием стандартных блоков simpowersystem, Труды УГТУ, Екатеринбург

СЕКЦИЯ 20

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

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

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

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВРАЩАЮЩЕГО МОМЕНТА СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Простота конструкции и высокая надежность в работе синхронных реактивных двигателей всегда привлекала внимание ученых и инженеров. Разработаны различные конструкции таких двигателей [1]. Одна из конструкций предложена инженерами ОАО «НИПТЭМ» г. Владимир, а именно синхронные реактивные двигатели с анизотропной магнитной проводимостью ротора (СРД с АМПР) [2].

В конструкции СРД с АМПР полюса ротора выражены не геометрически, а магнитно. Это значит, что магнитные сопротивления ротора на пути продольного и поперечного магнитных потоков различаются. Величина реактивного момента зависит от величины магнитных сопротивлений. Актуальной является задача исследования синхронного реактивного двигателя с анизотропной магнитной проводимостью ротора, на предмет увеличения вращающего момента.

В данной работе выполнен анализ влияния величины коэффициентов формы поля якоря по продольной и поперечной осям ротора, на величину реактивного момента. На базе полевого расчета методом конечных элементов определена величина реактивного момента СРД с АМПР (110 кВт, 1000 об/мин). Предложены изменения конструкции ротора СРД с АМПР, позволяющие увеличить вращающий момент. Выполнен анализ прочности конструкции ротора.

Библиографический список

1. **Постников И. М.** Синхронные реактивные двигатели/ И.М. Постников, В.В. Ралле//Техника, 1970, 148 стр.

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

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

К ВОПРОСУ РАСЧЁТА АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С ЭКРАНИРОВАННЫМИ ПОЛЮСАМИ

В настоящее время электрические машины малой мощности активно используются в различных областях промышленности, в системах автоматики, в транспортных средствах, в гироскопических приборах, в радиосвязи, в дистанционном управлении, выполняя различные функции [1].

К микромашинам предъявляется ряд требований, которые заключаются в повышении надежности работы, уменьшении габаритов и массы электродвигателей, получении необходимых показателей и характеристик машины, уменьшении ее стоимости, рационализации производства, сокращении сроков проектирования серии электродвигателей.

В Российской Федерации в быту используется около 1 млрд. электроприборов, в том числе с однофазным асинхронным двигателям с экранированными полюсами (АДЭП). Однако потребление электроэнергии мало по сравнению со странами Европы и Северной Америки. Причиной является малая оснащённость бытовой техникой. Необходимо улучшение бытовых электроприборов, производство техники с повышенными энергетическими показателями, энергосберегающей техники. Это влечет за собой необходимость улучшения самих микродвигателей.

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. Создание рациональных и точных методик расчета усложняется наличием сильно выраженных пространственных гармоник магнитного поля, нескольких составляющих потока рассеяния статора и короткозамкнутого витка.

Целью работы является уточнение существующей методики расчета АДЭП. Существующая методика расчёта разработана в 60-е годы XX века. С того времени изменились свойства материалов, из которых изготавливают данные двигатели, увеличилась точность изготовления деталей, произошли изменения в требованиях, предъявляемых к АДЭП.

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Исследование магнитного поля в АДЭП.
2. Определение на основе картины магнитного поля рабочих и пусковых характеристик АДЭП
3. Сравнить результаты, полученные в ходе конечно-элементного моделирования, с существующей методикой проектирования и с результатами, полученными в ходе реальных испытаний.
4. Выявить причины расхождения результатов, получаемых в ходе расчёта АДЭП по известной методике проектирования и на основе конечно-элементного моделирования.

В магистерской диссертации [2] была создана конечно-элементная модель реально существующего АДЭП мощностью 1,2 Вт в Ansys Maxwell адекватно отражает процессы, происходящие в двигателе, и позволяющая производить расчеты параметров и характеристик в различных режимах работы. Там же был произведен расчет параметров и характеристик двигателя по существующей инженерной методике проектирования. В ходе исследования был выявлен ряд неточностей расчета, что может приводить к качественным и количественным ошибкам в проектировании. Были выявлены большие расхождения в расчетах пусковых характеристик аналитическими методами и численным методом в Ansys Maxwell.

Подобные расхождения, полученные при сравнении данных, полученных при расчете двигателя по инженерной методике проектирования и численным методом на основе конечно-элементной модели, могут быть вызваны неточными расчетами параметров АДЭП, в частности индуктивных сопротивлений.

Библиографический список

1. **Лифанова В.А.** Электрические машины систем автоматики и бытовой техники: Учебное пособие. – Челябинск: изд. ЮУрГУ, 2006. – 237с.
2. **Царева А.А.** Исследование асинхронного двигателя с экранированными полюсами: дис. магистра электротехники и электроэнергетики. ИГЭУ им. Ленина. Иваново. 2016.

*К. П. Комов, маг.; рук. Н. А. Морозов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СПОСОБ ОПРЕДЕЛЕНИЯ НАЧАЛЬНОГО КАСАТЕЛЬНОГО НАПРЯЖЕНИЯ В МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Находясь во внешнем магнитном поле магнитная жидкость (МЖ) структурируется и меняет вязкость. Магнитные частицы в составе МЖ, обладая собственным магнитным моментом, ориентируются по направлению вектора магнитной напряжённости внешнего поля. Магнитные частицы выстраиваются в определённые структуры, возникают упругие взаимодействия проявляющиеся при попытке сместить слои МЖ друг относительно друга.

В некоторых технических устройствах используется эффект упругого смещения твёрдых тел в МЖ без сдвигового течения. Для их проектирования следует знать начальное напряжение сдвига τ_0 , которое обычно определяют продолжением реологической кривой до нулевой скорости сдвига. Получить на вискозиметре плавную характеристику момента от времени на начальном участке реологических характеристик (при малом градиенте скорости сдвига) МЖ не удаётся. Это подтверждается опытными данными, которые были получены на базе ПНИЛ ФГД. Измерения проводились на ротационном вискозиметре «RHEOTESTRN 4. 1», скорости сдвига от 0 до 1200 с⁻¹. Скорость сдвига изменялась автоматически с шагом 10 с⁻¹. [1]. Результаты опыта представлены на рисунке 1.

Для определения касательного напряжения в МЖ при градиенте скорости равном нулю была разработана лабораторная установка (рисунок 2). МЖ будет находиться в неподвижной части 3, в которую погружается подвижная часть установки 2. Подвижная часть представляет собой набор из шести немагнитных пластин, стянутых шпильками. Зазор между пластинами должен быть таким, чтобы не проявлялись капиллярные эффекты.

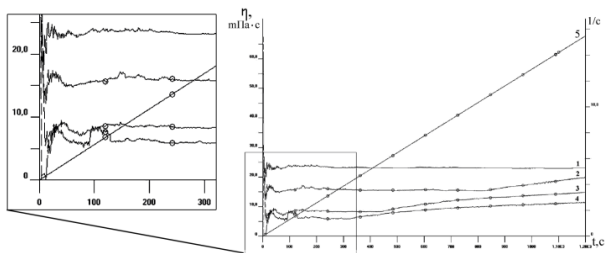


Рисунок 1. Реологические характеристики МЖ с различными концентрациями C_V магнитных частиц: 1 – $C_V = 10,6\%$; 2 – $C_V = 9,3\%$; 3 – $C_V = 7,9\%$; 4 – $C_V = 6,3\%$. 5 – частота вращения вискозиметра

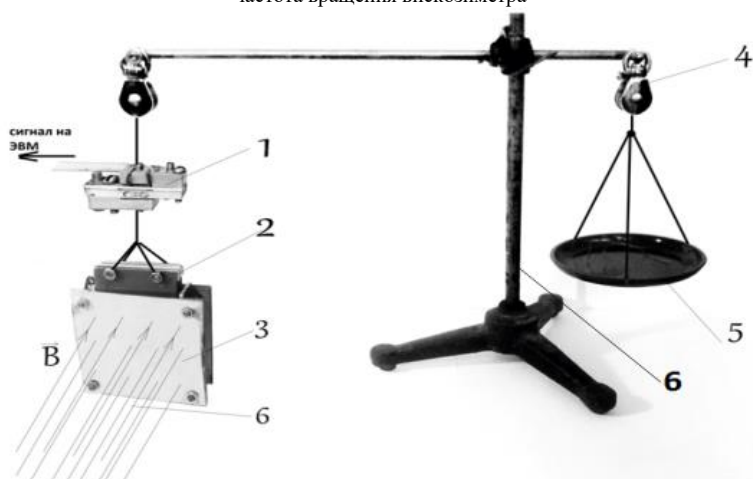


Рисунок 2. Установка для проведения эксперимента: 1 – пьезодатчик; 2 – подвижная часть установки; 3 – неподвижная часть; 4 – блок; 5 – чаша противовеса; 6 – штатив.

При погружении/извлечении подвижной части МЖ свободно заполняет пространство между пластинами. Извлечение подвижной части осуществляется нитью, переброшенной через систему блоков и соединённой с чашей, которая нагружается эталонной массой. Натяжение нити должно нарастать плавно, приращение эталонной массы должно быть незначительным.

Нить действует на подвижную часть через пьезодатчик, электрический сигнал от которого поступает на ЭВМ в программный комплекс LabView. Момент срагивания подвижной части установки будет фиксироваться визуально по относительному смещению

предварительно нанесённых рисок. Сила страгивания подвижного элемента будет измеряться при различных значениях магнитной индукции внешнего поля, создаваемого установкой ФЛ-1.

Таким образом, получим силовую характеристику $F(B)$. По известной силе F и площади S пластин подвижной части можно рассчитать касательное напряжение τ_0 .

$$\tau_0 = \frac{F}{S} \quad (1)$$

Библиографический список

1. Разработка научных основ создания управляемых демпфирующих устройств с использованием нанодисперсных магнитных жидкостей. Отчёт по НИР. Грант 12-08-97516-р_центр_а РФФИ № гос. рег. 01201263089 ГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина» - Иваново 2012. 72.с.

*А.Б. Котов, маг.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ НА ОСНОВЕ МЕТОДА КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ

В электромеханических устройствах, процесс преобразования энергии сопровождается рядом явлений, к числу которых относится шум и вибрация, производимыми электрическими машинами. Электромагнитные силы действуют в воздушном зазоре между статором и ротором и имеют характер вращающихся или пульсирующих силовых волн, их амплитуда и частота зависят от конструктивного исполнения статора и ротора [1].

Электрические машины создают шумовое загрязнение окружающей среды, оказывают негативное влияние на человека. Виброшумовые характеристики электрических машин регламентируются, принимают меры к их снижению [2]. При питании асинхронного двигателя (АД) от преобразователя частоты (ПЧ) с широтно-импульсной модуляцией (ШИМ) напряжения в напряжении присутствует широкий спектр временных гармоник [3].

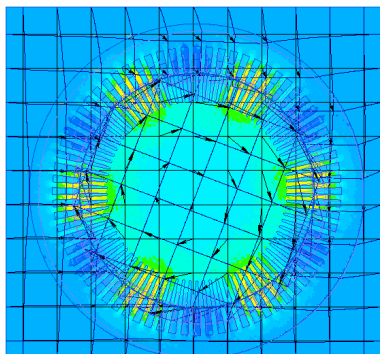


Рисунок 1—Картина направления векторов смещения, действующих на конструкцию АМ по результатам расчета пакета ELCUT

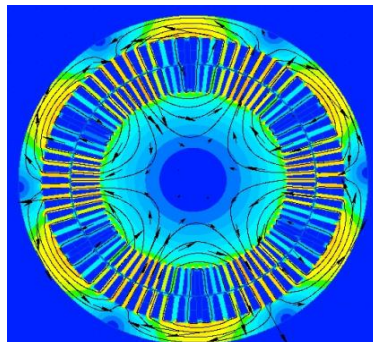


Рисунок 2- Картина распределения магнитной индукции в радиальном сечении АМ по результатам расчета магнитостатики пакета ELCUT

Для анализа виброшумовых характеристик впервые была создана и использована методика, основанная на базе метода конечно-элементного моделирования, в среде ELCUT, в котором решалась связанная задача магнитостатики и механического поля напряжения и деформаций.

Значение блоков обмотки статора в разделе магнитостатики имеют данные токов для 179 временных гармоник рассчитанных следующим образом:

$$I_v = \frac{U_v}{v \cdot \sqrt{(R_1 + R'_2)^2 + (X_1 + X'_2)^2}},$$

где – U_v значение напряжения v -й гармоники, R_1 и R'_2 , X_1 и X'_2 – активные и индуктивные сопротивления обмоток.



Рисунок 3 - Уровни электромагнитных шумов от высших временных

В ходе проведения исследования были рассчитаны уровни шума для 179 высших временных гармоник напряжения. В результате было выявлено увеличение уровня шумов на 4,6 Дб, что порядка 5,5 %.[4].

Следующим шагом исследования, является проведение расчетных исследований виброшумовых характеристик АД при работе от ПЧ с ШИМ напряжения на базе пакета ANSYS MAXWELL. Это позволит получить результаты шумов и вибраций от любого типа (ШИМ) напряжения, без использования на конечном этапе расчета аналитических формул, и добиться более точных результатов расчета, что немаловажно на стадии проектных расчетов АД.

Библиографический список

3. Лазарову Д.Ф., Бикир Н. Магнитный шум электрических машин и трансформаторов Пер. с рум. –М.:Энергия 1973.
4. В.Т. Медведев, О.В. Чебышева. Борьба с виброакустическим загрязнением окружающей среды: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2015.
5. Казаков Ю.Б. Энергоэффективность работы электродвигателей и трансформаторов при режимных и конструктивных вариациях: учебное пособие для вузов / Ю.Б. Казакова. – М.: Издательский дом МЭИ, 2013.
6. Котов А.Б., Казаков Ю.Б. Полевой подход к анализу виброшумовых характеристик частоторегулируемых асинхронных двигателей / "Радиоэлектроника, электротехника и энергетика": 22 Междун. научн.-техн. конф.– М.: Изд. дом МЭИ, 2016. Том 2. С. 13.

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

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ПОИСКОВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАРАМЕТРИЧЕСКИХ ГЕНЕРАТОРОВ КОНЕЧНО- ЭЛЕМЕНТНЫХ МОДЕЛЕЙ

Разработка программ поиска вариантов исполнения магнитной системы электромеханических устройств является одним из характерных направлений, открывающихся благодаря разрабатываемому методу организации поиска решений. В данной работе поисковая модель реализуется на примере программы минимизации затрат материалов на создание статора машины постоянного тока.

Секция 20. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

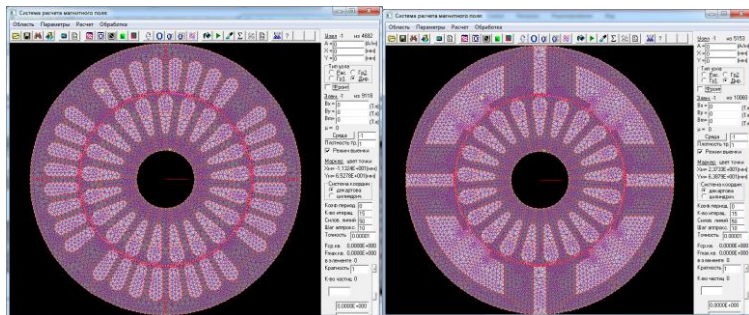


Рисунок 1 – Примеры конечно-элементной модели двигателя постоянного тока.

Для решения этой задачи в общем виде был создан параметрический генератор конечно-элементной модели, позволяющий при разном сочетании параметров строить модели, существенно отличающиеся друг от друга вплоть до перехода от неявнополюсной конструкции машины к явнополюсной.

Программа поиска решения создает окно для визуального наблюдения за процессом поиска решения, формирует список варьируемых переменных, а затем осуществляет направленный поиск значений варьируемых параметров, которые удовлетворяют условию минимума целевой функции

$$F = \left(V_{mc} + V_{мян} \frac{\Phi_{\delta n}}{\Phi_{\delta}} \right) \cdot k_m + \left(V_{cc} + V_{сян} \frac{\Phi_{\delta n}}{\Phi_{\delta}} \right) \cdot k_c \quad (1)$$

с полной регенерацией конечно-элементной модели машины на каждом шаге поиска. Здесь V_{mc} – расход меди в обмотках статора; $V_{мян}$ – расход меди в обмотках ротора исходного варианта машины; $\Phi_{\delta n}$ – величина основного потока в номин. режиме в исходном варианте машины; V_{cc} – расход стали в статоре; $V_{сян}$ – расход стали в роторе исходного варианта машины; k_m , k_c – весовые коэффициенты [1].

Результаты расчета используются в выражении целевой функции вместе со значениями объемов меди и стали для данной конструкции. Поиск решения осуществляется с использованием генетических алгоритмов.

Опираясь на опыт проведенных работ по оптимизации неявнополюсных машин постоянного тока, можно сформулировать ряд рекомендаций, вытекающих из особенностей неподвижного относительно статора магнитного поля машины, которые полезно

учесть при проектировании будущих серий неявнополюсных машин постоянного тока.

1. Внешняя поверхность статора может быть выполнена в форме многогранника с числом граней, равным числу полюсов. Это не только улучшает раскрой стали, но и положительно отражается на характеристиках машины.

2. В машинах малой мощности в целях борьбы с поперечной реакцией якоря рекомендуется делать прорези в главных полюсах. В таких конструкциях компенсационная обмотка теряет свою эффективность, однако наилучшим образом проявляют себя добавочные полюса.

3. Наибольший эффект наблюдается в конструкциях, где прорезь и сечение спинки статора используются одновременно.

4. Смещением нормали сечения и оси прорези относительно оси главного полюса на некоторый угол можно добиться еще большей экономии активных материалов за счет потери свойства реверсивности машины [2].

Библиографический список

1. **Тихонов А.И.** Разработка моделей и методов анализа и синтеза решений в автоматизированном проектировании электромеханических устройств: дис...д-ра. техн. наук. ИГЭУ им. В.И. Ленина, Иваново, 2007.
2. **Тихонов А.И., Шмелев А.С., Булатов Л.Н.** Оптимизация конструкции электрических машин с использованием конечно-элементной модели магнитного поля. Иваново, 2014. – 111 с.

*Д.Ю. Макаров, маг.; рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ КРИВОЙ НАМАГНИЧИВАНИЯ ФЕРРОМАГНИТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ

Теоретический расчёт влияния ферромагнитного наполнителя на проводимость рабочего зазора предполагает регулярное расположение элементов наполнителя в объёме. Была построена кривая коэффициента заполнения рабочего объёма элемента наполнителя с реальными размерами при разных зазорах между элементами. По результатам экспериментального заполнения зазора было найдено значение эффективных зазоров между элементами ферромагнитного наполнителя в теоретическом исследовании. Значение зазора составляет 0,967 мм. Это позволяет соотнести результаты теоретического расчета и практического исследования.

Секция 20. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

При моделировании ферромагнитного наполнителя в среде ANSYS Maxwell значение зазоров было принято равным 1 мм. Для придания хаотичности расположения наполнителя ряды между собой сдвинуты на половину величины соответствующего размера. Исследуемая компьютерная модель представлена на рис. 1.

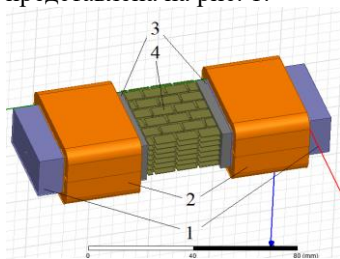


Рис. 1. Исследуемая модель

Здесь: 1 – магнитопровод электромагнита, 2 – обмотка напряжения, 3 – стенки исследуемой ячейки, 4 – ферромагнитный наполнитель. Для упрощения конструкции было задано условие непрерывности потока, т.е. поток, выходящий из левой границы магнитопровода, входит в правую границу. Меняя значение тока в катушке, были рассчитаны значения падения магнитного напряжения на левой и правой частях магнитопровода а так же в стенках ячейки, падение магнитного напряжения в зазоре и поток, проходящий через зазор. Были подсчитаны значения эффективной индукции и эффективной напряженности дисперсного ферромагнитного наполнителя. Построена кривая намагничивания ферромагнитного наполнителя (рис. 2.), позволяющая учитывать наполнитель при расчете магнитных цепей.

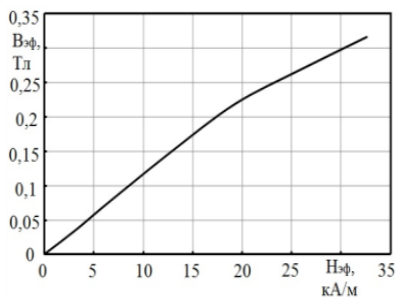


Рис. 2. Кривая намагничивания ферромагнитного наполнителя

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

АНАЛИЗ ВНЕШНЕГО ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ СИНХРОННЫХ МАШИН

Сегодня 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, пока они не приведут к необратимому разрушению машины. Наиболее распространенными являются повреждения обмотки возбуждения. Выявление виткового замыкания в обмотке ротора является трудной задачей технической диагностики. Эти неисправности вызывают несимметрию во внешнем электромагнитном поле СМ. Исследование характера несимметрии внешнего электромагнитного поля позволяет судить о видах неисправностей. Такой способ позволяет одновременно и с более высокой точностью определять сразу несколько дефектов в машине. И, следовательно, своевременно принять меры по устранению неисправностей.

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

Для достижения данной цели были поставлены следующие задачи:

1. Разработка математической модели внешнего магнитного поля синхронной машины при электромагнитных несимметриях.
2. Выявления виткового замыкания обмотки ротора синхронной машины на основе анализа внешнего электромагнитного поля. Обнаружение несимметрии магнитного поля возбуждения.
3. Расчётный конечно-элементный анализ изменений внешнего электромагнитного поля при электромагнитных несимметриях.

Для анализа была выбрана синхронная машина мощностью 538 кВт, и числом пар полюсов $2p=6$. Полевой анализ работы двигателя выполняется в результате решения в «Elcut» задачи магнитного поля переменных токов и задачи магнитостатики. Значения токов задаются средствами «Elcut» [2]. Выполнены расчёты и анализ электромагнитного поля.

Секция 20. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

На рисунке 1 показаны модель СГ, места размещения датчиков магнитного поля на внешней стороне корпуса СГ, а также конечно-элементная сетка для расчёта в программе Elcut.

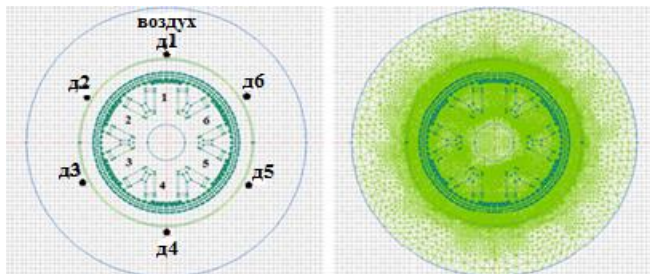


Рисунок 1 – Модель СГ и конечно-элементная сетка, где 1, 2... - номера полюсов, д1, д2... - номера датчиков магнитного поля

Результаты расчёта приведены ниже.

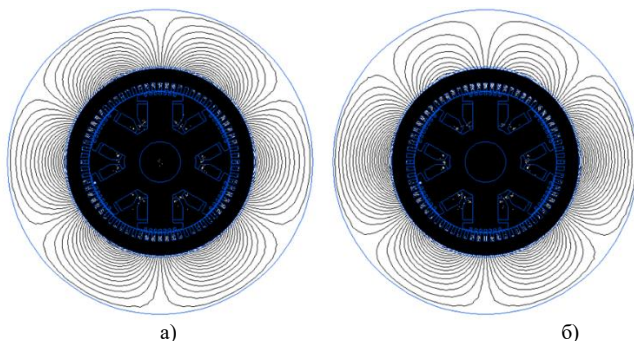


Рисунок 2 – Внешнее электромагнитное поле СМ
а) без выгорания обмотки возбуждения; б) с 50% выгоранием обмотки возбуждения

Анализ результатов расчёта показал, что в процессе выгорания обмотки возбуждения №1 изменяется внешнее электромагнитное поле СГ. Самое большое изменение индукции наблюдается в месте установки датчика д1. Датчик д1 установлен на внешней стороне корпуса СМ. Значение индукции в данном месте имеет минимальное значение, по сравнению с другими.

Таким образом, исследование внешнего электромагнитного поля синхронного генератора позволяет выявить факт неисправности, выгорание обмотки возбуждения, а также степень её выгорания.

Библиографический список

1. Полищук В. И. Развитие теории построения систем диагностики синхронных машин: дис. на соискание ученой степени док. техн. наук. – Самара. – 2016 г. – 12, с.
2. Электронный ресурс <http://elcut.ru>

*А. В. Подобный, маг.; М.В. Тамьярова, соиск.;
А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОЛЕВАЯ ДИНАМИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ В SIMULINK

К числу наиболее популярных систем имитационного моделирования можно отнести пакет MatLab Simulink, в котором присутствует библиотека моделирования физических цепей SimPowerSystems. Однако моделирование динамических режимов работы электрических машин с использованием данной библиотеки не обеспечивает должной точности, характерной для полевых моделей. В то же время расчет полевой динамические модели, реализованный, например, с помощью пакета ANSYS Maxwell, пока еще требует значительного времени, что недопустимо в имитационном моделировании.

Быстродействующую полевую динамическую модель рассмотрим на примере универсального коллекторного двигателя, который в динамике описывается системой уравнений

$$\begin{bmatrix} \frac{\partial \Psi_f(i_a)}{\partial i_a} + L_{fl} + \frac{\partial \Psi_a(i_a)}{\partial i_a} + L_{al} & \frac{\partial \Psi_a(i_a, \alpha)}{\partial \alpha} & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \frac{di_a}{dt} \\ \frac{d\alpha}{dt} \\ \frac{d\omega}{dt} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} u - i_a(R_f + R_a) \\ \omega \\ \frac{M(i_a) - M_B}{J} \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где u – мгновенное значение напряжения сети; R_f , R_a , L_{fl} , L_{al} – сопротивления и индуктивности лобового рассеяния в цепи обмотки возбуждения (ОВ) и обмотки якоря (ОЯ) соответственно; i_a – мгновенное значение тока ОЯ; ω – угловая скорость вращения якоря; M_B – внешний момент на валу двигателя; $M(i_a)$ – зависимость электромагнитного момента от тока якоря, полученная из серии

Секция 20. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

расчетов магнитного поля; $\frac{\partial \Psi_f(i_a)}{\partial i_a}$, $\frac{\partial \Psi_a(i_a)}{\partial i_a}$, $\frac{\partial \Psi_a(i_a)}{\partial \alpha}$ – частные

производные от функций потокосцеплений ОВ и ОЯ по току якоря i_a и углу поворота якоря α (данные производные берутся по функциям $\Psi_f(i_a)$ и $\Psi_a(i_a, \alpha)$, полученным путем сплайновой аппроксимации матриц потокосцеплений, рассчитанных в серии расчетов квазистационарного магнитного поля с использованием библиотеки EMLib при разных значениях i_a и α).

На рис. 1 представлена модель, для расчета пуска УКД, созданная с помощью библиотеки SimPowerSystems в среде Simulink. На рис. 2 представлен блок собственно модели УКД.

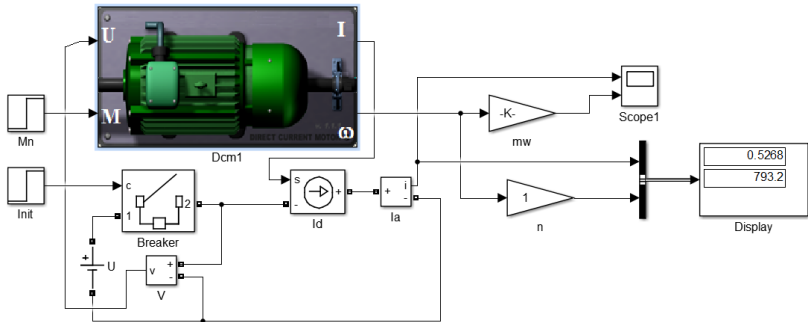


Рис. 1. Модель для расчета пуска УКД

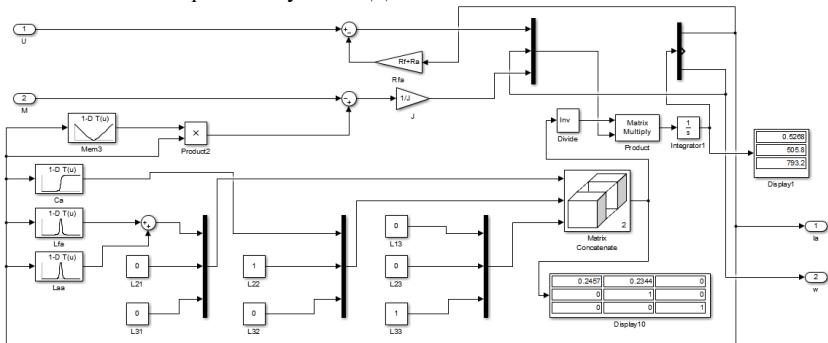


Рис. 2. Модель электрической машины

На рис. 3 приведены кривые пуска УКД $i_a(t)$ и $n(t)$ на постоянно токе.

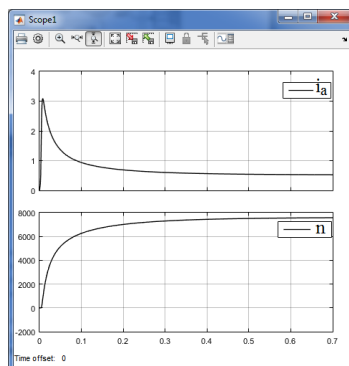


Рис. 3. Кривые пуска УКД

Особенность представленной модели состоит в том, что она является полевой динамической моделью, то есть в ней учтены все особенности конструкции УКД. При этом расчет данной модели в Simulink осуществляется за доли секунды. Разработана система автоматической генерации данной модели по результатам проектного расчета УКД.

*А. В. Подобный, маг.; А. В. Плаксин, студ.;
А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

РАЗРАБОТКА УПРАВЛЯЕМОГО БЛОКА ПИТАНИЯ ДЛЯ СОЗДАНИЯ СИСТЕМЫ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ УКД

Системы автоматизации экспериментальных исследований (САЭИ) позволяют сроки снимать, обрабатывать, передавать и систематизировать большой объем информации, получаемой с периферийных датчиков. Разработка САЭИ на базе широко доступных электронных компонентов – одна из перспективных задач.

В качестве программной базы САЭИ универсального коллекторного двигателя (УКД) используется виртуальный лабораторный стенд (ВЛС). В качестве основной элементной базы – управляемые через ПК источники питания, цифровые датчики тока и напряжения.

Ввиду отсутствия доступной элементной базы поставлена задача создания управляемого через ПК источника питания с возможностью

регулирования постоянного напряжения в пределах от 5 до 200 В и максимальной мощностью 150 Вт с возможностью снятия и оцифровки параметров выходного тока и напряжения. За основу было решено взять типовой импульсный блок питания от компьютера (АТХ), структурная схема которого представлена на рис. 1.

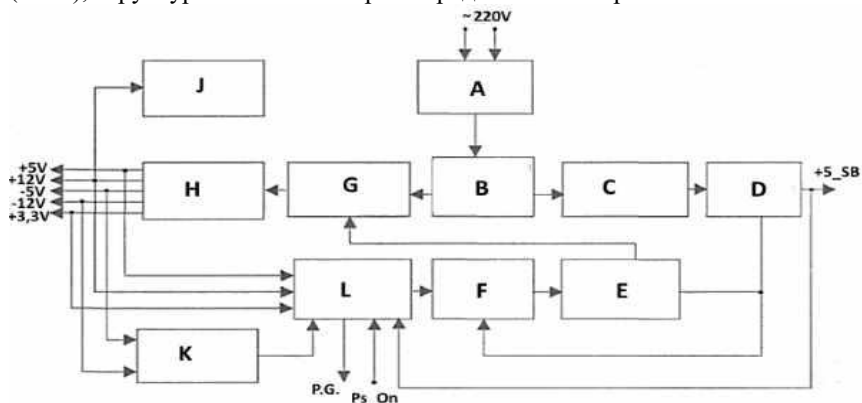


Рис. 1. Структурная схема АТХ (А – блок сетевого фильтра; В – НЧ выпрямитель со сглаживающим фильтром; С – каскад вспомогательного преобразователя; D – выпрямитель; E – блок управления; F – ШИМ-контроллер; G – каскад основного преобразователя; H – ВЧ выпрямитель высокочастотного типа, снабженный сглаживающим фильтром; J – система охлаждения БП; L – блок контроля выходных напряжений; K – защита от перегрузки; +5_SB – дежурный режим питания; P.G. – информационный сигнал, необходимый для старта материнской платы PS_On – сигнал управляющий запуском БП)

Убрав ненужные элементы и добавив дополнительный блок управления ШИМ контроллера – М, получили структурную схему, изображенную на рис 2. Систему охлаждения БП – J, была подключена к выпрямителю каскада вспомогательного напряжения D для регулировки выходного напряжения. Трансформатор был пересчитан и перемотан для работы в схеме полумостового преобразователя и способен выдавать напряжение до 250 В при мощности до 200 Вт. В связи с этим был изменен блок H на максимальное напряжение 250 В.

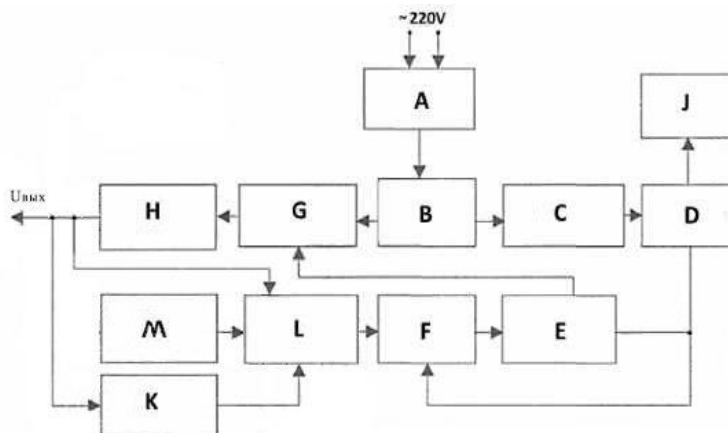


Рис. 2. Структурная схема переработанного импульсного блока питания

В качестве ШИМ контроллера используется микросхема tl494. Для связи ее с ПК выбрана платформа Arduino Mega, на базе микроконтроллера Atmega семейства AVR с открытой архитектурой и программным кодом. Она имеет в базовом исполнении 16 входов с АЦП, 54 цифровых входов/выходов, из которых 14 могут использоваться для ШИМ модуляции. Данная микросхема является доступной, но имеет ряд своих особенностей, одной из которых является отсутствие встроенного ЦАП. Для решения данной проблемы было решено использовать цифровой потенциометр MCP41010. Он способен менять сопротивление от 0 до 10 кОм, имея 256 шагов.

Выходное напряжение с блока питания выводится на один из аналоговых входов МК через делитель напряжения, где оцифровывается. Измерение тока производится на встроенном шунте за счет показаний напряжения, после чего так же передается для оцифровки на АЦП МК. При работе блока питания на напряжении 200 В при тестовой нагрузке 100 Вт амплитуда колебания напряжения не превышает 1%.

На данный момент ведется оптимизация данного блока на отладочной плате, но уже сейчас устройство готово для реализации задачи.

*М.В. Профьев, студ.; рук. А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ В ПОЛЕВОЙ ПОСТАНОВКЕ

Существует два типа динамических моделей электромеханических устройств: построенные с использованием методов теории цепей (цепные) и созданные с использованием теории поля (полевые). Поскольку второй вариант наиболее трудоемкий, на практике пользуются цепными моделями. Особым случаем являются комбинированные модели. Построение комбинированной модели рассмотрим на примере синхронной машины.

Параметры комбинированной модели синхронной машины рассчитываются с использованием библиотеки моделирования магнитного поля EMLib. При этом принимаются следующие допущения:

- 1) магнитное поле является квазистационарным;
- 2) магнитная система машины шихтована, отсутствуют массивы, где могли бы наводиться вихревые токи, вытеснение тока учитывается особо.

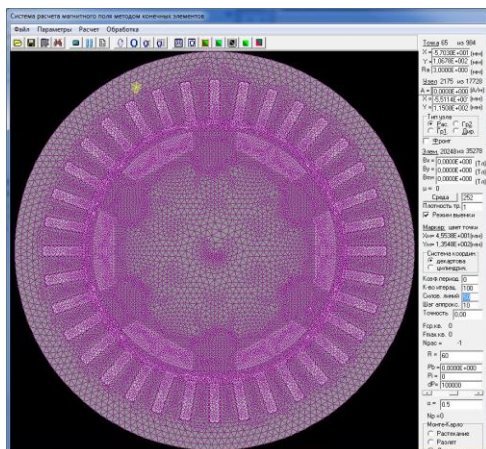


Рис. 1. Пример конечно-элементной модели синхронной машины, созданной параметрическим генератором полевой модели

Для построения конечно-элементной модели магнитного поля в синхронной машине был разработан параметрический генератор,

представляющий собой программный на языке VBA, осуществляющий автоматическое построение модели по заданному алгоритму по исходным данным, занесенным в таблицу Excel. Расчетная область представляет собой плоскопараллельное сечение устройства, заполненная графическими примитивами, определяющими границы раздела сред, по которым строится конечно-элементная сетка, представленная на рис. 1.

Динамика электрической машины описывается системой уравнений

$$\begin{cases} \frac{d\Psi}{dt} = \mathbf{u} - \mathbf{R}\mathbf{i}, \\ \frac{d\omega}{dt} = \frac{1}{J}(M - M_n), \end{cases} \quad (1)$$

где Ψ – матрица-столбец мгновенных потокосцеплений обмоток; \mathbf{u} – матрица-столбец мгновенных напряжений на обмотках; \mathbf{R} – диагональная матрица сопротивлений обмоток; \mathbf{i} – матрица-столбец мгновенных токов; ω – частота вращения ротора; J – момент инерции якоря; M – электромагнитный момент; M_n – момент нагрузки на валу.

Данная система уравнений приводится к виду

$$\begin{Bmatrix} \frac{\partial i_1}{\partial t} \\ \frac{\partial i_2}{\partial t} \\ \dots \\ \frac{\partial i_n}{\partial t} \\ \frac{\partial \alpha}{\partial t} \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \Psi_1}{\partial F_d} K_{d1} + \frac{\partial \Psi_1}{\partial F_q} K_{q1} & \frac{\partial \Psi_1}{\partial F_d} K_{d2} + \frac{\partial \Psi_1}{\partial F_q} K_{q2} & \dots & \frac{\partial \Psi_1}{\partial F_d} K_{dn} + \frac{\partial \Psi_1}{\partial F_q} K_{qn} & \frac{\partial \Psi_1}{\partial \alpha} & 0 \\ \frac{\partial \Psi_2}{\partial F_d} K_{d1} + \frac{\partial \Psi_2}{\partial F_q} K_{q1} & \frac{\partial \Psi_2}{\partial F_d} K_{d2} + \frac{\partial \Psi_2}{\partial F_q} K_{q2} & \dots & \frac{\partial \Psi_2}{\partial F_d} K_{dn} + \frac{\partial \Psi_2}{\partial F_q} K_{qn} & \frac{\partial \Psi_2}{\partial \alpha} & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial \Psi_n}{\partial F_d} K_{d1} + \frac{\partial \Psi_n}{\partial F_q} K_{q1} & \frac{\partial \Psi_n}{\partial F_d} K_{d2} + \frac{\partial \Psi_n}{\partial F_q} K_{q2} & \dots & \frac{\partial \Psi_n}{\partial F_d} K_{dn} + \frac{\partial \Psi_n}{\partial F_q} K_{qn} & \frac{\partial \Psi_n}{\partial \alpha} & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & \dots & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}^{-1} \begin{Bmatrix} u_1 - i_1 R_1 \\ u_2 - i_2 R_2 \\ \dots \\ u_n - i_n R_n \\ \omega \\ \frac{1}{J}(M - M_n) \end{Bmatrix}. \quad (2)$$

Здесь $\Psi_k(F_d, F_q, \alpha)$ – функции потокосцеплений k-й обмотки или контура, образованного стержнями демпферной клетки в зависимости от намагничивающих сил (НС) машины по осям d и q, а также угла поворота ротора α (получаются путем сплайновой аппроксимации матриц потокосцеплений, полученных в ходе предварительной серии расчетов магнитного поля). В свою очередь НС F_d и F_q зависят от всех токов i_1, \dots, i_n . Коэффициенты K_{dk} и K_{qk} зависят от геометрического расположения секций обмоток по отношению к осям d и q.

*Д.Ю. Розанов, маг.; рук. В.П. Шишкин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ Иваново)*

МАГНИТНЫЙ ШУМ УНИВЕРСАЛЬНОГО КОЛЛЕКТОРНОГО ДВИГАТЕЛЯ

Одно из важнейших проблем универсального коллекторного двигателя является шум. В данных двигателях возникают следующие два вида магнитных вибраций, вибрации от переменной составляющей основного поля и вибрации от зубцовых гармоник якоря по природе полностью аналогичные зубцовым вибрациям при питании двигателях постоянным током. [3]

Поэтому, пазы якоря рекомендуется скашивать на одно пазовое деление. Следует применять неравномерный воздушный зазор под полюсами. Конструкция крепления полюсов должна обеспечивать возможно более плотное прилегание к станине. Должно быть обеспечено хорошее крепление катушек на полюсах.[1]

Для более точного расчета двигатель был построен в ANSYS Maxwell 14.0 - 2D Design 3D Modeler. И с уточненным значением индукции был проведен расчет магнитного шума. Задаем исходными данными двигателя такие как мощность, индукции (уточненные в ANSYS Maxwell), размер, масса.

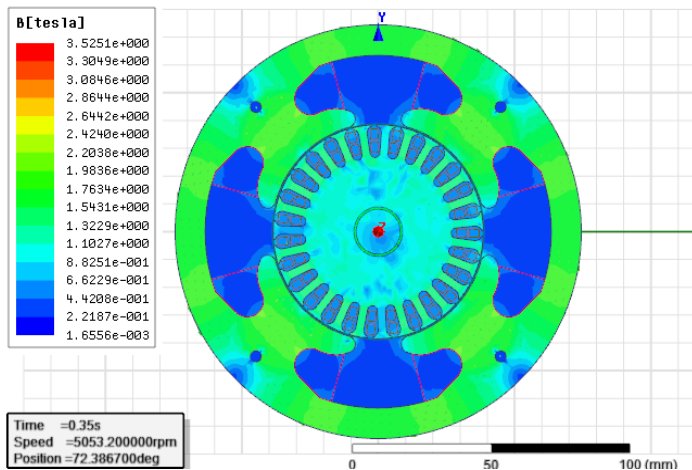


Рис. 1 Картина магнитного поля УКД

Рассчитываем магнитные силы и моменты амплитуды k -ой гармоники продольной и поперечной оси.

Таблица 1 - Магнитные силы и моменты амплитуды k -ой гармоники.

Номер гармоники	Амплитуда продольных сил, Н	Амплитуда поперечных сил Н	Амплитуда момента Нм
1	11.524	-7.854	118.644
3	1.804	-1.804	2.421
5	0.153	-0.025	0.287
7	0.027	-0.013	0.116

Далее рассчитываем жесткости, собственные частоты, коэффициенты динамичности. И в конце рассчитываем уровень звукового давления составляющей спектр магнитного шума на расстоянии 1 метра. [2]

$$L_1 = 20 * Lg \left(\frac{D_a}{2} * |f_0| * A_{sk} \right) - L_{p2} - L_{p3} - 20 * \lg(l_a * 10^{-3} + 1) + 68 [2],$$

где f_0 - частоты магнитных сил и моментов, A_{sk} - максимальное значение амплитуды деформации на корпусе с учетом скоса пазов, L_{p2} и L_{p3} - определяется по таблицам 21, 22 из источника литературы 2.

В итоге с учетом частотной характеристики шумомера получается магнитный шум универсального коллекторного двигателя составляет 39,974 дБ.

В связи с высокой скоростью вращения и наличием коллекторного узла шум универсального коллекторного двигателя достигает значительной величины, что при длительном нахождении человека в таком звуковом поле отрицательно сказывается на его здоровье. Поэтому понижение шума в УКД является актуальной задачей.

Библиографический список

1. **Кучер В. Я.** Вибрация и шумы электрических машин: Письменные лекции. - СПб.: СЗТУ. 2004. - с 81
2. **Воронкин В.А.**, Геча В.Я., Городецкий Э.А., Евланов В.В., А.Б. Захаренко, Зубренков Б.И., Каплин А.И., Ледовской В.И., Склярова И.В., Смирнова Л.П., Шапиро М.Х. Вопросы электромеханики // Методы проектирования малозумных электрических машин: труды «НПП ВНИИЭМ» том 103 Москва – 2006. - 174 с.
3. **Ермолин Н. П.** Расчет коллекторных машин малой мощности Изд 2-е. Л., «Энергия», 1973. -216 с.

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

АНАЛИЗ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ И ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ОБРАЩЁННОМ СДПМ

Традиционно в приводах лебёдок буровых установок применяют асинхронные двигатели и двигатели внутреннего сгорания. При этом, отдельные части привода: барабан лебёдки, сам двигатель, тормоз, - занимают большой объём [1]. Требования к приводу лебёдки: рациональное использование объёма, необходимость плавного регулирования скорости (проблема двигателей внутреннего сгорания с механической коробкой передач), ограничение величины пускового тока (проблема асинхронных двигателей в условиях слабых энергосетей удалённых буровых), потребность в рекуперации энергии. Эти требования могут быть выполнены за счёт использования в составе частотно-регулируемого привода обращённого синхронного двигателя с постоянными магнитами (СДПМ).

Обращённая конструкция СДПМ позволяет осуществлять намотку троса непосредственно на ротор-барабан. Применение высокоэнергетических магнитов из сплава NeFeB позволяет сократить размер ротора и отказаться от систем возбуждения [2]. Проектирование СДПМ выполняется по методике В.А. Балагурова [3], которая адаптируется под проектирование обращённой машины. В итоге выбранная конструкция позволяет получить компактный двигатель-барабан с постоянной Арнольда до $1600 \text{ см}^3/\text{Н}\cdot\text{м}$.

Разработка электромеханического преобразователя энергии связана с множеством задач, решение которых могут облегчить современные средства конечно-элементного моделирования. Рассмотрим некоторые из этих задач подробнее.

Конечно-элементное моделирование электромеханических процессов СДПМ позволяет оценить рабочие свойства принятой конструкции, её достоинства и недостатки. Так, например, малое число пазов на полюс и фазу, характерное для тихоходного СДПМ, приводит к существенному влиянию зубчатости на распределение индукции в зазоре. Это в свою очередь приводит к пульсации электромагнитного момента и частоты вращения. Как показывает трёхмерное моделирование СДПМ, за счёт изменения положения магнитов вдоль аксиальной оси машины, удаётся бороться с пульсациями момента и частоты вращения. Полевые электромагнитные расчёты позволяют

оценить величину пускового тока, момента, величину потерь в стали и обмотках. На базе данной оценки были проведены корректировки главных размеров, геометрии магнитопроводов и целого ряда других величин.

Одной из главных проблем рационального проектирования СДПМ закрытого исполнения, является проблема теплового состояния магнитов. Главный источник тепла (обмотка статора) расположен в центре машины, откуда теплообмен затруднён. Применение масла для осуществления теплообмена помогает решить проблему охлаждения [4]. Полученные в результате моделирования картины температурного поля позволяют контролировать температуру масла и магнитов, что особенно важно. Полученные данные о температуре магнитов использованы для уточнённого электромагнитного расчёта. Также оценка тепловых потоков позволяет сориентироваться в поиске конкретных конструктивных решений системы охлаждения для борьбы с перегревом магнитов и перегревом масла. Примерами таких решений являются развитие бокового оребрения и выбор оптимального соотношения длины машины к диаметру на основе варьирования главных размеров при моделировании.

Таким образом, современные средства конечно-элементного моделирование являются мощным инструментом анализа электромеханических и тепловых процессов СДПМ. Анализ позволяет скорректировать методику проектирования СДПМ [3] под обращённую машину.

Библиографический список

1. **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.
2. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 168 с.; ил.
3. **Балагуров В.А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для вузов. - М.: Высшая школа, 1982. - 272 с.
4. **Науменко В.И., Клочков Г.И.** Авиационные электрические машины с интенсивным охлаждением. – М.: Машиностроение, 1977, 128 с.; ил.

*С.Е. Рассолов, маг.; рук. Ю.И. Страдомский к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ КОАЛЕСЦЕНТНОГО ФИЛЬТРА ОЧИСТКИ ВОДЫ ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Для объемной очистки воды от нефтепродуктов (НП) можно использовать коалесценцию капель НП с магнитной жидкостью (МЖ), приготовленной на одном из видов НП, например, керосине. В качестве загрузочного материала в коалесцентном фильтре используется стружка ферромагнитного материала, покрытая тонким слоем МЖ. Через фильтр пропускается магнитное поле. Содержащиеся в воде капли НП коалесцируют с поверхностью МЖ. Возникающий раствор удерживается магнитным полем до определенной концентрации НП в МЖ. Далее загрузку коалесцентного фильтра МЖ следует обновить, например, продув его сжатым воздухом. При этом ферромагнитная стружка в фильтре сохраняется. В очистных сооружениях коалесцентный фильтр [1] целесообразно ставить перед фильтром тонкой очистки, например, угольным фильтром. Это будет способствовать увеличению срока использования наполнения тонкого фильтра и снижению стоимости очистки.

Исследовался макет коалесцентного фильтра (рис.1).

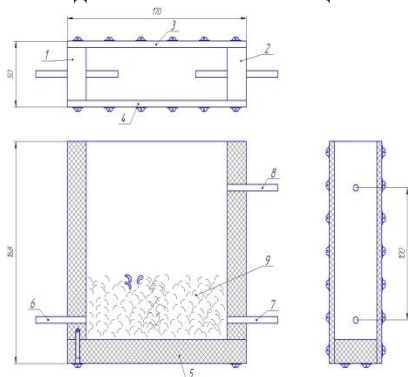


Рисунок 1. – Макет коалесцентного фильтра

Его конструкция: 1 – передняя стенка, 2 – задняя стенка, 3 и 4 – боковые стенки, 5 – основание, 6 – входной патрубок, 7 и 8 – нижний и верхний выходные патрубки, 9 – стружка с магнитной жидкостью. Патрубки, изготовленные из немагнитного материала, впрессованы в переднюю и заднюю стенки. Остальные элементы конструкции сделаны из органического стекла и скрепляются винтами.

В макете загрязненная вода (ЗВ) подается через входной патрубок, проходит через стружку с магнитной жидкостью. НП коалесцирует с МЖ и остается внутри фильтра. Очищенная вода (ОВ) выводится через выходной патрубок.

Эксперимент проводился в следующей последовательности. Пустой макет помещался между полюсами электромагнита. При значениях тока в обмотке электромагнита $I = 0\text{А}$, 2А и 4А измерялась магнитная индукция в средней точке контейнера, которая составляла соответственно $B=0\text{Тл}$, 145Тл и 0.291Тл . Далее засыпалась стружка, и с помощью магнитного поля она уплотнялась во внутреннем объеме макета. Стружка использовалась мелкая и крупная. Масса стружки сохранялась одинаковой. Мелкая стружка имела меньший объем и больший коэффициент его заполнения ($k_{\text{мелк.}}=0,168$ и $k_{\text{крупн.}}=0,0975$). Поверхности стружки равномерно смачивались МЖ объемом 20 мл . Устанавливался ток в обмотке электромагнита равным $I = 0\text{А}$, или 2А , или 4А . Готовилась для пролива через фильтр очередная порция ЗВ, состоящая из 1 л воды и 20 мл НП. Пролив одной порции ЗВ осуществлялся в течение около пяти минут. Для одной загрузки фильтра МЖ проводились проливы несколько порций ЗВ для определения количества НП, которое может собрать фильтр.

Оценка качества очистки воды проводилась в основном путем визуального сравнения образцов ОВ. Для наилучшего образца ОВ в Ярославском государственном техническом университете на кафедре охраны труда и природы с использованием современного оборудования была измерена концентрация НП в ОВ, которая составила $0,4\text{ мг/л}$. Таким образом, коэффициент собираемости фильтром НП при первом проливе составил $0,98$, что является хорошим показателем. Влияние исследуемых факторов на качество работы фильтра распределилось следующим образом: качество очистки воды снижается при увеличении расхода ЗВ через фильтр, при отсутствии магнитного поля, при низком заполнении объема фильтра стружкой; увеличение магнитной индукции свыше 2Тл на качество очистки не влияет.

Библиографический список

1. Страдомский Ю.И., Морозов Н.А. «Способ очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости и устройство его реализации». Патент №2602566 С2 РФ. Опубл. 20.11.16, Бюл. № 32.

СЕКЦИЯ 21

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО- УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

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

Секретарь – ассистент **Аполонский В.В.**

*М.А. Чадов, студ.; рук. В.В. Тютиков
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛИ СИНУСНО- КОСИНУСНОГО ВРАЩАЮЩЕГОСЯ ТРАНСФОРМАТОРА

Данная работа включает в себя моделирование одного из видов вращающегося трансформатора (резольвера), а именно синусно-косинусного (СКВТ). Подробно рассмотрена модель СКВТ с описанием блоков. Исследована зависимость выходных сигналов от следующих параметров: частоты входного сигнала, количества пар полюсов (Р) и коэффициента трансформации (К).

Вращающийся трансформатор (резольвер) [1] - это электрическая микромашина переменного тока, предназначенная для преобразования угла поворота в электрическое напряжение, амплитуда которого пропорциональна или является функции угла или самому углу.

Резольвер [2] применяется в автоматических вычислительных машинах, которые призваны производить решение сложных задач и операций. Так же их применяют в автоматически регулируемых системах. В случаях, когда необходима работа высокоточного оборудования с крутящими элементами. Применяются в аналого-цифровых преобразователях, системах передачи угла высокой точности, в качестве датчиков обратной связи в следящих системах, бортовой аппаратуре.

Модель синусно-косинусного вращающегося трансформатора представлена на рисунке 1.

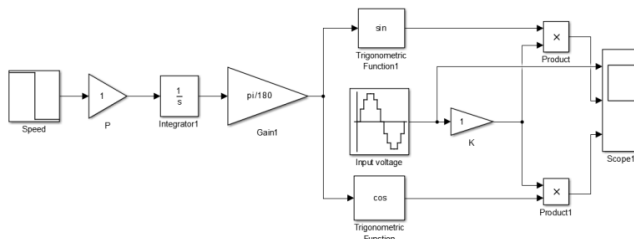


Рисунок 1. - Модель синусно-косинусного вращающегося трансформатора

Входной сигнал с блока Speed поступает на блок P, который моделирует количество пар полюсов устройства. Далее сигнал поступает на интегратор, что переводит значение скорости в значение угла, который впоследствии переводиться в радианы следующим блоком. Дальше сигнал распространяется на блоки тригонометрических функций «sin» и «cos». Вторым входным сигналом в этой модели является синусоидальный сигнал Input Voltage, что моделирует напряжение возбуждения обмотки статора. С него сигнал поступает на блок K (коэффициент трансформации), а далее умножается с сигналами с блоков «sin» и «cos». Данные сигналы и являются выходными.

Основными переменными в данной модели являются частота входного напряжения, количество пар полюсов и коэффициент трансформации.

После исследования зависимостей, были сделаны следующие выводы:

- чем больше частота, тем плотнее идёт заполнение выходного сигнала;
- чем больше количество пар полюсов, тем выше частота выходных сигналов синуса и косинуса;
- чем больше коэффициент, тем больше напряжение на выходе.

Библиографический список

1. Сайт о вращающихся трансформаторах. [Электронный ресурс]. URL: https://ru.wikipedia.org/wiki/%D0%92%D1%80%D0%B0%D1%89%D0%B0%D1%8E%D1%89%D0%B8%D0%B9%D1%81%D1%8F_%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B%D1%81%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%BE%D1%80 (дата обращения: 18.12.2016).
2. Сайт компании «АТЛАНТ СНАБ» Электрооборудования и электротехнической продукции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.atlantsnab.ru/catalog/atas/resolver/> (дата обращения: 18.12.2016).

Д.Н. Дроздов, маг.;
рук. А.П. Бурков, к.т.н., с.н.с. (ИГЭУ, г. Иваново)

КОМПЕНСАЦИЯ НЕЛИНЕЙНОСТЕЙ ХАРАКТЕРИСТИК ТРЕНИЯ В КОНТУРАХ ПОЛОЖЕНИЯ СЕРВОПРИВОДОВ

Сервоприводы - это такие системы привода, которые в широком диапазоне регулирования скорости гарантируют высокоточные процессы движения и реализуют их хорошую повторяемость.

Точный контроль движения имеет важное значение в системах, таких как механическая обработка. Нелинейное трение является одним из основных факторов, которые ограничивают достижимую производительность с линейными методами управления. На это влияют как статические, так и динамические характеристики, и это может привести к прерывистым колебаниям, установившейся ошибки или даже неустойчивости[1].

Существует большое количество моделей трения, отличающихся друг от друга как количеством учитываемых эффектов, так и их математическим описанием.

1. Кулоново трение описывается уравнением $f = -f_0 \text{sign} \dot{x}$, где f_0 - модуль трения, \dot{x} - относительная скорость трущихся поверхностей.

2. Модель Леонардо да Винчи (предложенная в 1519 г.), наряду с кулоновым трением $f = -f_0 \text{sign} \dot{x}$, $\forall |\dot{x}| > 0$, учитывает статическое трение.

3. Модели Гаусса, Лоренца, Тастина.

4. Lund Grenoble (LuGre), предложенная в 1995 г.

5. Модели перечисленные в п. 3 и 4, помимо описанных выше эффектов, учитывают уменьшение модуля трения в районе нулевой скорости при увеличении ее модуля (Stribeck – эффект). Эти модели отличаются друг от друга математическим описанием.

Зависимость трения от скорости для моделей, перечисленных в п.3 и 4, имеет вид, представленный на рисунке 1. Эту модель можно описать следующей системой уравнений:

$$f = -m \text{ при } \dot{x} = 0, \quad \forall |m| \leq f_0,$$

$$f = -f_0 \text{sign} m \text{ при } \dot{x} = 0, \quad \forall |m| > f_0,$$

$$f = -\varphi(|\dot{x}|) \text{sign} \dot{x} \text{ при } |\dot{x}| > 0,$$

где m – сумма всех внешних воздействий на объект управления, f_0 – максимальный момент трения покоя. Модели из п. 3, 4 отличаются друг от друга функциями $|f| = \varphi(\dot{x})$. Помимо перечисленных эффектов в нелинейном трении присутствуют такие явления как залипание, эффект «щетки» (смещение, предшествующее скольжению), неравномерное движение[2].

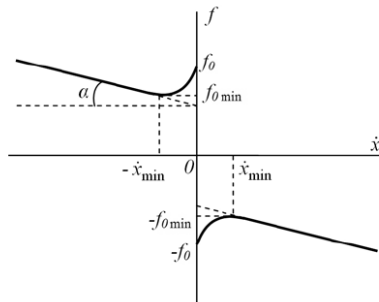


Рисунок 1 – Зависимость трения от скорости

Были разработаны методы, чтобы минимизировать эффект трения. Основная идея этих методов, чтобы компенсировать силу трения. Наиболее известный подход, основанный на модели компенсации трения. Этот метод основан на модели трения, определение параметров модели и реализации компенсатора трения в схеме управления.

Есть также методы безмодельной компенсации, которые не требуют подробной модели трения. Хорошо известным примером является скользящий контроллер режима. При таком подходе, трение рассматривается как ограниченный сигнал помехи и стратегия управления выполнена таким образом, что ошибка отслеживания сходится к нулю[1].

Библиографический список

1. **Witono Susanto, Robert Babuska, Freek Liefhebber, Ton van der Weider.** Adaptive Friction Compensation: Application to a Robotic Manipulator.
2. **Е. М. Потапенко, А. Е. Казурова.** Компенсация воздействия нелинейного трения на системы управления.

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

ОБУЧАЮЩИЙ СТЕНД ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОЙ МОДУЛЯЦИИ

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

На кафедре ЭиМС разработан обучающий стенд ШИМ для управления двигателями постоянного тока с питающим напряжением до 24 В. Данный стенд состоит из системы защиты от включения транзисторов в одном плече и неправильного включения питающего напряжения, гальванической развязки, предварительных усилителей и транзисторного реверсивного моста. Выходная мощность до 36 Вт. Ток нагрузки до 1,5 А. Управление осуществляется микроконтроллером AT89S8253, установленном на отладочной плате UNI-DS6.

Микроконтроллер имеет 2 независимых таймера/счетчика и работает на частоте 10 МГц. Машинный цикл – 12 тактов. Таймер инкрементирует значения внутренних регистров с частотой $f_{osc}/12$.

Формирование ШИМ управления происходит следующим образом: первый таймер всегда работает на удержание частоты ШИМ, второй – меняет скважность. Прерывающая программа первого таймера открывает необходимую пару транзисторов и записывает значение счетных регистров для первого и второго таймера. Прерывающая программа от второго таймера выключает все транзисторы. Изменение скважности может происходить как в фоновой программе, так и в прерывающей программе от внешних событий. Отладка программы производилась при работе на активную нагрузку.

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

Библиографический список

1. **Ю. П. Соколов** Микроконтроллеры семейства MCS-51 АРХИТЕКТУРА, ПРОГРАММИРОВАНИЕ, ОТЛАДКА. М.: Рязань 2002. [Электронный адрес]. URL: <http://biglesh.narod.ru/soft/8051.pdf>

2. Шило В.Л. - Популярные цифровые микросхемы. Справочник. - 2-е изд., исправленное 1989.

*П.И. Гамидов, маг.; рук. В.Н. Егоров, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛЬ СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

При разработке математической модели трехфазного силового преобразователя для управления электроприводом механизма передвижения тележки крана возник вопрос о реализации самого силового преобразователя (СП). Было найдено два пути решения этого вопроса. В первой модели, представленной на рисунке 1, СП был представлен как периодическое звено, во втором случае как отдельная модель (рисунок 2).

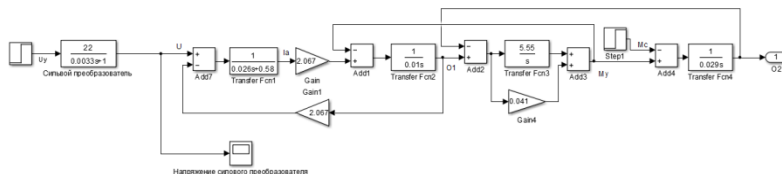


Рисунок 1- Модель объекта с СП в виде периодического звена

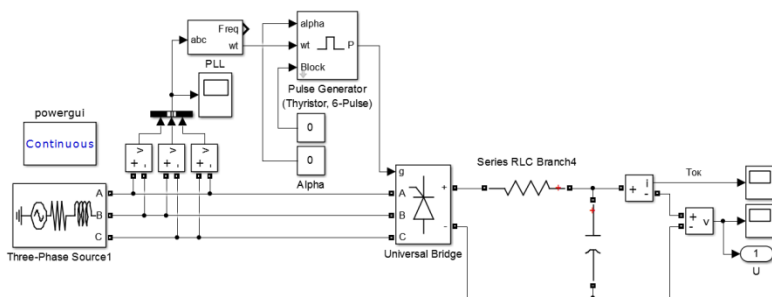


Рисунок 2- Модель СП

Модель, показанная на рисунке 3, реализована для сравнения работы СП. Из переходной характеристики, указанной на рисунке 4, видно, что они схожи.

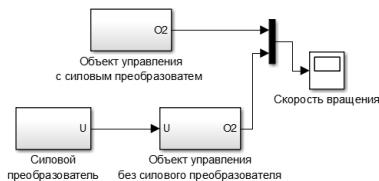


Рисунок 3- Модели СП

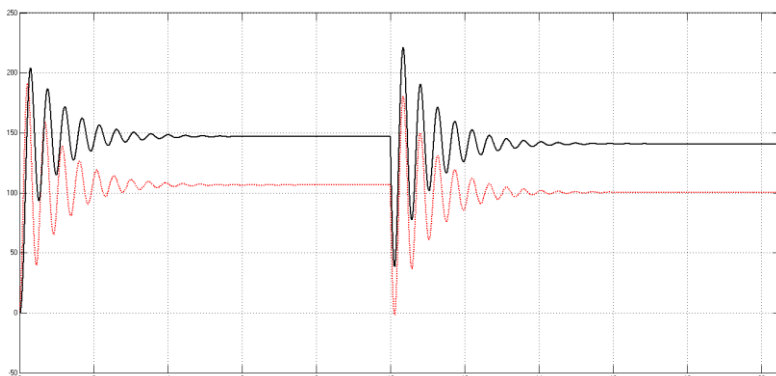


Рисунок 4- Переходная характеристика скорости (черная, верхняя- СП в виде модели; красная, нижняя- СП в виде периодического звена)

После настройки модели СП под объект, необходимо реализовать регулятор, для улучшения переходной характеристики. После настройки СП, возможна замена тиристоров на активные выпрямители.

Благодаря этой модели возможно моделирование внешних воздействий на выпрямитель, возможно замена их более современными выпрямителями и другое. Все эти операции будут производиться при этом не касаясь самого объекта.

Библиографический список

1. Преобразовательная техника: учебное пособие к лабораторным работам / М.В. Гельман, М.М. Дудкин, Н.М. Сапрунова, О.Г. Терещина. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2008. – 161 с.
2. Чебовский О. Г., Моисеев Л. Г., Недошивин Р. П. Силовые полупроводниковые приборы; Справочник - 2-е изд. перераб. и доп. - М.: Энергоатомиздат, 1985. - 400

*А.А. Герасимов, студ.; рук. В.А. Швецов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АВТОМАТИЗАЦИЯ ЖИЛЫХ ПОМЕЩЕНИЙ НА МОДУЛЯХ MSU

Данный проект включает в себя автоматизацию сбора данных с сенсоров в двух комнатах: санузле и кухне. Структурная схема представлена на рисунке 1.

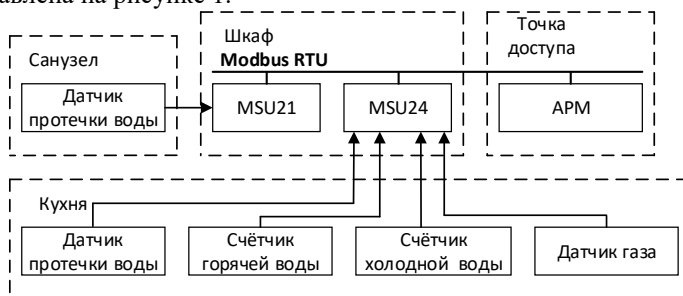


Рисунок 1 – Структурная схема реализации

Из данной схемы видно, что в качестве датчиков для сбора данных использовались MSU21 [1] и MSU24 [2] производства компании «Разумный дом» [3]. Данные устройства представляют собой одно канальный и четырёх канальный датчики для снятия параметров с аналоговых и дискретных сенсоров соответственно.

В качестве счётчиков воды можно использовать любые счётчики воды с импульсными выходами. В качестве же датчиков протечки воды данном проекте используется аналоговые датчики протечки воды от компании «GIDROLOCK» [4]. Для сигнализации утечки газа был использован датчик утечки газа «Страж».

Данные со всех этих сенсоров поступают на датчики MSU, проходят первичную обработку и после поступают на автоматизированное рабочее место (АРМ). Связь MSU и АРМ осуществляется по широко применяемому в промышленности протоколу Modbus RTU.

Моделирование данного проекта производилось с помощью программ Simply Modbus Slave 8.0.5 [5], выступающей в качестве одного из датчиков MSU, и Simply Modbus Master 8.0.6 [5] и Lectus Modbus OPC/DDE server 3.9 [6], выступающих в качестве АРМ.

Библиографический список

1. http://www.razumdom.ru/userfiles/file/Modbus/MSU21_M.pdf
2. http://www.razumdom.ru/userfiles/file/Modbus/MSU24_M.pdf
3. <http://www.razumdom.ru>
4. <http://gidrolock.ru/production/datchiki-protechki-vody-gidrolock/>
5. <http://www.simplymodbus.ca/>
6. <http://lectussoft.com/opcserver.html>

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

УСТРОЙСТВО УПРАВЛЕНИЯ АКТИВНЫМ МАГНИТНЫМ ПОДВЕСОМ

Во многих областях современной техники требуются подшипники, способные надежно работать в экстремальных условиях: в вакууме, в сверхчистых технологиях, при высоких и низких температурах и т.п. Наибольший практический интерес представляют магнитные подшипники, осуществляющие вращение вала, без физического контакта с какой-либо поверхностью.

Работа активного магнитного подшипника (АМП) основана на известном принципе активного магнитного подвеса ферромагнитного тела: стабилизация тела осуществляется силами магнитного притяжения, действующими на него со стороны управляемых электромагнитов, токи в обмотках электромагнитов формируются при помощи системы автоматического управления. Главным преимуществом активных магнитных подвесов по сравнению с традиционными подшипниковыми узлами является возможность применения сложных алгоритмов управления, как для стабилизации ротора, так и для активного демпфирования уровня вибраций ротора, которые могут привести к аварийным режимам [1].

Основным элементом контура управления активным магнитным подвесом является устройство управления. Подшипники, оснащенные трехконтурной системой управления [2], обладают большой статической жесткостью и высоким быстродействием. Нередко встречаются случаи, когда в процессе функционирования подвеса его параметры могут существенно изменяться. В таких случаях необходимо использовать адаптивное управление. Актуальной задачей является создание адаптивного регулятора, который позволит

изменять динамические параметры электромагнитов для обеспечения выхода ротора на рабочий режим без повышенных вибраций.

Библиографический список

1. **Журавлев Ю. Н.** Активные магнитные подшипники: теория, расчет, применение / Ю. Н. Журавлев. СПб.: Политехника, 2003. 3 с.
2. **А. Н. Кузменков, В. Г. Титов, А. В. Шахов,** Разработка и моделирование трехконтурной системы управления электромагнитным подшипником, Вестн. АГТУ. Сер.: управление, вычисл. техн. информ., 2015, № 4, 14 с.

Р.Ж. Майдже (ИГЭУ, г. Иваново)

АВТОМАТИЧЕСКАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЛИФТОМ

Сейчас, с развитием городов, строятся всё более высокие здания, в которые устанавливаются лифты. А чтобы лифты работали максимально эффективно с достаточной плавностью хода и точностью остановки кабины, конструкторам следует проектировать автоматические системы управления.

Входе данной работы были проанализированы необходимые для управления лифтом датчики перемещения, скорости, тока, температуры, веса, закрытия и открытия дверей. А также составлены их структурные и функциональные схемы. Фотоимпульсный датчик был сконструирован в программном комплексе Matlab. Рассмотрен вариант организации электропривода лифта на двигателе постоянного тока, что обеспечивает плавность хода и точное позиционирование. У которого угловая скорость вала регулируется изменением питающего напряжения, для чего и применяется широтно-импульсный модулятор (ШИМ) с импульсным источником питания. Планируется продолжить работу над созданием системы управления, которая бы полностью могла управлять передвижением лифта, включая все виды защит и рассмотрения аварийных ситуации и их индикации.

Библиографический список

1. **Чиликин, М.Г.** Теория автоматизированного электропривода" Изд-во: М.: Энергия, 1979 г.616с.

*В.С.Радецкий, студ.; рук. В.Г.Терехов (к.т.н., доцент)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СОПРЯЖЕНИЕ ПЕРИФЕРИЙНЫХ УСТРОЙСТВ К ПК ЧЕРЕЗ USB НА ДЕМОПЛАТЕ PIC18FXXXX



Довольно актуальная проблема в радиолюбительской практике. Интерфейсы COM и LPT – отжили свой век. Производители зачастую отказываются интегрировать данный интерфейс в материнскую плату. Будет рассмотрен продукт от Microchip (MICROCHIP.COM) под названием **PIC18F4550**.

Микроконтроллер **PIC18F4550**(и урезанная по количеству *портов ввода/вывода* его версия **PIC18F2550**) является ничем иным, как интеллектуальным устройством согласования между внешним миром и персональным компьютером по высокоскоростной шине USB 2.0(хотя можно использовать, конечно, и как независимый МК). Т.е. считать данные с датчиков, измерить температуру воздуха или даже управлять некими сложными устройствами: трансиверами и синтезаторами частот сейчас (с 2004 года) стало гораздо проще - с помощью данного интегрального решения.

В среднем цена на микроконтроллер составляет около 10\$. Можно заказать через интернет-магазин RADIO.BY .

В составе этих микросхем находятся аналогово-цифровые преобразователи(АЦП), которые из своего названия подразумевают преобразование аналогового сигнала в цифровой вид, - в нашем случае от 0 до 5 В(напряжение питания). Если на настроенный вход АЦП подать ноль(вывод на землю), то фактически, в компьютер мы передаём слово из 10 бит: 0000000000. Подали 5 В(напряжение

питания) и слово, с которым будем работать в программе на ПК уже примет вид: 1111111111(или 1023 в десятичной). Не сложно подсчитать, что разрешение такого 10-разрядного АЦП будет $5/1023=0,0049$ В.

На подобных интерфейсах была внедрена автоматика на производственной линии ЖБИ для пропарочных камер.

Были на данном устройстве разработки и менее важные: в одном из лицеев была запущена система автоматического звонка (на уроки и перемены), работающая с компьютера секретаря. Плюсы тоже очевидны – раньше она нажимала каждый раз на кнопку, а сейчас это делает программа.

Примеров использования такого интерфейса очень много.

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

РАЗРАБОТКА МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

В современной технике широкое распространение начинает получать новый тип электромеханических устройств – активные магнитные подшипники (МП). Важным преимуществом МП является отсутствие механического контакта между неподвижными и вращающимися частями механизма. Это обеспечивается за счёт взаимодействия между управляемыми электромагнитами статора и ферромагнитными сердечниками ротора. Стабилизация заданного положения ротора достигается за счёт регулирования токов в обмотках электромагнитов по сигналам датчиков положения ротора. Электромагниты МП являются исполнительными органами системы магнитного подвеса ротора, назначением которой является стабилизация ротора, в общем случае, по пяти степеням свободы [1].

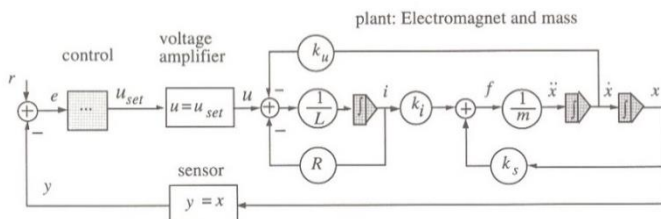


Рисунок 1 – Математическая модель системы управления магнитным подшипником

Математическому моделированию электромагнитной системы можно привести в аналогию систему с упругостью [2]. В линейной области работы магнитного подшипника его моделирование во многом сводится к исследованию системы с упругой связью (рисунок 1).

Библиографический список

1. **Боговой И. Г., Журавлев Ю. Н.** Синтез системы автоматического управления радиальными электромагнитными подшипниками // Алгоритмы и программы: информ. Бюллетень ВНИИЦ. 1984. №6 (63)
2. www.mayr.informatik.tu-muenchen.de/konferenzen/Jass06/courses/5/Papers

*А.А. Скворцова, студ.; рук. Л.Г. Копылова
(ИГЭУ, г.Иваново)*

LIFTWARE ДЛЯ БОЛЬНЫХ ПАРКИНСОНИЗМОМ

Болезнь Паркинсона - это заболевание центральной нервной системы, которое ведёт к прогрессирующему расстройству двигательных функций, дрожанию рук, головы, нарушению походки и дыхания.

Для людей с болезнью Паркинсона одной из главных проблем является самостоятельное питание. Им очень трудно обслуживать себя стандартными столовыми приборами. Проблема связана с тем, что у таких людей дрожат руки, порой очень сильно. Из-за этого каждый прием пищи превращается в сущее мучение.

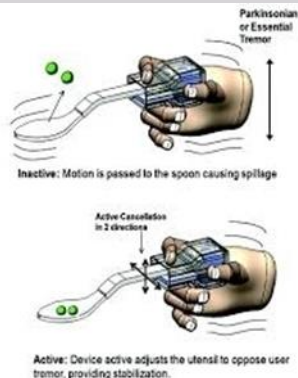
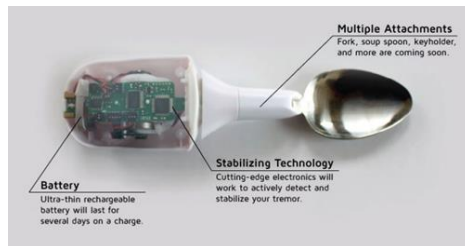
Ложка Liftware является наиболее эффективным и практичным вспомогательным устройством для людей, страдающих болезнью Паркинсона или другими подобными заболеваниями. Ложка держится устойчиво, благодаря инновационной технологии Active Cancellation of Tremor (Активное Подавление Тремора), которая используется для компенсации дрожания рук, другими словами, ложка дрожит в такт движениям рук больного, но с обратной амплитудой, что почти полностью устраняет эффект тремора.

Ложка оснащена высокочувствительными датчиками, которые определяют даже малейший тремор. Затем датчики работают в другом направлении, регулируя и останавливая дрожь. Во время тестирования прибор оказался эффективен для более 70 % случаев тремора, что достаточно, чтобы позволить больным людям питаться самостоятельно.

Lifeware Lift Pulse – приложение, которое измеряет тремор, используя сенсоры, встроенные в смартфон. Оно особенно полезно для пациентов, страдающих идиопатическим дрожанием или болезнью Паркинсона.

Так как многие в наши дни используют смартфоны (принимая во внимание существующую вычислительную мощь смартфонов), будет полезно создать приложения, которые могут помочь таким пациентам.

Принцип работы аналогичен механизмам, которые монтируются в стабилизаторы современных видео- и фотоприборов. Миниатюрный электронный узел улавливает треморные движения рук и ликвидирует, стабилизирует их до нормального состояния. Lift Pulse - мощное приложение, которое точно измерит частоту и амплитуду тремора.



Уровень тремора должен колебаться между 5 и 10 Гц. Приложение, измеряющее и автоматически регулирующее тремор, находит этот уровень и определяет среднее значение для того, чтобы рассчитать общую амплитуду тремора в сантиметрах. Приложение измеряет

тремор во всех направлениях (X , Y , Z) телефона и вычисляет общую величину амплитуды тремора.

*А.А. Вороненкова, маг.; рук. В.В. Тютиков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИТИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ И АНАЛИЗ ВАРИАНТОВ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ОБЪЕКТОМ С ЗАПАЗДЫВАНИЕМ

Объекты управления (ОУ), описываемые математическими моделями с запаздыванием, встречаются во многих отраслях промышленности. В частности, это характерно для теплоэнергетики. Традиционно в качестве управляющих устройств при создании САУ такими объектами применяются типовые ПИ-регуляторы. Их основные преимущества – простота реализации и настройки, а основным требованием к САУ является обеспечение параметрической грубости при вариациях параметров и качество обработки внешних возмущений.

С развитием микропроцессорных систем управления сложность управляющего устройства перестает быть сдерживающим фактором. Целью настоящей работы является исследование возможности снижения параметрической грубости САУ и повышение качества обработки внешних возмущений на основании использования более сложных регуляторов.

Исследовалась модель САУ объектом с запаздыванием (газовый тракт котла), состоящая из ПИ-регулятора и объекта управления (ОУ) в основном канале (расход пылеугольного топлива) и канала возмущения (расход воздуха). Коэффициенты регулятора соответствуют типовой настройке по критерию минимума интегрального квадратичного показателя (дисперсии).

В процессе эксплуатации более всего вариациям подвержены коэффициент усиления объекта K и время запаздывания τ_3 . Также в ходе моделирования исследовалось влияние случайных процессов.

Поскольку измерению подлежит только выходная координата объекта, в работе использовался астатический полиномиальный регулятор (ПР) [1]. Для реализации астатизма вводился дополнительный интегратор по выходной координате.

Передаточная функция замкнутого контура САУ имеет вид:

$$H_{\text{pec.}}(s) = \frac{\frac{B^*(s)}{A^*(s) \cdot C(s)}}{1 + \frac{B^*(s) \cdot R(s)}{A^*(s) \cdot C(s)}} = \frac{B^*(s)}{A^*(s) \cdot C(s) + B^*(s) \cdot R(s)} = \frac{B^*(s)}{D(s)},$$

где $A^*(s), B^*(s)$ – заданные полиномы объекта, $D(s)$ – желаемый полином, причем $D(s) = A^*(s) \cdot C(s) + B^*(s) \cdot R(s)$.

Если $\text{deg} A^*(s) = n$, то $\text{deg} R(s) = n - 1$, $\text{deg} C(s) = \text{deg} R(s)$, $\text{deg} D(s) = \text{deg} A^*(s) + \text{deg} C(s)$, где $\text{deg} (*)$ – степень полинома.

Для получения коэффициентов ПР решается система алгебраических уравнений, получаемая из $D(s) = A^*(s) \cdot C(s) + B^*(s) \cdot R(s)$ приравниванием коэффициентов при соответствующих степенях s .

В работе рассматриваются три варианта системы управления.

В первом варианте ОУ был представлен звеном второго порядка, а звено чистого запаздывания представлялось в виде отношения полиномов с помощью аппроксимации Паде 3-го порядка [2].

Колебательность и время переходных процессов в сравнении с САУ с ПИ-регулятором значительно снизились при практически неизменном влиянии случайных процессов. При этом порядок регулятора получился высоким, что, очевидно, приведет к трудностям при его настройке в реальных условиях.

Во втором варианте для решения проблемы высокой сложности регулятора уменьшался порядок при аппроксимации Паде звена запаздывания до первого при соответствующем изменении степеней полиномов $R(s)$, $C(s)$ и $D(s)$.

Моделирование показало, что САУ стала более чувствительна к изменениям параметров объекта, а влияние случайных процессов уменьшилось. Таким образом, снижение порядка при аппроксимации звена запаздывания позволило уменьшить порядок регулятора, но ухудшило качество переходных процессов.

В третьем варианте оценивалась возможность дальнейшего упрощения регулятора. Передаточная функция ОУ была представлена звеном первого порядка при аппроксимации Паде звена запаздывания также звеном первого порядка.

Данный вариант САУ позволяет значительно сократить колебательность и время переходного процесса при номинальных параметрах объекта и их отклонении при очень незначительном ухудшении обработки внешнего возмущения.

Таким образом, применение полиномиального метода, в сравнении с традиционным подходом, позволяет аналитически синтезировать

регулятор, обеспечивающий САУ повышение качества в управлении сложными техническими объектами с переменными параметрами и запаздыванием, подверженными влиянию случайных возмущений.

Библиографический список

1. **Тютиков В. В.** Робастное модальное управление технологическими объектами / В.В. Тютиков, С.В. Тарарыкин; – Иваново: ИГЭУ, 2006. – 256 с.
2. Аппроксимации Паде/ **Дж. Бейкер, П. Грейвс-Моррис**: пер. с англ. Е. А. Рахманова, С. П. Суетина; под ред. А. А. Гончара М.: Мир, 1986 502 с.: ил.

*П. Э. Восканян, студ.; рук. А. П. Карандашев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РЕЗЕРВИРОВАНИЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ СЕТЕЙ. ПОИСК ОПТИМАЛЬНОГО РЕШЕНИЯ

Резервирование сетей – это добавление избыточных линий связи с целью избавления от узких мест, то есть единственных каналов и узлов передачи данных, от работоспособности которых зависит функционирование сети. Очевидно, что организация дополнительных каналов связана с добавочными затратами на оборудование, кабель, монтаж и настройку. Однако в промышленности коллапс сети передачи данных часто означает остановку производственного процесса, которая может оказаться во много раз более затратной, чем расходы на сетевое оборудование и прокладку дополнительных кабелей. Для использования сетей Ethernet в промышленной автоматизации необходимы специальные протоколы, нивелирующие противоречие между стандартными протоколами Ethernet и резервными каналами передачи трафика.

Смысл любой технологии резервирования – активизация резервного канала передачи данных при потере основного. Для резервирования линий связи между узлами существует ряд протоколов, предлагающих методы резервированных соединений группы узлов в сегмент, соседних сегментов, соседних узлов, группы сегментов. Однако возникает множество вопросов о быстродействии таких методов, поддержке оборудованием соответствующих протоколов и, наконец, выборе конечного решения. Рассмотрим основные методы резервирования сетевых соединений и попытаемся определить их эффективность и минимальное время восстановления. А

также попытаемся выбрать наиболее подходящий метод (технологию) резервирования.

Существует несколько методов резервирования промышленного Ethernet:

- агрегирование линий связи;
- резервирование на основе STP и RSTP протоколов;
- организация в сети физического кольца;
- полное резервирование всей сети.

В данной работе будут рассмотрены методы резервирования промышленного Ethernet. Каждый метод будет рассматриваться относительно определённых критериев, таких как: время восстановления; устойчивость при отказе; затраты; пропускная способность; сложность настройки; размеры сети; удобство для объединения оборудования разных производителей. Так же рассмотрим предпочтения в методах производителями оборудования.

Библиографический список

1. **Prytz G.** Redundancy in Industrial Ethernet Networks. - 2006 IEEE International Workshop on Factory Communication Systems, June 27, 2006 p. 380 - 385.
2. IEEE Std. 802.3. IEEE standard for information technology - Telecommunications and information exchange between systems - Local and metropolitan area network - Specific requirements. Part 3: Carrier sense multiple access with collision detection (CSMA/CD) access method and physical layer specifications. - IEEE Computer Society. -2005, section 1, 2, 3, 4, 5. - 2628 p.
3. Moxa White Paper. Redundancy in automation. - Moxa Networking Co., Ltd. - 16 p., www.moxanet.com.
4. **Иван Лопухов.** Резервирование промышленных сетей Ethernet на втором уровне OSI: стандарты и технологии // журнал СТА/промышленные сети – 2009. – № 3. - С. 16.
5. <http://isup.ru/articles/3/478/>
6. http://www.promseti.ru/knowledge/kontseptsiya_parallelnogo_i_koltsevogo_reze_rvirovaniya/.

*В.О. Вышковский, студ.; рук. А.П. Карандашев (к.т.н., доцент)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИМПУЛЬСНЫЕ ИЛИ ТРАНСФОРМАТОРНЫЕ ЗАРЯДНЫЕ УСТРОЙСТВА

Для того чтобы перечислить основные отличия импульсных и трансформаторных зарядных устройств, необходимо провести

краткий экскурс в саму историю их возникновения и ознакомиться с принципами зарядки. Несмотря на то, что зарядные устройства успешно используются с момента возникновения аккумуляторов (то есть, как минимум 120 лет), методов зарядки до сегодняшнего дня применяется только два. Первый из них предполагает подачу на батарею постоянного тока, во втором случае аккумулятор заряжается с постоянным же напряжением. Каждый из способов имеет плюсы и минусы:

1. Постоянное напряжение при зарядке вынуждает по окончании процесса существенно снизить величину зарядного тока. Это обстоятельство практически полностью исключает возможность полного заряда АКБ. Также при постоянном напряжении заряда не исключено повышенное выделение газов при электролизе (закипание) и разрушение пластин, так как ток может возрастать неограниченно.

2. Постоянный ток в процессе зарядки батареи дает возможность восполнить 100% энергии, однако избежать закипания электролита в конце процесса избежать не удастся. То есть, ситуация обратная.

С учетом того, что каждый из методов имеет свои преимущества и недостатки, их было решено объединить в одну технологию. Теперь, при помощи современных устройств, аккумуляторы заряжаются поэтапно – на первой стадии с постоянным током, а во второй фазе — с переменным. Для того чтобы переключать режимы своевременно и добиться высокой эффективности работы оборудования, оно оснащается автоматикой. Исходя из этого, можно выделить два типа зарядных устройств – импульсные и трансформаторные.

- В первом случае основу прибора составляет трансформатор, дополненный диодным мостом, выпрямляющим ток. Оборудование данного типа имеет большие габариты и вес, они не очень удобны в эксплуатации.

- Во втором случае речь идет об импульсных зарядках, отличающихся компактными размерами, небольшой массой, имеющие автоматические режимы регулировок и широко распространенные сегодня.

*В. А. Белухин, студ.; рук. А. И. Терехов, (проф., доц.)
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ КОНТУРА РЕГУЛИРОВАНИЯ ТОКА ПРИ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОМ УПРАВЛЕНИИ

Контур регулирования тока как самостоятельная подчиненная система регулирования очень часто используется в электроприводе и в источниках вторичного электропитания [1]. Основная его задача - ограничение тока на допустимом уровне для защиты силовых элементов (тиристоров, MOSFET, IGBT) от перегрузки по току и полное использование их по току в переходных режимах для повышения быстродействия системы.

Расчет импульсных систем по непрерывным моделям не всегда может отразить реальную картину процессов. Возможны ситуации, в которых импульсный характер системы проявляется нежелательными субгармоническими автоколебаниями, приводящими к неравномерной нагрузке силовых полупроводниковых элементов и к возможному выходу их из строя вследствие превышения допустимого тока. Но на выходные параметры системы эти автоколебания не влияют. [2]

Для нахождения условия возникновения нежелательных автоколебаний следует рассмотреть контур тока как нелинейную систему, а затем смоделировать её.

Модель, собранная в системе MatLab-Simulink, представлена на рисунке 1.

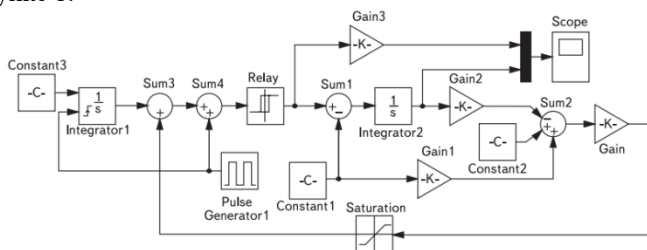


Рисунок 1 ☐ Модель контура тока

Также будет рассмотрена работа системы стабилизации выходного напряжения импульсного повышающего преобразователя, представленного на рисунке 2, на индуктивную нагрузку.

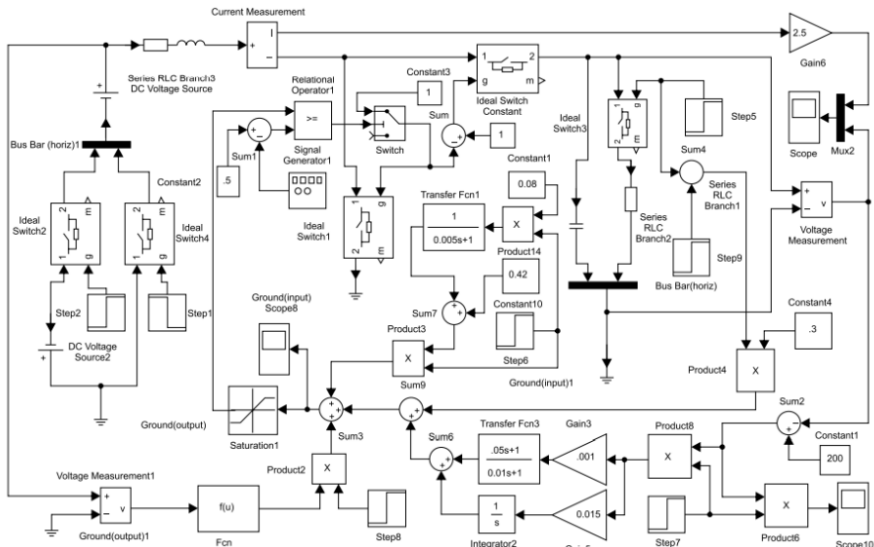


Рисунок 2 Модель системы стабилизации выходного напряжения импульсного повышающего преобразователя

Библиографический список

1. Коршунов А. И. Динамический расчет стабилизированного понижающего преобразователя постоянного тока // Силовая электроника. 2005. № 3.
2. Коршунов А. И. Особенности контура регулирования тока при широтно-импульсном управлении // Силовая электроника. 2006. № 3.

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

БЕЗДАТЧИКОВОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПОЛОЖЕНИЯ РОТОРА СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

В настоящее время в станках с ЧПУ широко используются синхронные двигатели с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ). СДПМ обладает несколько большим КПД, нежели асинхронные двигатели, а так же по сравнению с другими

электродвигателями обладают лучшими показателями: мощность/объем, момент/инерция и др.

Для работы алгоритма полеориентированного управления требуется знать положение ротора бесщеточного электродвигателя, чтобы в начальный момент времени установить необходимое направление возбуждающего магнитного поля. Однако зачастую СДПМ в составе станка с ЧПУ не укомплектован датчиком положения, а в некоторых случаях установка датчика на вал двигателя невозможна по условиям эксплуатации, технологическим, стоимостным или прочим ограничениям.

Более того, отказ от использования датчиков положения ротора приводит к следующим преимуществам: повышение надежности системы электропривода, снижение стоимости привода, улучшение массогабаритных показателей.

Таким образом, для обеспечения работы требуется информация об угловом положении ротора относительно статора. Отсюда возникает задача косвенного определения положения ротора относительно статора по некоторым известным параметрам.

Имеются технические решения, позволяющие решить такую задачу [1]. К ним относится, в частности, метод определения положения ротора по наблюдаемым значениям потокосцепления статорной обмотки в неподвижной системе координат по ортогональным осям α и β .

Однако, для устройств плавного пуска, работающих по принципу векторно-импульсного управления, определение положения ротора в диапазоне малых скоростей является нетривиальной задачей. В этом случае неприменимы традиционные способы определения положения по значениям ЭДС, наводимым в обмотках статора вращающимся ротором, так как величина этих ЭДС стремится к нулю [2].

Одним из возможных вариантов определения углового положения ротора при низких скоростях является метод высокочастотной инжекции. Его суть заключается в том, что на основное напряжение возбуждения накладывается дополнительный высокочастотный синусоидальный сигнал. Это высокочастотное напряжение вносит дополнительную составляющую в магнитный поток двигателя и соответственно в величины фазных ЭДС обмоток статора и токов статора. В дальнейшем этот сигнал может быть извлечен из измеренных величин ЭДС или токов с помощью демодуляции для вычисления углового положения ротора электродвигателя.

Библиографический список

1. Клиначев Н.В., Кулёва Н.Ю., Воронин С.Г. Определение углового положения ротора синхронного двигателя с возбуждением от постоянных магнитов [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://cyberleninka.ru/article/n/opredelenie-uglovogo-polozheniya-rotora-sinhronnogo-dvigatelya-s-vozbuzhdeniem-ot-postoyannyh-magnitov>

2. Басков С.Н., Лицин К.В. Определение углового положения ротора синхронного двигателя в режиме векторно-импульсного пуска [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://www.electrical-engineering.ru/issues/2014/2014-1-6.pdf>

*А.С. Дедученко, студ.; рук. А.П. Карандашев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НЕДОСТАТКИ СОВРЕМЕННЫХ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ

В настоящее время широко распространены электронные устройства, питающиеся от аккумуляторных батарей. Самыми часто используемыми являются литий-ионные и литий-полимерные аккумуляторные батареи.

Основными преимуществами литий-ионных и литий-полимерных аккумуляторов перед никелевыми аккумуляторами являются:

- При одинаковом весе превосходят по энергоемкости
- Низкий саморазряд
- Высокое напряжение единичного элемента (3,6 – 3,7 В против 1,2 – 1,4 В у никелевых)
- Толщина элементов от 1 мм
- Возможность получать очень гибкие формы

Недостатками литиевых аккумуляторов являются:

- Сильная подверженность аккумулятора старению, даже без эксплуатации, в результате окисления электролита, что приведет к повышению внутреннего сопротивления и снижению емкости. В следствии аккумулятор не сможет отдавать накопленную энергию
- Более высокая стоимость по сравнению с никелевыми аккумуляторами
- Высокий риск воспламенения по причине замыкания контактов или механического повреждения. Высокая температура горения лития

Альтернативой литиевых аккумуляторов являются углеродные аккумуляторы, которые не используют легковоспламеняющуюся окись лития. Также жизненный цикл таких аккумуляторов значительно

больше, а стоимость меньше. За счет использования углерода данные аккумуляторы более экологичны по сравнению с литиевыми.

*А.Д. Карabanова, студ.; рук. к.т.н., доцент С.В. Софронов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТРЕХФАЗНЫЙ СИЛОВОЙ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧАСТОТЫ ВРАЩЕНИЯ БАРАБАНА ЧЕСАЛЬНОЙ МАШИНЫ

Чесальная машина, служит для чесания волокнистых материалов в текстильном производстве.

Одним из недостатков привода чесальной машины в целом является сложный и долгий процесс изменения скоростей, в том числе и главного барабана, что приводит к вынужденному останову и простоя машины.

Для упрощения и ускорения процесса изменения скоростей и направления вращения барабанов чесальной машины, а также повышения надежности, срока службы в приводе чесальной машины перед электродвигателем установлен частотный преобразователь.

Устройство содержит электродвигатель, связанный посредством ременной передачи, состоящей из двух шкивов и клинового ремня, с главным валом чесальной машины, перед электродвигателем установлен частотный преобразователь с дисплеем.

Привод работает следующим образом. Запускается чесальная машина от частотного преобразователя, на дисплее которого задается нужная скорость. На выходе частотного преобразователя формируется электрическое напряжение с переменной амплитудой и частотой. Регулирование скорости вращения электродвигателя осуществляется изменением частоты напряжения питания, подаваемого на него от частотного преобразователя. От электродвигателя через шкивы и клиновидные ремни получает движение вал главного барабана. Рабочие органы машины получают движение от вала главного барабана через шестеренную и ременную передачи. Сокращается время простоя оборудования и трудозатраты, т.к. нет необходимости заменять шкивы при изменении скорости; увеличивается производительность; повышается надежность и срок службы электродвигателя.

В этой работе разрабатывается трехфазный силовой преобразователь на основе тиристора Т122-20 [1].

Параметры выбранного тиристора Т122-20 в комплекте с охладителем О221:

- пороговое напряжение $U_{T0} = 1,15 \text{ В}$
- максимально допустимая температура перехода $T_{j,\text{max}} = 125 \text{ }^\circ\text{C}$
- дифференциальное сопротивление $R_d = 0,0172 \text{ Ом}$
- установившееся тепловое сопротивление переход-среда $R_{T,\text{п-с}} = 3,9 \text{ }^\circ\text{C/Вт}$

- ударный неповторяющийся прямой ток $I_{\text{уд}} = 330 \text{ А}$
- критическая скорость нарастания тока $i'_{\text{крит}} = 100 \cdot 10^6 \text{ А/с}$
- повторяющийся импульсный обратный ток $I_{\text{обр.п}} = 3 \text{ мА}$
- повторяющееся импульсное обратное напряжение $U_{\text{обр.п}} = 1200 \text{ В}$

Выбор такого тиристора был основан на анализе рабочего и аварийного режима работы силового преобразователя.

Затем, был проведен синтез устройства управлением движения электромеханической системы.

Синтезированное устройство позволяет обеспечить выполнение заданных требований при управлении движением электромеханической системы, содержащей силовой преобразователь напряжения и электродвигатель постоянного тока независимого возбуждения, связанный с рабочим органом жёсткой кинематической передачи.

Основным элементом микропроцессорной системы управления частотой вращения барабана чесальной машины является микроконтроллер AT89C51RD2 [2] компании Atmel, выполняющий функцию фиксации вращения барабана чесальной машины. Это высокопроизводительный 8-разрядный микроконтроллер, выполненный на основе архитектуры 8051. Он содержит 64 Кбайт флэш памяти для кодов и данных. AT89C51RD2 сохранила все особенности Atmel 80C52 с 256 байтами внутреннего ОЗУ, с 9-источниками 4 уровневых прерываний и тремя таймерами/счетчиками.

Кроме того, AT89C51RD2 имеет программируемый массив счётчиков, память XRAM в 1792 байт, аппаратный сторожевой таймер, интерфейс SPI, клавиатуру, более универсальный последовательный канал, что облегчает многопроцессорную связь (EUART) и механизм увеличения скорости (Режим X2). Полностью статическая конструкция AT89C51RD2 позволяет снизить энергопотребление системы с помощью снижения тактовой частоты до любого значения без потери данных. AT89C51RD2 имеет 2 программновыбираемых режима пониженной активности и 8-битные часы-делитель для дальнейшего

сокращения потребления электроэнергии. В режиме ожидания процессор заморожен, а периферийные устройства и прерывания системы по-прежнему работают.

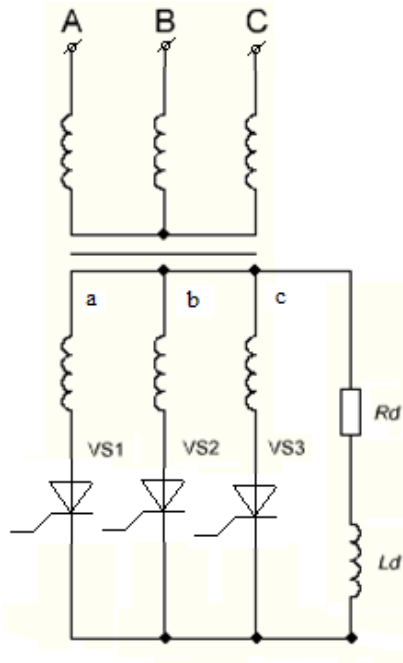


Рисунок 1 - Схема преобразователя трехфазная нулевая со средней точкой

Также в системе есть: датчик скорости для двигателя, АЦП для сбора данных с датчиков, индикатор и клавиатура для взаимодействия оператора с МК, схема управления ключами силового преобразователя для управления двигателями.

Библиографический список

1. **T122-20 datasheet.** [Electronic resource].
URL: <http://www.datasheetpdf.com/PDF/T122-20/723892/1>
2. **8-bit Flash Microcontroller AT89C51ED2 datasheet.** [Electronic resource].
URL: <http://www.atmel.com/images/doc4235.pdf>

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

ПОСТРОЕНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ АКТИВНОГО МАГНИТНОГО ПОДШИПНИКА

Целью научно-исследовательской работы является изучение принципа действия магнитного подшипника, а также построение его математической модели.

Магнитный подшипник — элемент опоры осей, валов и других деталей, работающих на принципе магнитной левитации. В результате опора является механически бесконтактной. Активные магнитные подшипники – это подшипники с переменным магнитным полем, то есть с полем создаваемым сердечником и обмоткой.

Построение математической модели основывается на принципах магнетизма, рассматриваемых в работе. В результате, была получена математическая модель системы, представленная на рисунке 1:

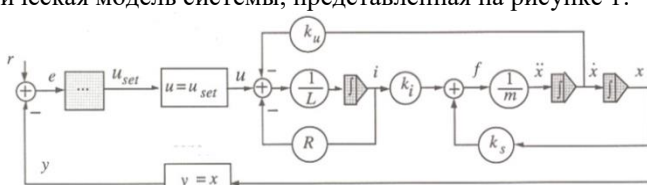


Рисунок 1- Математическая модель системы

Система имеет усилительное звено (усилитель напряжения). Система имеет контура: моделирующий электромагнит, моделирующий механику ротора. В обратной связи моделируется датчик положения, на модели представляется коэффициентом передачи датчика. Также были рассмотрены минусы опорной модели, потери, предложены пути их уменьшения.

Основной областью применения активных магнитных подшипников (АМП) в настоящее время является высокоскоростное машиностроение – от небольших турбомолекулярных насосов до турбогенераторов и компрессоров мощностью несколько десятков МВт. Преимуществом АМП для данной области является возможность управления вибрациями, демпфирование упругих колебаний, а также получение четко определенных динамических характеристик. Другими важными особенностями, которые были подтверждены практическими исследованиями, являются возможность обеспечения дистанционного

контроля и диагностики, низкие затраты на техническое обслуживание, а также низкое потребление энергии. Благодаря высокопроизводительной силовой электронике, для мощного высокоскоростного машиностроения применение АМП является перспективным и обоснованным. Также в настоящее время ведутся исследования возможности использования АМП в авиационных электрических машинах в качестве тяговых двигателей или генераторов электрической энергии для всех электрических самолетов.

Библиографический список

1. **Jeff Hillyard**, Technische Universität München «Magnetic Bearings», Joint Advanced Student School, 2006
2. Электронный ресурс «Магнитный подшипник» (<http://podshipnikcentr.ru/spravochnik/magnitnye-podshipniki.html>)
3. Электронный ресурс «Магнитный подшипник» (https://ru.wikipedia.org/wiki/Магнитный_подшипник)

*И.В. Соловьев, студ.; рук. А.И. Терехов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫТЯЖНОЙ ПРИБОР ТЕКСТИЛЬНОЙ МАШИНЫ

Изобретение относится к текстильной промышленности и касается ленточных и им подобных машин для переработки хлопка и химических волокон.

Известен вытяжной прибор текстильной машины, содержащий питающую и вытяжную пары цилиндров с нажимными валиками и размещенные между парами контролируемые элементы для образования двойного изгиба проходящих между ними волокон (1).

Такой вытяжной прибор предназначен для мокрого прядения, например, льна. Недостатком его является невозможность применения в ленточных машинах для хлопка и химических волокон, перерабатываемых по хлопчатобумажной системе, а также излишняя сложность из-за наличия привода промежуточного валика, являющегося контролирующим элементом.

Целью изобретения является улучшение контроля при вытягивании хлопковых и химических волокон и упрощение конструкции вытяжного прибора.

Это достигается тем, что контролирующие элементы установлены неподвижно и с зазором один относительно другого, величина которого находится в пределах от 1 до 2,5 мм.

Контролирующие элементы представляют собой цилиндрические стержни или планки с криволинейным профилем в поперечном сечении. На чертеже изображена общая схема вытяжного прибора.

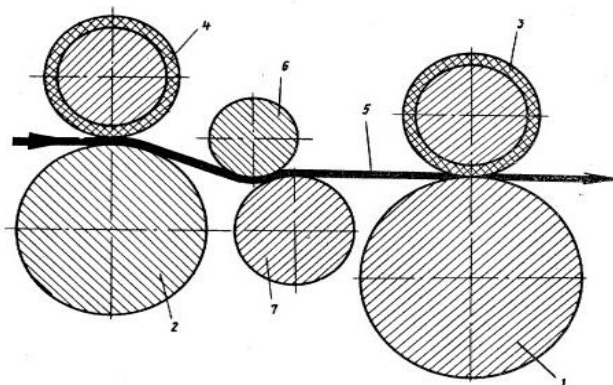


Рисунок 1 – Вытяжной прибор для текстиля

Вытяжной прибор содержит рифленые цилиндры 1, 2 и нажимные валики 3, 4. Цилиндр 2 образует с нажимным валиком 4 питающую пару, а цилиндр 1 с валиком 3 - вытяжную пару. В зоне между парами, где происходит основное вытягивание волокнистого продукта 5, установлены контролирующие элементы 6 и 7, представляющие собой цилиндрические стержни. Контролирующие элементы 6 и 7 размещены с зазором один относительно другого, изменяющимся в пределах 1 - 2,5 мм в зависимости от линейной плотности волокнистого продукта 5.

Контролирующие элементы могут быть выполнены в виде планок с криволинейным профилем в поперечном сечении.

Подаваемый питающей парой 2, 4 волокнистый продукт 5 протаскивается вытяжной парой 1, 3 через зазор между контролируемыми элементами. В результате изгиба продукта, а также уплотнения его в зазоре между контролируемыми элементами 6 и 7 создается поле сил трения и осуществляется контроль за движением продукта 5, что приводит к улучшению его качества.

Неподвижная установка обоих контролирующих элементов 6 и 7 упрощает конструкцию прибора.

Формула изобретения

1. Вытяжной прибор текстильной машины, содержащий питающую и вытяжную пары цилиндров с нажимными валиками и размещенные между парами контролирующие элементы для образования двойного изгиба проходящих между ними волокон, отличающийся тем, что, с целью улучшения контроля при вытягивании хлопковых и химических волокон и упрощения конструкции, контролирующие элементы установлены неподвижно и с зазором один относительно другого, величина которого находится в пределах 1 - 2,5 мм.

2. Прибор по п. 1, отличающийся тем, что контролирующие элементы представляют собой планки с криволинейным профилем в поперечном сечении.

*Aleksandr LIADOV, Andrey KUDRYAVTSEV,
Kanty RABENOROSOA
(ENSMM, France, Besançon)*

RTC VISION

Traditional industrial robots employ sensors such as encoders or potentiometers to measure joint angles and determine end-effector position. Working with flexible manipulators requires different, often more accurate approaches in order to control both the tip position and the shape that the robot assumes during its displacements, especially when the robot is employed in a medical environment.

The most evident problem about the use of active cannulas in a medical environment is the detection of the robot's position inside the human body in order to control the movements. The employment of surgical continuum robot manipulators requires accurate real time sensing of tip position and shaft shape. Visual servo control refers to the use of computer vision data to control the motion of a robot.

The control of the active cannula prototype by using a color camera directly mounted on the robot's tip: this kind of control is called eye-in-hand and present a big challenge for the future development of automated tasks techniques.



Figure 1 Misumi color camera

Image based visual servoing

The aim of our vision based control scheme is to minimize the following error (equation 1):

$$e = s(\mathbf{m}(t), \mathbf{a}) - \mathbf{s}^*$$

- The vector $s(\mathbf{m}(t), \mathbf{a})$ is the vector of the actual visual features: \mathbf{a} is a set of parameters (e.g., camera intrinsic parameters or 3D models of objects) and \mathbf{m} is a set of image measurements (e.g., the image coordinates of interest points or the image coordinates of the centroid of an object)
- The vector \mathbf{s}^* is the vector of the desired visual features.
- Figure 2 shows the concept of the robot with the color camera mounted on his tip.

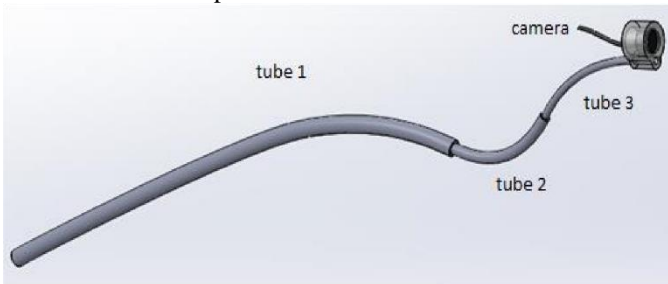


Figure 2 CAD of the robot with the color camera mounted on his tip for eye-in-hand control.

This kind of configuration is just temporary and useful for performing the first tests before moving towards the final one that forecast a fiber bundle and/or an Optical Coherence Tomography system.

In order to design a velocity controller, we need the relationship between the time variation of \mathbf{s} and the camera velocity $\mathbf{v}_c = (\mathbf{v}_c, \boldsymbol{\omega}_c)$, expressed in equation 2.

$$\dot{\mathbf{s}} = \mathbf{L}_s \mathbf{v}_c \quad (2)$$

The matrix \mathbf{L}_s is the interaction matrix, also known as feature Jacobian, related to \mathbf{s} .

Consequently, considering $\mathbf{L}_s = \mathbf{L}_e$, we can write (equation 23):

$$\dot{\mathbf{e}} = \mathbf{L}_e \mathbf{v}_c \quad (3)$$

If we want, for example, an exponential decoupled decrease of the error $\dot{\mathbf{e}} = -\lambda \mathbf{e}$, we obtain, as the input to the robot, equation 4:

$$\mathbf{v}_c = -\lambda \mathbf{L}_e^+ \mathbf{e} \quad (4)$$

The matrix \mathbf{L}_e^+ is the Moore-Penrose pseudo-inverse of \mathbf{L}_e .

Since it is impossible to know perfectly these matrices, an approximation must be realized (equation 5):

$$\mathbf{v}_c = -\lambda \hat{\mathbf{L}}_e^+ \mathbf{e} \quad (5)$$

With this kind of control law, the camera velocity \mathbf{v}_c is computed.

Since we want to compute the joint velocities, we use the following control law (equation 6):

$$\dot{\mathbf{q}} = -\lambda (\hat{\mathbf{L}}_e \mathbf{V}_e^c \mathbf{J}_e^{robot})^+ \mathbf{e} \quad (6)$$

In this equation, λ is the gain of the control; the minus sign is due to the fact that here we are implementing an eye in hand control law. Then we have \mathbf{V}_e^c , the velocity twist matrix used to transform a velocity skew vector from end effector frame to the camera frame. Finally, the matrix \mathbf{J}_e^e is the robot Jacobian expressed in the end effector reference frame. The product $\hat{\mathbf{L}}_e \mathbf{V}_e^c \mathbf{J}_e^e$ is called task Jacobian.

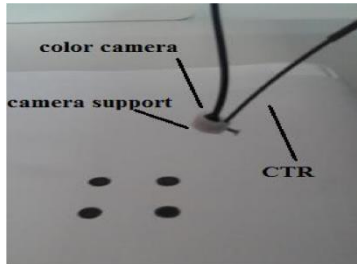


Figure 3 Color camera mounted on AS2M's CTR prototype. In order to control 6 degrees of freedom, at least 3 points are necessary.

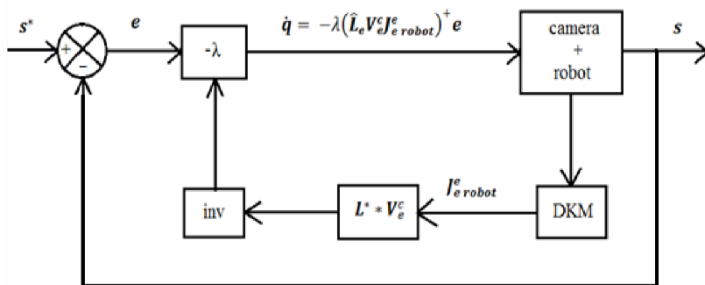


Figure 4 s^* is the vector of the desired visual features, s is the vector of the actual visual features, the vector e represents the error, resulting from the difference between the desired and the actual visual features. The input of the system composed by the robot and the camera mounted on it is the vector of joint velocities \dot{q} .

Bibliography

1. Tully, S., & Choset, H. (2016). A Filtering Approach for Image-Guided Surgery With a Highly Articulated Surgical Snake Robot. *IEEE Transactions on Biomedical Engineering*, 63(2), 392-402.
2. GILBERT, Hunter B., RUCKER, D. Caleb, et WEBSTER III, Robert J. Concentric tube robots: The state of the art and future directions. In : *Robotics Research*. Springer International Publishing, 2016. p. 253-269.
3. RUCKER, D. Caleb et WEBSTER, Robert J. Computing Jacobians and compliance matrices for externally loaded continuum robots. In : *Robotics and Automation (ICRA), 2011 IEEE International Conference on*. IEEE, 2011. p. 945-950.
4. Zerbib, A., Rapport de stage de fin d'études, Conception mécatronique et commande de robots continus à tubes concentriques, ENSMM.

**Andrey MASLOVSKIY, Nikolai VOROBYEV,
Yann LE GORREC
(ENSMM, France, Besançon)**

SYSTÈME ACTIF DE SUSPENSION DE TRAIN

Le bogie, interface entre la voie et la caisse transportant les passagers, est un élément clé des véhicules ferroviaires. Son évolution est essentielle pour permettre un transport ferroviaire plus rapide, plus confortable, plus économique tout en garantissant des conditions de sécurité pour les passagers toujours plus optimales et en limitant les opérations de maintenance. Ce sont aujourd'hui les principaux enjeux de la conception d'un bogie.

On distinguera deux classes d'amortisseurs, les amortisseurs semi-actifs (SA) et les amortisseurs actifs (A). Les amortisseurs semi-actifs sont uniquement capables de dissiper de l'énergie, c'est cette dissipation d'énergie qui peut être pilotée. Les amortisseurs actifs peuvent en plus générer un mouvement et ainsi se rapprocher d'un actionneur.

L'amortisseur utilise un fluide chargé de particules ferromagnétiques qui a un comportement magnétorhéologique.

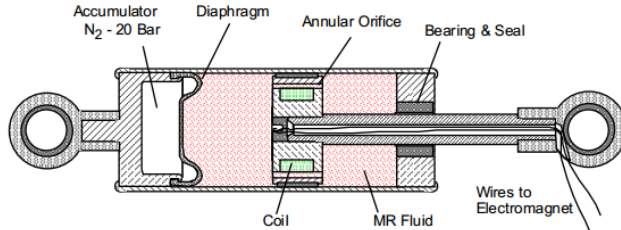


Figure 1 Schéma d'un amortisseur magnétorhéologique

Mesure du confort

Le confort ferroviaire est jugé selon différentes normes en fonction des clients et de manière générale en fonction des pays. En Europe on fait appel dans le cadre de nombreux appels d'offre à la norme EN 12299.

Dans le cadre de nos simulations, nous avons mesuré les accélérations de caisse en trois positions différentes sur un parcours défini. Notre logiciel de simulation numérique nous permet de définir des capteurs accélérométriques. La position des capteurs (idéaux) est présentée dans la figure 2.

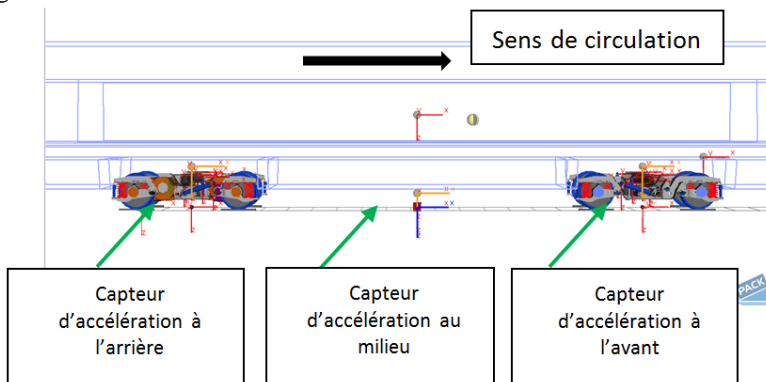


Figure 2 Position des capteurs idéaux d'accélération en caisse dans notre modèle numérique (repères en orange).

Ces accélérations sont ensuite filtrées par un filtre passe-bande dit filtre de confort. Ce filtre de confort traduit la perception par le corps humain des accélérations auxquelles il est soumis. La norme impose un filtrage distinct en fonction des directions de l'espace. Le corps humain est principalement sensible aux basses fréquences comprises entre 0,5 et 3 Hz.

Nous avons utilisé des indices de confort basés sur les valeurs des moyennes quadratiques (valeurs RMS) des accélérations filtrées :

$$\text{Indice de confort} = \sqrt{\frac{1}{N_e} \sum_{k=1}^{N_e} y_{\text{filt}}^{\cdot\cdot 2} ((k-1) \times T_e)}$$

Avec $y_{\text{filt}}^{\cdot\cdot}$: accélération filtré par le filtre confort

T_e : période d'échantillonnage N_e : nombre d'échantillon

Réalisation

La modélisation d'un véhicule ferroviaire intégrant un dispositif mécatronique tel qu'une suspension semi-active ne peut être réalisée qu'avec un logiciel de modélisation multicorps traditionnellement utilisé en dynamique ferroviaire.

Afin de simuler un amortisseur semi-actif ou actif dans un véhicule ferroviaire Dans ce cas, le véhicule ferroviaire, à l'exception des amortisseurs latéraux, est modélisé sous Simpack. Les amortisseurs latéraux ainsi que leur commande sont quant à eux modélisés dans Simulink. Les déplacements, vitesses, accélérations, sont calculés par Simpack, puis transmis à Simulink pour calculer l'effort qui sera appliqué par l'amortisseur latéral. La stratégie de co-simulation est illustrée à la figure 3.

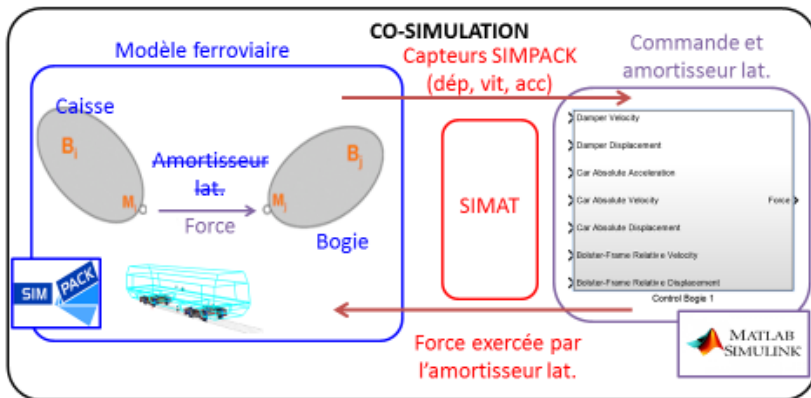


Figure 3 Schéma simplifié illustrant le principe de co-simulation entre Simulink et Simpack

*Б.Р. Гатиятуллин, А.Н. Шамсияров,
Л.А. Фазлиахметова студ.;
рук. А.Н. Богданов, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

ИЗГОТОВЛЕНИЕ СТАНКА С ЧПУ

В 1950 году Массачусетский технологический институт совместно с компанией Hydro-Tel разработали фрезерный станок с ЧПУ и уже в 1952 году продемонстрировали его работу. Станок управлялся с помощью перфоленты.

С тех пор произошли кардинальные изменения, станок с ЧПУ представляет собой сложный автоматизированный комплекс для фрезерования заготовок из дерева, пластика, металла, камня и пр. Автоматизированный комплекс, помимо «классических» механизированных узлов включает в себя электронные компоненты автоматического контроля и управления режимами обработки. Электронная система базируется на алгоритмах числового программного управления (ЧПУ) и в значительной степени упрощает работу на оборудовании. Управление станком с ЧПУ производится электронной платой, на которую отправляются команды с компьютера. Современное программное обеспечение способно самостоятельно сгенерировать G-code по загруженной 3D модели, что на много упрощает работу.

В связи с необходимостью изготовления различных заготовок мы решили разработать и собрать свой станок с ЧПУ.



Рисунок 1

Технические характеристики изготавливаемого станка: рабочая область 800x750x150мм, что позволит обработать материалы больших размеров, массивный железный каркас способствует увеличению

точности обработки, шпиндель мощностью 2.2 кВт управляемый частотным преобразователем позволяет обрабатывать материалы не только из дерева и пластика, но и из твёрдых металлов, малый угол поворота шаговых двигателей позволяет добиться высокой точности.

На данный момент разработаны чертежи и изготовлен каркас из стали, закруплены комплектующие детали.



Рисунок 2

Первым плюсом нашего станка с ЧПУ является высокий уровень автоматизации. Случаи вмешательства оператора станка в процессе изготовления детали сведены к минимуму. Станок будет работать автономно, изготавливая продукцию с неизменно высоким качеством.

Вторым преимуществом является производственная гибкость. Это значит, что для обработки различных деталей требуется всего лишь заменить программу. Проверенная и обработанная программа может быть использована в любой момент и любое число раз.

Третьим плюсом является высокая точность и повторяемость обработки. По одной и той же программе мы сможем изготовить с требуемым качеством тысячи практических идентичных деталей.

На изготавливаемом станке сможем нарезать каркас для других станков, чтобы улучшить их производительность и точность, делать печатные платы, изготавливать сувенирную, рекламную продукцию и т.д.

Данная работа актуальна, так как в современном мире при постоянно растущей популярности применения художественных изделий в обустройстве интерьера, экстерьера, в изготовлении мебели, бижутерии, сувенирной продукции становится востребованным изготовление такой продукции на станках с числовым программным управлением (ЧПУ), так как они позволяют увеличить производительность, качество и уменьшить стоимость изделия за счет автоматизации проектирования и изготовления.

*Р.В.Буйко¹, курсант; рук. С.В.Сизиков² к.т.н., доц.
Белорусская государственная академия авиации¹
Белорусский национальный технический университет²*

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОЙ СИСТЕМЫ САМОЛЕТА ТУ-204

Для обнаружения пожара борту воздушного судна используются точечные и линейные датчики, сигнал которых передается в блок усиления и обработки сигналов (БУОС). На борту Ту-204 установлено 3 блока БУОС и блок коммутации и контроля (БКК). Главными недостатками системы являются: высокая стоимость, большие масса и габариты (по сравнению с микросхемами).

Разрабатываемая противопожарная система для самолета Ту-204 с использованием микросхем будет превосходить существующую систему по стоимости и масса-габаритным параметрам [1].

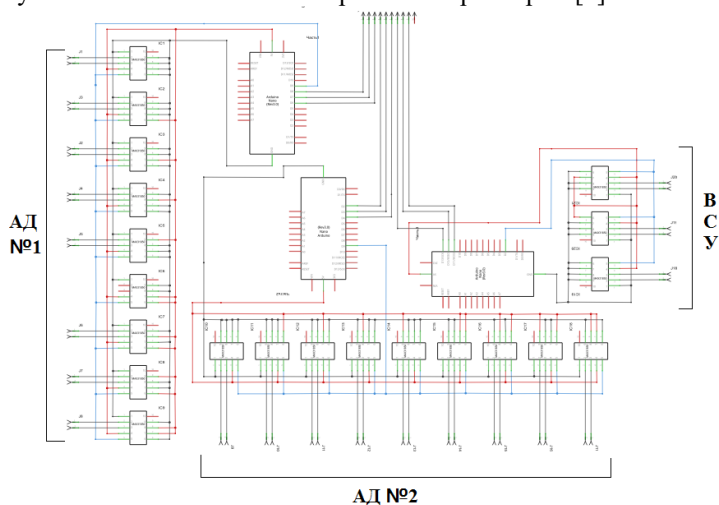


Рисунок 1 – Функциональная схема противопожарной системы

Функциональная схема состоит из 3 частей: АД №1 – отвечает за обнаружение перегрева или пожара в двигателе №1, АД №2 – отвечает за обнаружение перегрева или пожара в двигателе №2, ВСУ – отвечает за обнаружение пожара в отсеке вспомогательной силовой установки. На схеме присутствуют следующие элементы: 3 программируемые платы ArduinoNano, основой которых является микроконтроллер ATmega 328; микросхем преобразователей сигналов термодатчиков

МАХ31850 (21 шт); разъемы для подключения термопар к микросхемам МАХ31850; разъемов для передачи выходных сигналов в другие системы самолета (МСРП, КИСС, РИ и тд.).

В качестве устройства для обработки сигналов микросхем МАХ31850 была выбрана программируемая плата Arduino nano с микроконтроллером АТМega 328, так как она имеет следующие преимущества: не высокую стоимость, надежность, низкое энергопотребление, малые габариты, простоту программирования интерфейса 1-Wire необходимого для работы микросхем МАХ31850, возможность быстрого перепрограммирования в случае отказа устройства [2].

МАХ31850 – преобразователь сигналов термопар с компенсацией температуры холодного спая в цифровую форму [3] с интерфейсом 1-Wire. Наличие в МАХ31850 интерфейса 1-Wire позволяет, используя единую линию данных, не только обмениваться информацией с датчиками, физически расположенными в удаленных друг от друга местах, но и запитывать их по этой линии, что существенно упрощает монтаж.

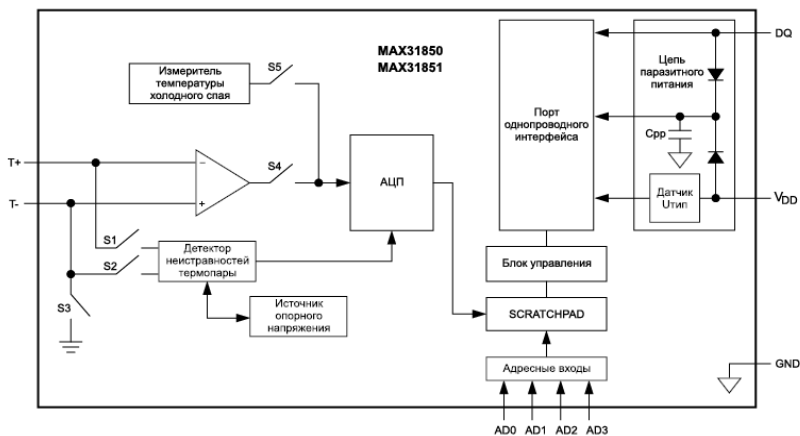


Рисунок 2 – Структурная схема преобразователя сигналов термопар МАХ31850

Разработанная нами система превосходит существующую не только по стоимости и масса-габаритным параметрам, но и по функциональности (оцифровка сигналов термопар с высокой точностью; точное обнаружение обрыва в цепи и короткое замыкание термопары).

Библиографический список

1. Журнал «ЭЛЕКТРОНИКА: Наука, Технология, Бизнес 8/2007»
2. <http://www.compel.ru>
3. Datasheet MAX31850

*Р.В.Буйко¹, курсант; рук. С.В.Сизиков² к.т.н., доц.
Белорусская государственная академия авиации¹
Белорусский национальный технический университет²*

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ ДОСТУПА ПЕРСОНАЛА

В последнее время широко применяется метод автоматической идентификации объектов посредством радиосигналов RFID (Radio Frequency Identification). В своем минимальном составе система идентификации объектов, использующая технологию RFID, состоит из RFID меток, RFID считывателей с антеннами и устройства обработки полученной информации [1]. В качестве последнего может использоваться arduino — аппаратная вычислительная платформа, основными компонентами которой являются плата ввода/вывода с собственной памятью и микроконтроллером [2]. Сферы применения RFID: управление контролем доступа, контроль подлинности объектов, инвентаризация.

В авиации системы RFID могут использоваться для контроля доступа в кабине пилотов, контроля доступа сотрудников аэропорта в служебные помещения, отслеживание багажа, учета авиационных агрегатов на складах авиационно-технических баз (АТБ), отслеживания установленных агрегатов на воздушное судно (ВС). В процессе работы над материалами доклада была создана действующая модель простейшей системы управления контролем доступа в кабину пилотов на базе arduino [2].

Arduino — это электронный конструктор и удобная платформа быстрой разработки электронных устройств для новичков и профессионалов. Устройство программируется через USB без использования программаторов. Устройства на базе Arduino могут получать информацию об окружающей среде посредством различных датчиков, а также могут управлять различными исполнительными устройствами.

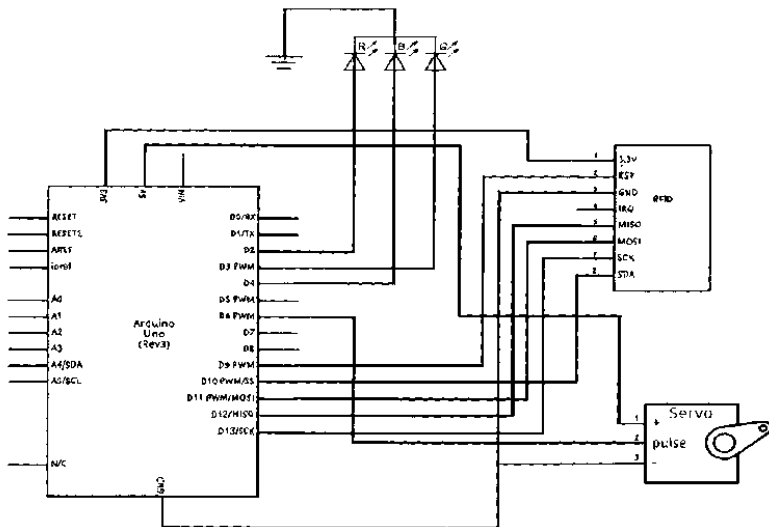


Рис. 1 -Функциональная схема устройства

Принцип работы схемы: при активации устройства RFID считыватель посылает метке радиосигнал, в ответ на который метка передает считывателю свой идентификационный номер. Полученные данные обрабатывает контроллер arduino по заранее написанному алгоритму. В случае если идентификационный номер считываемой метки совпадает с идентификационным номером, записанным в память arduino, загорится зеленый светодиод, и откроется сервопривод. В противном случае загорится красный светодиод, сервопривод не откроется. В результате обеспечивается точная и быстрая радиоидентификация объекта, на котором закреплена метка. Кроме этого, система фиксирует в своей памяти идентификационные номера всех объектов, которые предпринимали попытку проникновения в закрытую зону.

Полученная модель имеет следующие преимущества: небольшая стоимость, быстрая, бесшумная и корректная работа, достаточно высокая надежность. К недостаткам можно отнести то, что метка должна находиться на расстоянии не более 5 см от считывателя.

Библиографический список

1. <http://www.tentj.ru>
2. <http://www.arduino.ru>
3. <http://www.belcard.ru>

*Р.В.Буйко¹, курсант; рук. С.В.Сизиков² к.т.н., доц.
Белорусская государственная академия авиации¹
Белорусский национальный технический университет²*

РАЗРАБОТКА МНОГОТОЧЕЧНОЙ СИСТЕМЫ ИЗМЕРЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ НА БОРТУ ВОЗДУШНОГО СУДНА

Главными условиями построения авиационных систем являются: высокая надежность, небольшие массо-габаритные параметры, простота обслуживания, не высокая стоимость. Нами разработана система многоточечного измерения температуры на платформе Arduino, удовлетворяющая вышеперечисленным условиям.

Цель работы: разработка многоточечной системы измерения температуры на борту воздушного судна.

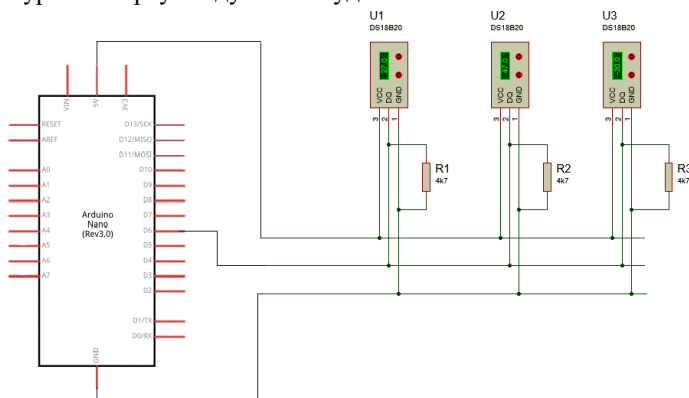


Рисунок 1 – Функциональная схема устройства

Основными компонентами функциональной схемы являются: Arduino nano и датчики температуры DS18B20.

Плата Arduino nano является устройством обработки информации. На борту платы имеется микроконтроллер ATmega 328, кварцевый резонатор и стабилизатор напряжения [1].

DS18B20 - это цифровой измеритель температуры, с разрешением преобразования 9 - 12 разрядов и функцией тревожного сигнала контроля за температурой. DS18B20 может быть подключен к внешнему источнику питания через вывод Vcc или работать по схеме «паразитного питания», без дополнительного источника. «Паразитное питание» осуществляется через подтягивающий резистор шины и

вывод DQ, во время высокого уровня шины. Сигнал высокого уровня заряжает через вывод DQ внутренний конденсатор (C_{pp}), энергией которого и питается микросхема при низком уровне линии связи. Режим «паразитного питания» крайне удобен в том случае, когда датчики находятся на значительном расстоянии друг от друга. DS18B20 способен работать в режиме передачи тревожного сигнала. В этом случае измеренное значение температуры сравнивается с верхним и нижним пределами, предварительно записанными в энергонезависимую память (EEPROM). Микроконтроллер способен точно определить, какой именно датчик передает тревожный сигнал.

Датчик температуры DS18B20 обменивается данными с платой Arduino по однопроводной линии связи, используя протокол интерфейса 1-Wire. У каждой микросхемы DS18B20 есть уникальный серийный код длиной 64 разряда, который позволяет нескольким датчикам подключаться на одну общую линию связи. То есть, через один порт микроконтроллера можно обмениваться данными с несколькими датчиками, распределенными на значительном расстоянии.

Максимальное количество датчиков, которое может опрашивать разработанное нами устройство будет равно $13 \cdot 250 = 3250$ штук [2].

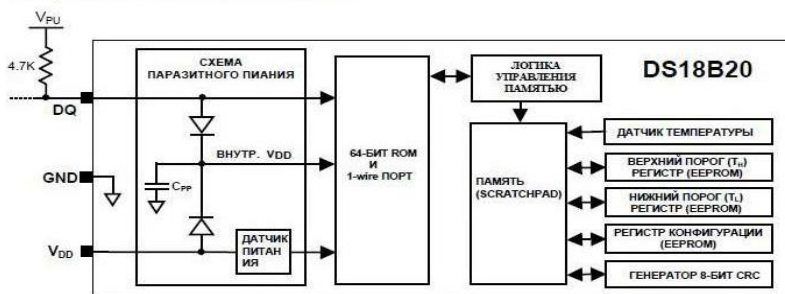


Рисунок 2 – Блок-схема датчика температуры DS18B20

Данная система многоточечного измерения температуры удовлетворяет требованиям, предъявляемым к авиационному оборудованию. Она может применяться не только в авиации, но и в других отраслях народного хозяйства, например, для мониторинга температуры в помещениях.

Библиографический список

1. <http://mypractic.ru/>
2. <http://cxem.net/>

*А.О. Роганов, студ.; рук. Н.А. Сазонникова, кандидат
технических наук, доцент (СНИУ им. Королева)*

РАЗРАБОТКА ЛАЗЕРНЫХ ИЗМЕРИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ КОНТРОЛЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕМЕНТОВ КОНСТРУКЦИЙ

С целью совершенствования контроля положений деталей при сборке, заключительных операциях и последующей эксплуатации разработана лазерная измерительная система для контроля углового положения элементов конструкции. Применительно к поставленной задаче, необходима реализация малогабаритной углоизмерительной системы, обеспечивающей высокую точность измерения (погрешность не более 1,5...2 угл. сек.) при значительной рабочей дистанции между объектом контроля и автоколлиматором (до 20 м) и относительно широком диапазоне измерения (10...12 угл. мин.). Для решения поставленной задачи выбран метод "прямой угловой засечки". Измерительный канал реализует триангуляционный метод. В соответствии с методом каждая видеокамера измеряет углы визирования лазерного диода, расположенного в контрольной точке. Контроль поверхности площадок проходит в два этапа: контроль положения посадочных мест проводится без технологических нагрузок и после проведения нагружения. В результате проведенного анализа выявлены следующие первичные погрешности, определяющие точность измерения линейных и угловых координат контролируемого объекта: погрешность измерения координат центра изображения измерительной марки на ПЗС-матрице измерительного оптико-электронного преобразователя, обусловленная шумами и дискретностью приемной площадки и погрешность измерения, определяемая отклонением величины фокусного расстояния объективов от номинального значения. Для контроля углового положения крупногабаритных конструкций эффективны оптико-электронные измерительные системы. Применительно к поставленной задаче необходима реализация малогабаритной углоизмерительной системы, обеспечивающей высокую точность измерения (погрешность не более 1,5...2 угл. сек.) при значительной рабочей дистанции между объектом контроля и автоколлиматором (до 20 м) и относительно широком диапазоне измерения (10...12 угл. мин.).

Подобные системы необходимы также при решении многих задач в производственной и научной деятельности: контроле деформаций

буровых платформ, доков, фундаментов электростанций и других крупногабаритных объектов.

Однако в настоящее время отсутствуют серийные опико-электронные измерительные системы с требуемыми метрологическими параметрами. Известно ограниченное количество схем специальных широкодиапазонных угломеров, недостатком которых является сложная схема и крупные габариты.

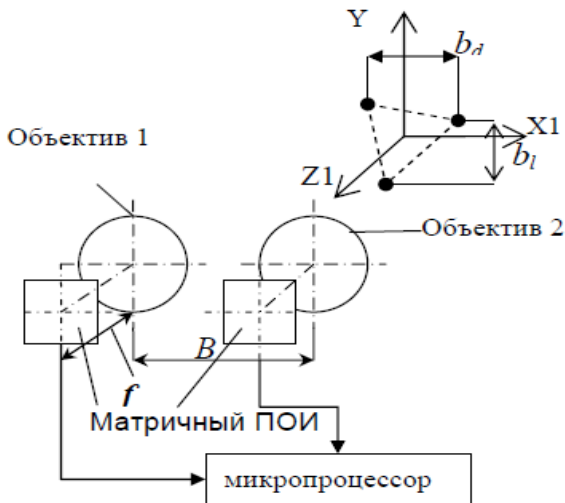


Рис. 1. Обобщённая структурная схема опико-электронной системы, работающей по методу триангуляции

Библиографический список

1. Ворона А.М., Коняхин И.А. Исследование регулярного виньетирования в опико-электронных системах измерения угловых деформаций крупногабаритных конструкций // Изв. ВУЗов. «Приборостроение». Т. 51, 2008. № 9. С. 14-18.
2. Аникст Д.А., Константинович К.М., Меськин И.В. Высокоточные угловые измерения. М.: Машиностроение, 1987. 480 с.
3. Михеев С.В., Коняхин И.А. Моделирование оптической системы измерения координат объекта методом обратной линейной засечки // Сборник трудов VI Международной конференции «Прикладная оптика» 18-21 октября 2004 г, СПб, Т.1 "Оптическое приборостроение". СПб.: 2004. С. 335-338.

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

Секретарь – ассистент **Власов А.М.**

Е.В. Шпенькова, студ.; А.М. Власов, асс.;

рук. В.А. Полетаев (д.т.н., проф.)

(ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛНОГО ФАКТОРНОГО ЭКСПЕРИМЕНТА ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

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 [1].

Наибольшее распространение применение регрессионного анализа отразилось в полном факторном эксперименте [2,3].

Применение полного факторного эксперимента в данной работе применено для исследования влияния вязкости магнитной жидкости и частоты вращения вала, а также шероховатости наружной поверхности втулки на момент трения магнитожидкостного герметизатора [4]. Одним из важнейших этапов планирования эксперимента является выбор параметра оптимизации. 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 n , об/мин, фактором X_3 – шероховатость наружной поверхности втулки R_a , мкм.

После проведения методики полного факторного эксперимента и всех расчетов по данной работе было получено уравнение регрессии и картина поверхности отклика (рис.1):

$$\hat{y} = 4,98 + 2,18X_1 + 1,66X_2 + 0,94X_3 + 0,45X_1X_2 + \\ + 0,21X_1X_3 + 0,26X_2X_3 - 0,27X_1X_2X_3$$

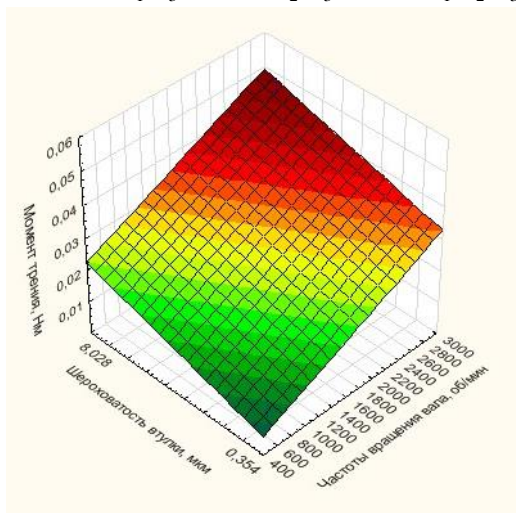


Рис.1. поверхность отклика в натуральной форме при изменении двух факторов (шероховатости втулки и частоты вращения вала) и фиксированном значении вязкости магнитной жидкости $\eta=0,2$ Па*с.

Применение теории планирования многофакторного эксперимента позволило установить влияние частоты вращения вала, шероховатости наружной поверхности втулки, а также вязкости магнитной жидкости на момент трения магнитожидкостного герметизатора

Библиографический список

1. Красовский, Г.И. Планирование эксперимента / Г.И. Красовский, Г.Ф. Филаретов Минск.: Изд-во БГУ им. В. И. Ленина, 1982. – 302 с.
2. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа / Ю. А. Евдокимов, В. И. Колесников, А. И. Тетерин // М.: Наука, 1980. –228 с.
3. Бабин, А.В. Организация и математическое планирование эксперимента [Электронный ресурс]/ А.В. Бабин, Д.Ф. Ракипов; Информационный портал УрФУ – Екатеринбург, 2014. – Режим доступа: http://study.urfu.ru/Aid/Publication/12455/1/Babin_Rakipov.pdf
4. Полетаев, В.А. Установка для исследования величины рабочего зазора на момент трения магнитожидкостных устройств / В.А. Полетаев, Т.А. Пахолкова, А.М. Власов // Трение и смазка в машинах и механизмах.– М.: «Машиностроение». –2013. – № 9. – С. 29– 31.

*Р.Е. Карташов, студ; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА

При работе на производстве можно столкнуться с различными способами улучшения характеристик металла или сплавов. В основе процесса лазерной обработки лежат необычные структурные и фазовые изменения в материале, возникающие вследствие сверхвысоких скоростей его нагрева и последующего охлаждения в условиях лазерного облучения. Важную роль при этом играют возможность насыщения поверхностного слоя элементами окружающей среды, рост плотности дислокаций в зоне облучения и другие эффекты.

Лазерные технологии обработки обладают рядом преимуществ, способствующих расширению их применения в различных производствах и сфере услуг:

- широкий спектр обрабатываемых материалов,
- отсутствие механического воздействия на изделия при минимальном термическом,
- прецизионность и гарантируемая повторяемость,
- высокая скорость и производительность, экономия на расходных материалах и низкое энергопотребление,
- возможность лазерной обработки в труднодоступных местах, на плоских и криволинейных поверхностях,
- возможность интегрирования лазера в различные технологические процессы, в том числе поточные линии и роботизированные комплексы.

Наиболее широкая область применения лазерной поверхностной обработки – инструментальное производство, например, изготовление и эксплуатация режущего инструмента, элементов штамповой оснастки.

Лазерное упрочнение позволяет снизить в 3–4 раза износ инструмента путем повышения его поверхностной твердости при сохранении общей высокой динамической прочности, повышения теплостойкости, снижения коэффициента трения пары режущий инструмент – заготовка. Упрочнение может проводиться до передней или задней поверхности, а также одновременно по двум поверхностям.

Технология лазерной наплавки позволяет восстанавливать изношенные детали автомобильной, дорожно-строительной, судовой, горнодобывающей, энергетической техники. При этом восстанавливаемые детали, например, коленчатые валы

большегрузных автомобилей имеют ресурс работы нового коленчатого вала, а стоимость восстановления методом лазерной наплавки коленвала составляет 30-40% от стоимости нового коленвала. Технология лазерной наплавки позволяет заменить классическую химико-термическую технологию азотирования, борирования, цементации, нироцементации. При этом резко сокращается длительность технологического цикла изготовления, снижается себестоимость изготовления, улучшается экология производства.

В качестве сравнения лазерной и термической (химико-термической) обработки можно привести в пример один из способов лазерной обработки – лазерную закалку. Метод основан на использовании явления высокоскоростного разогрева металла под действием лазерного луча. Микротвердость в зоне обработки повышается с 650..800 МПа до 850..1100 МПа, а глубина упроченной зоны достигает 0,2 мм. Увеличение микротвердости примерно на 28 %. Далее берем в пример азотирование (как способ химико-термической обработки). Азотирование производят в течение 50–70 ч. при 560–580 °С. Кратковременному азотированию (0,5–1 ч. при 500–700°) отливки подвергают для повышения коррозионной стойкости в среде пара и воды. Твердость после обработки = 600 — 800 НВ. Увеличение микротвердости примерно на 17 %.

Таблица 1. Микротвердость образцов после термической и лазерной обработки (по данным Дощечкиной И.В.)

Режим предварительной термообработки	Микротвердость после объемной термообработки	Микротвердость после лазерной обработки		
		зона отпуски	зона вторичной закалки	зона оплавления
Закалка от 840 °С без отпуска	7000	4200	8000	7500
Закалка от 840 °С и отпуск при 400 °С	4850	4000	11000	10700
Закалка от 840 °С и отпуск при 500 °С	3840	4000	10200	9800
Закалка от 840 °С и отпуск при 600 °С	3760	4000	10200	9800

Данная информация позволила прийти к выводу, что у метода лазерной обработки есть множество плюсов и большой потенциал для дальнейшего развития и внедрения в различные сферы производства.

Библиографический список

1. Гладуш Г.Г. Физические процессы при лазерной обработке материалов. / Г.Г. Гладуш– 1985г. – 208 с
2. Григорьянц А.Г. Основы лазерной обработки материалов. / А.Г.Григорьянц – Москва «Машиностроение» 1989г. – 301с.
3. Григорьянц А.Г. Лазерная техника и технология / А.Г.Григорьянц, А.А.Соколов – 1988г. – 191с.

*Р.Т. Дадаев, курс.; рук. В.П. Зарубин, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ИЗУЧЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ШНЕКОВЫХ ДВИЖИТЕЛЕЙ В РОБОТОТЕХНИКЕ

Для выполнения специальных заданий, в которых здоровью и жизни человека может грозить опасность, используют различного рода робототехнические системы. В настоящее время роботов стали использовать не только военные, но и спасатели. Цель использования таких устройств минимизировать или полностью устранить воздействие вредных факторов (задымление, ядовитые вещества, повышенная температура, радиация и т.п.) на человека [1].



Рис. 1. «Ель-4» —
робототехнический комплекс
пожаротушения среднего класса



Рис. 2. «Пеликан» - колесный робот для
проведения аварийно-спасательных работ и
пожаротушения

Роботы-спасатели имеют самое разнообразное современное оборудование: датчики, системы видеонаблюдения, тепловизоры, лазерные сканеры, и т.д. Такие роботы способны четко и правильно оценивать окружающую обстановку. Кроме этого на них можно установить мощные водяные пушки, непосредственно для решения прямой задачи по тушению пожара. Роботов-спасателей по мобильности условно можно разделить на следующие типы: наземные, воздухоплавающие, водоплавающие. Наземные мобильные роботы в качестве движителей могут иметь колесную и гусеничную базу. В настоящее время обе системы движителей активно развиваются с целью расширения возможностей по перемещению на различных поверхностях. Однако на данный момент решить все проблемы не представляется возможным. Поэтому, исследователи ищут альтернативные колесным и гусеничным движителем системы. К таким устройствам можно отнести шагающие системы (рис. 3) [1, 2].

Имея ряд преимуществ перед другими движителями, шагающие роботы имеют и недостатки основным, из которых является наличие

прямой зависимости затрат энергии от степеней свободы конечностей робота. Другими словами, для обеспечения лучшей проходимости и маневренности ноги робота должны иметь минимум три степени свободы, а это влечет за собой большие потери мощности на преодоление трения в каждом сочленении.

Таким образом, создание роботизированной техники повышенной проходимости для подразделений спасателей является актуальной задачей. В настоящей работе предлагается изучить возможность замены известных шасси роботов на шнекороторные движители. Предпосылками для данной работы послужил шнекороторный вездеход, движение которого осуществляется посредством двух винтов Архимеда из особо прочного материала [3].



Рис. 3. Глубоководный шагающий робот



Рис. 4. Шнекороторный снегоболотоход

Выпущенный в 1971 году специальный автомобиль по настоящее время не имеет конкуренции по проходимости. Там, где колесная и гусеничная техника не способна передвигаться шнекороторный вездеход выполняет поставленные задачи. Таким образом, создание роботизированной системы на шнековых движителях позволила бы значительно расширить область применения роботов спасателей.

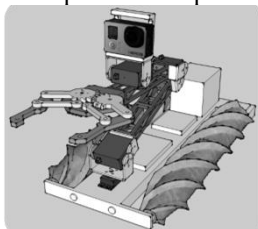


Рис. 6. Самоходный шнекоробот.

Библиографический список

1. <http://www.prorobot.ru/robots.php>
2. <http://www.mk.ru/editions/daily/2015/12/04/roboty-specialnogo-naznacheniya.html>
3. <http://www.kolesa.ru/article/vzlet-i-padenie-sinej-pticy-istorija-sovetskih-vezdehodov-dlja-kosmonavtov-2014-12-06>

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

ИЗМЕРЕНИЕ ТОЛЩИНЫ ПОКРЫТИЙ НА МЕТАЛЛАХ С ПОМОЩЬЮ ПРИБОРА ДЛЯ НЕРАЗРУШАЮЩЕГО КОНТРОЛЯ



Толщиномер PosiTector® 6000 это прочный, полностью электронный прибор для измерения толщины покрытия. Использует принципы магнитной индукции и вихревых токов для точного и быстрого измерения покрытий на черных и цветных металлах (рис.1).

Толщиномер готов к измерению без дополнительных калибровок для большинства применений и обладает следующими характеристиками: мигающий индикатор - идеален в шумной обстановке цеха; функция быстрого восстановления заводских настроек;

корпус прибора стоек к растворителям, кислотам, маслам, воде и пыли (всепогодный); преобразователь повышенной износостойкости; сертификат калибровки в соответствии с требованиями Американского института метрологии и измерений NIST; встроенная компенсация температуры обеспечивает точность измерений: функция увеличения разрешения для использования в приложениях, требующих большей точности; толщиномер соответствует национальным и международным стандартам, включая ISO и ASTM; электронный блок толщиномера универсален и можно подключать все датчики: толщиномер6000,толщиномер 200, SPG, DPM и UTG; высококонтрастный дисплей с подсветкой для работы в ярких или темных условиях; толщиномер постоянно отображает / обновляет среднее значение, стандартное отклонение, мин / макс толщину и число измерений; звуковое оповещение - громкий и четкий сигнал, когда ваши измерения превышают установленные пределы; быстрый режим - быстрая скорость измерения для экспресс-контроля; толщиномер оснащен USB-портом для быстрого и простого подключения к компьютеру и зарядки прибора, USB кабель в комплекте; использование PosiTector в качестве флэш-накопителя для просмотра и печати графиков, показаний. Может быть использован при помощи обычных веб-браузеров; сохранение даты и времени измерений; обновления программного обеспечения через интернет; подключение к ресурсу PosiSoft.net .

Сначала проводится измерение на детали без покрытия. Это позволит провести быструю проверку настройки нуля и определить, нужна ли калибровочная регулировка для измерения толщины покрытия. Затем необходимо прибор положить на поверхность без покрытия входящие в комплект меры толщин с известной толщиной, и провести с каждой из них отдельное измерение, чтобы убедиться, что прибор измеряет в пределах погрешности.

Для измерения покрытия с толщиной, близкой к требуемой, необходимо отрегулировать при помощи клавиш нижний предел. Затем выбирается следующий, чтобы подтвердить это значение. Теперь на дисплее (рис.2) отобразится текущая установка верхнего предела измерения. Аналогичным образом проводится регулировка этого предела. На дисплее появится иконка. Теперь измерения будут сравниваться с установленными пределами. Если результаты находятся в этих пределах, дважды прозвучит сигнал и зеленый индикатор моргнет. Один сигнал низкого тона сообщит, что результат измерения ниже нижнего предела измерения, а сигнал высокого тона сообщит, что результат измерения выше верхнего предела. При выходе показаний за установленные пределы будет моргать красный индикатор.



Рис. 2 Дисплей толщиномера PosiTector® 6000

PosiTector 6000 автоматически компенсирует температуру. Прежде чем приступить к измерениям необходимо, чтобы температура прибора сравнялась с температурой окружающей среды в течение нескольких минут.

С помощью данного прибора были проведены измерения толщины лакокрасочного покрытия и величины деформированного слоя алмазным выглаживанием на деталях из цветных металлов и нержавеющей стали.

ЛЕГИРОВАНИЕ ИНДУСТРИАЛЬНЫХ МАСЕЛ ВЫСОКОМОЛЕКУЛЯРНЫМИ СПИРТАМИ

Индустриальные масла снижают трение, уменьшают износ трущихся поверхностей, повышают работоспособность технологического оборудования. Повысить технологические свойства смазочного материала можно с помощью высокомолекулярных спиртов. Легирующие компоненты, несмотря на относительно малую концентрацию (1-10%), определяют основные характеристики смазочных материалов [1-3].

Условия эксплуатации современного технологического оборудования предъявляют высокие требования к смазочным материалам, а минеральные масла в чистом виде не всегда соответствуют этим требованиям.

В приводах к технологическому оборудованию чаще всего применяют цилиндрические редуктора, а смазку их осуществляют индустриальными маслами. С целью улучшения эксплуатационных свойств индустриальных масел (И-20, И-50) разработана присадка на основе высокомолекулярных спиртов, обеспечивающая увеличение срока службы смазочного материала.

Присадка полностью растворяется в масле без образования осадка и мицелл, стабилизирует физико-механические характеристики масла.

Основной эксплуатационной характеристикой смазочного материала является кинематическая вязкость. Вязкость влияет на способность масла удерживаться в виде слоя необходимой толщины между трущимися поверхностями и обеспечивать режим жидкостного трения. По величине вязкости определяют возможность применения смазочного материала при режимах работы механизма.

Увеличение вязкости масла приводит к повышению потерь мощности на трение, так как может быть причиной повышения температуры трущихся деталей.

Ухудшение качества масла может быть обнаружено по внешнему виду (темнеет), по изменению кислотного числа и количеству осадка в окисленном масле.

Кинематическую вязкость смазочного материала определяли по ГОСТ 33 с помощью стеклянного вискозиметра ВПЖ-4, а кислотное число по ГОСТ 5985. Кислотные соединения, содержащиеся в испытуемом масле, определяли титрованием спиртовым раствором

гидроокиси калия в присутствии цветного индикатора – нитрозинового желтого.

Наличие водорастворимых кислот и щелочей в нефтепродуктах определяют по ГОСТ 6307. Определение водородного показателя водной вытяжки проводили с помощью рН-метра.

При эксплуатации технологического оборудования масло в редукторе часто работает в интервале температур 25-65°C. Поэтому проведено лабораторное исследование кинематической вязкости смазочных материалов при температурах от 25 до 65°C.

Исследования физико-механических свойств опытных смазочных композиций показали их соответствие требованиям ГОСТа 20799 на индустриальные масла.

Производственные испытания легированного индустриального масла И-50, содержащего 3% присадки, проводили на сушильно-барabanной машине. В цилиндрический двухступенчатый редуктор заливали требуемое количество масла согласно техническим требованиям оборудования. Опытная смазочная композиция работала в течение 6 месяцев. Ежемесячно проводился контроль по основным эксплуатационным характеристикам: кинематическая вязкость, кислотное число, наличие осадка и механических примесей, водородный показатель водной вытяжки.

Производственные испытания показали, что введенная в масло присадка позволяет стабилизировать кинематическую вязкость композиции во время работы редуктора, в то время как вязкость базового масла уже после четвертого месяца работы имеет отклонения от стандартного значения вязкости, а также и процесс окисления масла.

Библиографический список

1. **Аксенов, А. Ф.** Трение и изнашивание металлов в углеродных жидкостях / А. Ф. Аксенов. – М.: Машиностроение, 1977. – 152 с.
2. **Степанова, Т. Ю.** Трибополимеробразующая присадка к смазочным маслам / Т. Ю., В. Г. Мельников, С. Г. Сахарова // Трение и смазка в машинах и механизмах. – 2009. - №9. – С. 25-26. – Библиограф.: с. 26.
3. **Заславский, Ю. С.** Трибология смазочных материалов /Ю. С. Заславский. – М.: Химия, 1991. – 240 с.

ВИДЫ МЕТОДОВ УПРОЧНЯЮЩЕЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ

Методы упрочняющей обработки позволяют сохранить достаточно высокую пластичность, вязкость и трещиностойкость металла, данные методы повышают надёжность и долговечность машин и понижает расход металла на их изготовление вследствие уменьшения сечения деталей К методам упрочняющей обработки металлов относятся:

1. газопламенная закалка;
2. закалка токами высокой частоты;
3. упрочнение методом пластической деформации;
4. обработка стали холодом;
5. термомеханическая обработка металлов.

Рассмотрим самые распространенные методы более подробно.

Газопламенная закалка. При этом методе детали нагревают ацетиленокислородным, газокислородным пламенем с температурой 3000...3200°С. Метод применяется для закалки стальных и чугунных прокатных валков, для закалки крупных изделий, имеющих сложную поверхность (косозубые шестерни, червяки). Используется в массовом и индивидуальном производстве.

Недостатки метода:

- невысокая производительность;

Закалка токами высокой частоты. Принцип метода состоит в том, что если в переменное магнитное поле, создаваемое проводником-индуктором, поместить металлическую деталь, то в ней будут индуцироваться вихревые токи, вызывающие нагрев металла. Чем больше частота тока, тем тоньше получается закаленный слой.

Преимущества метода:

- более высокие механические свойства;
- возможность автоматизации процесса;
- большая экономичность, нет необходимости нагревать все изделие;
- отсутствие обезуглероживания и окисления поверхности детали;
- снижение брака по короблению и образованию закалочных трещин;
- использование закалки ТВЧ позволяет заменить легированные стали на более дешевые углеродистые;
- позволяет проводить закалку отдельных участков детали.

Основной недостаток метода – высокая стоимость индукционных установок и индукторов и сложность регулирования глубины

закаленного слоя и температуры нагрева (возможность перегрева).

Упрочнение методом пластической деформации. Различают два метода пластической деформации: дробеструйная обработка и обработка роликами. Дробеструйная обработка – обработка дробью поверхности готовых деталей. Осуществляется с помощью специальных дробеструйных установок, обработка роликами осуществляется путем давления ролика из твердого металла на поверхность обрабатываемого изделия.

Обработка стали холодом. Высокоуглеродистые и многие легированные стали имеют температуру конца мартенситного превращения ниже 0°C. Поэтому в структуре стали после закалки наблюдается значительное количество остаточного аустенита, который снижает твердость изделия, а также ухудшает магнитные характеристики. Для устранения аустенита остаточного проводят дополнительное охлаждение детали в области отрицательных температур, до температуры ниже (- 80°C). Обычно для этого используют сухой лед.

Обработку холодом необходимо проводить сразу после закалки, чтобы не допустить стабилизации аустенита. Увеличение твердости после обработки холодом обычно составляет 1...4 HRC.

Для снижения внутренних напряжений после обработки холодом сталь подвергают низкому отпуску.

Термомеханическая обработка металлов. Термомеханическая обработка является одним из технологических процессов упрочняющей обработки. Термомеханическая обработка относится к комбинированным способам изменения строения и свойств материалов. При термомеханической обработке совмещаются пластическая деформация и термическая обработка. Преимуществом термомеханической обработки является то, что при существенном увеличении прочности характеристики пластичность снижаются незначительно, а ударная вязкость выше в 1,5...2 раза по сравнению с ударной вязкостью для той же стали после закалки с низким отпуском.

В настоящее время указанные методы лишь ограничено применяются для обработки режущих частей аварийно – спасательного инструмента. Поэтому, применение указанных методов для повышения стойкости рабочих частей аварийно – спасательного инструмента является актуальной задачей.

Библиографический список

1. Дальский А.М. Технология Конструкционных Материалов. / А.М. Дальский–Москва, Машиностроение, 1977.

ОСОБЕННОСТИ СТЕРЖНЕВЫХ ПРОСТРАНСТВЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

Развитие современных технологических методов производства позволяет изготавливать крупные серии стандартных конструктивных элементов при сравнительно небольших затратах. Эти успехи в области технологии и обусловили экономическую эффективность применения стержневых пространственных конструкций (СПК). В последнее время СПК промышленного изготовления получили широкое распространение в России, что объясняется простотой их производства и легкостью монтажа сооружений. Огнезащита несущих металлических конструкций является одной из важнейших задач в области обеспечения пожарной безопасности объектов, поскольку свойства материалов сильно зависят от температуры. Поскольку металлоконструкции широко используются в современной практике строительства. Их преимущества несомненны — высокая прочность, устойчивость, долговечность. При одинаковой несущей способности, они обладают весом в четыре раза меньшим, чем подобные конструкции из бетона или камня. Легко собирающиеся на строительном участке, стальные конструкции оптимальны для возведения различных объектов. Область применения СПК: <http://www.sgmonolit.ru/upload/products/pspk/pspk-23.jpg> - общественные здания, торговые комплексы (рис.1); выставочные центры, стадионы; аэропорты, вокзалы; автомобильные паркинги, стоянки, заправки; производственные сооружения: склады, цеха, ангары и пр.

Все перечисленные объекты обычно имеют стальной каркас. Однако эффективный и эстетичный вид здания имеет весомый недостаток – склонность к деформации во время пожара. Сталь является негорючим материалом, однако она не может в течение длительного времени выдерживать воздействие высокой температуры, возникающей при [пожаре](#), и теряет прочностные характеристики. Критическая температура, при которой происходит потеря несущей способности стальных конструкций при нормативной нагрузке, принимается равной 500°C [1]. Нагрев металлических конструкций в условиях пожара зависит от множества факторов, среди которых

основными являются интенсивность огня и способы защиты металлоконструкций.



Рис. 1. Быстровозводимые модульные здания

Незащищенные стальные металлоконструкции начинают терять несущую способность и деформироваться, как правило, через 10-15 минут после начала воздействия на них теплового импульса [2]. Область применения различных способов огнезащиты определяют с учетом требуемого предела огнестойкости металлических деталей, их типа и ориентации в пространстве, вида нагрузки, действующей на детали и конструкции (статическая, динамическая), температурно-влажностного режима эксплуатации и производства работ по огнезащите (сухие, мокрые процессы), степени агрессивности окружающей среды и др. Создание совершенно новых покрытий, улучшающих прочностные свойства металлоконструкций при воздействии высоких температур является актуальной.

Одним из способов огнезащиты металлических конструкций, получивших широкое применение за последнее десятилетие, является нанесение огнезащитных покрытий [3]. Дальнейшее исследование будет посвящено разработке самых доступных и существенно недорогих составов, которые не уступают по функциональным возможностям в части касающиеся защиты от воздействия высокой температуры пожара, но являются альтернативными уже существующим аналогам.

Библиографический список

1. **Тайра С.** Теория высокотемпературной прочности материалов. / С. Тайра, Р. Отани. – М.: Metallurgy, 1986. – 280 с.
2. **Киселев В.В.** Влияние высоких температур при пожаре на прочность металлоконструкций. / В.В. Киселев, Н.А. Кропотова, К.А. Архангельский // Материалы XI международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЭНЕРГИЯ -2016». – 2016. – Т. 4. – С. 124-126.
3. **Архангельский К.Н., Киселев В.В., Кропотова Н.А.** [Разработка огнезащитного покрытия стальных конструкций](http://pub.edufire37.ru/category/nauchnyy-debyut). Сетевое издание «Пожарная и аварийная безопасность». 2016, № 2. Электронный ресурс: <http://pub.edufire37.ru/category/nauchnyy-debyut>

ПРИМЕНЕНИЕ НЕЙРОСЕТЕВЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Нейросетевыми технологиями называют комплекс информационных технологий, основанных на применении искусственных нейронных сетей. Искусственная нейронная сеть – математическая модель, а также ее программная или аппаратная реализация, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы.

Искусственная нейронная сеть представляет собой сеть соединенных между собой искусственных нейронов, имитирующих свойства биологических нейронов. На вход искусственного нейрона поступает некоторое множество сигналов, каждый из которых является выходом другого нейрона. Каждый вход умножается на соответствующий вес, и все произведения суммируются, определяя уровень активации нейрона. Некоторые входы нейронов являются внешними входами сети, а некоторые выходы – внешними выходами сети. Подавая на входы сети числовые значения, можно получать набор числовых значений на выходе сети.

Искусственные нейронные сети имеют свойство обучаться. После формирования базы обучающих примеров и формирования сети на ее вход подаются входные параметры примеров, посредством сети производятся расчеты выходных параметров. Они сравниваются с выходными параметрами обучающих примеров. Если ошибка расчетов превышает заданную (допустимую), производится подстройка весов сети. Когда ошибка расчетов становится меньше или равной допустимой ошибке, считается, что сеть обучена. После этого, подавая на вход сети значения входных параметров, отличающиеся от параметров обучающих примеров, на выходе сети можно получить прогнозные значения выходных параметров.

Учитывая трудоемкость вычислительных процедур при работе с искусственными нейронными сетями, разработаны десятки универсальных нейросетевых пакетов программ. К нейросетевому программному обеспечению для персональных компьютеров в настоящее время относятся следующие из них: NeuroShell, NeuroSolutions, BrainMaker и другие.

Искусственные нейронные сети применяются там, где нужно решать задачи прогнозирования, классификации или управления (экономика и бизнес, медицина, промышленное производство, энергетика, социология, политические технологии и т.д.). Это объясняется их преимуществами перед традиционными аналитическими математическими моделями:

- возможностью воспроизведения чрезвычайно сложных зависимостей;
- устойчивостью к «шумам» во входных данных;
- возможностью решения задач при неизвестных закономерностях;
- высоким быстродействием и т.д.

В машиностроении нейросетевые технологии нашли применение для решения следующих задач:

- экспресс-нормирование операций механической обработки;
- нейросетевое распознавание объектов;
- прогнозирование качества термообработки сталей и сплавов, ресурса металлорежущего инструмента, загрузки оборудования, развития машиностроения;
- разработка автоматизированных систем управления процессами механической обработки деталей, электроприводами, робототехническими системами, другими процессами и системами;
- создание нейросетевых технологических справочников и «советчиков» технолога;
- разработка интеллектуальных САПР, тренажеров и т.д.;

Суть некоторых перечисленных разработок заключается в следующем. Нейросетевое нормирование операций механообработки в тяжелом машиностроении производится для повышения качества технологической подготовки производства. Для каждого выходного компонента (параметра) строится отдельная сеть. Обучение сетей производится по данным технологических процессов изготовления деталей, составленных ранее на предприятии. Применение предложенной методики позволяет учесть особенности конкретного предприятия (состав и характеристики оборудования, величины вспомогательного времени и др.). При этом значительно сокращается трудоемкость нормирования операций.

Задачи выделения и распознавания объектов возникают, в частности, при автоматической обработке цифровых изображений поверхностей крупногабаритных узлов и деталей. Для их решения используется автоматизированная нейросетевая система анализа изображений текстуры поверхностей, полученных в оптическом и инфракрасном диапазоне, применяемая для поиска микродефектов.

ОГНЕЗАЩИТА МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ БЫСТРОВОВОДИМЫХ МОДУЛЬНЫХ ЗДАНИЙ

Экстремально быстрое развитие в современном обществе инновационных технологических методов производства позволяет изготавливать крупные серии стандартных конструктивных элементов при сравнительно небольших затратах. Остается лишь нерешенной проблема огнезащиты несущих металлических конструкций, которая является на сегодняшний день одной из актуальных инженерных задач в области обеспечения пожарной безопасности объектов, поскольку свойства материалов сильно зависят от температуры. Поскольку данные металлоконструкции нашли широкое применение в современной практике строительства, поэтому решение данной задачи представляется в поиске альтернативных методов огнезащиты, поскольку эффективный и эстетичный вид здания имеет весомый недостаток – склонность к деформации во время пожара.



Рис. 1. Быстровозводимое модульное здание

Незащищенные стальные металлоконструкции начинают терять несущую способность и деформироваться, как правило, через 10-15 минут после начала воздействия на них теплового импульса [1]. Создание совершенно новых покрытий, улучшающих прочностные свойства металлоконструкций при воздействии высоких температур является актуальной.

Одним из способов огнезащиты металлических конструкций, получивших широкое применение за последнее десятилетие, является нанесение огнезащитных покрытий. .

Обзор литературных источников [2] и последних достижений науки по патентным предложениям Российской Федерации, показал, что современные исследователи для создания огнезащитных покрытий используют:

- для тонкослойной краски: алюмо- и кремнийорганические соединения, силикаты, асбестовые добавки;
- для вспучивающихся покрытий: фосфат аммония, графит.

На основании проведенного анализа имеющихся составов, предложены альтернативные рецептуры тонкослойной и вспучивающейся краски. Нами исследовано множество опытных смесей, мы приведен состав компонентных смесей, которые показали при исследовании металлических образцов наилучшие прочностные свойства. Состав тонкослойной краски: оксид алюминия (1 моль), силикат натрия (2 моль), акриловая дисперсия (1,8 г/дм³). Состав вспучивающейся краски: пентаэритрит (1 моль), дифосфат аммония (2 моль), карбамид (4 моль), акриловая дисперсия (1,5 г/дм³). Технология приготовления покрытий достаточно проста. Полученные составы нанесли на металлические образцы для доказательства эффективности огнезащитных свойств приведенных покрытий. Покрытие может наноситься на очищенную и обезжиренную поверхность кистью, валиком или из краскопульта ровным слоем. Сушка покрытия осуществлялась в естественных условиях при температуре не ниже 5 °С и влажности не выше 75 % в течение не менее 48 ч.

Таким образом, дальнейшее исследование будет посвящено разработке самых доступных и существенно недорогих составов, которые не уступают по функциональным возможностям в части касающиеся защиты от воздействия высокой температуры пожара, но являются альтернативными уже существующим аналогам.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.** Влияние высоких температур при пожаре на прочность металлоконструкций. / В.В. Киселев, Н.А. Кропотова, К.А. Архангельский // Материалы XI международной научно-технической конференции студентов, аспирантов и молодых ученых «ЭНЕРГИЯ -2016». – 2016. – Т. 4. – С. 124-126.
2. **Yew M.C.** Influences of flame-retardant fillers on fire protection and mechanical properties of intumescent coatings. / N.H. Ramli Sulong, M.K. Yew // Progress in organic coatings. Elsevier B.V. 2015, V. 78. - С. 59-66.

ПРИМЕНЕНИЕ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ПОВЕРХНОСТНОГО ПЛАСТИЧЕСКОГО ДЕФОРМИРОВАНИЯ

Одним из наиболее эффективных способов повышения производительности процесса поверхностного пластического деформирования металлов является применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС). Применение современных эффективных СОТС позволяет повысить стойкость инструментов, точность и качество обрабатываемых поверхностей, улучшить санитарно-гигиенические условия труда рабочих. Особенно велика эффективность применения СОТС при резании труднообрабатываемых материалов, таких как нержавеющие и жаропрочные стали и сплавы.

Современные СОТС представляют собой сложные многокомпонентные системы отвечающие комплексу технологических требований и условий их эксплуатации.

Обработка алмазным выглаживанием является одним из наиболее простых и эффективных методов обработки деталей машин ППД. Алмазное выглаживание повышает усталостную прочность, контактную выносливость и износостойкость деталей и тем самым увеличивает долговечность машин и оборудования. В результате поверхностного деформирования изменяются микроструктура и физико-механические свойства верхнего слоя металла: повышается его твёрдость и прочность, возникают благоприятные сжимающие остаточные напряжения. Шероховатость поверхности становится ниже. После сглаживания неровностей алмазным наконечником поверхность может приобретать зеркальный блеск. Отделочно-упрочняющая обработка алмазным выглаживанием в настоящее время получает всё более широкое распространение в машиностроении и промышленности.

Формирование поверхностного слоя при алмазном выглаживании происходит вследствие пластической деформации обрабатываемой поверхности. Под действием радиальной силы, действующей на поверхность контакта алмаза с деталью, возникают контактные давления. Если их величина превышает предел текучести, возникает пластическая деформация тонких поверхностных слоев. При пластической деформации

поверхностный слой приобретает волокнистое специфическое строение (текстуру), исходная кристаллическая решетка искажается.

Взаимодействие инструмента с обрабатываемой поверхностью при выглаживании заключается в пластическом деформировании обрабатываемой поверхности скользящим по ней инструментом – выглаживателем. При этом неровности поверхности, оставшиеся от предшествующей обработки, сглаживаются частично или полностью, поверхность приобретает зеркальный блеск, повышается твердость поверхностного слоя, в нем образуются сжимающие остаточные напряжения, изменяется микроструктура, и создается направленная текстура. После выглаживания поверхность остается чистой, не шаржированной осколками абразивных зерен, что обычно происходит при процессах абразивной обработки. Такое сочетание свойств выглаженной поверхности предопределяет ее высокие эксплуатационные износостойкости, сопротивление усталости и т.д.

При алмазном выглаживании происходят структурные и фазовые превращения. Так, выглаживание деталей из низкоуглеродистой стали, привело к увеличению концентрации на поверхности атомов углерода в 1,5 – 2 раза по сравнению со шлифованием. Увеличение содержания атомов углерода происходит при сочетании интенсивных пластических деформаций и высоких температур. Высокая эффективность упрочнения мартенситной структуры и увеличение предела выносливости по сравнению с сорбитной при поверхностной пластической деформации объясняется более высокой плотностью дефектов, образующихся при деформировании стали с большим содержанием углерода в твердом растворе, а также дополнительным упрочняющим влиянием взаимодействия дислокаций с атомами углерода в мартенсите.

Известно смазочно-охлаждающее технологическое средство (СОТС) для процессов поверхностного деформирования, содержащее хлорид меди, коллоидный графит, ацетамид, мочевины, стеариновую кислоту, воду и глицерин, высокодисперсный никель. Для повышения качества обработки поверхностным деформированием предлагается СОТС с новым составом, на который подана заявка на патент.

*М.А. Кузнецов, студ.; С.А. Сычев, курс;
рук. И.А. Легкова, к.т.н., доц.; В.П. Зарубин к.т.н., ст. преп.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

О ВОЗМОЖНОСТЯХ СОВРЕМЕННЫХ КОМПЬЮТЕРНЫХ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПРОВЕДЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

Роль компьютерных технологий в современном процессе обучения отмечалась уже не раз. Трехмерная компьютерная графика широко используется для визуализации учебного материала [1, 2].

Но вычислительные возможности современной компьютерной техники позволяют решать более обширный комплекс задач. Разработанные трехмерные модели можно поместить в систему инженерных расчетов, например, расчета напряжений и деформаций, тепловых расчетов и т.п.

В настоящее время для проведения инженерных расчетов и их визуализации можно использовать графическую систему КОМПАС-3D [3]. Компания АСКОН и НТЦ АПМ (Научно-технический центр «Автоматизированное Проектирование Машин») разработали систему прочностного конечно-элементного анализа АРМ FEM, которая основывается на созданных в НТЦ АПМ оригинальных численных методах математического моделирования и инженерного анализа для эффективного решения задач конструирования в машиностроении, приборостроении и строительстве. Инструменты АРМ FEM являются составной частью КОМПАС-3D и вместе образуют единую систему прочностного анализа, использующую ассоциативную геометрическую модель и единую библиотеку материалов. В состав АРМ FEM входят инструменты подготовки конструкции к расчёту, задания граничных условий и нагрузок, встроенные генераторы конечно-элементной сетки и постпроцессор.

Для создания конечно-элементного представления объекта в АРМ FEM предусмотрена функция генерации КЭ-сетки, при вызове которой происходит соответствующее разбиение объекта с заданным шагом. Для того чтобы результат процесса был более качественным, генератор КЭ-сетки автоматически варьирует величину шага разбиения.

Система прочностного анализа АРМ FEM позволяет решать следующие задачи [4]:

- задачи линейного статического расчета;
- задачи по оценке устойчивости конструкций;
- задачи стационарной теплопроводности и термоупругости;

- расчета собственных частот и определения форм собственных колебаний.

На рисунке 1 приведена экранная область КОМПАС-3D с подключенной процедурой прочностных расчетов.

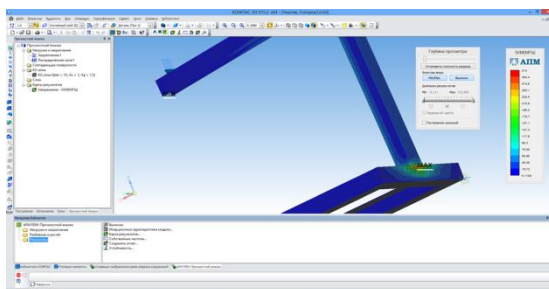


Рис. 1. Использование системы Компас-3D для расчетов на прочность

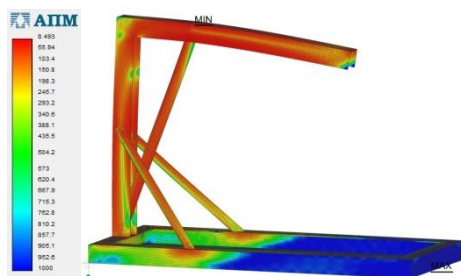


Рис. 2. Показатель коэффициента запаса прочности

Полученные результаты дают возможность оценить не только геометрию, но и прочность различных конструкций, и уже на начальных стадиях проектирования принимать правильные и обоснованные конструктивные решения.

Библиографический список

1. **Легкова, И.А.** Визуализация учебного материала средствами системы КОМПАС-3D / И.А. Легкова, С.А. Никитина, В.П. Зарубин, В.Е. Иванов. – Современные проблемы высшего образования: материалы международной научно-методической конференции. – Курск: ЮЗГУ, 2015. – С. 34-38.
2. **Лысенко, А.А.** Использование 3D моделей для изучения устройств и механизмов / А.А. Лысенко, И.А. Легкова, В.П. Зарубин, С.А. Никитина. – Энергия-2015, Иваново: ИГЭУ, 2015. – С. 200-201.
3. kompas.ru/kompas-3d.
4. <http://machinery.ascon.ru>.

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ НА КАЧЕСТВО ОБРАБАТЫВАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ МИНЕРАЛОКЕРАМИЧЕСКОГО РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

В промышленности обработка материалов резанием занимает одно из главных мест. От выбора заготовки, режущего инструмента и режимов резания зависит себестоимость и качество продукции.

Применение режущего инструмента из минералокерамики дает нам (R_a 0,8...0,6 мкм), как при шлифовании. Но для получения такого качества обработанной поверхности нужно правильно подобрать режимы резания.

Цель исследования: с помощью экспериментов можно определить нужные режимы резания для чистовой обработки инструментальных сплавов с обеспечением шероховатости R_a 0,8 – 0,6 мкм и изучить их влияние.

Методика поведения эксперимента:

изучался процесс резания инструментом из минералокерамики ВСК 71 и заготовки из У8 с твердостью HRC 45... 50.

Использовался резец со сменными режущими пластинами, которые имели геометрию режущей части: $\alpha = 7^\circ$, $\gamma = 0^\circ$, $\phi = 45^\circ$, $\phi' = 45^\circ$.

Для определения влияния режимов резания на качество, использовался факторный эксперимент типа 2^k [1].

$N = 2^k$, где N – число опытов, k – число факторов, 2 – число уровней.[1]

Так как глубина резания на качество влияния не оказывает, то для исследования влияния режимов резания выбиралось два фактора – скорость резания и подача. X_1 – подача, а X_2 – скорость резания. Матрица планирования представлена в табл. 1:

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента 2^2

№ опыта	X_1	X_2	Y
1	+1	-1	Y_1
2	+1	+1	Y_2
3	-1	-1	Y_3
4	-1	+1	Y_4

Для упрощения операции использовалось кодирование: +1 и -1.

Верхний $S = 0,2$ мм/об (+1), $V = 600$ м/мин (+1)

Нижний $S = 0,1$ мм/об (-1), $V = 500$ м/мин (-1).

Таким образом, все условия заносились в таблицу 2. Основным параметром качества являются шероховатость R_a (Y).

Таблица 2. Полная матрица планирования с результатами эксперимента

№ опыта	X_0	X_1	X_2	$Y_1 (R_a)$, мкм	$Y_2 (R_a)$, мкм	$Y_{cp} (R_a)$, мкм
1	1	+1	-1	1,6	1,4	1,5
2	1	+1	+1	1,2	1,1	1,15
3	1	-1	-1	0,8	0,6	0,7
4	1	-1	+1	0,7	0,6	0,65

Для движения к точке оптимума строилась линейная модель:

$$Y = b_0 + b_1 X_1 + b_2 X_2. \quad (2)$$

После эксперимента находились значения коэффициентов b_1 и b_2 . Для подсчета коэффициента b_1 - столбец X_1 , а для b_2 - столбец X_2 . Для получения b_0 , складывались все Y и делились на число опытов.

$$Y_{cp} = b_0 = (1,5 + 1,15 + 0,7 + 0,65) / 4 = 1$$

Коэффициенты при переменных указывают на силу влияния факторов. Величина коэффициента зависит от вклада в величину параметра оптимизации, при переходе фактора с 0го уровня на +1 или -1.

Результаты:

1. С помощью эксперимента были определены режимы резания для чистовой обработки труднообрабатываемых материалов с обеспечением R_a 0,8- 0,6 мкм. $S = 0,1$ мм/об, а $V = 600$ м/мин.
2. После анализа данных выяснилось, что S оказывает большее влияние на качество обрабатываемой поверхности, чем V резания, так как с ее увеличением возрастает параметр R_a .
3. Фактически R_a получилась практически равной расчетной R_a , найденной из геометрических соотношений.

Библиографический список

1. Адлер, Ю.П. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий/ Е.В. Марков, Ю. В. Грановский. – Москва: Издательство «Наука», 1976. – 280с.
2. Пирогов, К.М. Основы надежности текстильных машин/ С.А Егоров. – Иваново: «Учебное пособие для вузов», 2004. – 268 с.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДПУСКОВЫХ ПОДОГРЕВАТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЛЕГЧЕНИЯ ЗАПУСКА ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

В настоящее время пожарная автомобильная техника используется в самых разнообразных, зачастую сложных дорожных и климатических условиях. Особыми считаются условия эксплуатации машин в заполярных районах с особо низкой температурой воздуха. Исходя из этого можно сделать вывод, что в последующем, боеспособность вверенной техники будет полностью определяться правильной и грамотной эксплуатацией, своевременностью и качеством проведения технических обслуживаний и ремонтов, умением и навыками водителей.

Эксплуатация машин в зимних условиях затрудняется из-за низких температур воздуха, наличия снежного покрова, сильных ветров и метелей, а также сокращения светлого времени суток.

Низкая температура окружающего воздуха затрудняет пуск двигателя, оказывает отрицательное влияние на работу всех его систем и поддержание нормального теплового режима.

Наличие снежного покрова ухудшает проходимость и осложняет вождение машин по занесенным снегом дорогам. При снегопадах и метелях снижается видимость и затрудняется ориентирование на местности.

Запуск холодного двигателя и работа при пониженной температуре увеличивают износ всех сопряжений в несколько раз. Поэтому двигатели перед запуском необходимо прогревать до нормальной температуры. Одним из таких применяемых устройств является трубчатый электронагреватель (ТЭН). Данный тип устройств сегодня наиболее популярный. Эти устройства работают либо от электрической сети 220 В, либо от автомобильного аккумулятора. Поэтому они отличаются между собой конструктивными особенностями, но основа их строения одинаковая. У нагревателей подобного типа есть довольно много важных преимуществ, таких как низкая стоимость, простота установки, они не способствуют разрядке аккумулятора автомобиля, наличие различных дополнительных возможностей, например, отопление салона, подзарядка аккумулятора.

Среди недостатков стоит отметить необходимость наличия розетки на 220 В.

Данную установку подогревателя предлагается устанавливать в охлаждающей системе в ее самой нижней точке, а именно, врезают в кольцо малого круга на шланге в любом его месте. Подогрев тосола, а также двигателя вместе с ним начинается именно с нижней точки системы, в блоке двигателя. Преимущество этого способа в том, что устройство демонстрирует намного лучший КПД. Но есть также и недостаток, который заключается в довольно высокой сложности монтажа. Так же стоит отметить такие не мало важные преимущества, как простота в использовании, подогрев охлаждающей жидкости еще задолго до первого пуска мотора автомобиля, между элементами двигателя и тосолом происходит равномерный теплообмен, благодаря чему детали, входящие в цилиндропоршневую группу, не изнашиваются в процессе пуска мотора даже при очень низких температурах, подогреватель тосола обеспечивает 100%-ный пуск двигателя даже при сильном морозе, нагрузка на другие агрегаты, в том числе на стартер, значительно уменьшается в процессе прогрева и последующего запуска двигателя, становится существенно меньше расход топлива в процессе запуска прогретого мотора. Подогреватель тосола обладает также дополнительными возможностями, позволяющими прогреть даже салон автомобиля.

Обобщая все вышесказанное, нужно отметить, что безотказное и своевременное выполнение определенных задач по тушению пожара и ликвидации чрезвычайных ситуаций во многом зависит от исправности пожарной техники, а так же своевременности запуска двигателя в холодных условиях, которое в свою очередь обеспечит данное приспособление, являющееся востребованным на данный момент, и необходимым должным образом обеспечить работу пожарной техники, находящейся на вооружении пожарных гарнизонов заполярья.

Библиографический список

- Мальцев А.Н.** Перспективы использования присадки «антигель» для пожарной техники заполярных районов // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 52; URL: <http://novainfo.ru/article/8013>
- Мальцев А.Н.** Использование депрессорных присадок в моторных маслах // NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 53; URL: <http://novainfo.ru/article/8102>

ОСОБЕННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРОГРАММЫ «ArtCAM» ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ СЛОЖНЫХ ПРОФИЛЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ НА СТАНКЕ С ЧПУ

ArtCAM позволяет легко и быстро создавать трехмерные модели из двухмерных изображений. Управляющую программу в несколько проходов легко создать для черновой, чистовой обработки и гравировки. Управляющая программа может имитироваться, чтобы получить полное представление о результатах механообработки. Полученная модель может быть окрашена и оттенена, используя несколько источников освещения, типы света, различные материалы и цвета.

Для создания 3D модели может применяться рисунок, загруженный с компьютера или векторное изображение нарисованное в самой системе. 3D модель может создаваться с помощью функций: Редактор формы позволяющей менять форму выбранного вектора. Выдавливание по цвету - эта функция ориентирована на создание рельефа по участкам, закрасенным одним цветом и создание рельефа по фотографии – в этом случае рельеф создается по автоматически выбранным линиям. Так же для повышения эргономичности работы и качества получаемой модели имеются такие функции как «Векторный текст» - (эта функция позволяет быстро и удобно набирать текст, выстроенный из векторов, что облегчает создание рельефа).

И «Сглаживание рельефа» - (эта функция позволяет сгладить неровные поверхности уже на построенном рельефе и сделать поверхность 3D модели менее ребристой и более гладкой.), и еще ряд других полезных функций.

Для обработки рельефа «ArtCAM» создает файл с траекторией движения инструмента, включающий последовательность команд для управления конкретным станком с ЧПУ (G-код), этот файл можно сохранить в нужном формате в зависимости от системы ЧПУ станка. Так же есть возможность создания инструмента, выбрав тип инструмента его размеры углы заточки и прочие параметры. При создании управляющей программы в системе «ArtCAM» есть возможность провести черновую обработку в несколько проходов со снятием основного слоя материала и оставить в этом припуск на чистовую обработку. Есть функция, позволяющая написать управляющую программу на обработку всей детали или на обработку

отдельных её участков. Существуют отдельные функции для фрезерования, для гравировки или же для лазерной резки. Полученная программа может быть сохранена для каждого инструмента в отдельном файле или для всех инструментов в одном файле в зависимости от того имеет станок функцию автоматической смены инструмента или нет.

На рис. 1 показана 3D-модель построенная с помощью векторов поверх загруженного изображения далее векторам была предана необходимая форма с помощью редактора формы.

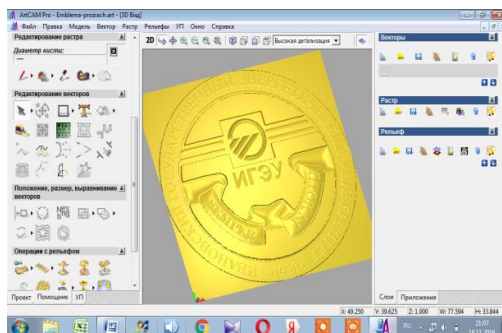


Рис.1. 3D модель.

Затем по данной 3D модели была создана управляющая программа и проведена визуализация (рис.2).

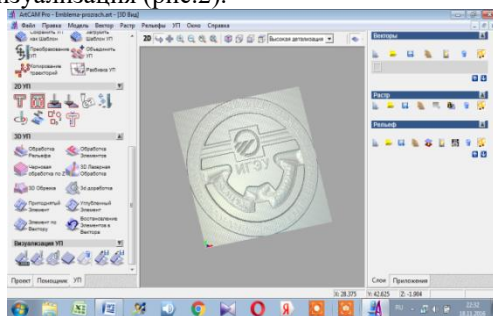


Рис. 2. Обработанная деталь.

Данная программа может применяться для создания управляющих программ, предназначенных для производства: логотипов, эмблем, значков и всякого рода изделий, не требующих точности размеров и взаимного расположения поверхностей, но имеющие при этом достаточно сложные фасонные поверхности.

К ВОПРОСУ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ МАГНИТОЖИДКОСТНОЙ СМАЗКИ В РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЯХ

Проблема работоспособности резьбовых соединений в настоящее время очень актуальна, особенно с развитием техники и устройств, работающих в условиях вакуума, повышенной грунтовой загрязненности, повышенной влажности.

В условиях атмосферного воздуха многие механизмы, в которых используются гайки, винты, болты, шпильки, ходовые винты и т.д. работают в тяжелых условиях таких как: повышенной влажности, грунтовой загрязненности, при высоких температурах, в агрессивных средах, в результате чего резьбовые соединения теряют свою подвижность. Основной причиной потери подвижности резьбовых соединений является окисление и деформация витков резьбы (см. рис. 1).

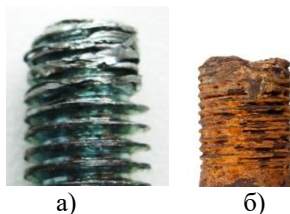


Рис. 1. - Поверхность метрической резьбы: а – смятие резьбовой поверхности; б – коррозия резьбовой поверхности.

Чтобы повысить коррозионную стойкость резьбовых соединений, известны следующие способы защиты поверхности резьбы: оксидирование (оцинковка), пассивация поверхности ингибиторами коррозии, смазка твердыми и жидкими смазочными материалами и др. Данные способы защиты поверхности не являются универсальными, а для резьбовых соединений, предназначенных для работы в условиях вакуума мало пригодны. Поэтому в данной работе предложен один из вариантов решения проблемы надежности резьбовых соединений при работе в вакууме и в других тяжелых условиях. Надежность резьбовых соединений обеспечивается за счет принудительного удерживания смазочного материала на контактных поверхностях трения витков резьбового соединения, в качестве которой выбрана магнитная жидкость различного состава.

Удерживаемая постоянным магнитным полем, магнитная жидкость уменьшает трение в резьбовом соединении и препятствует попаданию в резьбовое соединение инородных сред.

В качестве смазочного материала в резьбовых соединениях могут использоваться магнитные жидкости на различных жидкостях-носителях в зависимости от условий работы, для которых это резьбовое соединение предназначено. Для резьбовых соединений, работающих в условиях вакуума необходимо использовать магнитную жидкость только на основе полиэтилсилоксановой жидкости. Компоненты этой магнитной жидкости устойчивы к испарению в условиях вакуума. Для резьбовых соединений, работающих в условиях атмосферного воздуха можно использовать МЖ на основе минерального масла, керосина и т.д.

Поэтому в качестве смазочного материала в резьбовых соединениях может применяться ряд магнитных жидкостей, отличающихся по своим свойствам. При проведении экспериментов использовались магнитные жидкости, приготовленные на основе веретённого масла И-Л-А-32 и полиэтилсилоксановой жидкости (ПЭС-5) с различными магнитными наполнителями. Магнитной фазой в этих жидкостях являлось карбонильное железо, магнетит, и их смесь. Основным отличительным признаком между частицами магнетита и карбонильного железа, помимо физических и химических свойств, является их форма. Микрочастицы карбонильного железа имеют шаровидную форму, а части магнетита произвольную (или игольчатую) конфигурацию. Поэтому, используя в качестве смазки жидкости с такими магнитными фазами можно установить влияние на процесс трения конфигурации частиц магнитного наполнителя.

Таким образом, повышение эксплуатационных параметров, надёжности и долговечности резьбовых соединений, предназначенных для работы в тяжелых условиях – один из путей повышения надёжности и срока службы безотказной работы дорогостоящих аппаратов и механизмов.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.**, Топоров А.В., Пучков П.В. Перспективы применения магнитожидкостных устройств в пожарной и аварийно-спасательной технике.// Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. - №2. – С. 63–64.
2. **Пучков, П.В.** Магнитожидкостное уплотнение подшипника качения / П.В. Пучков, А.В. Топоров, Н.А. Кропотова, И.А. Легкова. – Наука и образование в социокультурном пространстве современного общества: материалы международной научно-практической конференции. – Смоленск, 2016. – С. 33-35.

ПРИМЕНЕНИЕ ЭКСПРЕСС-МЕТОДИКИ ПРИ ИССЛЕДОВАНИИ СВОЙСТВ СМАЗОК

Работа тяжело нагруженных машин, к которым можно отнести пожарную технику, не возможна без применения смазочных материалов. В настоящее время триботехнические возможности масел и смазок расширяют применением пакетов специальных присадок.

Триботехнические испытания смазочных материалов включают оценку их противоизносных, противозадирных и антифрикционных свойств на лабораторных приборах или установках с испытательными образцами простой геометрической формы. Условия испытания на приборах отличаются от действительных условий работы смазочных материалов в реальных машинах, однако преимущества лабораторных испытаний способствуют их широкому применению, особенно для разработки новых присадок и смазочных композиций [1].

Существует несколько схем трения для проведения трибологических испытаний. Условно их можно разделить на две большие группы: пары трения с постоянной и переменной площадью контакта. Пары трения с переменной площадью контакта относятся к экспресс методам и позволяют за относительно короткое время провести исследования. Среди экспериментальных установок, предназначенных для оценки смазочных свойств масел, смазок и композиций наиболее распространена четырехшариковая машина трения [2]. Однако дефицитность ее заставляет исследователей разрабатывать методики оценки триботехнических свойств смазочных материалов, не уступающие по надежности и экспрессности методики четырехшариковой машины и легко реализуемые на серийных износоиспытательных установках типа СМЦ – 2, СМТ – 1 и аналогичных. В частности, в [3] применительно к указанным выше машинам предлагается использовать схему трения «вращающийся диск – неподвижный шарик». При этом резко уменьшаются затраты времени и повышается надежность результатов.

В настоящей работе была проведена серия опытов для определения триботехнических свойств индустриального масла И-20 без наполнителей и масла И-20 с антифрикционной добавкой, используя две схемы трения. Схема трения с постоянной площадью контакта – «диск-колодка». Схема трения с переменной площадью контакта – «диск-шарик». Обе пары трения устанавливали на машину.

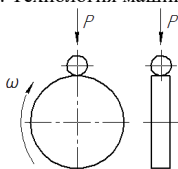


Рис. 1. Схема испытания образцов (диск – шарик) трения СМТ-1.

В результате исследований определяли зависимость коэффициента трения от нагрузки. Целью работы было оценить возможность применения пары трения с переменной площадью контакта. Т.е. при введении в масло антифрикционной добавки теоретически должно наблюдаться снижение коэффициента трения не зависимо от используемой схемы трения. Результаты исследований представлены в таблице 1.

Таблица 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки.

Давление, МПа		2	3	4	5
пара трения «диск-колодка»	И-20	0,11	0,12	0,14	0,15
	И-20 + добавка	0,06	0,08	0,093	0,123
пара трения «диск-шарик»	И-20	0,09	0,06	0,1	0,2
	И-20 + добавка	0,05	0,04	0,8	0,95

Анализируя результаты исследований можно сделать вывод, что добавка к маслу И-20 улучшила его триботехнические характеристики уменьшив коэффициент трения. Это изменение показали обе пары трения и с постоянной и с переменной площадью контакта. Причем порядок уменьшения коэффициента трения одинаковый в 1,5 – 2 раза.

Таким образом, можно сделать вывод, что для проведения лабораторных трибологических исследований возможно применение пары трения с переменной площадью контакта. Кроме достоверных результатов стоит отметить, что применение пары «диск – шарик» значительно сократило время на проведение эксперимента, с 32 минут до 100 секунд при каждой нагрузке.

Библиографический список

1. Чичинадзе, А.В. Смазочные материалы, техника смазки, опоры скольжения и качения / А.В. Чичинадзе. – М.: Машиностроение, 1990. – 412 с.
2. Словарь-справочник по трению, износу и смазке. - Киев: Наука Думка, 1979. – 188 с.
3. Калинин, А.А., Экспрессная методика оценки смазочных свойств жидкостей и пластичных смазок по схеме трения «диск – шарик» / А.А. Калинин, Н.И. Замятина // Заводская лаборатория. – 1986. - №4. – С. 64 – 67.

ПРИМЕНЕНИЕ ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Машиностроение – основной потребитель материалов, в том числе и полимерных.

Из полимерных материалов изготавливают все больше мелких, но конструктивно сложных и ответственных деталей машин и механизмов. Полимеры стали применять для изготовления крупногабаритных корпусных деталей, несущих значительные нагрузки. Они сохранили свои позиции при массовом изготовлении деталей, от которых не требуется высокой прочности: заглушек, штуцеров, рукояток, шкал и корпусов измерительных приборов.

Преимущества полимеров перед иными материалами проявляются в области внутренней и внешней отделки. Внутренняя отделка салонов легковых автомобилей, автобусов, самолетов, судов и пассажирских вагонов выполняется из декоративных пластиков, синтетических пленок, тканей. Для многих машин и аппаратов только использование антикоррозионной отделки синтетическими материалами обеспечило надежную, долговременную эксплуатацию. Внутренняя облицовка аппаратов для химического производства часто выполняется из пленки фторопласта. Гальванические ванны могут работать, если они и конструкции подвески покрыты синтетическими смолами и пластиками.

Детали вращения и зубчатые колеса изготавливают из прочных конструкционных полимеров. Зубчатые колеса для тракторов изготавливают из капрона. Эти шестерни могут работать почти без износа в контакте со стальными, такая система не нуждается в смазке и почти бесшумна. Возможна полная замена металлических деталей в редукторах на детали из углепластиков.

Еще одна область применения полимерных материалов в машиностроении – изготовление металлорежущего инструмента. По мере расширения использования прочных материалов все более жесткие требования предъявляются к обрабатываемому инструменту. На выручку приходят материалы сверхвысокой твердости, которые могут поспорить с алмазом. Некоторые оксиды, нитриды, карбиды имеют не меньшую твердость и большую термостойкость. Но они пока более дороги, чем природные и синтетические алмазы, и хрупки. Чтобы удержать их от растрескивания, приходится каждое зернышко окружать полимерной упаковкой из фенолформальдегидных смол.

Сегодня три четверти абразивного инструмента выпускается с применением синтетических смол.

Тефлон. Если заменить все атомы водорода в молекуле этилена на атомы фтора, то этилен превратится в тетрафторэтилен, полимеризацией которого получили фторопласт.

Политетрафторэтилен (тефлон) по многим механическим, физическим, химическим свойствам превосходит известные полимеры. Тефлон обладает непревзойдённой химической стойкостью: он не горит, безразличен к действию растворителей, концентрированных кислот и щелочей. Этот материал незаменим при изготовлении химической аппаратуры для агрессивных сред, негорючей электроизоляции, а также подшипников и деталей, не требующих смазки.

Фенолформальдегидная смола – синтетическая смола, получаемая нагреванием смеси фенола с формальдегидом. В результате реакции молекулы формальдегида связывают между собой молекулы фенола, при этом выделяется молекула воды. Формальдегид способен взаимодействовать с молекулами фенола с образованием сетчатого полимера.

С применением фенолформальдегидных смол в машиностроении изготавливают детали для широкой гаммы продукции, абразивные инструменты, тормозные колодки для вагонов метрополитена.

Органическое стекло – полиметилметакрилат (ПММА) – высокомолекулярное соединение образуется в результате радикальной полимеризации мономера – метилового эфира метакриловой кислоты.

Силы притяжения между молекулами полимера чрезвычайно велики, поэтому ПММА – один из самых жёстких пластиков: его можно пилить и обрабатывать на токарном станке.

Этот бесцветный прозрачный полимер при температуре более 110 °С размягчается и переходит в вязко-текучее состояние. Поэтому ПММА легко перерабатывается в различные изделия формованием и литьём под давлением. Полиметилметакрилат – один из наиболее термостойких полимеров, он начинает разлагаться при температуре свыше 300 °С.

Главное достоинство этого материала – высокая прочность. Она превосходит прочность обычного стекла в десятки раз: предметам из органического стекла не страшны удары. В отличие от обычного, органическое стекло хорошо пропускает ультрафиолетовые лучи.

Благодаря уникальным свойствам органическое стекло широко применяется в машиностроении, в военной технике, авиации, различных измерительных приборах, часовых механизмах.

Таковы некоторые примеры и основные тенденции использования полимерных материалов в машиностроении.

*Г.А. Гасанов, курс.; Т.А. Злобин, курс.; С.А. Медведко, курс.;
рук. Н.А. Кропотова к.х.н., преп.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ИНЖЕНЕРНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЖЕСТКОСТИ КЛИМАТА НА НАДЕЖНОСТЬ УЗЛОВ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ РАБОЧЕГО ОБОРУДОВАНИЯ В СУРОВЫХ УСЛОВИЯХ

Пожарная охрана Российской Федерации является одной из основополагающих структур в обеспечении безопасности. При проведении аварийно-спасательных операций в любом регионе крайнего севера используется самая различная техника специального назначения и техника пожаротушения, кузов и рабочее оборудование которой металлический. Специфичность работ в условиях сурового климата заключается в интенсивном снижении установленной прочности металлоконструкций пожарно-спасательной техники и оборудования в связи с разрушениями, возникающими вследствие влияния отрицательных температур, которые могут достигать в зимние месяцы отметки - 60 °С, а также больших суточных перепадов температуры в зимние и весенние месяцы года, составляющих 25-30 градусов (районы крайнего севера). Данные факторы значительно понижают уровень надежности фронтальных погрузчиков, что ведет к снижению производительности [1]. Жесткость климата определяется комплексом пагубных факторов, влияющих на надежность работы техники и рабочего оборудования в экстремальных условиях.

Считается, что вследствие различной структуры основного металла на границах сварных швов при понижении температуры возникнут термические напряжения. Величина этих напряжений будет определяться значениями коэффициентов теплового сжатия линейных размеров конструкции при понижении температуры. Напряжения обусловлены разницей температур при изготовлении металлоконструкции и температурой ее эксплуатации. Чем больше эта разница, тем больше будут внутренние напряжения в металле, концентрирующиеся в металле шва и зоне термического влияния.

Отрицательная температура воздуха оказывает действие на технику любого назначения, снижая ударную вязкость металла [2]. При суточных перепадах температуры воздуха в металлоконструкциях

возникают термические напряжения. Холодный климат так же воздействует на обслуживающий персонал. Это выражается резким увеличением проведения аварийно-спасательных или поисковых операций, или работ по разбору завалов либо обрушений. Снижение величины ударной вязкости приводит к повышению вероятности возникновения хрупкого разрушения металлоконструкций. Процесс хрупкого разрушения металлов начинается с образования микротрещины, которая затем переходит в магистральную, разрушая металлоконструкцию. Также нужно учитывать то, что низкие температуры приводят к изменениям геологических условий при проведении операций по разбору замерших завалов. В результате смерзания грунта, обрушившихся конструкций увеличивается его предел прочности, что приводит к повышению нагрузок на рабочее оборудование техники. Также возможно замерзание гусениц экскаватора, что приводит к возникновению дополнительных сопротивлений перемещению при стагивании с места. Это может служить причиной частых отказов ходового оборудования.

В условиях дальнейшего снижения ударной вязкости увеличивается вероятность разрушения металлоконструкций рабочего оборудования вследствие динамических нагрузок. Решение проблемы повышения надежности аварийно-спасательной техники, производя работы в суровых климатических условиях путем снижения динамических нагрузок посредством специально регулируемого электропривода освещено в работе.

Проблема о комплексном воздействии погодных факторов на надежность узлов металлоконструкций рабочего оборудования пожарной и специальной техники недостаточно освещена, так отсутствуют данные по оценочной методике, в частности отсутствие тепло-прочностных расчетов, наличие сварных соединений. Как показывает практика, эффективным методом повышения надежности аварийно-спасательной техники в экстремальных условиях эксплуатации, является выполнение ограничения предельно допустимой нагрузки с учетом влияния пагубного воздействия природных факторов.

Для решения данного вида проблемы возможно использование датчика температуры металла, которое дополнительно будет учитывать предельнодопустимые нагрузки, что в свою очередь приведет к снижению стоимости контрольного электрооборудования и как следствие повысит надежность.

1. **Кропотова Н.А.** Обоснование надежности работы пожарных автомобилей при воздействии пагубных климатических факторов. NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 54. Т. 2. Стр. 51-53.

2. **Кропотова Н.А.** Анализ жесткости климата определяющий надежность узлов металлоконструкций рабочего оборудования при проведении работ в экстремальных условиях. NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 54. Т. 2. С. 58-60.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ САМ-СИСТЕМЫ POWERMILL ДЛЯ ОБРАБОТКИ НА ГРАВИРОВАЛЬНО-ФРЕЗЕРНОМ СТАНКЕ С ЧЕТЫРЬМЯ СТЕПЕНЯМИ ПОДВИЖНОСТИ

САМ - это автоматизированная система, либо модуль автоматизированной системы, предназначенный для подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ, ориентированная на использование ЭВМ. Под термином САМ-системы может пониматься как сам процесс компьютеризированной подготовки производства, так и программно-вычислительные комплексы, используемые инженерами-технологами.

Русским аналогом термина является АСТПП — автоматизированная система технологической подготовки производства. Как правило, такие системы работают, используя метод конечных элементов. Основными модулями программ анализа являются препроцессор, решатель и постпроцессор.

Исходные данные для препроцессора - геометрическая модель объекта - чаще всего получают из подсистемы конструирования (CAD). Основная функция препроцессора - представление исследуемой среды (детали) в сеточном виде.

Решатель - программа, которая преобразует модели отдельных конечных элементов в общую систему алгебраических уравнений и рассчитывает эту систему одним из методов разреженных матриц.

Постпроцессор служит для визуализации результатов решения в удобной для пользователя форме. В машиностроительных САПР это форма - графическая. САМ-системы автоматизации технологической подготовки производства получили бурное развитие параллельно с развитием САД-систем. В 1961 г. был создан язык программирования АРТ (Automatic Programming Tools), впоследствии этот язык стал основой многих других языков программирования применительно к

оборудованию с числовым программным управлением. Параллельно с работами, проводившимися в США, в СССР Георгий Константинович Горанский создал первые программы для расчетов режимов резания.

Итак, PowerMILL - это независимая САМ-система для подготовки высокоэффективных управляющих программ для фрезерных станков с ЧПУ, которая позволяет быстро создавать траектории УП без резцов по матмоделям, используя 2.5D обработку, 3-осевую обработку или многоосевую одновременную обработку. Затем эти траектории могут быть проверены на наличие столкновений с другими моделями (например, зажимами) и патроном, перед выводом траектории в тар-файлы.

PowerMILL обладает широким спектром возможностей по чтению САД файлов. Он поддерживает форматы IGES, VDA и STL, что позволяет импортировать данные из любой САД системы, поддерживающей эти форматы.

Используя симуляцию PowerMILL, вы можете загружать станки целиком, чтобы проверять траектории и визуализировать действия станка и инструмента с разных точек зрения.

Создание управляющей программы в PowerMILL можно разделить на следующие этапы:

1. Загрузка 3D модели в программу
2. Создание заготовки детали
3. Создание системы координат детали для дальнейшей работы с деталью
4. Создание инструмента или инструментальной базы (при необходимости)
5. Задание режимов резания и стратегии обработки детали
6. Создание траектории обработки детали
7. Проверка правильности созданной траектории с последующим её корректированием при необходимости
8. Создание NC-файла и загрузка в него траектории
9. Постпроцессирование, или преобразование универсальной технологической информации, генерируемой системой в управляющую программу для конкретного станка с ЧПУ.

Применение PowerMILL при 3х-осевой обработке позволяет получить максимально эффективные управляющие программы, т.к. изначально пакет разрабатывался для обработки сложных формообразующих элементов, пресс-форм, штампов, кокилей и т.д., поэтому обладает наилучшим функционалом. Функции многоосевой обработки также широко представлены в PowerMILL и в совместном применении со специализированными стратегиями позволяют

обрабатывать детали, где требуется постоянное позиционирование (непрерывная обработка).

В настоящее время PowerMILL является одним из мировых лидеров в области 2, 3 и 5-ти осевого фрезерования, предлагает широкий набор инструментов для решения задач в различных областях промышленности.

*А.П. Пианов, курс.; рук. В.П. Зарубин, к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

СПОСОБЫ УВЕЛИЧЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Согласно ГОСТ Р 27.002-2009 надежность это свойство готовности и влияющие на него свойства безотказности и ремонтпригодности, и поддержка технического обслуживания.

Применительно к автомобильным двигателям надежность характеризуется их способностью выполнять работу, сохраняя эксплуатационные показатели в установленных пределах в течение требуемого интервала времени или пробега автомобиля в определенных условиях эксплуатации.

Для предотвращения отказа и своевременного проведения ремонта необходимо проводить мероприятия по оценке состояний деталей двигателя. Фактором, непосредственно указывающим на состояние деталей двигателя, является такой показатель как компрессия. Под процессом измерения компрессии понимается диагностирование состояния цилиндропоршневой группы при помощи специального прибора – компрессометра. Показатели компрессии должны находиться в определенном диапазоне. Компрессия это физическая величина, которая характеризует давление, создаваемое в цилиндрах двигателя при вращении коленчатого вала стартером при отключенной системе питания [1]. Именно эта величина характеризует собой один из комплексных показателей технического состояния и работоспособности двигателя.

Основными факторами, влияющими на компрессию в двигателе, являются: состояние цилиндропоршневой группы, состояние газораспределительного механизма, количество потерь тепла в двигателе при такте сжатия, коэффициента теплопередачи стенок цилиндра, время контакта сжимаемого воздуха со стенками цилиндра [1]. Показатель компрессии в дизельном двигателе играет очень важную роль, так как от этого показателя зависит работа двигателя в целом. Главной причиной падения компрессии дизельного двигателя,

без сомнения, является износ его поршневой группы, а именно зеркала цилиндров. Зная причины и характер износа деталей двигателя внутреннего сгорания, предоставляется возможность проведения научных исследований с целью увеличения срока службы деталей двигателей, снижения затрат на их ремонт и эксплуатацию, а также увеличения рабочих характеристик двигателей в целом.

В настоящее время в России и за рубежом разрабатываются и предлагаются к продаже препараты и средства, позволяющие в процессе эксплуатации частично восстанавливать изношенные поверхности трения с одновременным повышением их износостойкости и других технико - экономических показателей. К таким средствам можно отнести самые различные восстановители: металлоплакирующие и металлокерамические материалы. Металлоплакирующие присадки к маслам основаны на введении в зазоры трущихся деталей специальных технологических сред, содержащих соединения металлов, принцип работы которых основан на образовании на трущихся поверхностях мягкого антифрикционного защитного слоя. Использование такого рода присадок влечет за собой ряд недостатков к которым можно отнести повышенную окисляемость масла, необходимость периодической дополнительной обработки для поддержания надежного рабочего слоя, возможность отслаивания наработанного защитного слоя.

Металлокерамические препараты основаны на введении мелкофракционных порошков серпентина к маслам и смазкам. При использовании таких наполнителей в зонах трения двигателя образуется упрочненный металлокерамический слой с высокой микротвердостью и низким коэффициентом трения [2,3]. Однако, использование наполнителя к моторным маслам в двигателях, в большей мере сводится к созданию защиты на поверхностях деталей. Восстановительные свойства у такой смазки не высокие. Т.е. для продления срока службы деталей двигателя использовать такого рода смазку необходимо с момента обкатки. У двигателей с пробегом, применение металлокерамического наполнителя, может не дать положительного результата. В этом случае, рекомендуют применять металлоплакирующие присадки к моторным маслам.

Поэтому, перспективным направлением является создание смазочных материалов имеющих преимущества и металлоплакирующих присадок и минеральных наполнителей.

Библиографический список

1. **Двигатели** внутреннего сгорания / Хачиян А.С., Морозов К.А., Луканин В.Н., Трусов В.И. и др. - Высшая школа, 1985. – 311 с.

2. **Терентьев, В.В.** Исследование трения и износа в маслах с нанопорошками силикатов / В.В. Терентьев, В.П. Зарубин, Н.И. Замятина. // Ремонт. Восстановление. Модернизация. – 2010. - №5. – С. 31-36.

3. **Мельников, В.Г.** Исследование влияния на микротвердость поверхности пар трения смазочных композиций, наполненных порошками силикатов / В.Г. Мельников, В.В. Терентьев, В.П. Зарубин // Изв. вузов. Химия и хим. технология. 2007. Т.50. Вып.1. С. 110-111.

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

АНАЛИЗ ПАРАМЕТРОВ ПРОГРЕССИВНЫХ МЕТОДОВ ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ

Для современного машиностроения характерно производство с высокой степени обработки для рынков с высокой конкуренцией. При этом, в отрасли преобладают базовые или устаревшие технологии, а доля прогрессивных технологий менее 20 % [1].

Для обработки металлов давлением такими технологиями являются: изотермическая штамповка; магнитно-импульсная обработка; взрывная штамповка.

Изотермическая штамповка – это процесс горячего деформирования заготовок в штамповом инструменте, при котором заготовка и инструмент нагреты до температуры изотермической деформации металла. Это позволяет добиться эффекта сверхпластичности штампуемого металла. Технология изотермическая штамповка применяется для получения изделий, как из листового материала, так и из сортового проката. Низкотемпературная (температура штамповки не превышает 550 °С) изотермическая штамповка применяется для получения поковок из алюминиевых и магниевых сплавов; высокотемпературная (температура штамповки более 550 °С) – для получения поковок из титановых и никелевых сплавов, латуней и бронз, инструментальных быстрорежущих сталей.

Горячая изотермическая штамповка имеет ряд преимуществ перед традиционной горячей объемной штамповкой, а именно: 1) равномерное распределение температуры по сечению поковки; 2) меньшее значение силы деформирования вследствие меньшего значения скорости деформации и скорости деформирования; 3) повышенная пластичность материала вследствие более полного разупрочнения и залечивания дефектов; 4) однородность деформации. Эффективность технологии проявляется и в том, что расход металла уменьшается более чем в два раза по сравнению с горячей объемной

штамповкой и на 25-30% уменьшается трудоемкость последующей обработки резанием.

Магнитно-импульсная обработка (МИО) металлов является эффективным методом формообразования. При магнитно-импульсной обработке не осуществляется прямого контакта инструмента с обрабатываемой заготовкой, а это значит, что не нарушаются механические свойства металла. Давление создается при взаимодействии металла деталей с магнитным полем. МИО повышает качество выпускаемой продукции, экономит энергетические ресурсы, позволяет полностью автоматизировать процесс.

При использовании взрывной штамповки [2] применяют энергию взрывчатых веществ (ВВ) для изготовления крупногабаритных изделий, изготавливаемых из листа, небольшими партиями. Для изготовления таких изделий традиционными методами штамповки требуются мощные прессы и сложная дорогостоящая оснастка. С помощью же ВВ, используя простейшее оборудование и простую оснастку, заготовке можно передать практически любую необходимую для формообразования детали энергию. Для определенного класса изделий это обеспечивает значительное снижение капитальных затрат, себестоимости деталей, сроков подготовки производства, создает условия для быстрой его переналадки.

Библиографический список

1. **Борисов В.Н.**, Почукаева О.В. Инновационное развитие машиностроения // Проблемы прогнозирования. 2013. № 1.
2. **Селиванов В.В.** Взрывные технологии: учебник для вузов / В.В. Селиванов, И.Ф. Кобылкин, С.А. Новиков. – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 519 с.

*А.А. Корниенко, студ; А.А. Катаманов, ст. преп.;
рук. С.А. Егоров, к.т.н., доц.
(ИВГПУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СМАЗОЧНЫХ МАТЕРИАЛОВ ДЛЯ ПАРАФИНИРОВАНИЯ НИТЕЙ

В результате самоорганизующихся процессов при избирательном переносе при трении в зоне трения образуется тонкая металлическая неокисляющая пленка, которая разделяет трущиеся детали и создает условия безызносности. [1, 2, 3]

Цель работы заключается в применении и изучении новых составов для предварительной обработки пряжи и нитей различного

волокнистого состава, их способности к переработке на трикотажных машинах и качества вырабатываемого трикотажа.

Испытания проводились на машине трения, реализующий контакт нить – металл. Были изготовлены составы на основе парафина, которые имели антифрикционные присадки, реализующие эффект безызносности.

Испытания проводились нанесением смазочного материала на хлопковую нить марки 40ЛХ, металлическая поверхность была изготовлена из стали 60. Результаты испытаний представлены на рисунке 1.

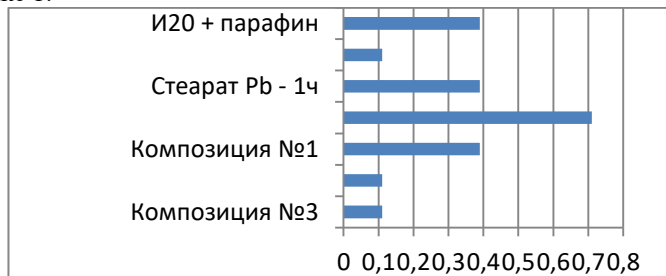


Рис.1. Коэффициент трения контакта нить - металл в присутствии различных смазочных веществ (нагрузка до 16 сН)

Результаты исследования показали реализацию минимального трения при применении стеаратов Zn – 1ч, стеарата Cu – 3ч; композиции №2; композиции №3. В результате трения на поверхности металла образуется медно – цинковая пленка по своему составу соответствующая латуни марки Л 67.

Библиографический список

1. **Гаркунов, Д.Н.** триботехника (износ и безызносность): учебник.- 4-е изд., перераб. и доп. – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.
2. **Смазочная композиция.** В.Г. Мельников // IV Выставка научных достижений. Ивановской области. - 2007. - С. 85-86.
3. **Возможные решения проблемы износа деталей механических систем и исполнительных органов оборудования текстильного производства/Е.С.Гуляев, А.К.Прокопенко// Известия высших учебных заведений. Технология текстильной промышленности. - №1. - 2012. - С. 108 – 110.**

МОДЕЛЬ ШИРОТНО-ИМПУЛЬСНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С НЕСИММЕТРИЧНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В настоящее время регулирование координат электромеханических устройств часто выполняется с использованием полупроводниковых преобразователей. Управление координатами электроприводов с двигателями постоянного и переменного тока обычно реализуется на основе применения реверсивных транзисторных силовых преобразователей. Для двухфазных двигателей переменного тока обычно используются два однотипных широтно-импульсных преобразователя (ШИП), выполняемых по мостовой схеме и управляемых от одного интерфейса сопряжения.

В электроприводах малой мощности обычно применяется симметричная коммутация силовых транзисторных ключей. Основным недостатком ШИП с симметричным управлением являются повышенные пульсации токов в фазных обмотках статора двигателя. Стремление минимизировать этот недостаток привело к появлению несимметричного способа управления ключами ШИП.

Для моделирования двухфазного реверсивного ШИП в среде MathCAD с использованием традиционных допущений получены выражения, определяющие выходные ЭДС преобразователя $E_{\text{шип}_\alpha}(t)$, $E_{\text{шип}_\beta}(t)$ по осям неподвижной системы координат α, β при несимметричной коммутации силовых ключей, показанные на рис. 1, где $E_{и_\alpha}(t)$, $E_{и_\beta}(t)$ – ЭДС импульса по осям α, β ; $E_{п}=0$ – ЭДС паузы; $T_{\text{шип}}$ – период работы преобразователя; $t_{\text{упр}_\alpha}(t)$, $t_{\text{упр}_\beta}(t)$ – сигналы управления по осям α, β ; t – время.

$$E_{\text{шип}_\alpha}(t) := \begin{cases} E_{и_\alpha}(t) & \text{if } t - \text{floor}\left(\frac{t}{T_{\text{шип}}}\right) \cdot T_{\text{шип}} \leq t_{\text{упр}_\alpha}(t) \\ E_{п} & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$E_{\text{шип}_\beta}(t) := \begin{cases} E_{и_\beta}(t) & \text{if } t - \text{floor}\left(\frac{t}{T_{\text{шип}}}\right) \cdot T_{\text{шип}} \leq t_{\text{упр}_\beta}(t) \\ E_{п} & \text{otherwise} \end{cases}$$

Рис. 1. Выражения на языке среды MathCAD для моделирования двухфазного реверсивного ШИП при несимметричной коммутации силовых ключей

Работоспособность представленной модели импульсного силового преобразователя иллюстрирует рис. 2.

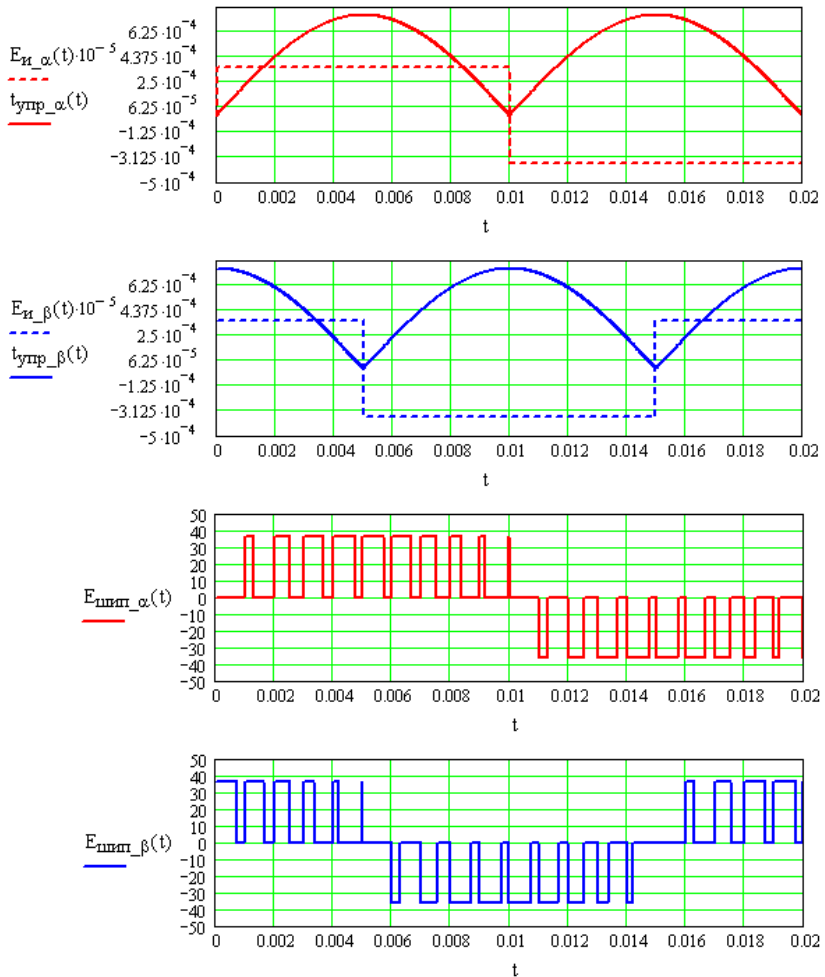


Рис. 2. Временные диаграммы работы двухфазного реверсивного ШИП при несимметричной коммутации силовых ключей, полученные с использованием разработанной модели

Таким образом, выходные ЭДС преобразователя $E_{шпп_α}(t)$, $E_{шпп_β}(t)$ определяются формированием сигналов управления $t_{упр_α}(t)$, $t_{упр_β}(t)$, которые ограничиваются в диапазоне $[0; T_{шпп}]$.

УЛУЧШЕНИЕ ТРАНСМИСИОННЫХ МАСЕЛ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ В ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКЕ

Пожарная техника выходит из строя в основном в результате износа подвижных деталей. Помимо затрат на их ремонт при износе, увеличивается расход топлива, смазочного материала и запасных частей. В автомобилях на преодоление трения расходуется более половины потребляемого ими топлива [1].

Одним из возможных путей снижения износа трущихся поверхностей является улучшения используемых в пожарной технике смазочных материалов, в частности эту проблему можно решить путем разработки металлосодержащих присадок для смазок.

Исследование триботехнических характеристик проводилось с помощью экспериментальной установки - триботехнический маятник [2].

Для оценки и сравнения разработанной присадки были исследованы следующие триботехнические характеристики – зависимость коэффициента трения от нагрузки и зависимость интенсивности изнашивания от приложенной нагрузки при фиксированном пробеге. Эти характеристики определяют границы работоспособности пары трения, стойкость материалов к изнашиванию при различных режимах трения, и как следствие ресурс и срок службы узлов трения [2].

На рис. 1, 2 представлены результаты проведенных испытаний разработанной присадки в моторном масле М20.

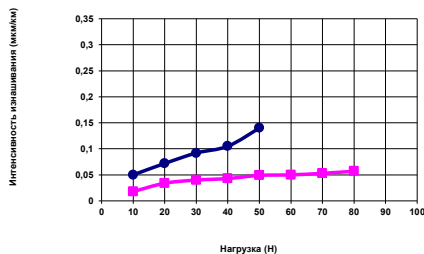


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки:

- – трансмиссионное масло ТАД-17;
- – трансмиссионное масло ТАД-17 с разработанной присадкой

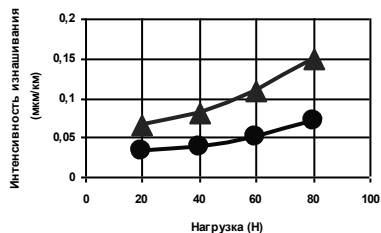


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания поверхности трения от нагрузки:

- ▲ – трансмиссионное масло ТАД-17;
- – трансмиссионное масло ТАД-17 с разработанной присадкой

Нагрузка при испытаниях повышалась ступенчато до резкого увеличения момента трения, путь трения при смазке маслом с присадками составлял 20 км.

Анализ зависимостей позволяет сделать следующие выводы:

- введение присадки в испытуемое масло позволяет в полтора раза увеличить нагрузочную способность и снизить коэффициент трения до двух раз.

- при введении в базовые масла разработанной присадки наблюдается снижение интенсивности износа до 2 раз.

Полученные показатели позволяют предполагать, что использование металлоплакирующих присадок позволит добиться положительных результатов, а именно продлить ресурс работы узлов автотранспортной техники МЧС России до 2 раз, резко снизить аварийные разрушения узлов, сократить затраты на внеплановые ремонты пожарных автомобилей, экономить горюче-смазочные материалы.

Библиографический список

1. Киселев В.В., Мельников В.Г. Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов// Эффект безызносности и триботехнологии. – 2004. – №1. – С. 16 – 20.
2. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Перспективы использования модернизированных смазочных материалов в пожарной и аварийно-спасательной технике// Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2011. - №3. – С. 23–29.
3. Киселев В.В., Полетаев В.А. Исследование триботехнических характеристик металлосодержащих присадок к маслам, используемым в электрических машинах// Вестник ИГЭУ. – 2011. – Выпуск 2. – С. 65 – 67.
4. Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В. Повышение надежности пожарной техники применением модернизированных смазочных материалов// Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. - №3. – С. 24–28.

СОВРЕМЕННЫЕ РОБОТОТЕХНИЧЕСКИЕ КОНСТРУКТОРЫ

В настоящее время робототехника применяется во многих областях деятельности человека. Интенсивное использование роботов на производстве и в быту требует от современного пользователя больших знаний в области управления роботами и в области разработки новых автоматизированных систем [1]. Введение в учебный процесс робототехники в школах и ВУЗах позволит обучающимся изучить историю техники, основные принципы механики, основы конструирования и программирования роботов. Для реализации данного направления существуют готовые наборы конструкторы, которые разрабатываются различными компаниями.

Одним из самых распространённых конструкторов является LEGO Mindstorms Education EV3. Данный стартовый образовательный набор подходит для обучения робототехнике как в школе, так и в ВУЗе, а с целью проведения научных исследований, например, при создании поискового робота, данная платформа позволяет подключить инфракрасные датчики для обнаружения людей и животных, компас, барометр, датчик силы, датчик обнаружения объектов на небольшом расстоянии, датчик угла (измеряет углы и скорость поворота) и другие [2, 3]. Если проводить испытания в условиях повышенных температур, то данный конструктор теряет свою универсальность, так как большинство деталей выполнено из пластика. Для таких испытаний можно выделить конструкторы TETRIX и MATRIX (рис. 1), они оснащены металлическими деталями для построения прочных роботов на радиоуправлении.



Рис. 1. Конструктор TETRIX

Чтобы создать программируемого робота, понадобится оборудование и программное обеспечение LEGO Mindstorms EV3 или NXT (рис. 2).

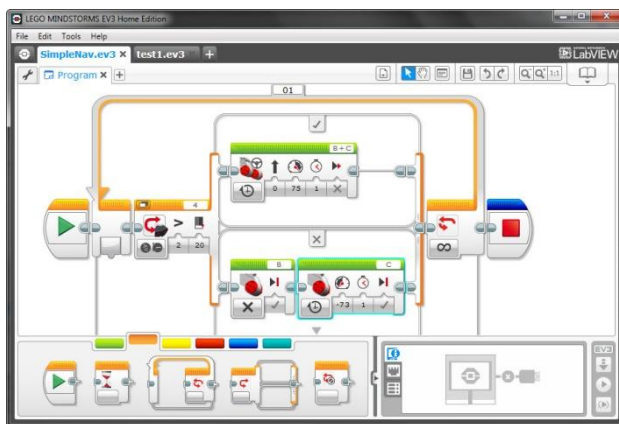


Рис. 2. Программное обеспечение LEGO Mindstorms EV3

Широкое распространение получили роботы на базе платформы Arduino. Контроллеры Arduino поддерживают установку различных датчиков, электродвигателей, сервомоторов, плат расширений и т.д. Программирование данных контроллеров осуществляется с помощью бесплатной среды Arduino IDE.

Существует множество других платформ для создания программируемых роботов, но представленные выше наборы Lego обладают простым в освоении графическим интерфейсом программирования EV3, который позволяет создавать как простые, так и сверхсложные программы.

Таким образом представленные конструкторы, позволяют создавать многофункциональных роботов и позволят обучающимся изучить основы конструирования и программирования робототехнических средств.

Библиографический список

1. **Робототехника** [электронный ресурс] // Сайт wikipedia. / Режим доступа <http://www.wikipedia.org>.
2. **Иванов В.Е.** Выбор платформы для робота на радиоуправлении // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 2. № 53. С. 37-39.
3. **Иванов В.Е.** Применение 3D-принтера для создания прототипа робота // NovaInfo.Ru. 2016. Т. 3. № 53. С. 31-33.

ОСНОВНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ОБРАБОТКИ ГЛУБОКИХ И ТОЧНЫХ ОТВЕРСТИЙ В ТЕХНОЛОГИИ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Обработка глубоких и точных отверстий достаточно трудоёмкая и требует, как правило, применения специальных станков и инструментов. Проблема обработки глубоких отверстий представляет большой интерес для большей части отраслей машиностроения. Из них можно отметить производство гидроаппаратуры, пневмоаппаратуры, энергетическое машиностроение, двигателестроение, авиастроение.

Для решения проблем возникающих при обработке глубоких отверстий была создана международная ассоциация по сверлению и трепанированию (кольцевому сверлению) глубоких отверстий - БТА (BTA, Boring and Trepaning Association), разработаны технологии для сверления отверстий размером до 10000 мм.

Операции глубокого сверления и растачивания сопровождаются характерными дефектами, возникающими в продольном и поперечном сечениях обрабатываемого отверстия.

К погрешностям продольного сечения относят увод и непрямолинейность оси отверстия [1]. Наибольшее влияние на возникновение этих дефектов оказывают: копирование сверлильным (расточным) инструментом погрешности расположения оси отверстия, поперечные колебания заготовки из-за её деформации при установке и обработке, изгиб борштанги под действием её веса, неравномерности снимаемого припуска и разнотвердости материала обрабатываемой детали.

Основной причиной появления дефектов при обработке глубоких отверстий является несбалансированность системы «станок – приспособление – инструмент – заготовка» (СПИЗ), приводящая к возникновению негативных вибраций.

На рис. 1 приведены образцы торцевой поверхности отверстия [1]: без видимых последствий вибраций (рис. 1, а); «лучевая огранка» вследствие появления торсионно-аксиального дребезга (рис. 1, б); «клиновидный узор» вследствие действия вихревых вибраций (рис. 1, в); поверхность, полученная в результате комбинации торсионно-аксиальных и вихревых вибрационных воздействий (рис. 1, г).

Для компенсации описанных дефектов и повышения точности обработки глубоких отверстий разработан ряд методов, которые можно разделить на четыре группы:

1. Реализация различных методов подачи смазывающе-охлаждающих технологических сред (СОТС) и отвода стружки.
2. Управление положением инструмента.
3. Стабилизация положения инструмента или заготовки.
4. Виброгашение колебаний.

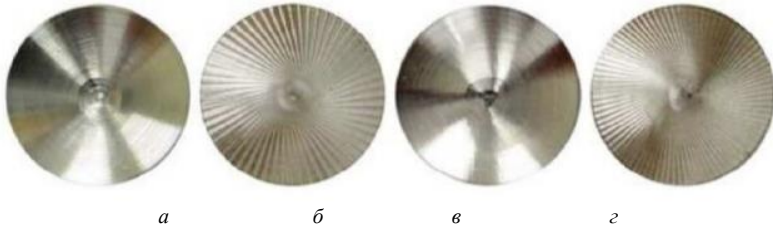


Рис. 1. Торцевые поверхности отверстий при воздействии вибраций

К первой группе относят три типа обработки глубоких отверстий:

- 1) пушечное сверление однолезвийным инструментом;
- 2) эжекторное сверление (расточка) характеризуется внутренне-наружным подводом СОТС;
- 3) методы сверления (расточки) основанные на способе подачи СОТС через кольцевой зазор между борштангой и обрабатываемым отверстием.

Ко второй группе относят: управление положением инструмента по лазерному лучу, механизмы коррекции, выполненные в виде гидродинамических опор, управляемых с помощью сервоклапана, использование магнитного поля для осуществления корректирующего воздействия на инструмент, и коррекция положения инструмента с использованием пьезоэлектрических элементов.

Третья группа методов, которые связаны со стабилизацией положения инструмента или заготовки, невелика. Например, к ним относится гироскопическая стабилизация положения инструмента.

Четвертая группа методов позволяет повышать точности обработки глубоких отверстий с помощью виброгашения.

Перечисленные способы позволяют повысить точность обработки глубоких отверстий, за счет обеспечения подачи СОТС под требуемым давлением и необходимую жесткость системы СПИЗ. При этом требуется установка специального оборудования и сложных дорогостоящих станков.

1. Горелова А.Ю. Методы повышения точности обработки глубоких отверстий/ А.Ю. Горелова, А.А Плешаков., М.Г. Кристалль – Известия Тул ГУ. № 7. Ч. 2 – С. 363 – 370.

*Ю.А. Молоткова, курс.; рук. П.В. Пучков, к.т.н.,
В.В. Киселев, к.т.н, доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ДЕЙСТВИЯ ПОНИЖЕННЫХ ТЕМПЕРАТУР НА ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ

Стали являются основным конструкционным материалом для изготовления механизмов, машин и конструкций, работающих при низких температурах. Стали для этих условий должны обеспечивать необходимую прочность в сочетании с высокой жесткостью и пластичностью, обладать малой чувствительностью к концентраторам напряжений и низкой склонностью к хрупкому разрушению.

Так как на большей территории России в зимний период времени температура понижается до $-30^{\circ}\text{C} \div -50^{\circ}\text{C}$, то проблема использования и изготовления подходящих сталей для климатических условий России очень актуальна и важна.

Результаты исследований показали, что металлы с объемноцентрированной кубической решеткой (например: железо, хром, вольфрам), а также некоторые металлы с гексагональной решеткой (например: титан, цинк, кадмий) при снижении температуры быстро охрупчиваются. У металлов с более плотно упакованной решеткой гранцентрированного куба (например: медь, никель, алюминий, магний, свинец) с понижением температуры вязкость сохраняется, а иногда даже повышается. Подобные закономерности имеют и многокомпонентные сплавы, имеющие соответствующие кристаллические решетки. Явление охрупчивания с точки зрения природы кристаллических решеток объясняется отсутствием плоскостей скольжения у металлов с объемно-центрированной кубической и гексагональной решеткой.

Если скорость распространения микротрещин превысит скорость пластической деформации, то наступит хрупкое разрушение. Пути сдвигов примерно равны диаметру зерна, поэтому измельчение зерна способствует увеличению интервала пластического состояния. Поэтому углеродистые и легированные перлитные и мартенситные

стали, после закалки с отпуском при наличии очень мелкого действительного зерна имеют более низкие критические температуры хрупкости.

С увеличением общего периметра границ зерен межзёренное вещество распределяется в форме более тонких прерывистых пленок, что увеличивает межкристаллические связи и затрудняет распространение микротрещин за счет увеличения путей сдвига. Границы зерен характеризуются значительными нарушениями кристаллической решетки, негативное влияние которых существенно ослабляется с повышением гранулярности структуры, за счет дробления путей сдвига, уменьшения длины микротрещин и соответствующего увеличения интервала пластического состояния. Таким образом, прочность металлов и их сопротивляемость хрупкому разрушению в значительной степени обуславливаются состоянием границ зерен. Еще больше влияют на величину хрупкой прочности неметаллические включения, располагающиеся как по границам зерен, так и внутри них.

Несмотря на достижения в развитии теоретических представлений о природе хладноломкости металлов, общей теории, объясняющей все многообразие этого явления, до сих пор не предложено. Теоретические представления основаны на опытных данных многочисленных исследований, рассматривающих влияние отдельных параметров состояния и свойств металла на критическую температуру его перехода в хрупкое состояние. Важным является признание необходимости повышения уровня хрупкой прочности металлов, как основного фактора, определяющего хладноломкость.

На хладноломкость стали оказывает влияние комплекс физико-химических и физико-механических факторов. Основные из них следующие:

1. Качество стали, определяемое металлургическими особенностями производства.
2. Геометрия изделия.
3. Вид напряженного состояния, при котором изделие работает в практических условиях, характер нагружения, скорость нагружения и т.д.

Все указанные факторы влияют самостоятельно и независимо друг от друга, и учесть долю влияния каждого весьма сложно. Для решения этих задач прибегают к опытным испытаниям изделий.

Библиографический список

1. Шульте Ю. А. Хладнотойкие стали – М.: Металлургия, 1970.
2. Асонов А. Д. Технология термообработки деталей машин. – М.: Машиностроение 1969.

2. **Бернштейн М.Л.**, Займовский В.А. Механические свойства металлов: Учебник для вузов. — М.: Металлургия. 1979. — 495 с.
3. **Конструкционные материалы** / Б.Н. Арзамасов, В.А. Брострем, Н.А. Буше и др.; Под общ. ред. Б.Н. Арзамасова. — М.: Машиностроение, 1990. — 687 с.

*И.И. Азизов, курс., рук. В.В. Киселев, к.т.н, доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

РАСЧЕТ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ ПОЖАРНЫХ АВТОЦИСТЕРН ПРИ ПРОЕЗДЕ ОПАСНЫХ ПОВОРОТОВ

Пожарные автоцистерны, а также подобные транспортные средства, предназначенные для транспортировки жидких грузов, например заправщики для специальных жидкостей и нефтепродуктов, монтируются на автомобилях, полуприцепах и прицепах. Эти резервуары изготавливаются чаще всего из стали и имеют эллиптическое, чемоданное или круглое сечение. В некоторых случаях цистерны выполняют с переменным сечением, либо в составе одноосного тягача, либо на шасси прицепов и полуприцепов. Это обеспечивает более эффективное распределение нагрузки как по осям базового полуприцепа, так и на седельное устройство тягача. А благодаря низкому центру тяжести придается дополнительная устойчивость при совершении транспортировки с полной массой. Эллиптическое и чемоданное сечение являются наиболее распространенными, так как они позволяют обеспечить снижение центра масс и благодаря этому улучшается устойчивость самой автоцистерны.

Основные требования безопасности направлены в основном на снижение риска возможного возникновения аварий и катастроф при эксплуатации автоцистерн. Кроме того, необходимо по возможности исключить поражения и травмы персонала, повреждение автоцистерны и сопрягаемых изделий, обеспечить поддержание работоспособности и эффективности применения транспортного средства, исключить и свести до допустимых пределов вредные воздействия на окружающую среду. Все эти требования обязательно должны приниматься в качестве исходных при оценке безопасности автоцистерны.

Опрокидывание автомобиля может произойти при движении его на повороте или смены полосы движения при превышении некоторой скорости движения в результате разгрузки колёс одной стороны автомобиля.

Для определения скорости опрокидывания ($V_{\text{опр.}}$) автомобиля проводился сбор и анализ необходимых расчетных данных. Приняли вес оснащённого автомобиля АЦ – $G=18700$ Н; ширину колеи АЦ – $b=2,3$ м; высоту расположения центра тяжести $h=1,5$ м.

На рис. 1 показана траектория движения автоцистерны на пути следования при проходе Т-образного перекрестка.

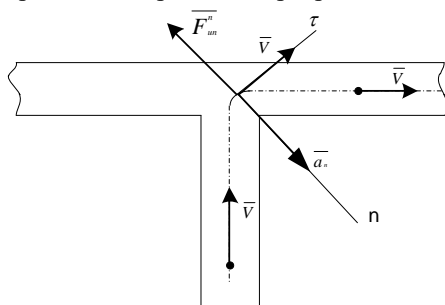


Рис 1. Схема движения автомобиля (АЦ) на повороте.

Будем считать, что полотно дороги представляет собой горизонтальную плоскость, также пренебрегаем фактором заноса и трением. При решении данной задачи примем принцип Даламбера, согласно которому при приложении силы инерции система будет находиться в равновесии, следовательно, задачу динамики можем решить с помощью уравнений статики.

Проблема обеспечения безопасности движения транспортных средств, перевозящих жидкости весьма актуальна. В связи с этим разрабатываются мероприятия по снижению влияния колебаний жидкости внутри резервуаров на динамику транспортного средства. Первый способ предполагает установку внутренних перегородок. Второй заключается в изменении формы резервуара цистерны. Третий вариант основан на введении в подвеску базового шасси или в крепление цистерн к раме автомобиля специальных элементов с целью изменения жесткости.

Все перечисленное выше относится к техническим усовершенствованиям никак не затрагивающим человеческий фактор. Устойчивость и управляемость пожарного автомобиля во многом зависит от водителя. Данная работа по определению скорости опрокидывания от радиуса поворота призваны оказать помощь водителю при выборе скоростного режима при движении на пожар.

Библиографический список

1. Тарг С.М. Краткий курс теоретической механики. – М.: Высшая школа, 2001.

2. **Зарубин В.П.**, Киселев В.В., Пучков П.В., Топоров А.В. Улучшение эксплуатационных характеристик автотранспортной техники за счет применения высокоэффективных присадок. / Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2014. Т. 3. № 1 (19). С. 56-62.
3. **Киселев В.В.**, Пучков П.В., Топоров А.В. Снижение износа трущихся деталей пожарных автомобилей за счет применения высокоэффективных металлосодержащих присадок к маслам. / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 363-368.

*К.Н. Архангельский, курс.; рук. В.В. Киселев, к.т.н, доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

АКТУАЛЬНОСТЬ РАЗРАБОТКИ ОГНЕСТОЙКИХ ПОКРЫТИЙ ДЛЯ ЗАЩИТЫ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ ОТ ПОЖАРОВ

При пожарах в закрытых помещениях могут возникать температуры порядка 800 °С. Из литературных источников известно, что температуры порядка 600 °С приводят к снижению прочности металлических конструкций приблизительно в 3 раза. Что же происходит с металлоконструкциями при более высоких температурах, информации в литературе нет. Одной из задач данного исследования явилось выявить влияние на прочность конструкционных материалов повышенных температур до 800 °С, а также выявить каким образом влияет тушение пожара водой на остаточную прочность металлоконструкций.

Для проведения экспериментальной части работы использовалось стандартное лабораторное оборудование – высокотемпературные электрические печи, машина для испытания материалов на растяжение и гидравлический пресс.

Испытанию подверглись конструкционный материал, который имеет наибольшее распространение в строительстве – конструкционная сталь. Было отобрано несколько образцов конструкционных материалов. Первый образец – эталонный, был испытан на разрывной машине Р – 5. Предел прочности стали составил 714,3 МПа. Другие образцы были подвергнуты нагреву в муфельной печи до различных температур в интервале времени от 15 до 40 минут.

Так, об условиях, исходя из которых, следует определять дислокацию подразделений пожарной охраны на территориях поселений и городских округов, - время прибытия первого подразделения к месту вызова не должно превышать 10 минут в городских поселениях, городских округах. Время оперативного развертывания, которое принимается от 6 до 8 мин. При самых

оптимистичных прогнозах, пожарная команда приступит к тушению пожара, охлаждению металлоконструкций через 16 минут.

После нагрева одну заготовку погружали в воду для мгновенного охлаждения. Другую заготовку прошедшую нагрев оставили остывать на воздухе. После остывания, обе детали подверглись проверке на разрывной машине.

В ходе испытаний было установлено, что образцы, остывавшие на воздухе имели остаточную прочность порядка 428,6 МПа, что в 1.7 раза отличалось от эталонного. Образцы охлажденные водой разупрочнились в 5,6 раза, получив остаточную прочность 127,5 МПа.

Механические свойства материалов зависят от продолжительности испытания. При некоторых температурах (например, для малоуглеродистой стали при температуре выше 800 °С) испытуемый образец может быть разрушен при напряжении меньшем, чем предел пропорциональности, соответствующий комнатной температуре, если это напряжение будет действовать достаточно продолжительное время.

Сегодня на рынке огнезащитных материалов присутствует достаточно широкий перечень различных составов, но чаще всего эти составы предназначены для обработки древесины. Огнестойкие покрытия для металлов, как правило, имеют высокую стоимость. В данной работе приведена технология приготовления разработанного огнестойкого покрытия, которое прошло ряд испытаний и показало высокие огнезащитные свойства.

Технология приготовления покрытия достаточно проста. Сухие компоненты взвешиваются на технических весах с погрешностью 0,5 % по массе и перемешиваются в смесителе периодического действия. Время перемешивания не менее 5 мин. Жидкое стекло (ЖС) разбавляется горячей водой с температурой не более 80 °С.

Результаты лабораторных испытаний разработанного огнестойкого покрытия показали эффективность его применения в лабораторных условиях, а именно:

- 1) улучшены прочностные и огнестойкие свойства металла, подвергшегося воздействию высоких температур;
- 2) огнестойкое покрытие просто в технологии приготовления и нанесения;
- 3) покрытие не занимает дополнительного объема;
- 4) разработанное покрытие не утяжеляет металлоконструкции.

Библиографический список

1. Киселев В.В., Исследование триботехнических характеристик металлосодержащих присадок к маслам, используемым в электрических машинах// Вестник ИГЭУ. – 2011. – Выпуск 2. – С. 65 – 67.

2. **Киселев В.В.**, Повышение надежности пожарной техники применением модернизированных смазочных материалов// Научные и образовательные проблемы гражданской защиты. – 2010. - №3. – С. 24–28.

*Е.А. Копки, курс.; А.А. Ивановский, курс.;
рук. В.В. Киселев, к.т.н.*

(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)

КИНЕМАТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИГАТЕЛЕЙ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ «ЗИЛ» И «МЕРСЕДЕС»

Одним из основных агрегатов любого автомобиля, в том числе и пожарного, является его двигатель, который состоит из систем и механизмов, выполняющих определенные функции. Основным механизмом двигателя является кривошипно-шатунная группа, служащая для преобразования возвратно-поступательного движения поршня во вращательное движение коленчатого вала двигателя.

Согласно статистике ресурс работы двигателей лидирующих автопроизводителей превышает отечественных. В чем же здесь причина? Одной из основных причин, очевидно, могут быть отличия в конструкции двигателей, в частности в конструкции кривошипно-ползунного механизма. Для изучения этой причины был проведен кинематический и динамический анализ двигателя отечественного пожарного автомобиля ЗИЛ 508 и пожарного автомобиля производства Германии Esonic 2633 LL. Данными типами двигателей комплектуются пожарный автоцистерны построенные на шасси ЗИЛ и Мерседес (рис. 1).



Рис. 1. Пожарные автомобили

Кинематический анализ кривошипно-ползунных механизмов рассматриваемых двигателей выполнялся для двух заданных положений выходного звена, которым является ползун. В ходе кинематического анализа были определены кинематические

характеристики звеньев: перемещение; скорость; ускорение; траектория движения; функции положения при известных законах движения входных звеньев. Механизмы двигателей хоть и имеют различные геометрические параметры, но принципиально не отличаются друг от друга.

Анализ механизмов был выполнен в двух положениях: в крайнем верхнем положении поршня и в среднем положении. В таблице 1 представлены результаты расчетов кинематических и силовых характеристик кривошипно-ползунных механизмов двигателей.

Таблица 1 – Характеристики кривошипно-ползунных механизмов в крайнем верхнем положении поршней

Двигатель	Номинальная частота вращения колен вала, n , мин^{-1}	Кинематические, силовые характеристики		
		Ускорение т. В, м/с^2	Ускорение т. С, м/с^2	Нагрузка на поршень, Н
ЗИЛ 508	2500	3080	4080	3264
Econic 2633 LL	2500	2960	3846	2864

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод о том, что конструктивно главные механизмы отечественных двигателей и двигателей ведущих иностранных производителей не отличаются между собой. Таким образом причина меньшего ресурса работы отечественных двигателей кроется не в инженерно-конструкторских просчетах, а прежде всего в недостаточной культуре обслуживания техники. Поэтому своевременность и качество технического обслуживания пожарных автомобилей должно способствовать увеличению ресурса работы их двигателей.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.,** Пучков П.В., Топоров А.В. Снижение износа трущихся деталей пожарных автомобилей за счет применения высокоэффективных металлосодержащих присадок к маслам. / Пожарная безопасность: проблемы и перспективы. 2014. Т. 1. № 1 (5). С. 363-368.
2. **Киселев В.В.,** Пучков П.В. Проведение экспресс оценки качества смазок, используемых в спасательной технике. / Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире. 2015. № 12-1. С. 105-107.
3. **Зарубин В.П.,** Киселев В.В., Пучков П.В., Топоров А.В. Улучшение эксплуатационных характеристик автотранспортной техники за счет применения высокоэффективных присадок. / Известия Московского государственного технического университета МАМИ. – 2014. Т. 3. № 1 (19). – С. 56-62.
4. **Зарубин В.П.,** Киселев В.В., Топоров А.В., Пучков П.В., Мельников А.А. Перспективы применения нанопорошков силикатов в смазочных материалах, используемых в пожарной технике. / Пожаровзрывобезопасность. – 2013. Т. 22. № 5. – С. 65-70.

АНАЛИЗ НЕИСПРАВНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ ТОРМОЗОВ ПОЖАРНОЙ ТЕХНИКИ

Система торможения любого автомобиля – это основная система, ответственная за надежное и безопасное движение на дороге. Минимальный сбой данной системы может привести к фатальному результату, а поэтому требует немедленного устранения. Применительно к пожарным автомобилям вопрос надежности тормозной системы является наиболее актуальным, поскольку данный вид транспортных средств, часто обладая большой массой, движется на место вызова со значительными ускорениями.

При нажатии на педаль тормоза усилие через шток передается на поршень главного тормозного цилиндра, поршень выдавливает тормозную жидкость в тормозные трубки и шланги, жидкость давит на поршень рабочего тормозного цилиндра, который, в свою очередь, прижимает тормозную колодку к тормозному диску или барабану. В этой цепочке важнейшее значение имеет герметичность системы. Иначе сначала в систему попадет воздух, что резко снизит работоспособность тормозов, а затем произойдет утечка тормозной жидкости, что приведет к невозможности торможения.



Рис. 1. Неисправный рабочий тормозной цилиндр

На основе анализа данных основными причинами выхода из строя рабочей тормозной системы пожарных автомобилей – это слабое или неодновременное действие тормозов, плохое растормаживание или заклинивание колодок тормозных механизмов.

Слабое действие тормозов обнаруживается по возрастанию тормозного пути. У пожарных автомобилей полной массой более 12 тонн (КамАЗ, Урал) при торможении со скорости 40 км/ч тормозной путь не должен превышать 17,7 м, а у автомобилей полной массой от 3,5 до 12

т (ЗИЛ) - 18,4 м. Тормозной след, от левых и правых колес должен быть одинаковой длины.

Причиной слабого действия тормозов может быть не герметичность тормозного привода, попадание воздуха в систему гидравлического привода или недостаточное количество тормозной жидкости, нарушение регулировки тормозных механизмов, износ или замасливание накладок или тормозных барабанов, недостаточное количество сжатого воздуха в пневматическом приводе из-за его утечки, неисправности компрессора или регулятора давления, замерзание конденсата в пневмосистеме.

Негерметичность гидравлического привода обнаруживается по подтеканию жидкости в соединениях, негерметичность пневматического привода по падению давления воздуха в пневмосистеме при работающем двигателе.

На пожарных автомобилях на базе КамАЗ работоспособность и герметичность контуров проверяют по показанию манометра, установленного в кабине и контрольного манометра, подсоединяемого поочередно к клапанам контрольного вывода контуров привода. На автомобилях Урал и ЗИЛ герметичность привода оценивается по падению давления в системе, которое не должно превышать 50 кПа за 30 минут по показанию манометра, установленного в кабине.

Плохое растормаживание или заклинивание колес происходит вследствие поломки стяжных, пружин, обрыва накладок, разбухания манжет и заклиниванию поршней колесных цилиндров.

Современные автомобили оборудованы достаточно надежными тормозными системами, однако надежность их работы обуславливается прежде всего компетентностью водительского состава и своевременностью проведения необходимых диагностических и ремонтных работ. В состав тормозной системы не должны входить детали или эксплуатационные материалы, обработавшие ресурс или имеющие критический износ.

Библиографический список

1. **Гаркунов Д.Н.** Триботехника (износ и безызносность). – М.: «Издательство МСХА», 2001. – 616 с.
2. **Шестопалов С. К.** Устройство, техническое обслуживание и ремонт грузовых автомобилей. – М.: Издательский центр «Академия», 2005 – 544 с.
3. **Киселев В.В., Калинин И.А.** Основные причины выхода из строя деталей тормозных систем пожарных автомобилей. / Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, посвященной 50-летию со Дня образования учебного заведения и Году пожарной охраны России, Иваново 2016 г. – С. 57-59.

*М.О. Матвеев курс., рук. А.А. Покровский, к.т.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

МЕРОПРИЯТИЯ ПО МОДЕРНИЗАЦИИ КАНТОВАТЕЛЯ ДВИГАТЕЛЯ

Повышение надежности автотранспортных средств, используемых в системе МЧС, является важной хозяйственной задачей. Данная проблема может быть решена, как обеспечением пожарно-спасательных гарнизонов современными надежными автомобилями, так и совершенствованием методов технической эксплуатации пожарной техники, а также устройств и оборудования для сервисного обслуживания и ремонта.

Текущий ремонт пожарного автомобиля выполняется для обеспечения его работоспособного состояния путем восстановления или замены отдельных агрегатов, узлов и деталей, а также проведения необходимых регулировочных, крепежных, сварочных, слесарно-механических и других ремонтных работ.

Техническое обслуживание отдельных агрегатов пожарных автомобилей может осуществляться непосредственно в пожарно-спасательных частях. Для технического обслуживания и ремонта автомобилей требуется специальное оснащение, включающее в себя подъемные устройства, кантователи, различные съемники узлов и агрегатов, гидравлические домкраты и другую оснастку.

Одним из устройств для ремонта и технического обслуживания двигателей пожарных автомобилей является кантователь. Он выполняет следующие функции:

- перемещает двигатели, узлы и агрегаты транспортных средств;
- фиксирует двигатель при проведении переборки;
- обеспечивает закрепление двигателя для осуществления ремонтных работ.

Цель нашей работы заключалась в модернизации имеющегося в наличии в пожарно-спасательной части кантователя двигателя.

Основным недостатком существующего устройства является то, что поворот закрепленного двигателя осуществляется вручную, что представляет достаточно трудоемкий процесс. Так как для поворота и фиксации закрепленного на планшайбе двигателя в нужном положении требуется участие не менее двух человек обслуживающего персонала.

Модернизация данного устройства производилась путем установки на него элементов электромеханического привода – электродвигателя и червячного редуктора.

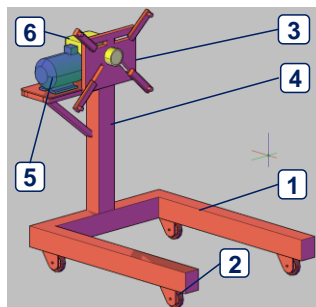


Рис. 1 Трехмерная модель кантователя двигателя

Спроектированная трехмерная модель модернизированной конструкции (рис. 1) состоит из основания 1, установленного на колеса 2, что позволяет перемещать устройство в мастерской. На вертикальной стойке 4 закреплена рама, на которой установлен привод, состоящий из электродвигателя 5 и червячного редуктора 6. Электропривод приводит в движение планшайбу 3, предназначенную для крепления автомобильного двигателя.

Достоинствами модернизированного кантователя являются:

- точная балансировка центра тяжести, что позволяет гарантировать защиту от падения закрепленного двигателя;
- узел закрепления способен поворачиваться на 360 градусов без применения физической силы и фиксировать нужное положение, благодаря чему облегчается работа мастера, проводящего обслуживание и ремонт агрегата.

Модернизация устройства потребовала проведения прочностных расчетов. В своей работе нами были определены основные кинематические характеристики привода, рассчитаны требуемая мощность электродвигателя и основные геометрические параметры червячного редуктора. Проведен проверочный расчет привода на прочность по контактным напряжениям и напряжениям изгиба.

Библиографический список

1. Покровский А.А. Мероприятия по улучшению эксплуатационных свойств деталей машин. / Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VII Всероссийской научно-практической конференции, Иваново 2016. - с. 138-141.
2. Зарубин В.П., Киселев В.В., Покровский А.А. Создание перспективных смазочных материалов для использования в пожарной технике. / Вестник Воронежского института ГПС МЧС России. - 2016. - № 3 (20). - с. 17-22.

*К.Н. Архангельский, курс.; С.А. Сорокин, курс.; С.А. Медведко, курс.;
рук. Н.А. Кропотова к.х.н., преп.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОГНЕЗАЩИТНОГО ПОКРЫТИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ КОНСТРУКЦИЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ БЫСТРОВЗВОДИМЫХ МОДУЛЕЙ

Экстремально быстрое развитие в современном обществе инновационных технологических методов производства позволяет изготавливать крупные серии стандартных конструктивных элементов при сравнительно небольших затратах – инженерные модули на основе быстровозводимой технологии с использованием металлического каркаса (рис. 1). Поскольку современное общество выразило потребность в данного вида строительных конструкциях, то для обеспечения пожарной безопасности предлагается огнезащита несущих металлических конструкций, поскольку свойства материалов сильно зависят от температуры [1].



Рис. 1. Быстровозводимое модульное здание

На основании проведенного анализа уже имеющихся огнезащитных составов, разработанных как российскими, так и зарубежными коллегами, предложены альтернативные рецептуры тонкослойной и вспучивающейся краски. Состав тонкослойной краски: оксид алюминия (1 моль), силикат натрия (2 моль), акриловая дисперсия (1,8 г/дм³). Состав вспучивающейся краски: пентаэритрит (1 моль), дифосфат аммония (2 моль), карбамид (4 моль), акриловая дисперсия (1,5 г/дм³). Технология приготовления покрытий достаточно проста [2]. Компоненты двух составов взвешиваются на технических

весах с погрешностью 0,5 % по массе и перемешиваются в разных емкостях периодического действия. Время перемешивания не менее 5 мин. Полученные составы наносились на металлические образцы для доказательства эффективности огнезащитных свойств приведенных покрытий. Покрытие может наноситься на очищенную и обезжиренную поверхность кистью, валиком или из краскопульта ровным слоем. Сушка покрытия осуществлялась в естественных условиях при температуре не ниже 5°C и влажности не выше 75 % в течение не менее 48 ч. Все образцы подвергались воздействию высоких температур (до 800 С). Поведение тонкослойной краски: краска не растрескивалась, не отходила с поверхности образца. Поведение вспучивающегося покрытия: под воздействием температур выше 200 С происходит взаимодействие компонентов краски, сопровождающийся значительным увеличением ее объема и образованием вспененного слоя с низкой теплопроводностью. Результаты лабораторных испытаний разработанных покрытий показали: 1) улучшены прочностные и огнестойкие свойства металла, подвергнутого воздействию высоких температур; 2) огнестойкие покрытия просты в технологии приготовления и методике применения; 3) разработанные покрытия не утяжеляют металлоконструкции. Проводятся также дополнительные исследования данных покрытий на долговечность и воздействие окружающей среды.

При экономически обоснованном соотношении величины вероятного ущерба и расходов на противопожарные мероприятия, вспучивающиеся огнезащитные покрытия являются наиболее оптимальным вариантом для повышения предела огнестойкости металлических конструкций. Какое огнезащитное покрытие металлоконструкций лучше выбрать решают исходя из специфики конструкции, места её установки, а также значения предела огнестойкости, требуемого для конкретного объекта. Немаловажную роль в таком решении играют условия, в которых будет эксплуатироваться конкретная металлоконструкция.

Библиографический список

1. **Киселев В.В.** Повышение надежности металлоконструкций в условиях повышенных температур за счет применения огнестойких покрытий. / В.В. Киселев, Н.А. Кропотова, К.Н. Архангельский, Надежность и долговечность машин и механизмов: сборник материалов VII Всероссийской науч.-практич. конф. Иваново, 14 апреля 2016 г. / под общ. ред. В. В. Киселева. – Иваново: ФГБОУ ВО ИПСА ГПС МЧС России, 2016. Стр. 21-24.
2. **Архангельский К.Н., Киселев В.В., Кропотова Н.А.** [Разработка огнезащитного покрытия стальных конструкций](#). Сетевое издание «Пожарная и аварийная

*Г.А. Гасанов, курс.; Т.А. Злобин, курс.; С.А. Медведко, курсант; рук.
Н.А. Кропотова к.х.н., преп.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

АНАЛИТИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА РАБОТЫ ПОЖАРНЫХ АВТОМОБИЛЕЙ ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ ПАГУБНЫХ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

Территория Российской Федерации подвергается зачастую атаке суровых явлений природы – наводнения, землетрясения, сели, оползни, извержения вулканов, лесные пожары, т.д. Величина пагубного воздействия этих явлений зависит часто от быстроты реагирования специальных подразделений ФПС ГПС МЧС России на ликвидацию последствий и борьбу с таковыми с использованием специальной техники и пожарных автомобилей. При этом эксплуатация любой техники осложняется пагубными действиями различных природных факторов: низких температур в течение всего года (северные районы), повышенной влажностью либо существенными перепадами, преобладанием порывистых ветров, образованием туманов и ледяных дождей в зимний период, т.д. В свою очередь это значительно затрудняет работу пожарных автомобилей и специальной техники, поскольку известно, что пожарные автомобили приспособлены для эксплуатации только в интервале температур + 35° до - 35°С [1]. Известно, что Ивановская область является не исключением по повышению в летний период среднесуточной температуры до + 42 °С, а в зимний период до – 43 °С. В результате этого возникают проблемы: 1) под действием низких температур дизельное топливо и технические масла теряют свои технические свойства. Топливо в топливный насос высокого давления поступает с переборами, что затрудняет запуск двигателя; 2) закачка очень густого масла в двигатель через масло закачивающий насос весьма затруднительна, в результате чего последний может выйти из строя, а запуск двигателя без масла может привести к выходу из строя силовой установки; 3) работа трансмиссии под действием низких температур затрудняется в результате густого масла и, следовательно, возрастающих усилий на преодоление сил трения; 4) технические смазки под действием низких температур обеспечивают низкую эффективность по компенсации силы трения деталей ходовой части; 5) порывистые ветры и возникающие туманы способствуют

возникновению коррозии на поверхности металла, что приводит к разрушению деталей узлов и агрегатов; б) снижаются оперативно-технические показатели пожарного автомобиля и специальной техники; 7) время следования к месту вызова может возрасть.

В результате этого возрастают нагрузки на узлы и агрегаты техники, что в свою очередь приводит к усталостному напряжению деталей в узлах и агрегатах, их физико-механическому разрушению и дальнейшему выходу из строя этих деталей агрегатов в целом.

Следовательно, техническая готовность автомобилей специального назначения уменьшается вместе с надежностью. Инженеры при разработке современных пожарных автомобилей или автомобилей специального назначения обращают внимание на повышение показателей надежности устраняя перечисленные выше проблемы [2].

При этом надежность машин должна обеспечиваться за счет применения качественных средств и методов защиты от агрессивных факторов окружающей среды; подготовки условий хранения для сохранения технической готовности автомобилей; проведения периодического технического обслуживания (регламентное техническое обслуживание и ремонт); контроля технического состояния.

Стойкость машин к воздействию климатических факторов в теории надежности характеризуется параметрами сохранения как составной ее частью. В результате проведенного анализа критериев надежности работы пожарных автомобилей в том числе и специального назначения некоторых пожарных частей г. Кинешмы Ивановской области показали, что основные факторы воздействия климатических условий на пожарный автомобиль при ее эксплуатации в течении года следующие (ранжированы по мере значимости воздействия):

- влияние повышенной влажности – 42 %;
- влияние температуры, и ее резкие перепады – 25 %;
- количество переходов через 0 °С – 19 %;
- воздействие агрессивности окружающей среды – 10 %;
- другие факторы – 4 %.

На основании приведенного анализа можно создать математическую модель, отвечающую воздействию отрицательных природных условий, и привести математическое обоснование критериев надежности. Данное исследование планируется завершить в ближайшем будущем.

Библиографический список

1. Кропотова Н.А. Обоснование надежности работы пожарных автомобилей при воздействии пагубных климатических факторов. NovaInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 54. Т. 2. Стр. 51-53.

2. Кротова Н.А. Анализ жесткости климата определяющий надежность узлов металлоконструкций рабочего оборудования при проведении работ в экстремальных условиях. NovalInfo.Ru (Электронный журнал.) – 2016 г. – № 54. Т. 2. С. 58-60.

*М.В. Смирнов, курс.; рук. А.В. Топоров, к.т.н
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ И ЭНЕРГИИ СЖАТОГО ГАЗА ДЛЯ ПРИВОДА ГИДРАВЛИЧЕСКОГО АВАРИЙНО– СПАСАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Одной из проблем, возникающих при использовании гидравлического аварийно – спасательного инструмента является необходимость привлечения как минимум двух человек обслуживающих непосредственно исполнительный орган и гидравлическую насосную станцию, что при проведении ликвидации масштабных последствий чрезвычайных ситуаций, значительно увеличивает трудозатраты и повышает время выполнения задачи.

Поэтому в последнее время появились устройства, позволяющие работать гидравлическим аварийно – спасательным инструментом одному пожарному [1]. Например, ООО «Простор» освоило производство станции насосной гидравлической СНГа "Штурм" [1] ранцевого исполнения. В данном изделии в качестве источника энергии используются батареи, приводящие в действие электрический насос мощностью 1.2 кВт. Масса станции составляет 8.5 кг. Время непрерывной работы данной насосной станции от аккумулятора составляет 7 – 10 мин.

Учитывая довольно высокую плотность энергии аккумуляторных батарей, составляющую порядка 30 Вт ч /кг [2] нужно отметить, что этот показатель относится непосредственно к самому элементу питания. Масса всего устройства будет складываться из массы шасси, массы насоса, массы электродвигателя, массы гидравлической жидкости и соединительно – запорной арматуры.

Таким образом, исключив из конструкции хотя бы один элемент можно добиться сопоставимой энергетической эффективности, даже применив источник энергии с меньшей плотностью.

Таким источником может быть баллон с газом под давлением. Его энергетическая плотность составляет порядка 14 Вт ч / кг, что почти в два раза меньше энергетической плотности электрических аккумуляторов [2]. Однако, для работы генератора давления рабочей

жидкости [3] с использованием газа под давлением в качестве источника энергии не требуется электродвигатель. Расчеты показывают, что разрабатываемый генератор давления [3] имеет общую массу 11,5 кг и может работать 24 мин от одной заправки баллона. Это достигается за счет значительного увеличения, по сравнению с аккумуляторными батареями, массы баллона, и как следствие запасенной энергии.

В данном случае энергетическая эффективность ранцевой электрической установки, при емкости батареи 100 Вт ч составит 11,7 Вт ч/кг, а разрабатываемого устройства при запасе энергии 150 Вт ч - 13 Вт ч/кг, соответственно. Помимо меньшей энергетической эффективности установки с электрическими аккумуляторами процесс их зарядки занимает порядка 10 часов, в то время как баллон может быть заправлен за 10 мин. Другим достоинством гидropневматического привода является отсутствие искрения при работе, свойственного коллекторным электродвигателям, что позволит применять такой привод в атмосфере легковоспламеняемых газов, либо вблизи разливов горючей жидкости.

Поэтому, с точки зрения энергетической эффективности использование сжатого газа для привода гидравлического аварийно – спасательного инструмента является более предпочтительным.

Библиографический список

1. Лавриненко Д.Ф., Петренко П.П., Баринов М.Ф., Мясников Д.В. Основы применения аварийно-спасательного инструмента и оборудования Учебное пособие, Академия гражданской защиты МЧС России – Химки, 2014.
2. Гулиа, Н.В. Накопители энергии. М.: Издательство «Наука», 1980.
3. Смирнов М.В., Топоров А.В., Покровский А.А. Использование сжатого воздуха для привода гидравлического аварийно - спасательного инструмента // Фундаментальные и прикладные исследования в современном мире № 12-1. Смоленск, 2015. С. 110-112.

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

ПОВЫШЕНИЕ КОРРОЗИОННОЙ СТОЙКОСТИ ДЕТАЛЕЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Для сокращения расходов металла, повышения надежности и долговечности деталей машин и оборудования имеются только два пути:

- 1) применение специальных сталей и сплавов;
- 2) нанесение покрытий на изделия при их изготовлении или ремонте.

Поскольку производство специальных сталей и сплавов связано с расходом особо дефицитных и дорогостоящих материалов и компонентов, то во всех промышленно развитых странах не увеличивают выпуск специальных сталей и сплавов, а используют самые совершенные технологии для нанесения покрытий и упрочнения деталей, например, покрытия Al-Fe и Al-Fe-Ti.

Покрытия Al-Fe-Ti встречаются в среде аргона и азота. В первом случае средний размер зерна титана, окруженного аморфной оболочкой, составляет 100-150 нм. Такие покрытия называют субмикроструктурными. Во втором случае идет образование в основном нитридов титана и железа. Размер зерна составляет около 50 нм. Такие покрытия называют нанокристаллическими.

Азотирование покрытия Al-Fe приводит к изменению его структуры за счет образования нитридных фаз. Изменяются и трибологические свойства покрытий. Микротвердость покрытия Al-Fe до азотирования равна 245,6 МПа, а после азотирования - 350,9 МПа, т.е. увеличивается почти в 1,5 раза. Несмотря на образование твердых нитридных фаз, коэффициенты трения после азотирования уменьшаются.

Легирование покрытия Al-Fe титаном приводит к увеличению коэффициентов трения. Однако и в этом случае образование нитридных фаз сопровождается, хоть и незначительным, но уменьшением коэффициентов трения.

Легирование покрытия Al-Fe титаном незначительно влияет на его жаростойкость. Однако синтезированные покрытия значительно увеличивают жаростойкость, по сравнению с образцом без покрытия примерно в 4 раза.

Покрытия Fe-Al и Fe-Al-Ti могут быть использованы как коррозионностойкие, жаропрочные, антифрикционные покрытия на низкосортные сорта стали, увеличивая срок службы деталей из этих сталей в 3-4 раза. Поскольку покрытия имеют толщину 4-6 мкм, экономический эффект использования таких покрытий на деталях из низкосортных марок стали очевиден, по сравнению с использованием дорогостоящих жаростойких сталей и сплавов.

Библиографический список

1. Платонова Е.С. Повышение коррозионной стойкости деталей машиностроения // Вестник ПНИПУ. Машиностроение, материаловедение. – 2015. Т.17. №3. – С.41-47.

РЕДЧАЙШИЙ МЕТАЛЛ С УНИКАЛЬНЫМИ СВОЙСТВАМИ

Рений – элемент периодической химической таблицы, атомный номер – 75, Re. Название берёт от Рейна – реки в Германии. Открыт металл в 1925 г. Получение первой партии рения произошло в 1928г. Последний из открытых элементов с известным стабильным изотопом.

Рений – металл с белым оттенком. Порошок рения имеет напротив чёрный окрас. Это очень твёрдый и плотный по структуре металл. Плавление — 3186° С, кипение — 5596° С. имеет парамагнитные свойства.

Единственный элемент, представляющий тугоплавкие металлы, не образующий карбидов.

Добыча и происхождение рения

Это крайне редкий металл. В природных залежах наиболее часто встречается сочетание вольфрам – рений – молибден. Основная добыча рения идёт из молибденовых залежей, где он извлекается попутно.

Рений рассредоточен по всему миру, в ничтожных концентрациях. Достоверно известно лишь одно крупное месторождение этого металла, находящиеся на маленьком острове Итуруп, Россия. Открыто в 1992 г. Рений там представлен минералом рениитом ReS₂, имеющим строение схожее с молибденитом.

Месторождение представляет собой небольшую площадку на вершине спящего вулкана, где активно действуют термальные источники. Это говорит, что месторождение продолжает свой рост, и по предварительным оценкам оно ежегодно выкидывает в атмосферу около 37 тонн этого металла.

Вторым более или менее пригодным для промышленной разработки источником рения, можно считать месторождение Хитура, находящееся в Финляндии. Там рений содержится в минерале таркианите. **Применение рения**

К основным преимуществам рения, за что его так ценят во всём мире, считаются тугоплавкость, высокая коррозионная стойкость при воздействии агрессивных химических веществ и т.д. В виду высоких цен на этот металл, его стараются использовать только в крайних и исключительных случаях.

Ещё не так давно, основной областью его применения были жаростойкие сплавы рения с различными металлами, используемые в ракетостроении и авиастроительной промышленности.

В частности, сплавы шли на производство запчастей для самолётов. Подобные сплавы включают в свой состав, по меньшей мере, 6% металла рения.

Специальные терморпары, содержащие рений позволяют измерять высокие температуры и позволяет продлить их срок службы. Также из рения делаются пружины для точной аппаратуры (манометры) и нити накаливания для (спектрометров). За счёт его устойчивости к химическим воздействиям, рений используется для создания защитных покрытий против кислотной и щелочной среды.

Рений нашёл применение при изготовлении специальных контактов, которые самоочищаются после кратковременного короткого замыкания. На обычных контактах остаётся окисел, который порой не пропускает ток. На рении он тоже остаётся, но вскоре улетучивается. Поэтому контакты из рения имеют очень долгий срок службы Сплав на основе кобальта, с 7-процентным содержанием Re применяется для изготовления упругого элемента гироскопов, крутильных весов. Проволочный или ленточный подвес гироскопов производится на основе рениевых сплавов.

Рений и его сплавы с вольфрамом отличаются высокими износостойкостью и сопротивлением электрокоррозии в условиях образования электрической дуги. Особенный интерес к элементу проявляет нефтеперерабатывающая промышленность, рассматривая его как базовый компонент при производстве новых катализаторов, например, рениево-платинового. Это позволяет нарастить объемы выпуска высокооктанового бензина, и удешевляет производственные затраты.

Действительно, рениевые катализаторы обходятся существенно дешевле платиновых аналогов. Еще один положительный аспект применения рения как катализатора в нефтеперерабатывающей отрасли – увеличение пропускной способности установок, практически на 50%, а также двукратное повышение их эксплуатационного ресурса.

А.Л. Козловский, асп.;

К.К. Кадыржанов, д.ф.м.н., проф.

(ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан)

РАЗРАБОТКА ЗАЩИТНЫХ ПОКРЫТИЙ ОТ ИОНИЗИРУЮЩЕГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Одной из актуальных задач, стоящих перед разработчиками специализированной техники, является обеспечение высоких показателей эксплуатационной надежности приборов и аппаратуры в

условиях повышенного уровня радиационных воздействий различного типа (электроны, протоны и тяжелые заряженные частицы, рентгеновское и гамма излучения).

Как известно, для наступления необратимых изменений в полупроводниковых приборах микроэлектроники поглощенные дозы радиации должны составлять или превышать 10^5 ÷ 10^6 рад, в интегральных микросхемах – 10^4 ÷ 10^5 рад.

Новое поколение стойких, легких материалов, способных удовлетворить эту потребность, стыкуется с развивающейся областью нанотехнологий. На основании теоретических расчетов выполненных в программе SRIM PRO 2013 длин пробега тяжелых ионов были установлены оптимальные условия толщины слоев, которые будут являться основой покрытий.

Для синтеза защитных покрытий на основе полимерных пленок был использован метод электрохимического осаждения. На рис 1. представлены РЭМ – изображения покрытия, профиль поверхности, выполненный при помощи атомно-силовой микроскопии.

Для определения коэффициента эффективности поглощения защитных экранов полученные образцы были облучены на ускорителе тяжелых ионов ДЦ - 60. В качестве налетающих пучков использовались ускоренные ионы Xe^{+22} с энергией 1,75 МэВ/нуклон.

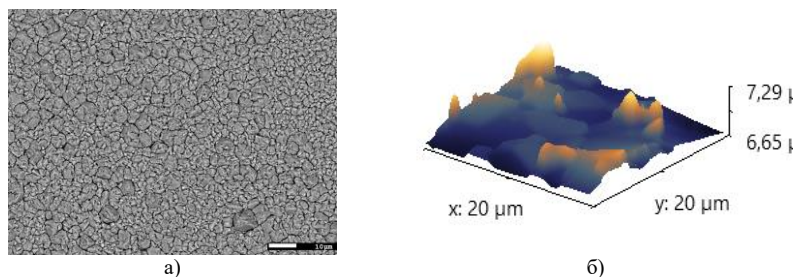


Рис. 1. а) РЭМ – изображение покрытия; б) АСМ – изображения профиля поверхности

Облучение образцов проводилось при комнатной температуре в вакууме, доза облучения составила $1.0\text{E}+09$ $1/\text{м}^2$. После облучения защитные экраны были удалены с полимерных пленок, которые служили пленочными детекторами. Затем полимерные пленки были подвержены химическому травлению в водном растворе щелочи NaOH при температуре 85°C в течение 70 с. Химическое травление было применено для визуализации полученных треков от ионов прошедших сквозь защитные покрытия. На рис. 2 представлены диаграммы

изменения коэффициента поглощения для защитных покрытий на основе никеля.

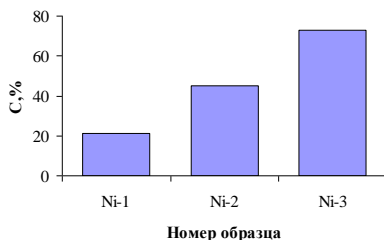


Рис. 2. Диаграмма изменения коэффициента поглощения для защитных покрытий на основе никеля

Анализ полученных диаграмм показал, что наибольшей эффективностью поглощения обладают защитные экраны на основе никеля толщиной 10,8 мкм, что подтверждает теоретический расчет.

Снижение дозы облучения увеличивает срок службы приборов, при этом применение полимерных матриц позволяет применять защитные экраны для покрытия сложнопрофильных поверхностей, в тоже время не увеличивая массу прибора.

А.Л. Козловский, асп.;

К.К. Кадыржанов, д.ф.м.н., проф.

(ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан)

НАПРАВЛЕННАЯ МОДИФИКАЦИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ НАНОСТРУКТУР

В настоящее время значительные усилия направлены на синтез и исследование свойств металлических одномерных наноматериалов или металлических нанотрубок/нанопроволок, таких как Au, Ag, Cu, Fe, Co, Ni. Эта тенденция связана с перспективностью их применения в оптоэлектронике, фотоэлектрохимии, катализе, медицине и т.д. Возможность контроля и регулирования физических и химических свойств таких структур вызывает к ним все больший интерес, ведь данное свойство способствует расширению области использования наноматериалов. Электронное облучение металлических наноструктур (НС) является эффективным инструментом для стимулирования контролируемой модификации структурных, оптических, электрических и магнитных свойств материалов. Изменяя условия облучения, свойства материала мишени могут быть изменены в

желаемом направлении. Облучение вызывает структурные изменения в материале, которые непосредственно оказывают влияние на его свойства.

Анализ электронных микрофотографий Co НТ до и после облучения электронами выявил шероховатости и своеобразные наросты на поверхности исходных образцов (рис. 1), ЭДА анализ указанных областей показал, что наросты, также как и сами трубки, состоят из кобальта, без примесей кислорода или оксидных фаз. В процессе облучения наблюдается уменьшение шероховатости на поверхности (при облучении 50 и 200 кГр), что вероятнее всего обусловлено изменением структуры НТ под воздействием облучения потоком электронов. При дозе облучения 250 кГр (в поверхность Co НТ становится более пористой, ЭДС анализ выявил незначительное содержание кислорода в составе образцов, атомное соотношение элементов в Co НТ при дозе облучения 250 кГр составило Co_{97}O_3). Появление незначительного количества кислорода на поверхности НТ может быть обусловлено локальным нагревом металлической структуры в процессе электронного облучения, которое и приводит к окислению поверхности Co НТ.

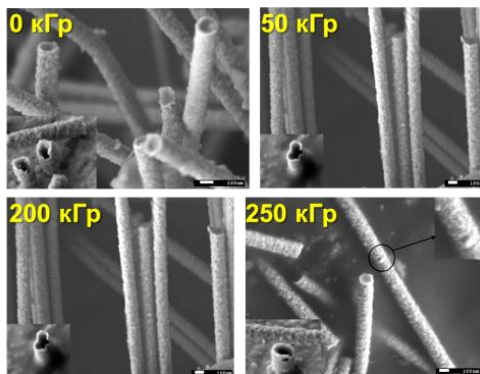


Рис. 1. Электронные микрофотографии исследуемых образцов Co НТ до и после электронного облучения

В результате модификации структурных и проводящих свойств металлических нанотрубок на основе кобальта путем электронного облучения было выявлено, что при облучении электронным пучком с энергией 5,0 МэВ происходит электронный отжиг дефектов в структуре.

СЕКЦИЯ 23 ДИНАМИКА И ПРОЧНОСТЬ СЛОЖНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

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

Секретарь – ассистент Круглов А.В.

*Т.А. Бирюченко, А.В. Карнова, В.А. Чувашов, студ.;
рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОВЕРКА ПРОЧНОСТИ ЛИСТОВ БАЛОК СТРЕЛ И РУКОЯТЕЙ ГИДРОЦИЛИНДРА

Объектом исследования является экскаватор гидравлический одноковшовый с обратной лопатой.

Условия работы: стрела находится в крайнем нижнем положении (рис. 1).

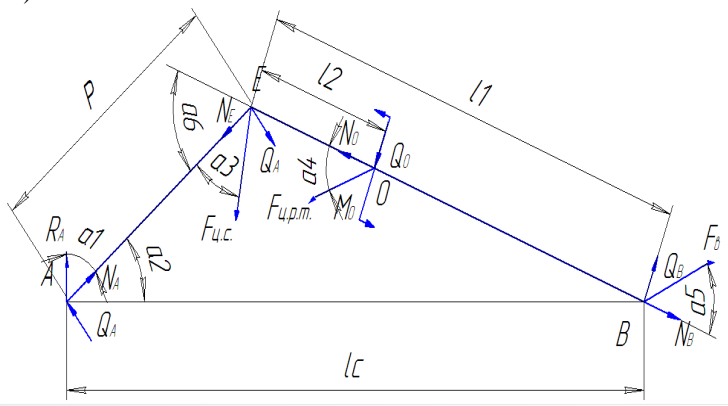


Рис. 1. Кинематическая модель стрелы

Под действием внешних нагрузок в сечениях стрелы возникает сложное напряжённое состояние, обусловленное наличием нормальных напряжений растяжения (сжатия) и касательных напряжений сдвига. Первые возникают в результате действия осевых нагрузок и изгибающих моментов, а вторые – в результате действия поперечных сил [1].

Проверим, выполняется ли условие прочности для сечения E, для этого напомним формулы [2].

$$\sigma_{\text{сж}} = \frac{N_{AE}}{F_E} + \frac{M_E}{W_Z} \leq [\sigma_{\text{сж}}] \quad (1)$$

$$\sigma_P = \frac{N_{EO}}{F_E} + \frac{M_E}{W_Z} \leq [\sigma_P], \quad (2)$$

По полученным значениям внутренним усилий строятся эпюры касательных и нормальных напряжений (рис. 2).

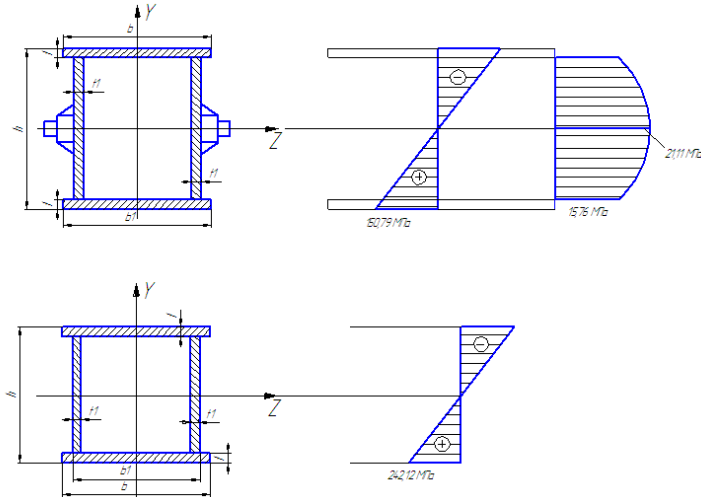


Рис. 3. Эпюры касательных и нормальных напряжений

Таким образом, в работе проведена проверка прочности листов балок стрел и рукоятей в местах крепления проушин гидроцилиндра для механизма поворота платформы гидравлического экскаватора.

Произведённые расчёты показывают, что выбранные параметры стрелы обеспечивают её работоспособность и удовлетворяют условиям прочности при воздействии учтённых внешних нагрузок. Имеющийся запас прочности может компенсировать действие неучтённых нагрузок (боковых сил, скручивающих моментов, динамических нагрузок и др.).

Библиографический список

1. Беркман, И.Л. Универсальные одноковшовые строительные экскаваторы: Учебник для проф.-техн. училищ./ И.Л. Беркман, А.В. Раннев, А.К. Рейш / М., «Высшая школа», 1977. – 384 с.
2. Крикун, В.Я. Расчет основных параметров гидравлических экскаваторов с рабочим оборудованием обратная лопата; Учеб. пособие / В.Я. Крикун, В.Г. Манасян./ Первое издание. – М.: АСВ, 2001. – 104 с.

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

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ АНАЛИЗ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ НА ОСНОВЕ СЕТЧАТЫХ КОМПОЗИТОВ

Сетчатые композитные конструкции состоят из семейств спиральных, кольцевых и продольных ребер, образованных методом непрерывной намотки. В сравнении с конструкциями из композитных панелей объемное содержание материала в сетчатых конструкциях в 1,5 раза меньше, что обеспечивает высокое весовое совершенство и сравнительно невысокую стоимость изготовления по отношению к традиционным металлическим или композитным конструкциям типа подкрепленных оболочек или слоистых структур.

Изобретение сетчатой оболочки, а точнее реберного каркаса с ромбовидными ячейками, связывают с именем известного русского инженера В.Г. Шухова. Он является автором идеи применения в строительстве в качестве несущей решетки системы из металлических стержней, перекрещивающихся в двух направлениях. При статическом нагружении такой решетки стержни испытывают примерно одинаковую нагрузку, т.е. конструкция проектируется как равнонапряженная.

Наиболее широкое применение сетчатые конструкции нашли в ракете-носителе «Протон». В настоящее время эксплуатируется модификация «Протон-М» с увеличенными энергомассовыми характеристиками. В числе элементов, подвергшихся существенному облегчению, - переходная система, верхняя и нижняя проставки второй ступени. Наиболее эффективным в весовом отношении является переходный отсек или адаптер (рис. 1). Масса сетчатого адаптера на 60% меньше массы конструкции из алюминиевого сплава.

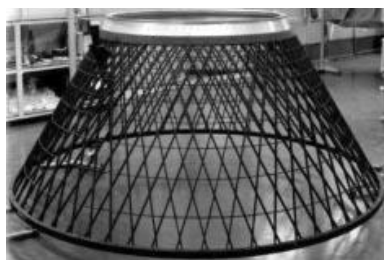


Рис.1. Сетчатый композитный адаптер ракеты-носителя «Протон-М»

Значительный выигрыш в массе при сохранении несущей способности определяет широкие возможности применения сетчатых композитных конструкций в других областях, в частности в авиастроении.

В работе был произведен прочностной расчет фрагмента цилиндрической сетчатой оболочки расположенный между ребрами кольцевой намотки. Для исследования сопротивления конструкции сжатию проведен расчет методом конечно-элементного анализа в программной среде ANSYS. Схема конечно-элементной модели адаптера представлена на рис. 2.



Рис.2. Конечно-элементная модель расчетной конструкции

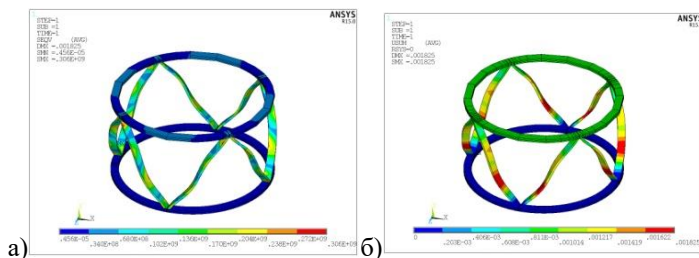


Рис.3. Распределение а) напряжений, б) деформаций

В результате расчета получены картины распределения напряжений и деформаций (рис. 3).

Библиографический список

1. **Маслов, Л.Б.** Математическое моделирование колебаний пороупругих систем / Л. Б. Маслов ; Министерство образования и науки Российской Федерации, ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина".— Иваново: Б.и., 2010.—264 с: ил.—(Монографии ИГЭУ).
2. **Каплун, А.Б.** ANSYS в руках инженера: практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева.—М.: УРСС, 2003.—272 с.

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

СОЗДАНИЕ МОДЕЛИ ЛЕНТОЧНОГО ШЛИФОВАЛЬНОГО СТАНКА

Шлифовальный ленточный станок применяется для чистовой механической обработки изделий на заключительных этапах производства. Станки могут работать как с деревом, так и с металлом.

Ленточные шлифовальные станки предназначены для шлифования изделий перед процедурой лакокрасочного покрытия, обработки брусковых и щитовых заготовок (боковых кромок и торцов), обработки плоских поверхностей и шлифования криволинейных поверхностей [1,2].

Изначально чертежи были представлены в устаревшем виде бумажного варианта. На их основе в программном комплексе КОМПАС-3D V16 созданы компьютерные вариации, изменены ГОСТы, произведены построения 3D моделей.

Модели добавлены в сборку(рис. 1) и зафиксированы сопряжениями для функциональности.

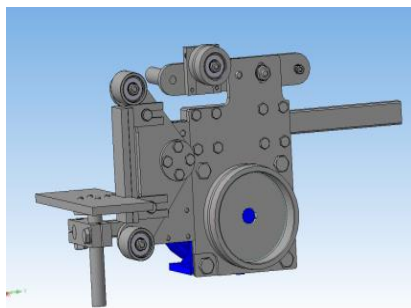


Рис. 2. Общий вид сборки

Библиографический список

1. **Компас (САПР)** //Википедия: свободная электронная энциклопедия: на русском языке [Электронный ресурс] // URL: <http://ru.wikipedia.org> (дата обращения: 21.07.2016)
2. **В масштабе.ру** [Электронный ресурс] // URL: <http://www.vmasshtabe.ru/> (дата обращения: 15.07.2016)

*К.И. Евграфова, студ.; Д.А. Пирогов, к.т.н., ст. преп.
(ИГЭУ им. В.И. Ленина)*

ИССЛЕДОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ОБЪЕМНОЙ ТКАНОЙ СТРУКТУРЫ

Композиционные материалы (КМ) перестали быть материалами будущего. Они находят широкое применение в инженерной практике, так как позволяют создавать конструкции с уникальными массовыми, прочностными, диссипативными и др. характеристиками, которых практически невозможно достичь использованием традиционных конструкционных материалов. Нет ни одной области техники, и не только техники, (наравне с машиностроением композиты применяются также в строительстве, медицине, спортивной индустрии, и т.д.), где не нашлось бы применения для КМ.

В настоящее время перспективным направлением при разработке композитных материалов является использование в качестве основы объемного тканого текстильного материала из различного вида технических нитей (металлических, кремнеземных, кварцевых, стеклянных, синтетических, углеродных, магнитных и др.).

Цель работы является исследование напряженно-деформированного состояния объемной тканой структуры, что является основой для исследования и проектирования композитов на основе таких материалов. Для достижения поставленной цели спроектировано объемное тканое переплетение и определены прочностные свойства нитей, разработаны математические модели определения характеристик напряженно-деформированного состояния нитей утка и нитей основы. Определены модули упругости объемного тканого элемента на растяжение-сжатие, изгиб и кручение. Раскрытая методика решения задачи напряженно-деформированного состояния уточной нити учитывает, что нить изгибается за пределами упругости и размеры ее поперечного сечения не малы по сравнению с радиусом кривизны ее центральной оси. В связи с этим возникает необходимость принимать во внимание изменение длины волокон нити в зависимости от расстояния их до центра кривизны. Данная методика используется в теории изгиба балок за пределами упругости и в приближенной теории изгиба стержней большой кривизны

Библиографический список

1. Тимошенко С.П., Прочность и колебания элементов конструкции. – М.: Наука, 1975. – 704с.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК МЕХАНИЗМА ПРИВОДА ЧЕЛНОКОВ ЛЕНТОТКАЦКОГО СТАНКА

Цель работы – создание динамической модели механизма привода челноков лентоткацкого станка для дальнейшего анализа наиболее ответственных его деталей в режиме упругих колебаний.

Механизм привода челноков (рис.1) лентоткацкого станка ТЛА-2/70-С, состоит из сервопривода 1, от которого зубчато-ременной передачей 2 приводятся в движение шкивы 3 вертикальных валов 4, с закрепленными на концах зубчатыми колесами 5, челноков 6.

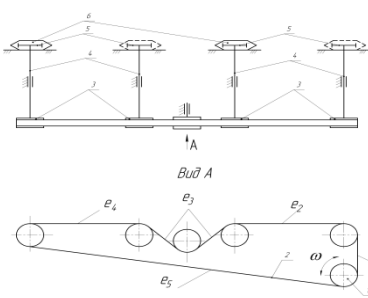


Рис.1. Механизм привода

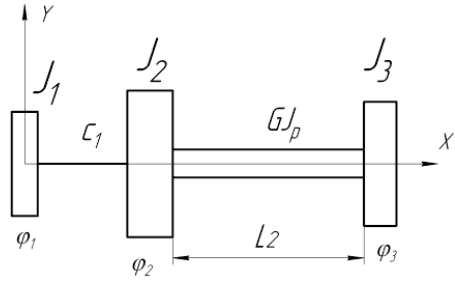


Рис.2. Динамическая модель

Для достижения поставленной цели в работе разработана динамическая модель (рис. 2). Инерционные характеристики ротора серводвигателя со шкивом представлены диском J_1 , шкивов 3 – диском J_2 , зубчатых колес 5 и челноков 6 – диском J_3 . Диски соединены упругими безмассовыми элементами C_1 , представляющего податливость зубчатого ремня 2, и GJ_p – податливость валов 4.

В модели приняты следующие обозначения: J_1 – суммарный момент инерции массы ротора серводвигателя и шкива; J_2 – суммарный момент инерции массы шкивов зубчато-ременной передачи и натяжного ролика; J_3 – приведенный к валу 4 момент

инерции массы зубчатых колес 5 и челноков 6 (см. рис.1); c_1 – коэффициент жесткости ремня; GJ_ρ - жесткость эквивалентного вала на кручение.

При растяжении податливость участков зубчатого ремня определялась по формуле:

$$e_i = \frac{\lambda \cdot L_i}{b \cdot p},$$

где λ – податливость металлокорда ремня; L_i – длина участка ремня, мм; b – ширина ремня; p – шаг ремня.

Ремень представляет собой последовательное соединение упругих элементов (участков), поэтому коэффициент жесткости найдем из выражения:

$$c = \frac{1}{e_2 + e_3 + e_4 + e_5}.$$

Коэффициент жесткости ветви ремня, приведенный к угловой деформации сечения вала со шкивом, равен:

$$c_1 = cR^2.$$

Вертикальные валы представляют собой систему параллельных упругих элементов, поэтому коэффициент жесткости c_2

$$c_2 = \sum_1^4 c_i,$$

где c_i – коэффициент крутильной жесткости одного вала,

определяемый из выражения:

$$c_i = \frac{1}{e_1 + 2(e_2 + e_3)},$$

где e_i – податливости участков вала.

Таким образом, в работе создана модель для динамического анализа механизма и предложена методика определения ее упругих и инерционных характеристик.

*А.Н. Логинова, студ.; рук. В.А. Огуцов, д.т.н., проф.
(ИВГПУ, г. Иваново)*

ДВИЖЕНИЕ АНСАМБЛЯ ЧАСТИЦ ПО ВИБРИРУЮЩЕЙ ПРОСЕИВАЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ГРОХОТА

Грохочение – механический процесс разделения сыпучей среды на крупную и мелкую фракции на вибрирующем сите. Процессы грохочения сыпучих материалов широко распространены в промышленности. Воздействуя на слой сыпучего материала, просеивающая поверхность приводит его в состояние «виброоживления». Условно процесс грохочения можно разделить на три взаимосвязанных между собой процесса. Первый процесс – это стохастический процесс движения мелких частиц в среде крупных вниз к просеивающей поверхности сита грохота. Второй – вероятностный процесс проникновения мелких частиц через отверстия сита. Третий – процесс движения слоя сыпучего материала по вибрирующему сити. Рассмотрению этого процесса посвящена данная работа.

Считается, что движение сыпучей среды по вибрирующему сити можно моделировать движением одиночной частицы [1,2]. При этом решается сложная динамическая задача, по характеру движения одиночной частицы судят о движении слоя сыпучего материала по вибрирующей поверхности. Погрешность между теоретическими и экспериментальными результатами может составить 30 % [1]. Такая погрешность расчетов не может удовлетворить технологов предприятий, выпускающих сыпучие материалы, так как скорость транспортирования и время грохочения определяют основные характеристики процесса: эффективность фракционирования и производительность грохота. Достоверные кинематические характеристики движения частиц сыпучего материала могут быть получены на основе решения методом дискретных элементов системы дифференциальных уравнений, описывающих движение каждой входящей в ансамбль частицы. Для исследования процесса движения ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности грохота разработана имитационная модель, использующая программную систему Autodesk 3ds Max, которая позволяет создать виртуальный процесс движения сыпучего материала по вибрирующему сити грохота.

Результаты обработки данных компьютерных экспериментов

позволили получить среднюю скорость транспортирования ансамбля частиц по просеивающей поверхности виртуального виброгрохота, значение которой можно перенести на реальный аппарат и пересчитать время пребывания частиц на сите реального грохота, что позволит точно определить эффективность рассева и производительность промышленного агрегата.

Библиографический список

1. **Мизонов, В.Е.** Процессы сепарации частиц в виброоживленном слое: моделирование, оптимизация, расчет / Мизонов В.Е., Огурцов В.А. и др. // ГОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», «Ивановский государственный архитектурно-строительный университет». - Иваново, 2010. – 192 с.
2. **Вайсберг, Л.А.** Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. /Под ред. Л.А. Вайсберга. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005. – 252 с.

***В.В. Авруцкий, асп.; рук. А.В.Зинин, к.т.н., зав.каф.;
Л.Л. Смирнова к.т.н. доц.
(МЭИ, г.Москва)***

Н.Г. Бычков, к.т.н.,нач.лаб. (ЦИАМ, г. Москва)

МАЛОЦИКЛОВАЯ УСТАЛОСТЬ ЖАРОПРОЧНОГО СПЛАВА ПРИ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОМ НАГРУЖЕНИИ С УЧЕТОМ ВИБРАЦИОННЫХ НАГРУЗОК

В работе приведена методика экспериментальной оценки малоциклового усталости и результаты испытаний жаропрочного сплава ЖСБУ при совместном действии термомеханических и вибрационных нагрузок в условиях неизотермического нагружения. Установлено, что наложение дополнительных высокочастотных нагрузок приводит к существенному снижению термоциклической долговечности сплава.

Концепция эксплуатации газотурбинных авиационных двигателей (ГТД) по "состоянию" предполагает осуществление тщательного контроля выработки ресурса, который в настоящее время проводится в основном на основе косвенных оценок накопленного повреждения в виде упругопластических деформаций, развивающихся под действием термоциклических нагрузок. Известно [1], что наибольший вклад в усталостную повреждаемость ответственных деталей ГТД вносит повреждаемость от малоциклового усталости, которая обусловлена высоким уровнем максимальных напряжений, превышающих предел текучести в местах концентрации напряжений. Кроме того, все детали ГТД подвержены воздействию вибрационных нагрузок. Обычно на

рабочих режимах уровень вибрационных нагрузок невелик, однако при взаимодействии с малоцикловыми и статическими нагрузками возможны негативные изменения процесса накопления упругопластических повреждений в сплаве вследствие такого наложения внешних факторов [1]. Основным источником информации о характеристиках термической усталости материалов являются испытания на малоцикловую усталость по методу Коффина [2], который хорошо имитирует процесс образования термоциклических напряжений в деталях при эксплуатации двигателей. Поэтому целью данной работы стало экспериментальное исследование малоцикловой усталости жаропрочного сплава, применяемого в конструкциях газотурбинных двигателей, с реализацией режимов нагружения с совместным воздействием длительных термоциклических и вибрационных нагрузок.

Базовые характеристики малоцикловой усталости (без вибрации) исследуемого сплава ЖС6У были получены при циклическом нагружении образцов в рабочем диапазоне температур $100 \leftrightarrow 1000$ °С при размахе деформаций в цикле 0,5%, 1% и 2% и частоте нагружения 0,1 Гц. Затем проводились механические испытания при совместном действии термоциклического нагружения с прежними параметрами и колебаний детали на резонансной частоте (515 Гц), что соответствует амплитуде вибрационных напряжений $\sigma_a = 30$ МПа. Диапазон отношений размахов вибрационных и термоциклических напряжений на различных режимах испытаний составлял 0,05 ... 0,085.

Результаты испытаний показывают, что наложение дополнительных высокочастотных нагрузок приводит к существенному снижению термоциклической долговечности сплава ЖС6У. Экспериментально установлено, что для выполнения достоверных прочностных расчетов деталей ГТД и оценки их ресурса необходимо учитывать влияние вибрационной составляющей на свойства сплавов. Дальнейшие исследования с использованием ультразвуковых методов неразрушающего контроля и разработка деформационно-кинетической модели предельного состояния, интегрально учитывающего закономерности усталостных процессов, позволят создать методы прогнозирования термоциклической прочности жаропрочных сплавов при наложении вибрационных нагрузок.

Библиографический список

1. Гаденин, М.М. Особенности развития деформации и накопления повреждений при двухчастотном малоцикловом нагружении при повышенных температурах / Машиноведение, 1976. № 1. с. 69.
2. Степнов, М.Н. Научные школы. Прочность машин и конструкций при переменных

*Е.А. Коврова, студ.; рук. О.В. Телегина, доц.
(НИТУ«МИСиС», г. Москва)*

РАСЧЕТ ОСНОВНЫХ ПАРАМЕТРОВ И ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЛЕНТОЧНОГО КОНВЕЙЕРА

При выборе оптимального способа транспортировки грузов определяющими факторами являются экономическая эффективность оборудования, его надежность и соответствие параметров нормам природоохранного законодательства. Широко применявшиеся в транспортном процессе обычные конвейерные системы не всегда обладали такими свойствами, что затрудняло их использование или требовало особых мероприятий при установке и эксплуатации. Но относительные простота и дешевизна изготовления, большие возможности в повышении интенсивности транспортировки и запросы рынка стимулировали поиски более совершенных технических решений в этой области.

Рассмотрим вопрос разработки технологии перемещения груза между дробилкой и места погрузки. Преимущества эксплуатации ленточного конвейера: малые энергозатраты; несложная конструкция; простота в эксплуатации; высокая надежность; высокая производительность; экологичность. Недостатки: высокая стоимость ленты конвейера (до 50% стоимости конвейера); высокая стоимость роликоопор (до 30% стоимости).

Основные характеристики конвейера

$$B = 1.1 \cdot \left(\sqrt{\frac{Q}{v \cdot k_{\Pi} \cdot \gamma_p \cdot k_{\beta}}} + 0.05 \right), \text{ м}$$

где Q – производительность конвейера, т/ч; v – скорость ленты конвейера, м/с; γ_p – насыпная плотность груза, т/м³; k_{Π} – коэффициент производительности, зависящий от типа роликоопоры, угла наклона ее боковых роликов β , угла естественного откоса груза в движении φ ; k_{β} – коэффициент, учитывающий угол наклона конвейера.

$$\text{Мощность привода } N = \frac{K_2 \cdot F \cdot v}{1000 \cdot \eta}, \text{ кВт.}$$

где F – тяговое усилие привода, Н; η – КПД механической передачи привода; K_2 – коэффициент запаса прочности.

При сравнении экономических затрат на эксплуатацию конвейера и самосвалов получили, что транспортировка 1 тонны железной руды самосвалом обходится в 10 рублей, конвейером – около 4 рублей.

Библиографический список

1. Галкин, В. И. Современная теория ленточных конвейеров горных предприятий. / В.И. Галкин, В.Г. Дмитриев, В.П. Дьяченко, И.В. Запенин, Е.Е. Шешко –М.: МГТУ, 2005. – 543 с.

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

МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СПЛАВОВ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Сплавы с эффектом памяти формы (ЭПФ) обладают не только уникальными функциональными свойствами, но и имеют высокие эксплуатационные свойства, в частности, работая в условиях механической усталости, износа, эрозии. Ниже рассмотрены особенности диаграмм деформирования, характеристики механической усталости сплавов с ЭПФ, на примере получившего наиболее широкое распространение сплава системы $Ti-Ni$ (*никелида титана*) эквиатомного состава, который помимо уникальных характеристик памяти формы и псевдоупругости обладает также высокими характеристиками коррозионной стойкости и демпфирования колебаний [1-2].

Типичный вид диаграмм деформирования *никелида титана* при одноосном растяжении в зависимости от температур фазовых превращений представлен на рисунке 1,а. Псевдоупругое поведение сплава представлено отдельно на рисунке 1,б. Процесс превращения происходит по всей площадке текучести с постепенным ростом объемной доли мартенситной фазы, вплоть до деформации 4,5 %, при которой образец разгружают. При напряжении ~200 МПа начинается процесс обратного превращения, отмечающийся второй площадкой текучести на диаграмме деформирования. Полная разгрузка образца приводит к отсутствию остаточных напряжений, поэтому такое поведение является геометрически обратимым и называется *псевдоупругостью* [3].

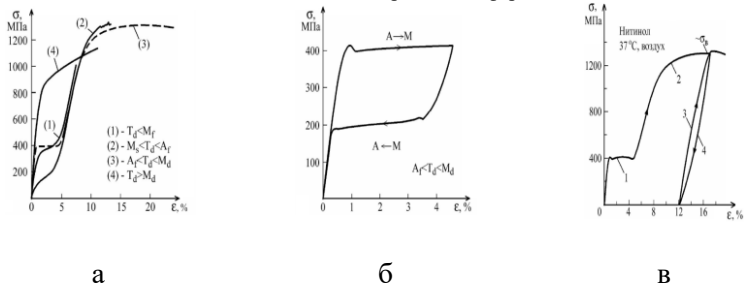


Рис. 1. Диаграмм деформирования: а – влияние температур фазовых превращений на кривые деформирования *никелида титана*; б – псевдоупругое поведение сплава; в – деградация свойств псевдоупругости сплавов с ЭПФ. 1 – мартенситное превращение (МП) при первоначальном нагружении; 2 – нагружение до σ_m ; 3 – отсутствие обратного МП при разгрузке; 4 – отсутствие прямого МП при вторичном нагружении

Вид кривых деформирования для сплавов с МП существенно определяется возможностью активации недислокационных каналов деформации. Способность таких материалов деформироваться при определенных условиях, главным образом за счет развития МП и двойниковогоания, отражается и на особенностях их поведения в условиях механического циклирования (усталости) (рис. 2).

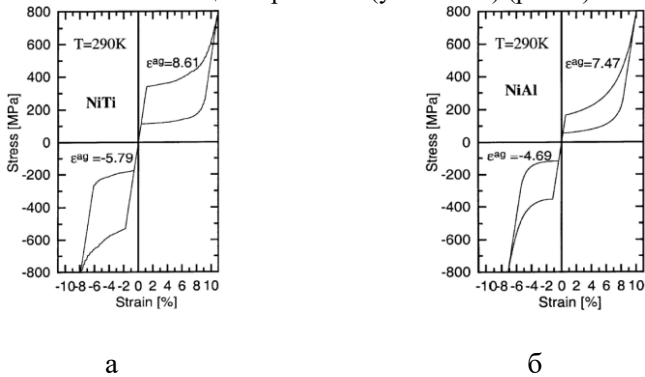


Рис. 2. Диаграммы деформирования: а – NiTi при растяжении-сжатии; б – NiAl при растяжении-сжатии

Если предположить, что процесс деформации за счет фазовой перестройки структуры не сопровождается дислокационно-диффузионным формоизменением, то микроскопическая и, следовательно, макроскопическая обратимость деформации будет означать полное восстановление структурного состояния. По такой

логике циклически повторяемое нагружение не должно вызывать повреждение материала. Проведенные эксперименты подтверждают высокие усталостные свойства сплавов с ЭПФ.

Изученные материалы позволяют провести корректные экспериментальные исследования с целью оптимизации работы конструкций из материалов с эффектом памяти формы.

Библиографический список

1. **Зарубин, З.В.** Деформационные расчеты материалов с эффектом памяти формы. / З.В. Зарубин, М.А.Ноздрин: ИГЭУ.- Иваново, 2012. – 116 с.
2. **Ильина, Е.Э.** Энергия-2013. Сплавы с эффектом памяти формы / Е.Э. Ильина, Е.С. Шильцев; ИГЭУ.– Иваново, 2013.- с. 180-182
3. **Мерсон Д.Л.** Перспективные материалы. Структура и методы исследования / Под ред. Д.Л. Мерсона. ТГУ, МИСиС, 2006. - 536с.

*А.С. Шахов, студ.; рук. Зарубин З.В., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ УПРУГОГО ЭЛЕМЕНТА С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Эффект памяти формы (ЭПФ) – явление возврата к первоначальной форме при нагреве, которое наблюдается у некоторых материалов после предварительной деформации.

В работе исследовано поведение нитиноловой пружины при воздействии на нее электрического тока и возможность регулировать усилие выдаваемое пружиной путем изменения напряжения тока (рис. 1). Проведен конечно-элементный анализ напряженно-деформированного состояния пружины с помощью программного комплекса ANSYS.

Используется механизм позиционирования стальной балки, основанный на использовании пружины с эффектом памяти формы с возможностью регулирования положения напряжением электрического тока (рис.2).

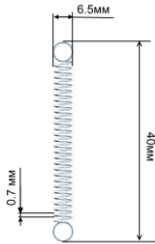


Рис.1. Нитиноловая пружина

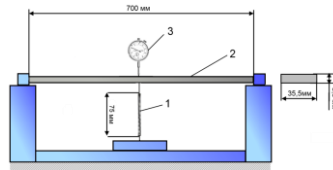


Рис.2. Схема исследуемой и

Предварительно растянутую до 75 мм пружину (1) с температурой $T_H=26$ С(мартенситное состояние) прикрепили к середине балки (2). Нагрев производился постоянным электрическим током. В экспериментальную установку входили источник тока, амперметр, вольтметр и термометр. Электрическое напряжение подавали на концы пружины, один из которых был закреплен, а противоположный крепился к середине балки. Сила тока составляла $I=2A$, напряжение U ступенчато изменялось от 0 до 4 В с шагом 0.2 В. При каждом шаге увеличения напряжения снимались показатели прогиба балки и температура пружины

Процесс смоделирован в программе ANSYS, результат сравнительного анализа показан на рис. 3.

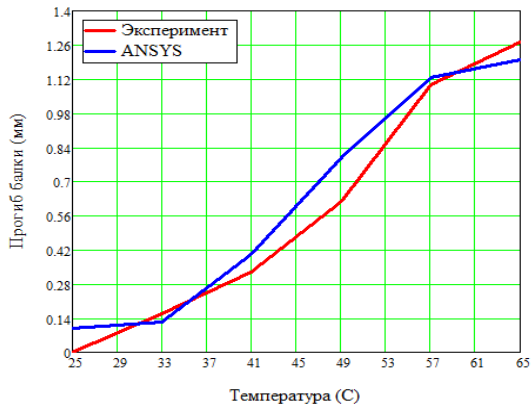


Рис.3. Графики результатов

Исследования, проеденные в данной работе, подтвердили возможность использования упругого элемента с ЭПФ в качестве

привода, способного регулировать силу и перемещение с помощью электрического тока. Так же был смоделирован сам процесс в программе ANSYS, что можно использовать для прогнозирования поведения элемента с ЭПФ не прибегая к натурным экспериментам. Используя возможности материала с эффектом памяти формы и точной регулировкой его температуры с помощью электрического тока можно проектировать достаточно простые и малогабаритные устройства.

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

РАСЧЕТ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ЭЛЕМЕНТА КОНСТРУКЦИИ САМОЛЕТА МС-21

Иркут МС-21 - проект ближне- среднемагистрального пассажирского самолета. Конструкция МС-21 призвана обеспечить более высокую экономическую эффективность за счет широкого применения современных технологий: композиционных материалов и перспективных металлических сплавов, бортовых систем и двигателей нового поколения.

Проводится расчет на устойчивость стенки установленной между 21 и 22 шпангоутом и продольными элементами- стрингерами от левого 41 до правого 44 правого.

Расчетный случай: горизонтальный полет и боковой турбулентный порыв. Элемент конструкции берется из общей сборки пола багажного отдела. На стенку действует распределенная нагрузка 2177.52 Н, длина стенки 1534 мм. Материал из которого изготовлена конструкция 1163АМ 10, ОСТ190246-77. Расчет производится в программе NX Nastran- инструмент для проведения компьютерного инженерного анализа (CAE) проектируемых изделий методом конечных элементов. Решатель NX Nastran обеспечивает выполнение полного набора инженерных расчетов, включая расчет напряженно-деформированного состояния, собственных частот и форм колебаний, анализ устойчивости, решение задач теплопередачи, исследование установившихся и неуставившихся процессов, нелинейных статических процессов, нелинейных динамических переходных процессов, анализ частотных характеристик, отклика на динамические и случайные воздействия [1].

Проведен линейный анализ устойчивости тонкостенной детали, находящейся под действием сжимающего усилия. При создании КЭ модели использовались оболочечные элементы. Для уменьшения

ресурсопотребления модель упрощается путем создания срединной поверхности.

Создается конечно-элементная модель. Используется автоматический генератор сеток с четырех узловым четырехугольным оболочечным элементом, шестью степенями свободы в каждом узле. Общее число элементов в модели 50522, общее число узлов 51028. Задаются граничные условия, внешнее нагружение модели и метод вывода решения.

В графическом виде отображается деформированное состояние, соответствующее первой форме потери устойчивости при собственной частоте 15,76 Гц. Значение критической нагрузки определяется умножением значения приложенной нагрузки на найденное собственное значение. В данном случае величина приложенной нагрузки составляет 2177.52 Н, и, следовательно, значение критической нагрузки для первой формы потери устойчивости равно 34317.72Н (рис.1).

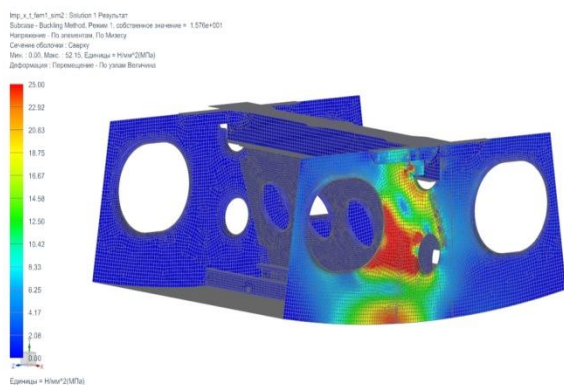


Рис. 1. Напряжения по узлам

Таким образом, из первой формы потери устойчивости следует, что конструкция надежная: критическая нагрузка 34317,72 Н, при которой максимальное напряжение 52,28 МПа не превышает допустимого 140МПа для дюралюминия.

Библиографический список

1. **Гончаров, П.С.** NX Advanced Simulation. Инженерный анализ/ П.С. Гончаров, И.А. Артамонов, Т.Ф. Халитов, С.В. Денисихин, Д.Е. Сотник – М.: ДМК Пресс, 2012. – 504 с.
2. **Кан, С.Н.** Расчет самолета на прочность. / С.Н. Кан, И.А. Свердлов // М.: Машиностроение, 2007. – 518 с.
3. **Болдырев, А.В.** Учет статической аэроупругости на ранних стадиях проектирования / А.В. Болдырев, В.А. Комаров, М.Ю. Лаптева, К.Ф. Попович // Полет. – 2008, №1. – С. 34-39.

*К.П. Бондарев, студ.; рук. М.А. Ноздрин, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ КРЫЛА ЛЕТАТЕЛЬНОГО АППАРАТА

Механизация крыла – перечень устройств, которые устанавливаются на крыло самолета для изменения его характеристик на протяжении разных стадий полета.

Целью работы является исследование элемента крыла самолета – закрылка. Проводится расчет на прочность в программном обеспечении ANSYS, который позволяет определить максимальные нагрузки, возникающие в процессе его эксплуатации.

Составлена расчетная схема закрылка самолета (рис.1).

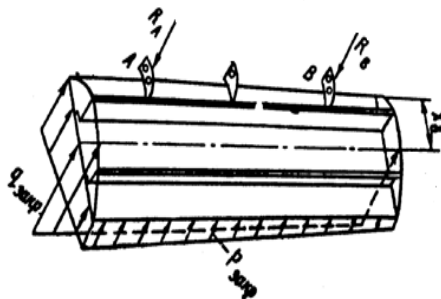


Рис.1. Расчетная схема закрылка

На рис. 1 введены следующие обозначения:

– аэродинамические поверхностные силы давления $p_{загр}$ воздушного потока, распределенные по внешней поверхности закрылка, которые сводятся к погонной нагрузке $q_{загр}=303971$ Па;

– силы реакции R_A и R_B , приложенные в местах опирания роликов кареток на направляющие рельсы, для упрощения расчетов принимаем, что на задней части закрылка жесткое закрепление.

Строим модель в программе КОМПАС-3D и экспортируем в программное обеспечение ANSYS, выводим диаграммы напряжений и деформаций (рис.2, 3).

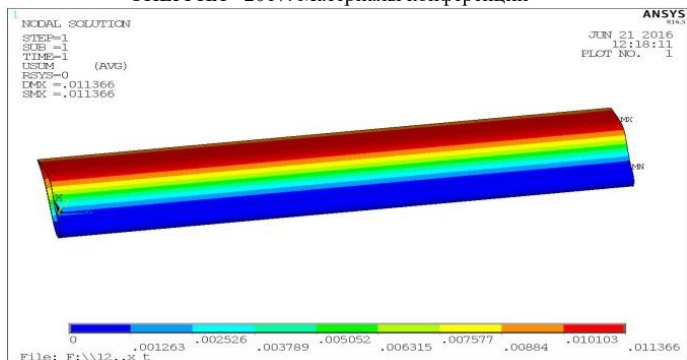


Рис.2. Диаграмма деформаций

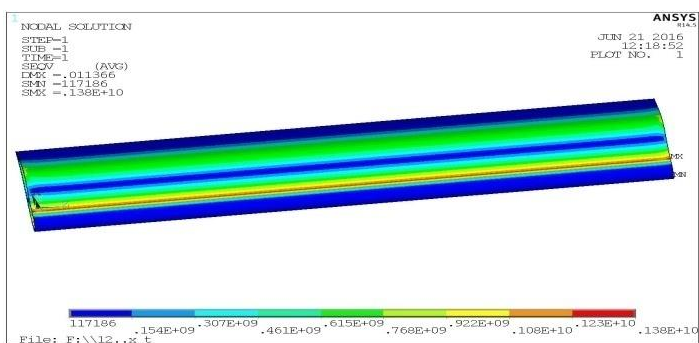


Рис.3. Диаграмма напряжений по Мизесу

Таким образом, в работе проведены аналитический расчет и расчет методами МКЭ в ANSYS нижней части закрылка (пластины), проведено сравнение результатов. После приложение расчетных нагрузок на закрылку и расчета его в программном обеспечении ANSYS были выведены диаграммы напряжений и перемещений закрылка. Определены максимальные напряжения и перемещения, возникающие в закрылке, полученный результат напряжения сравнивается с пределом прочности для данного материала, получено соотношение $\sigma_{\text{пред}} < \sigma_{\text{max}}$ из которого можно сделать вывод, что данный закрылку непригоден для эксплуатации, так как возможно его разрушение. Устранение данной проблемы возможно при замене сталь 10 на другую сталь с большим пределом прочности.

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

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ ЭЛЕМЕНТА ЖЕСТКОСТИ РУЛЯ НАПРАВЛЕНИЯ

Решается задача расчета на прочность элемента жесткости, предназначенной для установки качалки руля направления между 25 и 26 шпангоутами самолета Ил – 112 В. В качестве расчетного принят случай, при котором происходит заклинивание руля направления.

Ил-112В – военно-транспортный самолет класса легких транспортных самолетов. Разработка проекта начата ОКБ им. С.В.Ильюшина в первой половине 1990-х годов. Самолет предназначен для замены массового транспортного самолета Ан-26.

Расчет на прочность производится в программе NX 8.5. В результате статического анализа определяются перемещения узлов конструкции (рис.1). Максимальное перемещение составляет 1,813 мм.

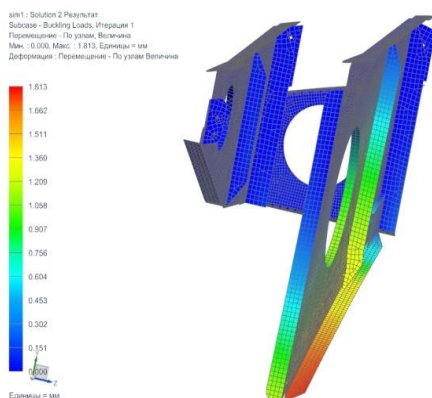


Рис. 1. Перемещения узлов жесткости, полученные в результате статического анализа

В результате статического анализа определяются напряжения. Максимальные напряжения получились равными 120,53 МПа, что не превышает допустимых 140 МПа для дюралюминия.

Библиографический список

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

ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ И МОДАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ СИСТЕМЫ «КОСТЬ–ИМПЛАНТАТ»

Известно, что живые ткани в процессе своего роста и развития существенным образом реагируют на внешнее силовое поле, в котором они функционируют. Механический фактор оказывает стимулирующее и регулирующее воздействие на специфические клетки тканей, что приводит к запуску и развитию процессов трансформации органа в макроскопическом масштабе [1].

Предполагается, что возмущения, вносимые внешней механической нагрузкой в установившееся движение жидкости в транспортной системе кости, могут обеспечивать передачу управляющих сигналов между клетками кости в процессе ее структурной перестройки.

Разработана программа, рассчитывающая структурную перестройку в период 120 дней [2]. Программа позволяет определить физико-механические характеристики костной ткани в процессе регенерации, в частности, упругие модули, плотность, параметры пористости.

Построена конечно-элементная модель «кость-имплантат». Нагрузка на модель представлена формулами (1), (2). Максимальное значение $F_{sta} = 500\text{H}$.

$$F(t, \omega) = F_{sta}(t) + F_{dyn}(t)e^{i\omega t} \quad (1)$$

$$F_{dyn} = kF_{sta} \quad (2)$$

Поскольку длина зоны перестройки (перелома) может варьироваться в тяжёлых случаях (от 3 мм до 40 мм), были разработаны модели с длиной зоны перестройки: 3, 12, 15, 21 мм. Были проведены вычислительные эксперименты с целью выяснить состояние кости на 120-й день эксперимента, при фиксированной нагрузке (гипотетически максимально безболезненной).

Вычислительные эксперименты проводились под нагрузкой на модель равной 500Н, коэффициент динамической составляющей $k=10\%$ и частотой нагрузки 50Гц.

Результаты экспериментов показали, что на 120-й день в случаях, когда длина зоны перестройки находится в пределах до 15мм, кость полностью срастается. Однако в случае, когда длинна перелома ровняется 21 мм наблюдается недостаточное напряжённо-деформированное состояние в центре перелома примерно 3,5 мм в

каждую сторону от центра перелома. Поэтому в этой зоне не происходит структурной перестройки.

Поскольку параметризация модели и эксперимента в целом ранее проводилась в сторону уменьшения коэффициента динамической составляющей k (от 10% до 5%), можно предположить, что для более протяжённых переломов потребуется увеличение динамической нагрузки, ранее 50Н.

Библиографический список

1. **Математическая** модель структурной перестройки костной ткани/ Л. Б. Маслов // ISSN 1812-5123. Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17, № 2 (60): 39–63
2. **Программа** трехмерного моделирования физико-механических характеристик костной ткани в процессе регенерации FE3DRPEV: прогр. ЭВМ 2014662247 Рос. Федерация / Маслов Л.Б.; заявитель Маслов Л.Б.; правообладатель ФГБОУ ВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина» (ИГЭУ). – № 2014660190; заяв. 09.10.14; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 26.11.14.

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

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ МОЗОЛИ

В основе жизнедеятельности любого организма и его регенерации лежат процессы обмена веществ во всех структурных элементах, которые характеризуются изнашиванием и самопроизвольным распадом (отмиранием) материального субстрата (диссимиляцией) с высвобождением необходимой для жизни энергии, выделением конечных продуктов обмена и специфическим самовоспроизведением (ассимиляцией) живой материи с использованием химических неорганических и органических веществ. Известно, что живые ткани в процессе своего роста и развития существенным образом реагируют на внешнее силовое поле, в котором они функционируют. Костная ткань является одним из ярких представителей живых клеток, на которые положительно влияют внешние механические стимулы. Например, восстановление костной ткани после перелома, запускает механизм репаративной регенерации клеток между костными отломками. Возмущения, вносимые внешней механической нагрузкой в установившееся движение жидкости в транспортной системе кости, могут обеспечивать управление скоростью и самим процессом структурной перестройки.

В рамках данной работы была выбрана и построена билатеральная одноплоскостная рама. Была проверена работоспособность программы

FE3DRPEV. Так как после построения аппарата наружной фиксации для него был введен упругий материал (титан), а так же увеличилось количество элементов модели. В результате скорректированная программа FE3DRPEV удачно прошла тестирование на простейшей модели балки.. Проведены несколько расчетов модального анализа, в результате которых были получены первые три собственные частоты и изгибные формы колебания на этих частотах. В результате сделано заключение о том, что собственные частоты стали выше из-за увеличения жесткости кости с фиксатором.

В работе проведены численные эксперименты с моделью большеберцовой кости с фиксатором на частоте 10 Гц при коэффициенте динамической составляющей статической нагрузки $k = 10\%$. По данным эксперимента можно сделать заключение о том, что в исследуемый период происходит практически полная регенерация костной ткани в рассматриваемой области.

Библиографический список

3. **Маслов, Л.Б.** Математическое моделирование колебаний пороупругих систем: монография / Л.Б. Маслов. – Иваново: Изд-во ИГЭУ, 2010. – 264 с.
4. **Математическая** модель структурной перестройки костной ткани/ Л. Б. Маслов // ISSN 1812-5123. Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17, № 2 (60): 39–63

М.А. Корнилова, А.Л. Крылова, студ.;
рук. Ф.Б. Огурицов, к.т.н., доц.; В.И. Шапин, к.т.н, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ДИСКРЕТНО-ДВУХКООРДИНАТНЫЙ МЕТОД ВИБРОСТИМУЛЯЦИИ РАЗВИТИЯ РАСТЕНИЙ

Существуют различные способы стимуляции развития растений. При этом используются два вида искусственной стимуляции: посредством химических воздействий на семена и почву, а также посредством воздействия различных электромагнитных полей.

В [1] исследовалось влияние продольной вибрации на развитие растений. Получено, что итоговая урожайность виброобразцов превалирует по сравнению с контрольными, а форма корневой системы – плоская, причём, плоскость корневой системы перпендикулярна направлению вибрации.

В настоящей работе рассматривается следующая постановка задачи: определить форму корневой системы и оценить урожайность при дискретном двухкоординатном возбуждении механических колебаний рассады. Использовались две группы растений болгарских

перцев по два в каждой группе. Первые – в дальнейшем названы «вибрационные», подвергались воздействию горизонтальной вибрации путём кинематического возмущения от момента пикировки в рассадные пакеты в конце апреля до высадки в стационарный грунт в начале июня. Вторая группа растений – «неподвижные» – контрольные. Вибрационные образцы ежедневно поворачивались на 90°.

На рис. 1 представлена экспериментальная установка. Она включает следующие элементы: звуковой генератор, усилитель мощности, электродинамический вибровозбудитель и подвижное основание с двумя экземплярами растений в пакетах [2].



Рис.1. Схема экспериментальной установки

В лабораторных условиях системно проводилось измерение следующих параметров: высоты основного ствольного стебля H мм, диаметра стебля у основания D мм, N – количества листьев. Испытания проводились по 8 часов в день с 22 апреля по 1 июля. Исходные и конечные результаты измерений приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты измерений параметров биообъектов

№ измерения	Вибрационные биообъекты		Контрольные биообъекты	
	1 – апрель			
D	1.5	1.4	1.3	1.4
N	4	5	4	4
№ измерения	9 – июнь			
	H	600	620	430
D	6	5.5	6	6.2
N	23	24	24	24

Характерно, что в конечном итоге не были выявлены явные различия в параметрах исследуемых структур за исключением длины стебля. У вибрационных биообъектов высота основного стволового стебля больше, по сравнению с контрольными, как и в [1].

Вопреки ожиданию форма корневой системы при дискретно-двухкоординатном вибровозбуждении в виде двух взаимно перпендикулярных плоскостей не наблюдалась. Получена привычная куполообразная конфигурация, не отличающаяся по форме от контрольных образцов.

Вместе с тем, повторно отмечается благотворное влияние вибрации на растения в период роста рассады. Так диаметры стеблей у корня составили: контрольных образцов – 7 и 9,5 мм., «виброперцев» – 9 и 12 мм. Вес контрольных плодов после двух сборов – 430 и 570 г., «виброперцев» – 680 и 840 г. Количество плодов у «виброперцев» – в 1,5 раза больше, чем у контрольных, ранее [1] эти соотношения были примерно аналогичными.

Таким образом, в дополнение к проводимым ранее экспериментальным исследованиям, положительное влияние продольной вибрации на развитие растений подтверждается. очевидно, что для проведения дальнейших исследований целесообразно применить двухкоординатное плоское вибровозбуждение и использовать достоверную выборку как минимум по 20 образцам.

Библиографический список

1. Шаронова, А.С. Вибростимуляция роста растений / Шаронова А.С., Горева К.С., Шапин, В.И. – Тезисы докладов IX Всероссийской конференции по биомеханике. Пермь, 2015, с. 142
2. Способ управления развитием корневой системы растений воздействием вибрации. Патент на изобретение №2603589 от 19.05.2015. Шапин, В.И. Огурцов, Ф.Б.

*А.В. Калачева, студ.; рук. А.Б. Колобов, д. ф-м. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИКИ ЦЕНТРОБЕЖНОГО АГРЕГАТА ПО ЧАСТОТНЫМ ПРИЗНАКАМ ВИБРАЦИИ

Основными задачами вибродиагностики являются контроль работоспособности и определение вида дефекта. Задача контроля работоспособности (задача вибромониторинга) предполагает проверку соответствия измеренных значений вибрации в рабочих режимах требованиям ГОСТ. Собственно задача диагностики решается в том

случае, если запас работоспособности агрегата снизился или объект имеет ограниченную работоспособность согласно ГОСТ. При этом производится:

- определение вида дефекта или совокупности дефектов, приведших к недопустимому снижению запаса работоспособности, и оценка глубины развития дефекта для выдачи рекомендаций по объему предстоящих ремонтных работ;
- назначение, при необходимости, дополнительных вибродиагностических процедур или испытаний при разных режимах работы агрегата для уточнения диагноза;
- выдача заключения о неработоспособном (предельном) состоянии с рекомендациями о немедленной аварийной остановке агрегата или переводе его в резерв.

Вибродиагностика осуществляется на основе измерения и анализа параметров вибрации в рабочих режимах эксплуатации и выполняется по технологии «off-line» контроля с использованием прибора «АГАТ-М» фирмы ДИАМЕХ. Изделие представляет двухканальный портативный автономный виброизмерительный прибор, позволяющий проводить измерения следующих вибрационных характеристик: общего уровня вибрации, амплитуды/фазы первой гармонической составляющей оборотной частоты; выполнять спектральный анализ вибросигналов и их форм.

В работе рассматриваются основные типы дефектов электропривода, составлен алгоритм общей диагностики и алгоритмы идентификации отдельных видов дефектов (рис.1), представлен алгоритм прогнозирования работоспособности контролируемых агрегатов.

Осуществлено практическое измерение вибрационных характеристик на дымососе, установленном в котельной ИГЭУ, проведена его вибродиагностика и прогнозирование работоспособности в соответствии с составленными алгоритмами.

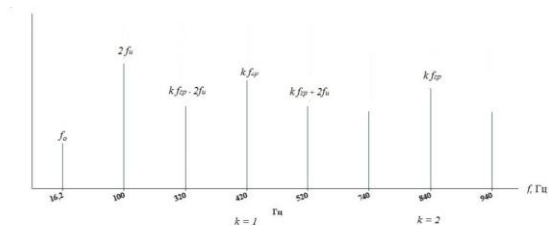


Рис. 1. Пример маски спектра вибрации при дефекте статора

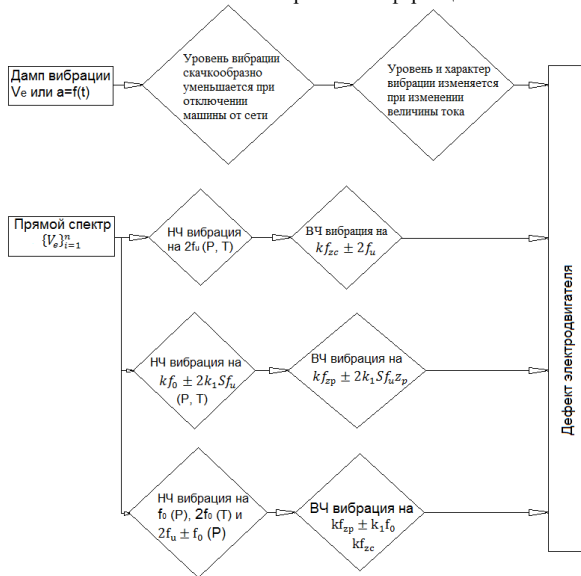


Рис. 2. Пример алгоритма идентификации основных дефектов электродвигателя

Разработаны алгоритмы диагностики основных видов дефектов, рассчитаны информативные частоты появления этих дефектов. Составлены графические маски спектров (рис.2), основных дефектов и на основе статистического анализа вероятности появления частот, выбрана минимальная разрешающая способность спектроанализатора, позволяющая достоверно диагностировать рассмотренные дефекты.

Библиографический список

1. Колобов, А.Б. Основы теории и практики вибродиагностики: учеб. пособие / А.Б.Колобов; Федеральное агентство по образованию; ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И.Ленина». – Иваново, 2014. – 248 с.
2. Колобов, А.Б. Программные средства поддержки вибромониторинга промышленного оборудования: Метод. указания/ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». – Иваново, 2007. – 60 с.
3. Колобов, А.Б. Измерение и спектральный анализ для вибродиагностики: Учеб. пособие/ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». – Иваново, 2010. – 104 с.
4. Колобов, А.Б. Нормирование вибрации для оценки состояния роторных машин: Учеб.-метод. пособие/ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина». – Иваново, 2012. – 64 с.

*Д. С. Будаев, студ.; рук. Л.Н. Крайнова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ КОНСТРУКЦИЙ ИЗ ОЦИНКОВАННЫХ ХОЛОДНОГНУТЫХ ПРОФИЛЕЙ

В настоящее время в России сформирован целый сегмент металлостроительной индустрии - проектирование и производство лёгких стальных тонкостенных конструкций. На стадии проектирования конструкций из тонкостенных холодногнутых перфорированных профилей важно иметь аппарат для оценки несущей способности, который учитывал бы возможность потери местной и общей устойчивости конструкции.

Цель исследования – оценка напряженно-деформированного состояния оцинкованного тонкостенного холодногнутого перфорированного уголка при растяжении, определение количественных параметров при потере его устойчивости, исследование динамических характеристик уголка.

Для решения задачи созданы расчетные конечно-элементные модели стержневого элемента, максимально приближенные к характеристикам экспериментального образца. Численный расчет стержня проводился в программном комплексе ANSYS, результаты расчета сравнивались с экспериментальными данными, полученными при испытании перфорированного уголка на универсальной испытательной машине.

Результаты численного расчета при растяжении (рис.1) хорошо согласуются с экспериментальными данными.

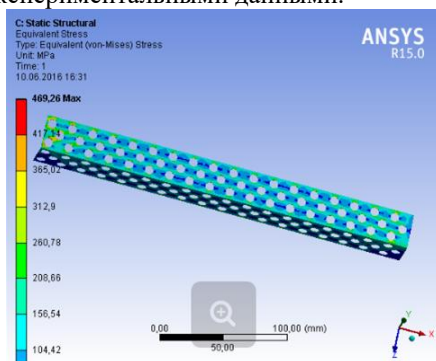


Рис.1. Результаты численного расчета при растяжении

Проведено сравнение численных расчетов и экспериментальных данных при расчете на устойчивость перфорированного уголка. Показано, что в тонкостенных конструкциях стенка и полка теряют устойчивость раньше, чем стержень в целом (рис. 2, а, б).

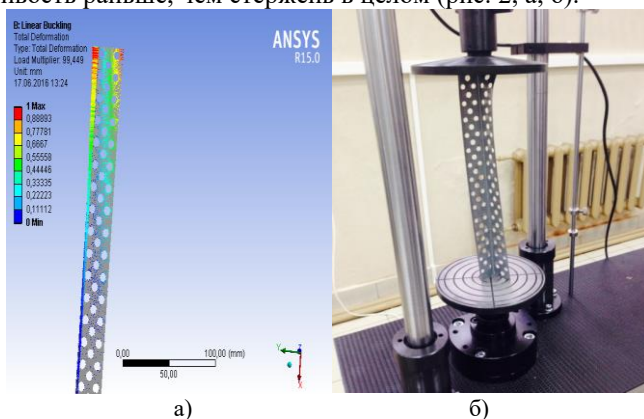


Рис. 2. Результаты расчетов на устойчивость перфорированного уголка: а – численные расчет; б – экспериментальная установка

Таким образом, на основании эксперимента и расчетов выявлены особенности работы тонкостенных конструкций при различных видах нагружения: растяжения и сжатия (до потери устойчивости).

Библиографический список

1. **Феодосьев, В.И.** Сопротивление материалов: учеб. для вузов / В.И.Феодосьев – Изд. 10-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 1999. – 592 стр.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЫСОКОЧАСТОТНОЙ ВИБРАЦИИ ПОДШИПНИКОВ КАЧЕНИЯ

Менее 10 % подшипников качения (ПК) дорабатывают до окончания проектного срока службы, причем значительная часть ПК отказывает из-за дефектов, вызванных контактным износом. Одним из способов оценки технического состояния ПК является анализ высокочастотной вибрации, имеющей характерный импульсный характер огибающей.

Для исследования высокочастотной вибрации подшипников качения разработана лабораторная установка на основе стенда ДП 11А. Изготовлена дополнительная оснастка, предназначенная для воспроизведения условий работы подшипников качения приближенных к реальным.

Функциональная схема электроизмерительной части установки представлена на рис. 1.

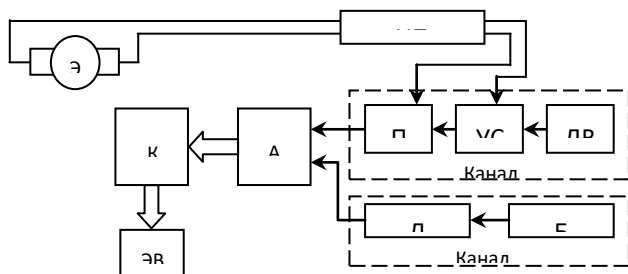


Рис. 1. Функциональная схема электроизмерительной части установки: **ИП** – источник питания; **ЭПТ** – электродвигатель постоянного тока типа СЛ261 с частотой вращения 500 – 3500 об/мин; **канал ВЧ** – канал для снятия высокочастотного сигнала, состоящий: **ДВ** – датчик вибрации АВС 065; **УС** – усилитель сигнала; **ПФ** – перестраиваемый третьоктавный полосовой фильтр; **канал ИЧВ** – канал измерения частоты вращения, в состав которого входят: **ДО** – инфракрасный датчик оборотов; **БН** – блок настройки; **КПИ** – контроллер параллельного интерфейса; **АЦП** – АЦП NVL-08

Исследования произведены для шариковых радиальных, шариковых радиально-упорных, роликовых радиально-упорных и сферических двухрядных ПК типоразмера 0-203 с разной степенью износа, задаваемой величиной радиального зазора (от 10,6 до 88,7 мкм).

На предварительном этапе обработки данных было установлено, что амплитуда импульсов возрастает с ростом контактного износа и с ухудшением смазки.

Также установлено, что по мере увеличения износа ПК (увеличения числа микродефектов) рост числа импульсов довольно слабый – так при указанных величинах радиальных зазоров, частота импульсов варьируется в пределах 1200 – 1300 имп/с. Кроме того, усредненная частота появления импульсов мало зависит от скорости движения тел качения. На рис. 2 показана зависимость числа импульсов k_s от частоты вращения вала n при различных нагрузках (1 – номинальная, 2 – пониженная нагрузка)

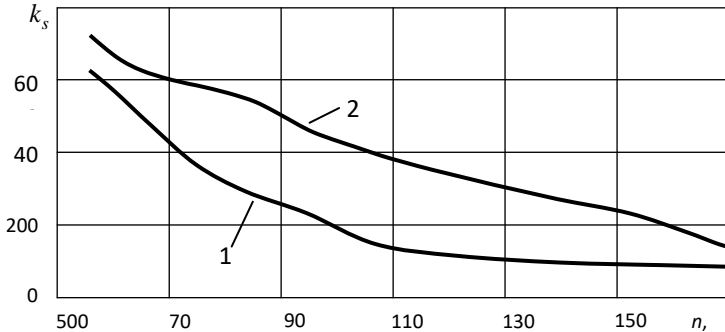


Рис 2. Зависимости количества импульсов за один оборот внутреннего кольца ПК от частоты вращения

Полученные в результате испытаний данные будут использованы для статистической обработки с целью выявления диагностических признаков.

Библиографический список

1. Барков, А.В. Мониторинг и диагностика роторных машин по вибрации / А.В.Барков, Н.А.Баркова, А.Ю.Азовцев.–СПб.: Изд. центр СПбГМТУ, 2000.–159с.
2. Клюев, В.В. Неразрушающий контроль. В 7 т. Т.7. Вибродиагностика / В.В.Клюев и [др.]. – М.: Машиностроение, 2007. – 732 с.
3. Колобов, А.Б. Основы теории и практики вибродиагностики: учеб. пособие / А.Б.Колобов; ФГБОУ ВПО ИГЭУ им. В.И.Ленина.– Иваново, 2014.– 248 с.

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

ВИБРОИСПЫТАНИЯ КОНСОЛЬНО-ЗАКРЕПЛЕННОГО СТЕРЖНЯ ИЗ НЕЛИНЕЙНО-УПРУГОГО МАТЕРИАЛА

Колебания – явления, процессы, обладающие свойством приближительной повторяемости во времени. Объект, в котором реализуется колебательный процесс, называется колебательной системой.

Линейные и нелинейные колебания отражают тип математических моделей. В последние годы распространено словосочетание

нелинейная динамика. Основное содержание нелинейной динамики – исследование математических моделей различных систем.

Целью работы является создание математической модели колебаний консольного стержня из нелинейно-упругого материала и экспериментальное исследование свободных колебаний.

Математическая модель колебаний построена на основе уравнений механики деформируемого тела. За основу взято уравнение изгибных колебаний стержня:

$$\rho F \ddot{v} + M''' = q(x, t),$$

где ρ – плотность материала стержня, F – площадь поперечного сечения.

Экспериментальное исследование колебаний проводилось для стержня из серого поливинилхлорида при различных положениях датчика виброускорений. Возбуждение свободных колебаний осуществлялось отклонением свободного края стержня, показания датчика регистрировались ЭВМ. Результаты представлены на рис. 1, 2.

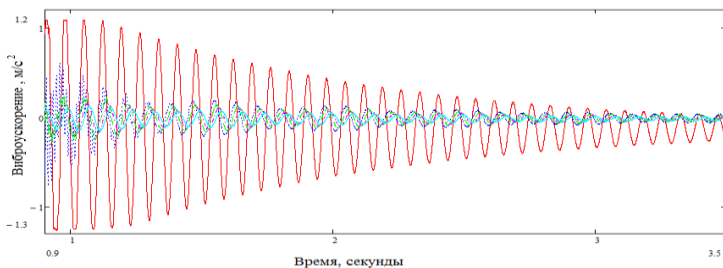


Рис. 1. Датчик на конце стержня

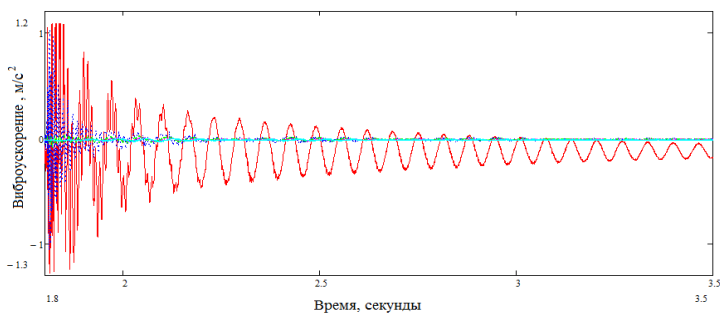


Рис.2. Датчик около жесткой заделки

Проведенные исследования позволяют провести сравнительный анализ численного решения и экспериментальных результатов.

Библиографический список

1. **Бидерман, В.Л.** Теория механических колебаний: учебник для вузов / В.Л. Бидерман – М.: Высшая школа, 1980. – 408 с.
2. **Кузнецов, А.П.** Нелинейные колебания: Учеб. Пособие для вузов / Кузнецов А.П., Кузнецов С.П., Рыскин Н.М. - М.: Издательство физико-математической литературы, 2002, - 292 с.
3. **Иорриш, Ю.И.** Виброметрия. Измерение вибрации и ударов. Общая теория методы и приборы / Иорриш Ю.И. – 2-е изд. перераб. И доп. – М.: ГНТИМЛ, 163, - 756 с.

*С.В. Пасечник, Д.Р. Галиуллин, магист.; О.А. Филина, ст. преп.
(КГЭУ, г. Казань)*

ТЕХНИЧЕСКАЯ ДИАГНОСТИКА

Техническая диагностика (диагностирование) — это проведение экспертизы различного рода технических устройств с целью продления срока службы устройства, проверки его технического состояния и соответствия Правилам промышленной безопасности. В процессе проведения технической диагностики эксперты выезжают на объект, осуществляют необходимые лабораторно-диагностические исследования, а в последствии готовят заключение.

Задачами проведения технического диагностирования неразрушающими методами контроля является обнаружение дефектов, оценка их влияния на работоспособность объекта диагностики и последующее определение остаточного ресурса.

Техническая диагностика является средством поддержания заданного уровня надежности оборудования, обеспечения требований безопасности и эффективности использования объектов.

В данном контексте задачей становится обеспечение и поддержание высокого уровня качества выполнения неразрушающего контроля (получение точных, достоверных результатов контроля) при проведении работ. Поиск мест и определение причин отказа, а также обнаружение и предупреждение вероятных очагов неисправностей.

Ресурс серийной электрощетки в эксплуатации имеет значительную дисперсию. Процесс замены электрощеток трудоемок и требует остановки электродвигателя. Учитывая эти важные обстоятельства можно отметить следующее: из-за влияния различных эксплуатационных факторов ресурс электрощетки значительно ниже по сравнению с расчетными значениями; необходим поиск новых

технологий, позволяющих повысить их эксплуатационную надежность.

Составная электрощетка с замковой частью (патент № 2274935 РФ) функционально не отличается от серийной. Основное отличие заключается в конструкции щетки. Она состоит из двух частей: основной, посредством которой осуществляется подвод электроэнергии от щеткодержательного аппарата, и сменной графитовой вставки с замковой частью, соединяющиеся по скользящей посадке (рис.1.).

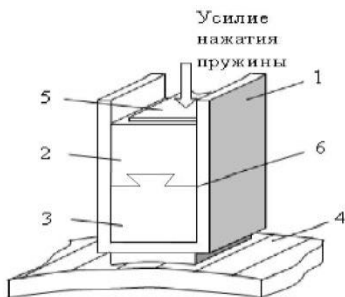


Рис. 1. Схематическое изображение гильзы щеткодержательного аппарата со составной электрощеткой:

1 - гильза щеткодержательного аппарата; 2 - основная часть составной электрощетки; 3 - сменная графитовая вставка; 4 - коллектор; 5 - пружина; 6 - контактная поверхность между частями составной электрощетки

В состав основной части новой электрощетки входят дорогостоящие элементы конструкции, описанные ниже. За счет того, что расходной частью электрощетки при правильной ее эксплуатации является сменная графитовая вставка, то основная ее часть не изнашивается и не требует замены. Это показывает очевидную экономию на дорогостоящих элементах конструкции, которые являются отходами при эксплуатации серийной электрощетки. Таким образом, применение составной электрощетки исключает возможность недовыработки заложенного ресурса всей щетки.

Возможность широкого применения предлагаемой конструкции электрощетки определяется стандартной конструкцией щеткодержательного аппарата.

На рис. 1. показан фрагмент серийного щеткодержательного аппарата. В гильзе 1 располагается основная часть электрощетки 2 и сменная графитовая вставка 3, скользящая по коллектору 4 электрической машины. Прижим электрощетки к коллектору осуществляется пружиной 5. Данное усилие создает надежный контакт

ЭНЕРГИЯ - 2017. Материалы конференции
в плоскости соприкосновения б между основной частью составной
электрощетки и сменной графитовой вставкой.

Библиографический список

1. **Филина, О.А.** Структура системы оперативной вибрационной диагностики газоперекачивающих агрегат / Филина О.А., Галиуллин Д.Р., Гиматдинов Ф.С./Новые задачи технических наук и путей их решения. Сборник статей международной научно-практической конференции. Казань, 2016. С. 174-176.

*А.С. Макарова, студ.; рук. О.В. Телегина, доц.
(НИТУ «МИСиС», г. Москва)*

ПЕРСПЕКТИВА УСТАНОВКИ КРУТОНАКЛОННОГО КОНВЕЙЕРА НА МИХАЙЛОВСКОМ ГОКЕ

Выбор конвейера на производстве – это важная задача, которую должен уметь решать любой инженер по транспорту. Ведь правильное распределение затрат, включая оптимальное использование транспорта на предприятии, может сохранить огромное количество ресурсов на него.

В своей работе я покажу наиболее правильный вариант использования транспорта, заменив автомобильный и железнодорожный на конвейерный вид при транспортировании горной породы из глубины карьера на поверхность. Михайловский ГОК – место разработки моего конвейера. По рассчитанным экономическим характеристикам считаем, что замена автомобильного и железнодорожного транспорта при поднятии груза от места выработки до поверхности карьера на ленточный конвейер является наиболее рациональным решением для предприятия.

В ходе работы я определила главные характеристики для планируемого крутонаклонного конвейера на Михайловский карьере: производительность конвейера, скорость ленты, ширину конвейерной ленты и длину конвейера. По проделанным расчетам нашли, что часовая производительность конвейера $Q_ч$ равна 2192 т/ч; скорость – 2,5 м/с; ширина ленты конвейера 412 мм; длина конвейера – 400 м.

Теперь необходимо привести экономическое обоснование использования крутонаклонного конвейера на Михайловском ГОКе. Как было изложено выше, по технологии с использованием крутонаклонного конвейера часовая производительность будет составлять примерно 2200 т/ч. Отсюда известно, что годовая производительность будет равна:

$$Q_{\text{сут}} = \frac{Q_{\text{час}} * 24}{1,2} = \frac{2200 * 24}{1,2} = 44000\text{т};$$

$$Q_{\text{год}} = \frac{Q_{\text{сут}} * 365}{1,2} = \frac{44000 * 365}{1,2} = 16,06 * 10^6\text{т};$$

тем более, что с внедрением данного типа конвейера транспортные расходы сократятся. Если учесть, что один самосвал за сутки расходует 2900-3000 литров топлива, то 10 таких самосвалов расходуют 30000 литров топлива. Учитывая стоимость одного литра в 35 рублей, за такой объем данная сумма будет составлять 1050000 рублей в сутки, а в год это 378000000 рублей. А с внедрением крутонаклонного конвейера данные самосвалы транспортировали бы руду от забоя до места установки конвейера, на расстояние около 300 м, в связи с этим топливные расходы сокращаются на 90 %, то есть

$$T_{\text{п}} = T_{\text{с}} * 10\%$$

где $T_{\text{п}}$ – топливные расходы по предлагаемой технологии, л; $T_{\text{с}}$ – топливные расходы по существующей технологии, л;

$$T_{\text{п}} = 30000 * 0,1 = 3000 \text{ л}$$

Расход на топливо будет 105000 руб., а в год это 38325000руб.

Проанализировав расходы на работу крутонаклонного конвейера на Михайловском ГОКе, видим большую перспективу в его использовании.

Исходя из этого можно сделать следующие выводы: внедрение данного конвейера на карьер будет способствовать более эффективной работе всего предприятия; сократит транспортные расходы автосамосвалов на 90 %, также снижается энерго- и материалоемкость; улучшается экологическая обстановка разреза благодаря герметичности транспортировки; происходит замена человеческого труда на автоматический, сокращение времени на транспортировку и затраты на использование данного вида транспорта.

Библиографический список

1. **Шешко Е.Е., Сергеева Н.В.** Расчет ленточного конвейера для открытых и подземных горных работ. Методические указания для практических занятий // М.: МГГУ, 2011, (1,75 п. л.) 27 с., тираж 100 экз.;
2. **Малыбаев С.К., Балгабеков Т.К., Жанатов И.М., Хайбуллин Р.Р., Рожков А.В.** Особенности использования крутонаклонного конвейера в условиях ТОО «Богатырь Комир» // Современные наукоемкие технологии. – 2015. – № 2. – С. 82-87;
3. Научный журнал «Современные наукоемкие технологии» (Электронный ресурс): <http://www.top-technologies.ru/ru/article/view?id=34894>

РАСЧЕТ ТЕРМОДИНАМИЧЕСКИХ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ АВАРИЙНОМ РЕЖИМЕ РАБОТЫ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Принцип проведения испытаний на машине УТС1300 основан на приложении к испытываемому образцу нормированного значения силы при постоянном значении заданной температуры.

При проведении испытания на длительную прочность образец доводится до разрушения действием постоянной растягивающей нагрузки. Определяется контрольная характеристика – время до разрушения образца, которое равно или больше нормы времени, указанной в стандарте или технических условиях на металлопродукцию. Образец может быть не доведен до разрушения, если продолжительность испытания образца ниже установленной техническими условиями или другой нормативно-технической документацией на металлопродукцию.

При проведении испытания на ползучесть производится измерение деформации образца во времени при воздействии на него постоянной растягивающей нагрузки и постоянного значения заданной температуры. В результате испытания определяют предел ползучести материала, то есть напряжения, при котором скорость или деформация ползучести за определенный промежуток времени не превышает заданной величины.

Образец чаще всего имеет форму цельного цилиндра диаметром 10 мм и длиной 100 мм. Образец закрепляется в жаропрочных захватах, а они в свою очередь в специальных тросах, которые передают усилие различным рычагам (рис.1).

При длительной эксплуатации возможны отключения электроэнергии, т.к. испытания могут проходить во времени от нескольких часов до тридцати лет. Нагретый до 1200 °С образец начинает остывать вместе с электропечью - процесс остывания длится от 2 до 3 часов. Испытуемый образец при остывании сжимается, создавая усилие на тросах и иных элементах конструкции испытательной машины. При аварийном отключении электроэнергии машины, зачастую, выходят из строя и ремонт является дорогостоящим. Цель работы – расчет напряжений в испытываемом образце и элементах машины, возникающих при аварийном отключении.

Исходные данные для численного расчета: модуль упругости для стали $E=2 \cdot 10^{11}$ [Па]; $\alpha = 12,5 \cdot 10^{-6} \left[\frac{1}{^\circ\text{C}} \right]$; $\Delta T = 1000$ °С.

В результате расчета определена $\sigma = 2500$ МПа, $R = 1,8$ кН.

Расчетное значение напряжения в испытываемом образце, возникающее при его остывании, получилось немного больше экспериментального значения.

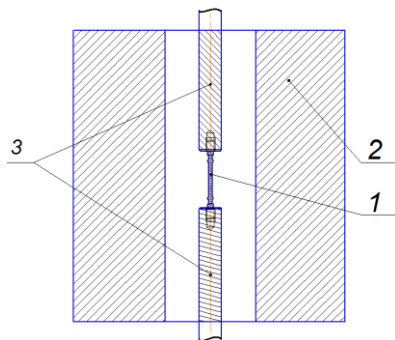


Рис. 1. Закрепление образца: 1 – испытываемый образец, 2 – печь, 3 – жаропрочные захваты

Это связано с тем, что:

- при расчетах не учитывалось время остывания образца;
- на практике отсутствует абсолютно жесткое закрепление образца;
- в реальных условиях тепло отдается не равномерно, а в основном через захваты образца.

Даны рекомендации и произведена модернизация конструкции испытательной машины:

- установлен ИБП (источник бесперебойного питания): при кратковременном отключении электроэнергии (до 5 минут) машина позволяет продолжить испытание без потерь данных испытаний (время отключения питания и возврата к испытанию отмечается на выходных графиках);
- установлена электромагнитная муфта сцепления: при отключении напряжения в электрической сети происходит отключение электромагнитной муфты сцепления и разгрузка образца.

Эти меры позволили не только уберечь дорогостоящую машину от поломок, но и вернуться к испытаниям при кратковременном отключении ее от электросети без потерь испытательных данных.

Библиографический список

1. Кудайкулов, А.К. Вычислительный алгоритм моделирования термонапряженного состояния стержня из жаропрочного сплава при наличии теплообмена, теплоизоляции

- ЭНЕРГИЯ - 2017. Материалы конференции
и температуры постоянной интенсивности/ А.К. Кудайкулов // Фундаментальные
исследования. – 2012. – № 3-3. – С. 660-664.
2. **Зарубин, В.С.** Математические модели термомеханики / В.С. Зарубин, Г.Н. Кувыркин
/ М.: Физматлит, 2002. – 168 с.

*Ш.М. Газимагомедов, студ.; рук. Ф.Б. Огурцов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО–ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ЭЛЕМЕНТА КРЫЛА САМОЛЕТА

Одна из основных задач современной авиации – рационализация конструктивно-силовых схем самолётов. Задача решается аналитическими, численными и экспериментальными методами. Основным численным методом, получившим широкое распространение в инженерных расчетах и наилучшую программную отработку, является метод конечных элементов (МКЭ).

Целью работы является расчет общего напряженно–деформированного состояния (НДС) в силовых элементах отъёмной части крыла транспортного самолета Boeing 737 методом конечных элементов при заданном уровне нагрузок. Boeing 737 – это узкофюзеляжный турбовентиляторный пассажирский самолет.

Расчет с использованием МКЭ применяется с некоторыми допущениями, так как передача всех элементов конструкции без упрощения требует значительных затрат машинных ресурсов, увеличивая время подготовки модели к расчету. Для уменьшения ресурсопотребления модель упрощена путем создания срединной поверхности.

В ходе работы рассмотрены два состояния нагружений самолета:

- 1) в состоянии покоя – нахождение самолета на взлетной полосе с полным топливным баком;
- 2) в состоянии полета – под воздействием аэродинамических сил, действующие на крыло самолета.

Расчёты проводились в среде ANSYS. При создании КЭ модели использовались оболочечные элементы. Заключительный этап – анализ полученного решения.

Исходя из результатов расчета, установлено – в состоянии покоя максимальное напряжение крыла, под действием сил, находится в заделке. Также по полученным данным определено, что максимальное напряжение в состоянии полета переходит от заделки к месту расположения двигателя.

Библиографический список

1. **Кан, С. Н.** Расчет самолета на прочность пассажирских самолетов/ С.Н. Кан, А.И. Свердлов. – Труды ЦАГИ, вып. 1263, М.: 1970. 88с.

*Д. В. Корепов, магистр.; рук. Ю.Е. Филатов, к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ РЕСУРСА ЭЛЕМЕНТОВ АВИАЦИОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ

Одной из задач современного машиностроения является задача повышения долговечности и ресурса создаваемых конструкций. Для обеспечения заданной долговечности и ресурса необходимо еще на стадии проектирования использовать современные методы инженерного анализа. Для конструкций, на которые при эксплуатации действуют переменные во времени нагрузки, необходимо обеспечить требуемую прочность и долговечность элементов этих конструкций.

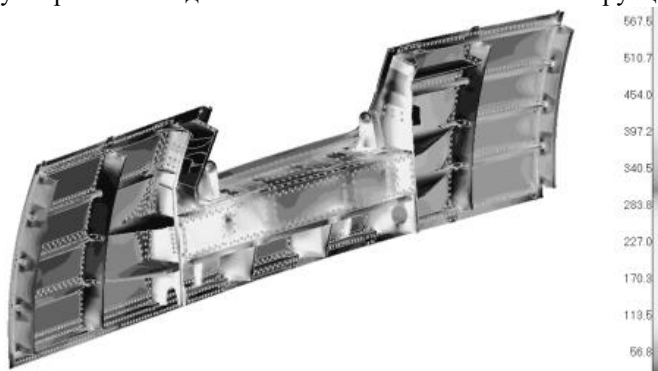


Рис. 1. Диаграмма напряжений нижней окантовки двери багажно-грузового отсека (расчетный случай ΔP (избыточное давление в кабине), Мизес, [МПа])

Перед началом расчета сопротивления усталости, на основе анализа напряженно-деформированного состояния (НДС, рисунок 1) всех расчетных случаев из циклограммы, выбираются наиболее опасные зоны - потенциально критические места (ПКМ). Производится оценка сопротивления усталости только в определенных ранее зонах. При этом возможен недостаток ресурса в зонах, в которых нет выраженных концентраций напряжений в каком-либо расчетном случае, но в совокупности всех расчетных случаев циклограммы может получиться недостаток ресурса в местах, где оценка сопротивления усталости не проводилась. Под комплексной оценкой ресурса подразумевается оценка ресурса полной совокупности зон расчетной модели, т.е. расчет ресурса во всех конечных элементах

расчетной модели. Это позволяет избежать возможных несоответствий между расчетным и фактическим ресурсами.

Целью работы – разработка инструмента комплексной оценки ресурса элементов авиационных конструкций, с учетом анализа полной совокупности зон расчетной модели, а также разработка и реализация алгоритмов комплексной оценки ресурса.

В качестве исходных данных используются 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. В качестве результатов комплексного расчета приняты значения ресурса в точках, соответствующих расположению конечных элементов модели. Основные этапы работы:

- 1) изучение методик расчета усталостной прочности;
- 2) разработка процедуры обработки НДС конечных элементов моделей (2D и 3D модели);
- 3) разработка процедуры комплексной оценки усталостной прочности (радиусные переходы, соединения, проушины);
- 4) сравнительный анализ результатов, полученных при помощи инструмента комплексной оценки усталостной прочности, с результатами, полученными по традиционным методикам;
- 5) выводы по работе.

В качестве языка разработки процедур выбран язык программирования Python.

Библиографический список

1. ГОСТ 23207-78. Соппротивление усталости. Основные термины, определения и обозначения
2. Стрижнус В.Е. Методы расчета усталостной долговечности элементов авиаконструкций: справочное пособие.-М.:Машиностроение, 2012. - 272с.

*Е.В. Роменский, магистр; рук. Ю.А. Федоров, к.т.н., доцент
(ИВГПУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ПОЛОЖЕНИЯ ЗАТЯЖКИ НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ УСИЛИЙ В ТРЕХШАРНИРНОЙ СТРОПИЛЬНОЙ СИСТЕМЕ

В статье анализируется влияние высоты положения затяжки в трехшарнирной стропильной конструкции на величину усилий в стропиле, затяжке и величину распора при вертикальной равномерно-распределенной нагрузке q на горизонтальную поверхность. Числовые

расчеты выполнены в программе «Декор» системы комплексного анализа SCAD office версии 21.1.1.

Стропильная система представляет собой трехшарнирную систему (рис.1).

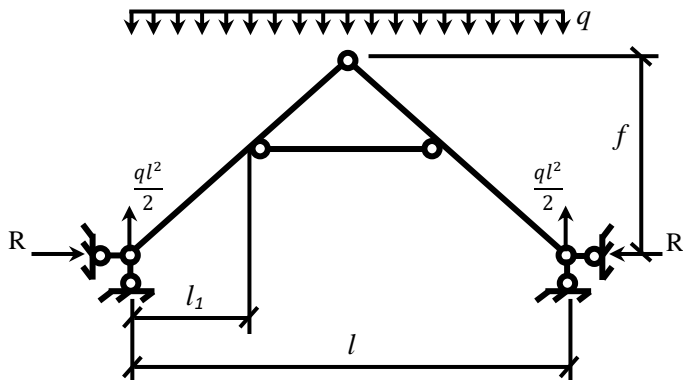


Рис. 1. Расчетная схема стропильной конструкции

Известно [1], что при отсутствии затяжки величина распора в шарнирно-неподвижной опоре и момента в стропиле

$$H = \frac{ql^2}{8f}; \quad M_{max} = \frac{Ml}{4} = \frac{ql^2}{32},$$

где M – изгибающий момент в стропиле, остальные обозначения приведены на рис. 1.

Наличие затяжки превращает систему в один раз статически неопределимую и приводит к перераспределению усилий в элементах конструкции и изменению величины распора. Так, при положении затяжки посередине стрелы подъема сжимающее усилие в затяжке без учета податливости при сжатии затяжки и стропил

$$N_{зат} = \frac{3ql^2}{32f},$$

а распор составляет

$$R = \frac{11ql^2}{64f} = \frac{11H}{8}.$$

Наибольший изгибающий момент в стропиле возникает в сечении на уровне затяжки

$$M(l/4) = \frac{ql^2}{64}.$$

Установка затяжки выше или ниже середины стрелы подъема приводит к увеличению сжимающей силы в ней. Приближение затяжки к коньковому шарниру повышает жесткость конькового узла и приближает расчетную схему к двухшарнирной раме с жестким коньковым узлом. При этом максимальный изгибающий момент возникает в жестком узле и равен

$$M = \frac{ql^2}{32},$$

а распор

$$R = \frac{3ql^2}{32f} = \frac{3H}{4}.$$

В таблице 1 приведены результаты расчета изгибающего момента в стропиле на уровне затяжки, усилия в затяжке и распора в зависимости от высоты расположения затяжки. При расчетах принято $q=2,825\text{кН/м}$, $l=9\text{м}$, $f=3\text{м}$.

Таблица 1

Положение затяжки l_1 , м	Усилие в затяжке $N_{зат}$, кН	Момент в стропиле М, кНм	Распор R, кН
0,45	-27,041	-4,727	67,81
0,9	-16,92	-3,546	46,184
1,35	-13,572	-2,545	38,05
1,8	-12,21	-1,928	33,753
2,25	-11,833	-1,726	30,93
2,7	-12,232	-1,944	28,881
3,15	-13,635	-2,585	27,274

Библиографический список

1. Дарков А.В., Шапошников Н.Н. Строительная механика: учеб. – С-Пб.: Изд-во «Лань», 2004. – 656 с.

*А. М. Полякова, студ.; рук. Е.В. Зарубина, А. Г. Наумов
(ИПСА, г. Иваново)*

Т.В. Шмелева, (ИГЭУ, г. Иваново)

ПРИМЕНЕНИЕ СКИН-ЭФФЕКТА ДЛЯ ИЗУЧЕНИЯ НАПРЯЖЕННО ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ПРОТИВОПОЖАРНОГО ВОДОПРОВОДА

Одной из основных причин выхода из строя противопожарного водопровода является разрушение материала труб, из которых они изготовлены под действием различного рода воздействий как внешних, так и внутренних факторов.

Физические и химические воздействия на материал труб противопожарных водопроводов как следует из анализа литературных источников основными концентраторами напряжений приводящих к выходу из строя труб могут являться сварочные швы, приводят к изменениям в строении матричного металла, которые, в первую очередь, вызывают возникновение локальных напряжений в его структуре (т.е. в стенке трубы). При снятии внешнего воздействия эти напряжения могут релаксировать полностью до первоначального состояния металла или релаксировать частично.

В соответствии с этим разработка методов не разрушающего контроля работоспособности противопожарных водопроводов является актуальной научно-технической задачей.

Анализ существующих методов определения остаточных напряжений показал, что высокую актуальность имеет проблема разработки новых методов, которые бы сочетали преимущества разрушающих методов (высокую надежность, гарантированную погрешность определения остаточных напряжений, возможность определения распределения остаточных напряжений по глубине от поверхности) с неразрушающим принципом действия, имели достаточно высокую универсальность и высокие эксплуатационные качества.

В качестве одного из неразрушающих методов предлагается новый резистивный электроконтактный метод [1, 2]. Метод запатентован и применим к любым электропроводным металлам и сплавам, имеет высокую универсальность в отношении формы и размеров изделий.

Исследования проводились на авторской установке, внешний вид которой представлен на рис. 1.



Рис. 1. Экспериментальная установка

Основным элементом установки является рабочее тело – две стальные трубы одинакового диаметра 76 мм и с толщиной стенки 4 мм. Трубы сварены между собой поперечной сваркой. Внутри рабочего тела посредством воды создается необходимое избыточное давление. Контроль давления внутри установки осуществляется манометром. С помощью перепускного клапана происходит стравливание воздуха из внутренней полости. Давление создавалось посредством выдвигания поршня во внутреннюю полость рабочего тела. Схема устройства представлена на рис. 2.

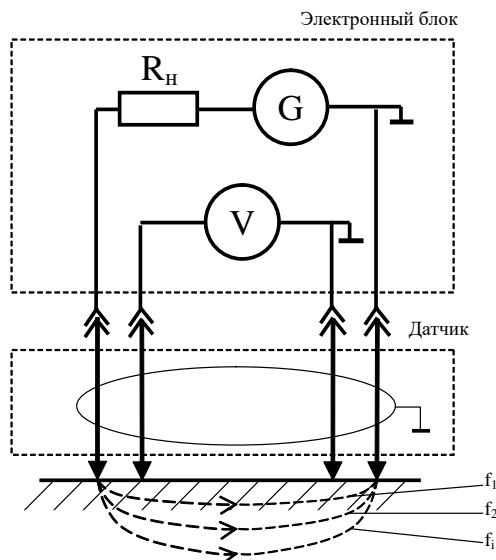


Рис. 2. Схема разрабатываемой аппаратуры: G – генератор, формирующий задающий сигнал переменной частоты; V – вольтметр, определяющий сигнал-отклик электрического напряжения; f_i – частота сигнала, определяющая глубину залегания тока.

Принцип работы заключается в послойном исследовании образца металла путём засылки в него электромагнитного поля различной амплитуды и частоты и измерения сигнала-отклика, параметры которого связаны с изменением напряжённого состояния образца. Глубина исследования обратно пропорциональна корню квадратному из частоты. Засылка электромагнитного поля и приём сигнала-отклика осуществляются, соответственно, внешними и внутренними парами электродов датчика. После предварительного усиления сигнал поступает в переносной модуль, который автоматически управляет частотой и амплитудой возбуждающего поля и осуществляет

первичную обработку принятого сигнала с записью результата в ячейку памяти. Считывание, обработка, расчет данных, а также построение эпюры распределения остаточных напряжений в измеряемом образце происходят с помощью компьютерной программы, обеспечивающей работу аппаратуры.

Таким образом, проведенными исследованиями установлено, что периодически возникающее давление в водопроводах оказывает влияние на накопление и увеличение количества и величины остаточных напряжений в материалах стенок труб.

Применяем математический аппарат с использованием полученных зависимостей можно прогнозировать время без аварийной работы водопроводов путем сопоставления результатов проведенных исследований и прочностными характеристиками используемого материала данных водопроводов.

Периодически возникающее давление в водопроводах оказывает влияние на напряженно-деформированное состояние материала стенок труб, посредством увеличения величины и концентрации остаточных микронапряжений.

Наиболее слабым местом водопроводов являются области вблизи сварочных швов, так как они могут представлять собой места зарождения микротрещин с последующим разрушением стенок труб в результате изменения физико-механических характеристик матричного металла при термическом воздействии на него во время сварочных работ.

Используемое в работе оборудование СИТОН-ТЕСТ может быть эффективно использовано для оценки надежности противопожарных водопроводов методом периодического неразрушающего контроля.

Библиографический список

1. **Васильков С.Д.** Применение неразрушающего резистивного электроконтактного метода контроля напряженного состояния металлов и сплавов после различных технологических воздействий / Техника и технологии трибологических исследований. Тезисы докладов II международного семинара. Иваново: Иван. гос. ун-т, 2009, с.45.
2. **Васильков С.Д., Александров А.С., Афанасьев И.В.** Определение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей из алюминиевого сплава после механической обработки // Инструмент и технологии, № 30-31, 2009. С. 83-85.

СЕКЦИЯ 24

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)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВИБРАЦИОННОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ПРИ ПОСЛОЙНОЙ ЗАГРУЗКЕ КОМПОНЕНТОВ

В работе [1] теоретически показано, что эффективным направлением повышения качества смешивания разнородных дисперсных материалов является структурированная (послойная) загрузка компонентов в смеситель. Это как бы осуществляется предварительное перемешивание компонентов в процессе загрузки, что при собственно перемешивании и приводит к повышению качества смеси и снижению необходимого времени смешивания.

Для реализации послойной загрузки была разработана конструкция вибрационного смесителя [2], принцип действия которого показан на рис. 1а.

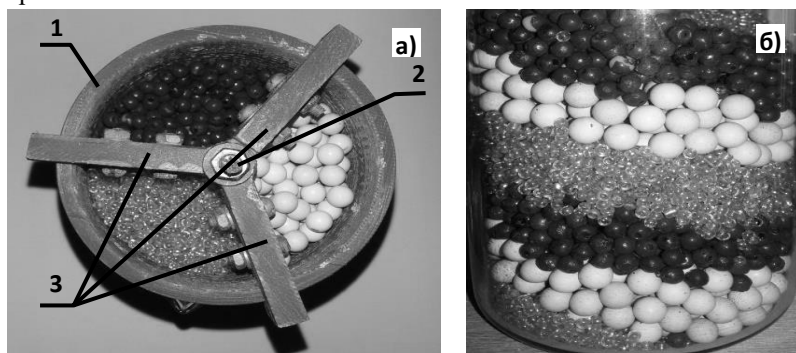


Рис.1. Конструкция смесителя (а) и пример расположения компонентов после загрузки (б): 1 - корпус смесителя; 2 – центральный вал; 3 – радиальные перегородки

В цилиндрическом корпусе смесителя 1 установлен вертикальный вал 2 с радиальными перегородками 3, между которыми загружаются исходные компоненты. Затем вал приводится во вращение и одновременно поднимается вверх, что обеспечивает послойную укладку компонентов как это показано на рис.1б. Изменяя угол между радиальными перегородками, можно формировать загрузку при любом содержании компонентов.

Математическая модель кинетики смешивания разнородных дисперсных материалов описана в работе [3]. Она основана на теории цепей Маркова и позволяет рассчитывать эволюцию распределения содержания компонентов в смеси при любом числе смешиваемых компонентов. В настоящей работе приведены результаты экспериментальной верификации этой модели. Эксперименты выполнены на лабораторном вибростенде при числе Фруда 1,6. Компоненты были представлены стеклянными шариками диаметром 2, 4 и 6 мм. Было выполнено сравнение смешивания при однократной загрузке и загрузке в виде двух сэндвичей. Фотографии состояния смеси в различные моменты времени показаны на рис.2.

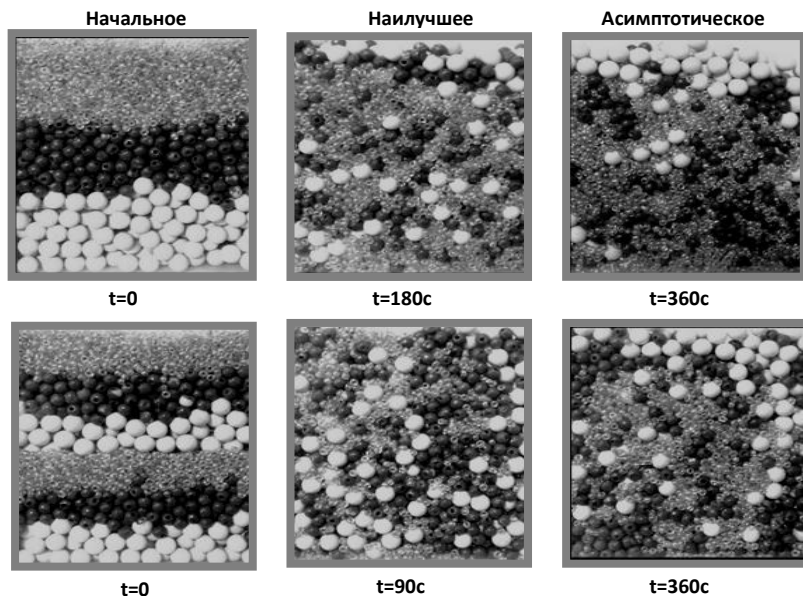


Рис.2. Фотографии состояния смеси при однократной загрузке и загрузке в виде двух сэндвичей

Качество смеси оценивалось среднеквадратичным отклонением σ фактического распределения от равномерного. Как это обычно бывает, равномерность смеси сначала увеличивается, потом проходит через экстремум, а дальше начинает ухудшаться. Смешивание должно быть прекращено, когда равномерность достигнет максимального значения. Результаты обработки экспериментов показаны на рис.3.

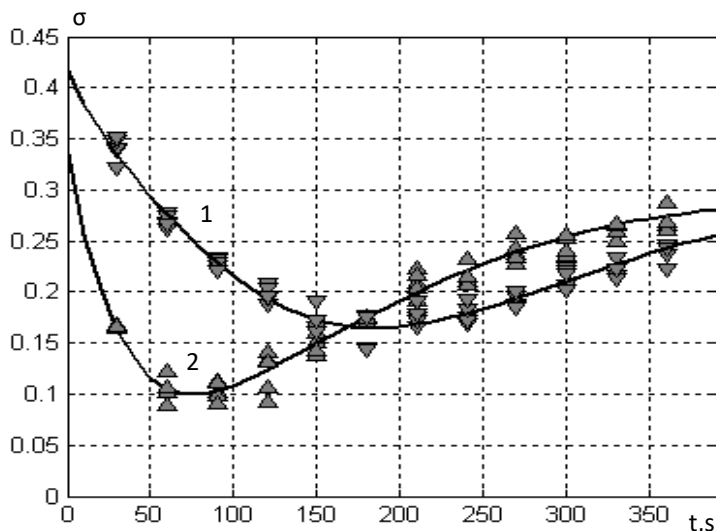


Рис.3. Кинетика смешивания при однократной (1) и структурированной (2) загрузке

Переход к многослойной загрузке позволяет улучшить максимально достижимое качество смеси почти в два раза и более, чем в три раза снизить необходимое время смешивания. Кроме того, показано, что экспериментальные данные хорошо соответствуют расчетным по разработанной ранее модели.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. Mizonov, V., Berthiaux, H., Gatamel, C. Theoretical search for solutions to minimize negative influence of segregation in mixing of particulate solids. *Particology* 25 (2016), pp. 36-41
2. Мизонов В.Е., Балагуров И.А. Патент на полезную модель 154248 Российская Федерация, В 01 F 13/00. Вибрационный смеситель сыпучих материалов / заявитель и патентообладатель ФГБОУВПО Ивановский государственный энергетический университет; опубл. 20.08.15

3. Mizonov, V., Balagurov, I., Berthiaux, H., Gatamel, C. A Markov chain model of mixing kinetics for ternary mixture of dissimilar particulate solids. Particuology (2016), <http://dx.doi.org/10.1016/j.partic.2016.05.006>

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

МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭВОЛЮЦИИ СОСТОЯНИЯ ЦЕПИ МАРКОВА С БЛУЖДАЮЩЕЙ ПОГЛОЩАЮЩЕЙ ЯЧЕЙКОЙ

Рассматривается модификация задачи «о пьяном матросе» (Drunk Sailor Problem) [1], когда на пути от бара (ячейка 1) к двери (за ячейкой m) в случайно расположенной между ячейками m_1 и m_2 включительно с определенной периодичностью K временных переходов в полу открывается люк, в который матрос проваливается с вероятностью, равной единице. Граф этой цепи показан на рис.1 (пример для $m=5$).

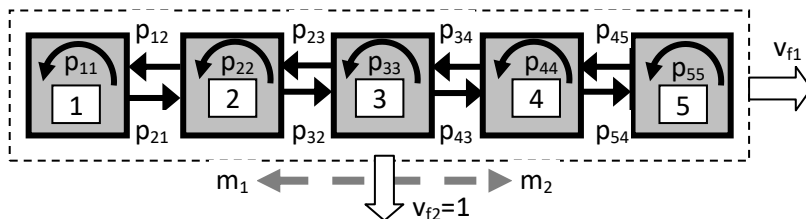


Рис.1. Граф цепи Маркова со случайно блуждающей поглощающей ячейкой

Математическая модель эволюции состояния цепи строится следующим образом. Сначала для закрытой эргодической цепи (обведена штриховой линией на рис.1) строится матрица переходных вероятностей P размером $m \times m$, элементы которой рассчитываются по формулам:

$$P_{j,j+1}=d; P_{j+1,j}=d, j=1, \dots, m-1; \quad (1)$$

$$P_{j,j} = 1 - \sum_{i=1}^m P_{i,j}, j=1, \dots, m. \quad (2)$$

Эволюция состояния этой цепи описывается рекуррентным матричным равенством:

$$\mathbf{S}^{k+1} = \mathbf{P}\mathbf{S}^k, \quad (3)$$

где \mathbf{S}^k – вектор k -го состояния цепи, а k – номер временного перехода (дискретный аналог времени), причем начальный вектор состояния соответствует матросу, стоящему у бара, то есть $S_1^0 = 1$.

Для того, чтобы учесть реально действующие в цепи стоки, выполняются следующие операции.

Выход за дверь после m -й ячейки:

$$q_1^{k+1} = S_m^{k+1} v_{f1}; \quad S_m^{k+1} := S_m^{k+1} - q_1^{k+1}, \quad (4)$$

где q_1^{k+1} – вероятность выйти за дверь на временном переходе $k \rightarrow k+1$, v_{f1} – переходная вероятность пройти дверь, а полная вероятность Q_1^{k+1} оказаться за дверью за $k+1$ переход есть кумулятивная сумма q_1^{k+1} от 1 до $k+1$.

Выход (провал) в случайно открывшийся люк:

$$q_2^{k+1} = S_J^{k+1} v_{f2}^k; \quad S_J^{k+1} := S_J^{k+1} - q_2^{k+1}, \quad (5)$$

где J – номер ячейки с открывшимся люком, случайное целое число, принадлежащее отрезку $[m_1, m_2]$, $v_{f2}^k = 1$, если $k = nK$ ($n=0, 1, 2, \dots$), где K – период (число переходов), с которым открываются люки (поглощающие ячейки), и $v_{f2}^k = 0$, если $k \neq nK$.

Описанная выше модель позволяет в результате численных экспериментов ответить на разнообразные вопросы об эволюции состояния цепи. Ниже рассмотрено определение вероятности матроса, в конце концов, выйти именно через дверь, то есть при $k \rightarrow \infty$. Очевидно, что при отсутствии люка ($v_{f2}^k = 0$ всегда) эта вероятность будет равна единице. Однако при его наличии появляется вероятность покинуть бар через люк, и вероятность выйти через дверь будет меньше единицы. Таким образом, в рассматриваемой цепи накладываются два случайных процесса: блуждание матроса по бару, определяемое детерминированными вероятностями, и блуждание люка как чисто случайный процесс.

На рис.2а-в показаны некоторые результаты численных экспериментов с моделью при открытии люка между 3-й и 7-й ячейками с интервалом 6 временных переходов. Рис.2а показывает зависимость вероятности выхода через дверь от сделанного числа

шагов в 50-ти случайных реализациях процесса. Видно, что от одного испытания к другому вероятности имеют значительный разброс. Рис.2б относится к полной вероятности выхода через дверь при $k \rightarrow \infty$ в 50-ти случайных реализациях процесса. Устойчивое распределение этой полной вероятности достигается при 4000 испытаний; это распределение показано на рис.2в. Рассчитанное по нему математическое ожидание вероятности выхода через дверь $\langle p(Q_1^\infty) \rangle$ составляет 0,3 (при дисперсии распределения $7,6 \cdot 10^{-3}$). Наконец, на рис.2г показана зависимость математического ожидания вероятности выхода через дверь от ширины зоны люков L и периода их открывания K .

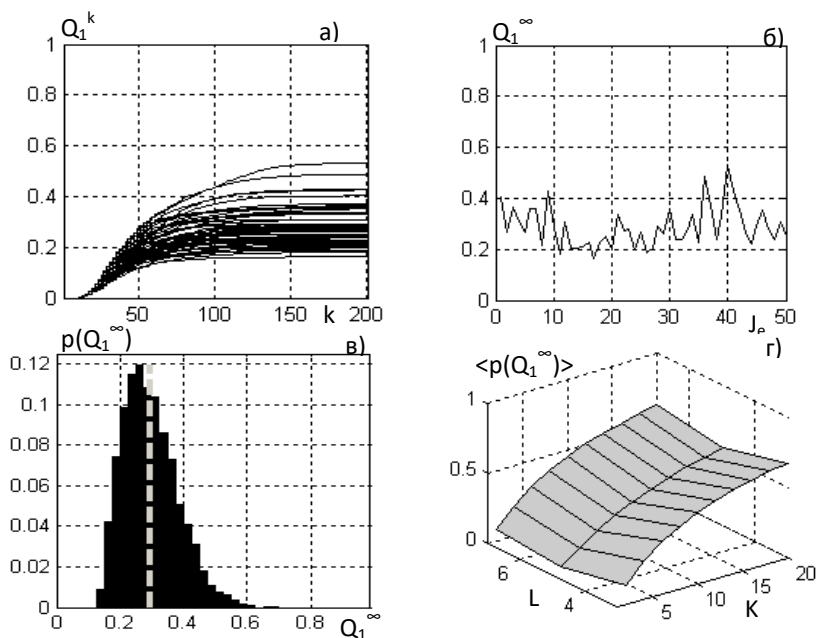


Рис.2. Результаты численных экспериментов с моделью: а) зависимость вероятности выхода через дверь от сделанного числа шагов в 50-ти случайных реализациях процесса; б) полная вероятность выхода через дверь в 50-ти случайных реализациях процесса; в) распределение вероятности выхода через дверь; г) зависимость выхода через дверь от ширины зоны люков и периода их открывания

То, что математическое ожидание вероятности выхода через дверь растет с ростом K , очевидно. Интересно то, что эта вероятность имеет минимум по длине зоны открытия люков: локализованная около

центра цепи и занимающая почти всю цепь длина дают примерно одинаковые вероятности, а при средней длине она имеет минимум.

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.

*А. Камело, асп.; рук. А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЯЧЕЕЧНАЯ МОДЕЛЬ ПЕРИОДИЧЕСКОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Применение циркуляционных реакторов является одним из перспективных направление повышения их производительности и качества получаемых продуктов. Типовым представителем реакторов такого типа является циркуляционный реактор с кипящим слоем, в котором могут осуществляться разнообразные процессы по теплофизической и химической переработке дисперсных материалов.

Принципиальная схема циркуляционного реактора и его ячеечная модель схематично показана на рис.1. Дисперсный материал представлен смесью двух фракций: исходный материал и продукты его обработки в реакторе, образующиеся в результате протекающих в нем физико-химических процессов, происходящих из-за взаимодействия частиц с подаваемым в реактор потоком газа.

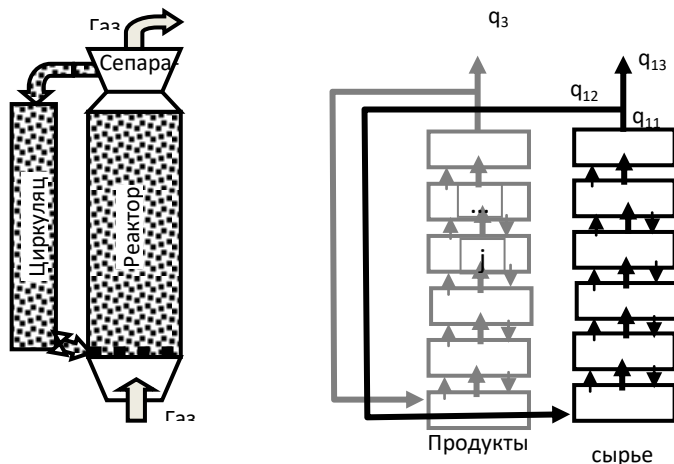


Рис.1. Расчетная схема и ячеечная модель процесса

В одномерной ячеечной модели высота реактора на m ячеек идеального перемешивания, а текущее распределение содержания частиц по высоте представлено вектором столбцом $\mathbf{S}=\{S_j\}$ размером $m \times 1$, где j – номер ячейки, отсчитываемы снизу. Состояние процесса фиксируется в дискретные моменты времени $t_k=(k-1)\Delta t$, где Δt – продолжительность временного перехода, а k – его порядковый номер (дискретный аналог текущего времени).

Для каждой фракции, характеризуемой скоростями витания V_{s1} (исходный материал) и V_{s2} (продукты реакции), сформирована своя цепь ячеек. Исходный материал подается в первую ячейку цепи 1 реактора и под действием восходящего потока газа, имеющего скорость в свободном сечении реактора W_0 , движется вверх, постепенно переходя во фракцию 2, которая обычно бывает легче и движется вверх с более высокой скоростью. Из реактора выходят два потока частиц 1 и 2, которые попадают в сепаратор, который (если он идеальный) возвращает обе фракции в нижнюю ячейку реактора. Эволюция состояния процесса (распределения материала по ячейкам) в закрытой цепи описывается рекуррентным матричным равенством:

$$\mathbf{S}_{1,2}^{k+1} = \mathbf{P}_{1,2} \mathbf{S}_{1,2}^k, \quad (1)$$

где \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей, а нижние индексы относятся к номерам фракций. Правила построения переходной матрицы в зависимости от скорости потока, скорости витания и коэффициента макродиффузии подробно описаны в работе [1].

На каждом временном переходе происходит превращение фракции 1 во фракцию 2, для которого в первом приближении предлагается использовать матричное равенство

$$\Delta \mathbf{S}_{1 \rightarrow 2}^k = \alpha (\mathbf{v}_1^k)^n \cdot \mathbf{S}_1^k, \quad (2)$$

где α и n – параметры скорости реакции, скорость которой зависит от локальной скорости \mathbf{v}_1^k обтекания частиц газом. Вектор $\Delta \mathbf{S}_{1 \rightarrow 2}^k$ следует вычесть из вектора \mathbf{S}_1^k и прибавить к вектору \mathbf{S}_2^k .

Для замыкания цикла количество каждой фракции, покидающей верхнюю ячейку цепи, вычитается из ее содержания в этой ячейке и добавляется в нижнюю ячейку. В рассматриваемой упрощенно модели этот перенос происходит без временной задержки, что ускоряет

процесс, но не влияет на сравнение вариантов.

Некоторые результаты расчетов по предложенной модели показаны на рис.2,3. Рис.2 иллюстрирует эволюцию распределения содержания фракций при различной безразмерной скорости газа w_0 . Графики ряда 1 соответствуют процессу в плотном слое, когда нет ожижения сырья и продуктов реакции. Ряд 2 относится к такой скорости газа, при которой происходит ожижение и циркуляция только продуктов реакции. Поскольку продукты реакции не претерпевают дальнейших изменений, этот случай является неблагоприятным, так как циркулирующие продукты реакции загромождают реактор и препятствуют обработке сырья. Ряд графиков 3 относится к полному ожижению всего материала, когда сырье тоже участвует в циркуляции (собственно, ради этого и организуется циркуляционный процесс).

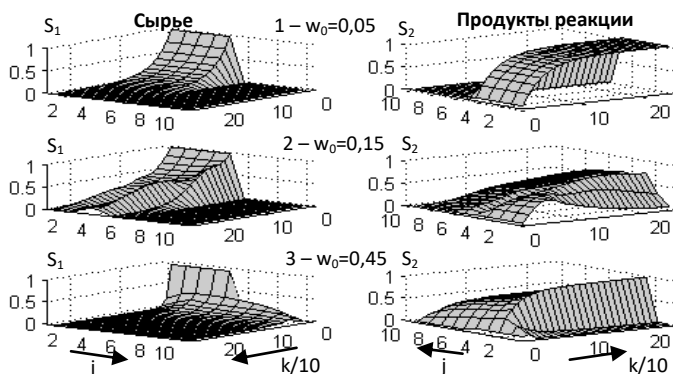


Рис.2. Эволюция распределения содержания фракций: 1 – процесс в плотном слое); 2 – ожижение только продуктов реакции; 3 – ожижение обеих фракций

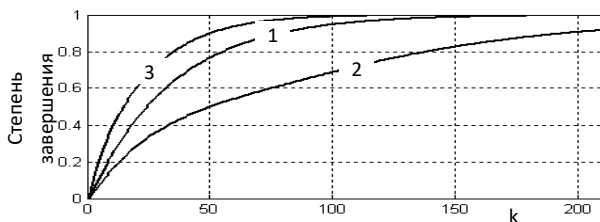


Рис.3. Кинетика протекания процесса (обозн. см. рис.2)

Кинетика протекания процесса для трех рассмотренных случаев показана на рис.3 и полностью соответствует описанной выше интерпретации. Таким образом, периодический циркуляционный слой

оправдывает себя только в режимах полного ожигения материала.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. Mizonov, V., Mitrofanov, A., Ogurtzov, A., Tannous, K. Modeling of Particle Concentration Distribution in a Fluidized Bed by Means of the Theory of Markov Chains//Particulate Science and Technology, Vol. 32 (2) (2014) 171-178.

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

ПОДАВЛЕНИЕ ПУЛЬСАЦИЙ ПОРЦИОННОЙ ПОДАЧИ МИКРОКОМПОНЕНТА В СМЕСИТЕЛЬ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ

Стабильность качества смеси дисперсных материалов на выходе из смесителя непрерывного действия существенно зависит от точности дозирования компонентов на входе в смеситель. В работе [1] подчеркивается, что при малом количестве ключевого компонента (микрокомпонента) стабильность непрерывного дозирования является технически проблематичной и предлагается перейти к порционному весовому дозированию, позволяющему обеспечить высокую точность за протяженный период времени. Однако при этом возникают пульсации подачи микрокомпонента, которые должны быть подавлены в смесителе. Ниже предлагается основанная на теории цепей Маркова математическая модель процесса, позволяющая оценить это подавление.

Расчетная схема процесса и его ячеечная модель показана на рис.1.

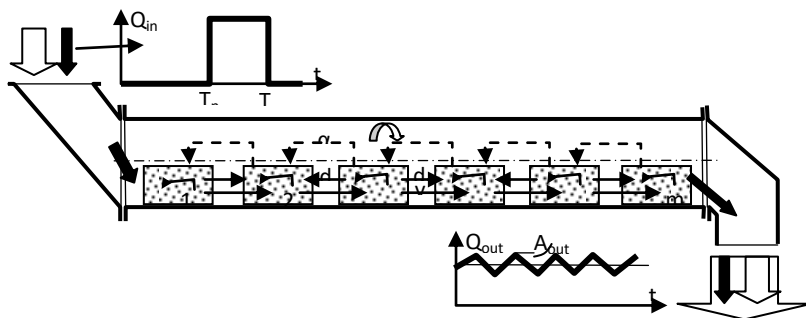


Рис.1. Расчетная схема процесса и его ячеечная модель

Порционная подача микрокомпонента осуществляется с периодом T , внутри которого в течение паузы T_p материал не подается, а собственно подача происходит в течение времени $T-T_p$. Распределение микрокомпонента по ячейкам цепи, моделирующей процесс перемешивания, представлено вектор-столбцом состояния \mathbf{S} размером $1 \times m$, а его эволюция – рекуррентным матричным равенством

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

где k – номер временного перехода продолжительностью Δt , \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей, рассчитываемая по правилам, описанным в [2]. После каждого перехода содержание микрокомпонента в ячейках 1 и m корректируется в соответствии с условиями подачи и выхода:

$$S_1^{k+1} = S_1^{k+1} + Q_{in}^{k+1}, \quad Q_{out}^{k+1} = S_1^{k+1} v_f, \quad S_m^{k+1} = S_m^{k+1} - Q_{out}^{k+1}, \quad (2)$$

где v_f – доля микрокомпонента, выводимая из смесителя за один временной переход.

На рис.2 показано влияние структуры порционной подачи на изменение во времени содержания микрокомпонента на выходе из смесителя. Расчеты выполнены при $d=0,2$; $v=0,3$; $v_f=0,3$; $T=40$ временных переходов для одинаковой средней производительности подачи, равной единице.

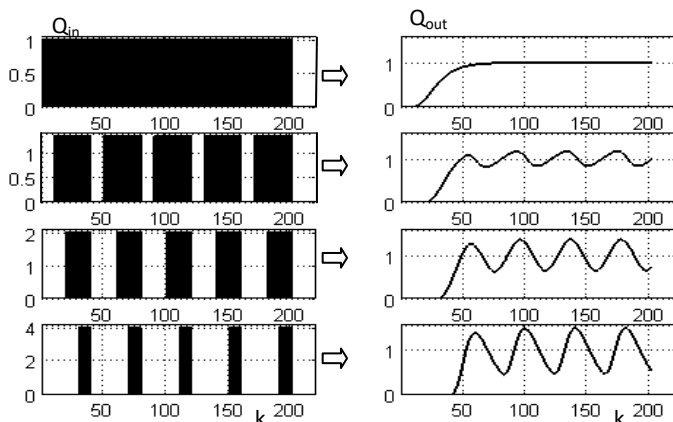


Рис.2. Влияние структуры порционной подачи на изменение во времени содержания микрокомпонента на выходе из смесителя.

При идеально равномерной подаче ключевого компонента (верхний ряд) флуктуации ключевого компонента на выходе отсутствуют. При одинаковом периоде порционной подачи с ростом

задержки подачи порций амплитуда флуктуаций резко возрастает. Однако уменьшение времени задержки подачи ограничено временем подготовки и введения порций на вход смесителя и вряд ли его относительная величина может быть меньше 0,5, что не может обеспечить приемлемую стабильность на выходе.

В работе [1] описана конструкция барабанного смесителя с внутрибарабанным устройством, позволяющим реализовывать внутреннюю циркуляцию ключевого компонента путем выделения в ячейке его доли α и направления ее в предыдущую ячейку (направление такой циркуляции показано на рис.1 штриховыми стрелками). Учет такой циркуляции в матрице переходных вероятностей P легко выполнить по описанным в [2] правилам.

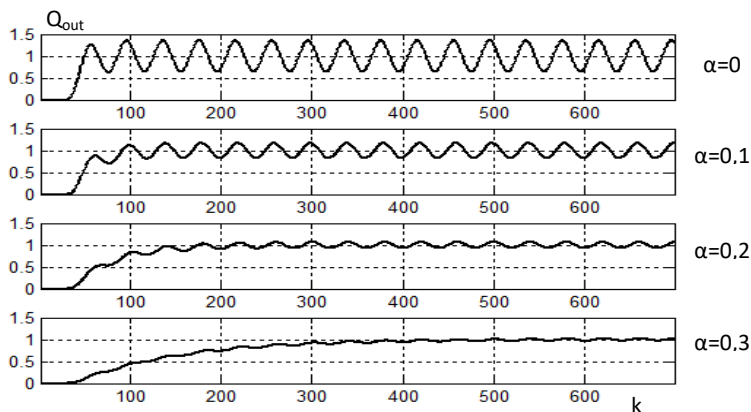


Рис.3. Влияние параметра циркуляции α на флуктуации ключевого компонента на выходе

Влияние параметра α на флуктуации ключевого компонента на выходе показано на рис.3. Рост α значительно снижает флуктуации, хотя и увеличивает время переходного процесса. Так при $\alpha=0,3$ пульсации порционной подачи почти полностью подавляются.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. Иванов, О. О. Управление сегрегированными потоками сыпучих материалов для их обработки методами разделения и соединения / О. О. Иванов, В. А. Пронин, Е. А. Рябова // Вестник Тамбовского государственного технического университета. – Тамбов, 2016. – Т. 22, № 3. – С. 397 – 410.

2. Баранцева Е.А., Мизонов В.Е., Хохлова Ю.В. Смешивание сыпучих материалов: моделирование, оптимизация, расчет / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», Иваново, 2008. – 116 с.

*Рыжакова Я.С., Плаксин А.В., студенты;
рук. доц. Митрофанов А.В.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСАДКИ БИООРГАНИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ ПРИ ИХ ТЕПЛОВОЙ ОБРАБОТКЕ В КОНИЧЕСКОМ КИПАЮЩЕМ СЛОЕ

Использование биотоплива является одним из перспективных направлений развития тепловой энергетики. Сжигание, пиролиз или газификация биологического дисперсного топлива может проводиться в плотном, взвешенном, кипящем или циркулирующем кипящем слое. При любом варианте процесс обработки сыпучего материала направлен на реализацию межфазного взаимодействия между движущимися друг относительно друга газовым потоком и слоем обрабатываемых частиц. В процессе этого взаимодействия массогабаритные свойства частиц изменяются в широком диапазоне, что в свою очередь отражается на режимных параметрах работы оборудования [1].

В то же время, если для процессов измельчения, истирания или грануляции исследованию кинетики изменения размеров частиц уделяется значительно внимание, то при моделировании массообменных процессов акцент обычно делается на отслеживании массы частиц, а размер их зачастую принимается постоянным. Такое допущение может оказаться грубым для описания тепло- и массообменных процессов в кипящем слое, если переработке подвергаются частицы, не имеющие жесткого каркаса, так как в этом случае, наряду с массой частиц, значительно изменяется и поверхность межфазного взаимодействия.

Целью настоящей работы является установление кинетических параметров деформации (усадки) биологических частиц в процессе их сушки во взвешенном состоянии.

Анализ литературных источников показал, что многие биологические материалы имеют линейную зависимость размера от влагосодержания [2]. К указанной группе могут быть отнесены

частицы картофеля или отходов картофелепродуктов, являющихся сырьем для производства жидкого биотоплива [3].

Исходя из того, что объемная усадка картофеля имеет линейную зависимость от влагосодержания [2], можно определить ее следующей формулой:

$$V = V_c(1 + \beta_v \cdot X), \quad (1)$$

где V – объем частицы при текущем значении влагосодержания X (кг.вл./кг.сух.мат.) в произвольный момент сушки, см^3 ; V_c – объем частицы абсолютно сухого материала, см^3 ; β_v – коэффициент объемной усадки – параметр модели.

Для проверки модели были проведены эксперименты по сушке в кипящем слое кубиков картофеля со стороной 5 мм. Экспериментальная установка представляла собой конический реактор кипящего слоя с углом раскрытия 8° на сторону и газораспределительной решеткой диаметром 100 мм. Газораспределительная решетка установки была выполнена, смонтированной снизу быстрорасъемной гильзы, вставляемой внутрь аппарата, что позволяло быстро извлекать весь материал для взвешивания. Влагосодержание частиц в процессе сушки изменялось от 3,86 до 0,23. При каждой выгрузке, кроме влагосодержания, измерялись и линейные размеры (h) 10 частиц, которые затем возвращались в слой. Нагнетаемый воздуходувкой РГН-427 сушильный агент (воздух) нагревался, проходя через электрический калорифер, а затем подавался в аппарат. Температура подаваемого в аппарат воздуха контролировалась цифровым термоанемометром РСЕ-424 и составляла 45°C . Расход сушильного агента измерялся ротаметром (расходная скорость составляла 3.75 м/с). Измерения продолжались до полной стабилизации температуры слоя, равной температуре подаваемого сушильного агента.

Полученные экспериментальные данные позволили подобрать, используя метод наименьших квадратов, коэффициент объемной усадки β_v , обеспечивающий минимальное расхождение между экспериментальными и расчетными значениями размеров частиц. Оптимальное значение искомого параметра β_v было определено методом перебора (шаг изменения β_v составлял 0,001, диапазон изменения искомого параметра находился в пределах от 0,2 до 0,9) и составило 0,617.

Таким образом, зависимость (1) для частиц картофеля будет иметь следующий вид

$$V = V_c \cdot (1 + 0,617 \cdot X). \quad (2)$$

Расчетно-экспериментальная кинетика изменения размеров частиц, показана на рис. 1.

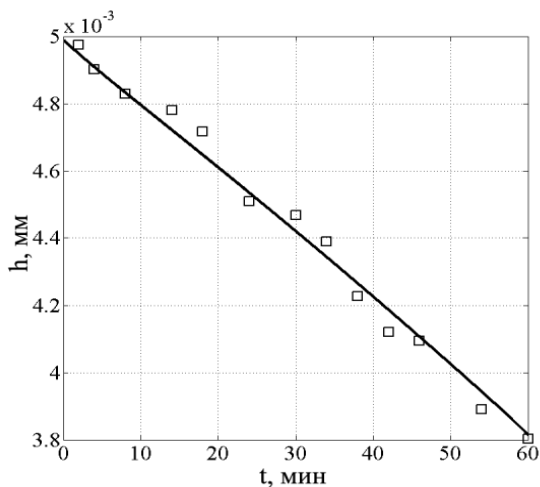


Рис. 1. Изменение среднего линейного размера частиц слоя (линия – расчетные значения, точки – экспериментальные значения)

Из графика видно, что предлагаемая экспериментальная зависимость (2) обеспечивает хорошее для инженерных задач соответствие расчетных и экспериментальных данных, что позволяет ее рассматривать как достоверную эмпирическую поддержку и структурный элемент более сложных моделей, описывающих комплексную переработку частиц картофеля, включающую процесс массоотдачи.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. **Митрофанов, А.В.** Экспериментальное исследование гидродинамики частиц биотоплива в топке с кипящим слоем / А.В. Митрофанов, К. Tannous, В.Е. Мизонов // Вестник ИГЭУ. – 2014. – № 3. – С. 65-67.
2. **Yadollahinia A., Jahangiri M.** Shrinkage of potato slice during drying. // Journal of Food Engineering. – 2009. – Vol. 94. – P. 52-58

3. **Handbook** of Industrial Drying / edited by A.S. Mujumdar. – 3rd edition. – CRC Press.: Taylor & Francis Group, 2006. – 1312 p.
4. **Чернова, Н.И.** Биомасса как источник энергии / Н.И. Чернова, Т.П. Коробкова, С.В. Киселева // Вестник РАЕН. – 2010. – №1. – С. 54-60.

*Гарманов В. С., Павленко М.Э., студенты;
рук. доц. Митрофанов А.В.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ СУШКИ ДИСПЕРСНОГО ТОПЛИВА В АППАРАТЕ КИПЯЩЕГО СЛОЯ ПЕРЕМЕННОГО СЕЧЕНИЯ

На тепловых электростанциях системы подготовки твердого топлива к сжиганию включают в себя устройства для подсушки. Удаление части влаги из топлива необходимо для улучшения его размола, хранения и транспортирования, а также интенсификации горения, однако, конечная влажность продукта обычно ограничивается из условий самовозгорания и взрывобезопасности. Таким образом, к расчету и прогнозированию процесса сушки сыпучего топлива предъявляются достаточно высокие требования не только с точки зрения экономии ресурсов, но и безопасности проведения процесса. Все это делает актуальной задачу совершенствования подходов к моделированию и расчету сушильного оборудования [1,2].

Технологические схемы, использующие технику псевдоожижения сыпучего материала, широко распространены в топливной энергетике. Моделированию процессов, проводимых в псевдоожиженном слое, уделяется немалое внимание, о чем свидетельствует значительное число научных публикаций, посвященных данной тематике. Тем не менее, проектирование и эксплуатация аппаратов с кипящим слоем остается делом сугубо экспериментальным, что указывает, в том числе, на малую пригодность предлагаемых моделей для инженерных расчетов [2].

Предлагаемая в настоящей работе модель внутреннего теплообмена в кипящем слое основана на теории цепей Маркова. Слой разбивается на цепь малых ячеек, из которых выделяется две параллельных цепи: одна для моделирования миграции частиц в слое, а другая – для движения газа [1]. При наличии теплообмена между газом и частицами происходит поперечная передача теплоты между сходственными ячейками цепей и продольный её перенос частицами и газом вдоль

соответствующих цепей.

Эволюция системы фиксируется через малые конечные промежутки времени, а каждый последующий вектор состояния получается из предыдущего путем умножения матрицы переходных вероятностей на текущий вектор состояния:

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

$$\mathbf{S}_g^{k+1} = \mathbf{P}_g^k \mathbf{S}_g^k + \mathbf{S}_{gf}, \quad (2)$$

где \mathbf{S}_p и \mathbf{S}_g – векторы-столбцы объемного содержания частиц и газа в ячейках, \mathbf{P}_p^k и \mathbf{P}_g^k – переходные матрицы для частиц и газа, зависящие от векторов состояния, \mathbf{S}_{gf} – вектор подачи газа.

Распределение температуры вдоль цепей может быть описано векторами температур \mathbf{T}_p и \mathbf{T}_g , а векторы текущих запасов теплоты в ячейках рассчитаны как $\mathbf{Q}_p = c_p \mathbf{S}_p \cdot \mathbf{T}_p$, $\mathbf{Q}_g = c_g \mathbf{S}_g \cdot \mathbf{T}_g$, где c_p и c_g – теплоемкости частиц и газа, \mathbf{S}_p и \mathbf{S}_g – содержания частиц и газа в ячейках, в общем случае переменные по высоте слоя, символ « \cdot » означает поэлементное умножение векторов. Таким образом, кинетика распределенного тепло- и массообмена в слое может быть описана рекуррентными матричными равенствами

$$\mathbf{M}_{wp}^{k+1} = \mathbf{P}_p^k (\mathbf{M}_{wp}^k - \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{p}_{ws}^k - \mathbf{p}_{wg}^k) \Delta t), \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_{wg}^{k+1} = \mathbf{P}_g^k (\mathbf{M}_{wg}^k + \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{p}_{ws}^k - \mathbf{p}_{wg}^k) \Delta t + \mathbf{M}_{wgf}), \quad (4)$$

$$\mathbf{Q}_p^{k+1} = \mathbf{P}_p^k (\mathbf{Q}_p^k + \boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{T}_g^k - \mathbf{T}_p^k) \Delta t - r \mathbf{k}_w \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{M}_{ws}^k - \mathbf{M}_{wg}^k) \Delta t), \quad (5)$$

$$\mathbf{Q}_g^{k+1} = \mathbf{P}_g^k (\mathbf{Q}_g^k - \boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{T}_g^k - \mathbf{T}_p^k) \Delta t + \mathbf{Q}_{gf}), \quad (6)$$

\mathbf{Q} – вектор количеств теплоты в ячейках, \mathbf{T} – вектор температур, \mathbf{M}_w – вектор масс влаги, содержащейся в материале топлива, \mathbf{M}_{wg}^k – вектор масс влаги, содержащейся в сушильном агенте, \mathbf{p}_{ws} и \mathbf{p}_{wg}^k – векторы парциальных давлений влаги на поверхности частиц и в потоке сушильного агента, $\boldsymbol{\beta}$ и $\boldsymbol{\alpha}$ – векторы коэффициентов массоотдачи и теплоотдачи, \mathbf{F}^k – вектор поверхностей обмена в ячейках, зависящий от концентрации частиц в них.

При моделировании тепло- и массопереноса в экспериментальной установке для расчета парциальных давлений \mathbf{p}_{ws} и \mathbf{p}_{wg} , а также коэффициентов массоотдачи и теплоотдачи $\boldsymbol{\beta}$ и $\boldsymbol{\alpha}$ использовались эмпирические соотношения, которые

рекомендованы в работах [2-4].

Экспериментальная установка представляла собой конический реактор кипящего слоя с углом раскрытия 8° на сторону и газораспределительной решеткой диаметром 100 мм. Нагнетаемый воздуходувкой РГН-427 воздух нагревался, проходя через калорифер, а затем подавался в аппарат. Температура подаваемого воздуха контролировалась термоанемометром РСЕ-424 и составляла 45°C . Расход сушильного агента измерялся ротаметром (расходная скорость $W_0=3,75$ м/с). В процессе сушки через определенные промежутки времени проводились измерения влагосодержания в пробах частиц биоорганического топлива (отходов картофелепродуктов, кубической правильной формы со стороной 5 мм), отбираемых из слоя. Результаты расчетного и экспериментального исследования переходного процесса высушивания слоя показаны на рис.1.

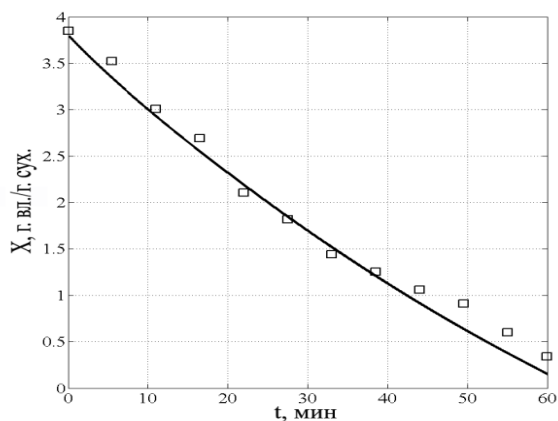


Рис. 1. Изменение среднего влагосодержания частиц топлива в кипящем слое (линия – расчетные значения, точки – экспериментальные значения)

Из графиков видно, что предлагаемая модель в сочетании с эмпирическими зависимостями для расчета коэффициентов скорости процессов обеспечивает хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. **Митрофанов, А.В.** Экспериментальное исследование гидродинамики частиц биотоплива в топке с кипящим слоем / А.В. Митрофанов, К. Tannous, В.Е. Мизонов // Вестник ИГЭУ.–2014.– № 3.– С. 65-67.
2. **Расчеты аппаратов кипящего слоя:** Справочник / Под ред. И.П. Мухленова, Б.С. Сажина, В.Ф. Фролова. – Л.: Химия, 1986. – 352 с.
3. **Овчинников, Л.Н.** Грануляция минеральных удобрений во взвешенном слое: монография / Л.Н. Овчинников. – Иваново. : ГОУ ВПО Иван. гос. хим.-технол. ун-т., 2010. – 168 с.
4. **Handbook of Industrial Drying** / edited by A.S. Mujumdar. – 3rd edition. – CRC Press.: Taylor & Francis Group, 2006. – 1312 p.

*Трушевич А.С., Панюшкин И.С., студенты;
рук. доц. Митрофанов А.В.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

**РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ
ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ВЫСОТЫ
КИПАЮЩЕГО СЛОЯ В ПРОЦЕССЕ СУШКИ
БИООРГАНИЧЕСКИХ ЧАСТИЦ**

В тепловой энергетике системы подготовки твердого топлива к сжиганию включают в себя оборудование для предварительного снижения его влажности (сушилки). Достаточно широкое распространение получили барабанные сушилки, распылительные, а также сушилки с кипящим слоем. Последние обеспечивают наиболее интенсивную сушку, однако, их внедрение ограничивается трудностью прогнозирования и управления режимными параметрами их работы, что в значительной мере свидетельствует о неудовлетворительном качестве существующих моделей псевдооживленного слоя. В одном случае модели оперируют с интегральным описанием слоя, рассматривая его как единое целое, что не позволяет отследить изменение условий протекания процессов в различных его зонах. В другом случае модели рассматривают условно бесконечно малый объем, что сопряжено с громоздкими вычислительными процедурами, требует наличия у инженера специальных знаний и оборудования [1].

Компромиссным вариантом, на наш взгляд, могут служить ячеечные модели, которые с одной стороны позволят учитывать локальные характеристики процесса, а с другой – дадут возможность определить желаемую меру этой «локальности».

Математической основой предлагаемой модели движения фаз и межфазного тепло- и массообмена в кипящем слое является

теория цепей Маркова. Пространство аппарата представлено как цепь малых ячеек конечного размера, из которых выделяется две параллельных цепи: одна для моделирования движения частиц, а другая – для перемещения сушильного агента. При наличии потенциалов переноса между газом и частицами происходит поперечная передача теплоты и влаги между сходственными ячейками цепей и продольный перенос свойств частицами и газом вдоль соответствующих цепей [1].

Изменение состояния системы рассматривается через малые конечные промежутки времени Δt , а каждый последующий вектор состояния получается из предыдущего путем умножения матрицы переходных вероятностей на текущий вектор состояния:

$$\begin{aligned} \mathbf{S}_p^{k+1} &= \mathbf{P}_p^k \cdot \mathbf{S}_p^k, & (1) \\ \mathbf{S}_g^{k+1} &= \mathbf{P}_g^k \cdot \mathbf{S}_g^k + \mathbf{S}_{gf}, & (2) \end{aligned}$$

где \mathbf{S}_p и \mathbf{S}_g – векторы-столбцы объемного содержания частиц и газа в ячейках, \mathbf{P}_p^k и \mathbf{P}_g^k – переходные матрицы для частиц и газа, зависящие от векторов состояния, \mathbf{S}_{gf} – вектор подачи газа [1].

Таким образом, кинетика тепло- и массообмена в слое описывается рекуррентными матричными соотношениями

$$\mathbf{M}_{wp}^{k+1} = \mathbf{P}_p^k (\mathbf{M}_{wp}^k - \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{p}_{ws}^k - \mathbf{p}_{wg}^k) \Delta t), \quad (3)$$

$$\mathbf{M}_{wg}^{k+1} = \mathbf{P}_g^k (\mathbf{M}_{wg}^k + \boldsymbol{\beta} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{p}_{ws}^k - \mathbf{p}_{wg}^k) \Delta t + \mathbf{M}_{wgf}), \quad (4)$$

$$\mathbf{Q}_p^{k+1} = \mathbf{P}_p^k (\mathbf{Q}_p^k + \boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{T}_g^k - \mathbf{T}_p^k) \Delta t - r \mathbf{k}_w \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{M}_{ws}^k - \mathbf{M}_{wg}^k) \Delta t), \quad (5)$$

$$\mathbf{Q}_g^{k+1} = \mathbf{P}_g^k (\mathbf{Q}_g^k - \boldsymbol{\alpha} \cdot \mathbf{F}^k \cdot (\mathbf{T}_g^k - \mathbf{T}_p^k) \Delta t + \mathbf{Q}_{gf}), \quad (6)$$

\mathbf{Q} – вектор количеств теплоты в ячейках, \mathbf{T} – вектор температур, \mathbf{M}_w – вектор масс влаги, содержащейся в материале топлива, \mathbf{M}_{wg} – вектор масс влаги, содержащейся в сушильном агенте, \mathbf{p}_{ws} и \mathbf{p}_{wg} – векторы парциальных давлений влаги на поверхности частиц и в потоке сушильного агента, $\boldsymbol{\beta}$ и $\boldsymbol{\alpha}$ – векторы коэффициентов массоотдачи и теплоотдачи, \mathbf{F}^k – вектор поверхностей обмена в ячейках, зависящий от концентрации частиц в них [1].

Распределение температуры вдоль цепей может быть описано векторами температур \mathbf{T}_p и \mathbf{T}_g , а векторы текущих запасов теплоты в

ячейках рассчитаны как $Q_p=c_p S_p \cdot T_p$, $Q_g=c_g S_g \cdot T_g$, где c_p и c_g – теплоемкости частиц и газа, S_p и S_g – содержания частиц и газа в ячейках, в общем случае переменные по высоте слоя, символ «.*» означает поэлементное умножение векторов.

Расчет коэффициентов межфазного обмена выполнен по эмпирическим соотношениям, предложенным в работе [2]

$$Nu=2.0+0.6 \cdot Re^{1/2} Pr^{1/3}, \quad (7)$$

$$Sh=2.0+0.6 \cdot Re^{1/2} Sc^{1/3}, \quad (8)$$

где Sc – число Шмидта, Pr – число Прандтля.

Уравнения (3)-(8) позволяют описывать межфазный тепло- и массоперенос на любом рекуррентном шаге k , а матричные равенства (1)-(2) описывают эволюцию распределения твердой и газовой фазы по ячейкам соответствующих цепей. Верхняя ячейка N , в которой на данном шаге содержится твердый материал считается целочисленной высотой слоя, выраженной в ячейках. Так как высота каждой ячейки равна Δx , то фактическое значение высоты слоя составит $h= N \cdot \Delta x$.

Расчетные результаты были сопоставлены с экспериментальными данными, полученными ранее [1]. Результаты сравнения представлены на рис. 1.

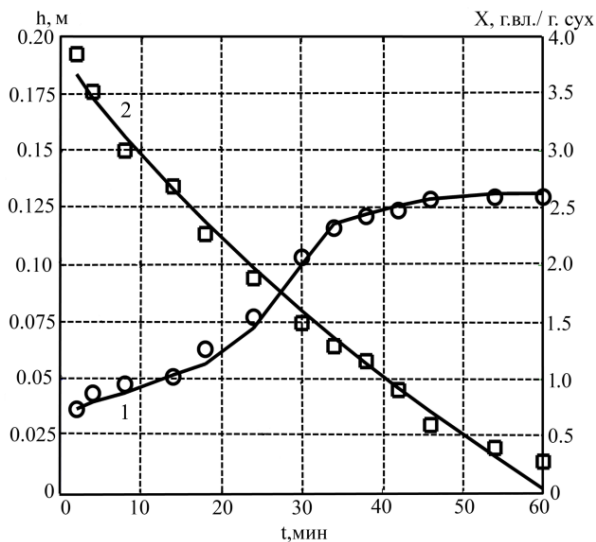


Рис. 1. Изменение среднего влагосодержания частиц биотоплива и соответствующей высоты кипящего слоя

Из графиков видно, что предлагаемая модель в сочетании с эмпирическими зависимостями (7)-(8) обеспечивает хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных как по кинетике процесса сушки, так и по изменению высоты кипящего слоя.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. **Митрофанов, А.В.** Экспериментальное исследование гидродинамики частиц биотоплива в топке с кипящим слоем / А.В. Митрофанов, К. Tannous, В.Е. Мизонов // Вестник ИГЭУ.–2014.– № 3.– С. 65-67.
2. **Bird, R.B.,** Steward, W.E., Lightfoot, E.N. (2002). Transport Phenomena, John Wiley & Sons, Inc., New York.

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

ОБОГАЩЕНИЕ СМЕСИ РАЗНОПРОЧНЫХ КОМПОНЕНТОВ

Различная интенсивность измельчения компонентов разной прочности приводит к тому, что частицы более прочного компонента после измельчения оказываются более крупными по сравнению с частицами менее прочного компонента смеси. Классификация такой смеси по крупности позволяет обогащать готовый продукт целевым компонентом.

Целью данного исследования является оценка эффективности обогащения смеси разнопрочных компонентов в ходе их совместного измельчения. В качестве объекта исследования выбрана струйная мельница кипящего слоя, а предметом исследований является процесс измельчения смеси разнопрочных компонентов в данной мельнице.

Для описания кинетики измельчения и определения степени обогащения продуктов разделения использована математическая модель, основанная на уравнении Больцмана [1]

$$f'_i + (vf)'_x + (af)'_v = f_c, \quad (1)$$

где f – искомая плотность распределения вещества по расчетному пространству, a – ускорение, f_c – источниковый член уравнения, описывающий внешние потоки и переходы частиц между фракциями при измельчении, повторение индекса « k » в слагаемых левой части показывает суммирование по этому индексу.

Для решения уравнения (1) используется матричный метод [1], в котором непрерывная плотность распределения вещества заменяется дискретным ее представлением по выделенным ячейкам расчетного пространства. Многомерное расчетное пространство для этого преобразуется в одномерную цепь ячеек, искомая плотность распределения вещества по ячейкам представляется одномерным вектором $\mathbf{f} = \{f_i\}$, где индекс i – номер элемента. Указывая для каждой ячейки адреса ячеек, в которые возможен переход, и вероятности этих переходов, эволюция состояния системы во времени описывается выражением

$$f_i^{k_1+1} = \sum_j p_{ij} f_j^{k_1}, \quad (2)$$

где k_1 – номер шага по времени.

При измельчении разнопрочных компонентов искомая плотность определялась раздельно для каждого компонента. Для оценки эффективности обогащения используется степень разделения компонента (eps), значение которой при полном выделении компонента равно единице, а при отсутствии разделения – нулю: $\text{eps} = M_k / M_{k_0} - M_y / M_{y_0}$, где M_k, M_y – массопотоки компонентов с разной прочностью на выходе из установки; M_{k_0}, M_{y_0} – аналогичные величины на входе в мельницу. В ходе расчетных исследований по предложенной модели кинетики селективного измельчения (1)-(2) определяются численные значения M_k, M_y .

Результаты расчетных исследований в виде зависимости степени разделения компонентов от числа актов измельчения при разном соотношении прочностных свойств компонентов приведены на рисунке. Для характеристики прочностных свойств компонентов используется коэффициент пропорциональности в энергетическом законе измельчения Риттингера C_R [1]. Анализ полученных зависимостей показывает, что при одинаковой прочности компонентов (кривая 7) обогащения не происходит, а степень разделения компонентов всегда равна нулю. При существенном различии прочностных свойств (кривая 1) наблюдается практически полное разделение компонентов.

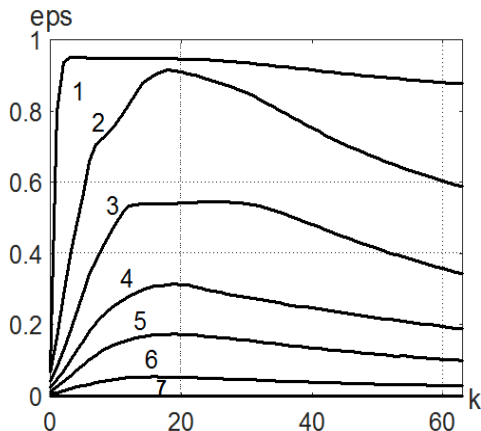


Рис. Зависимость степени разделения компонентов от числа актов разрушения для разного соотношения прочностных свойств компонентов:
 1 – $C_{Ry} / C_{Rk} = 333$; 2 – 33; 3 – 16;
 4 – 10; 5 – 6; 6 – 3; 7 – 1

Данный подход, основанный на использовании дискретных аналогов уравнения Больцмана, рекомендуется использовать для поиска эффективных технологий разделения смеси разнопрочных компонентов.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. Жуков В.П., Otwinowski H., Беляков А.Н., Urbaniak D. Описание процессов измельчения и классификации сыпучих материалов на основе уравнения Больцмана. Вестник ИГЭУ, 2011, № 1. С.108.

*И.В. Груданов, студ.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.,
 Барочкин А.Е, к.т.н., доц.
 (ИГЭУ, г.Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ТЕПЛОПЕРЕДАЧИ В СПИРАЛЬНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТАХ

Спиральный теплообменный аппарат (СТОА) относится к пластинчатым теплообменникам и является одним из широко используемых устройств в таких отраслях промышленности, где помимо воды и пара в качестве теплоносителей требуется использовать жидкости, содержащие до 20% примесей.

Расчет таких аппаратов осложняется необходимостью учета теплообмена внутреннего потока теплоносителя с двумя соседними потоками теплоносителей. Характер движения потоков теплоносителей схематично проиллюстрирован на рис. 1.

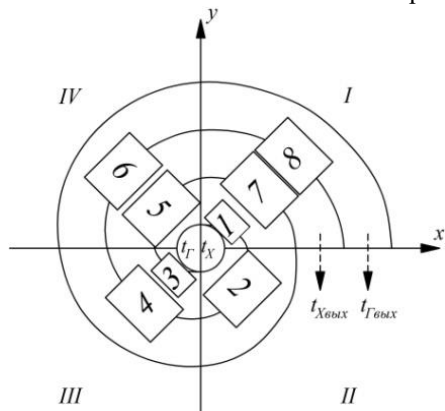


Рис. 1. Схема потоков СТОА и его представление в виде каскада четырехполосников

Моделирование процесса теплопередачи выполняется на основе метода матричной формализации расчета многоступенчатых теплообменных аппаратов [1], где каждая ступень представляется четырехполосником с двумя входными и двумя выходными потоками по горячему и холодному теплоносителю соответственно. Вариант представления спирального теплообменника в виде каскада четырехполосников

также проиллюстрирован на рис. 1. Для описания теплопередачи от внутреннего потока теплоносителя двум соседним теплоносителям каждый внутренний поток условно разделён пополам непроницаемой стенкой, через которую не происходит передача тепловой энергии. Расчетная схема спирального теплообменного аппарата в виде каскада четырехполосников показана на рис. 2. При разработке математического описания в рамках матричной формализации расчета [1] связь между отдельными ступенями описывается с помощью матрицы коммутации $\mathbf{K}_{ij}=[a_{11} \ a_{12}; a_{21} \ a_{22}]$, элементы которой показывают доли горячего и холодного теплоносителей направляемые из j -ого в i -ый элемент расчетной схемы.

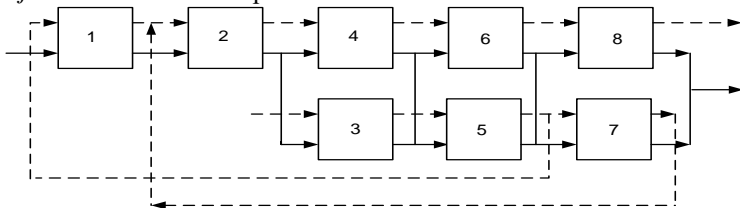


Рис. 2. Расчетная схема спирального теплообменного аппарата. Сплошной линией показаны потоки холодного, штриховой – горячего теплоносителя, цифрами указаны номера ступеней, соответствующие номерам на рис. 1

Расчет теплообменного аппарата в рамках матричной формализации позволяет определить величину температуры каждого теплоносителя в произвольной точке аппарата. Результаты расчетного анализа в виде изменения температуры вдоль поверхности нагрева приведены на рис. 3.

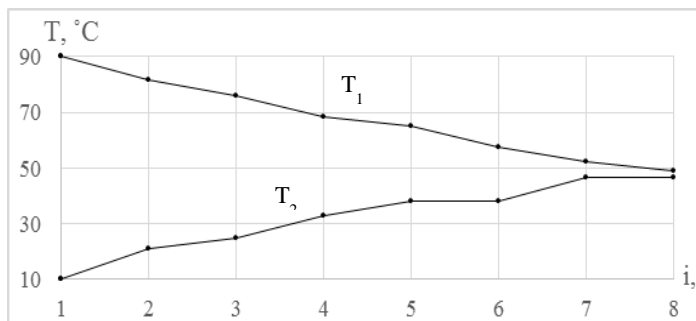


Рис.3. График изменения температур горячего (T₁) и холодного (T₂) теплоносителей вдоль поверхности теплообмена спирального теплообменного аппарата

Предложенная модель позволяет проводить как поверочные, так и проектные расчеты спиральных теплообменных аппаратов.

Библиографический список

1. Жуков В.П., Барочкин Е.В. Системный анализ энергетических тепломассообменных установок. Иваново 2009, 176 с.

*К.В. Пискарев, М.В. Сахаров, студ.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТНО-ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ПУЗЫРЬКОВ ГАЗА В СЛОЕ ЖИДКОСТИ

Площадь межфазной поверхности в барботируемом газом слое жидкости во многом определяет кинетику процессов тепло- и массопереноса между фазами. Величина площади межфазной поверхности в барботируемом слое, в свою очередь, во многом определяется характером движения пузырьков газа в слое жидкости. Целью предлагаемой работы является проведение расчетно-экспериментальных исследований характера движения пузырьков газа в слое жидкости с учетом теплообмена между газом и жидкостью.

Для расчетного исследования процесса использована модель движения отдельного пузырька газа с учетом теплообмена между газом и жидкостью [1]. Задача движения и теплообмена для одиночного пузырька в слое жидкости рассматривается в одномерной постановке в системе координат, представленной на рис. 1.

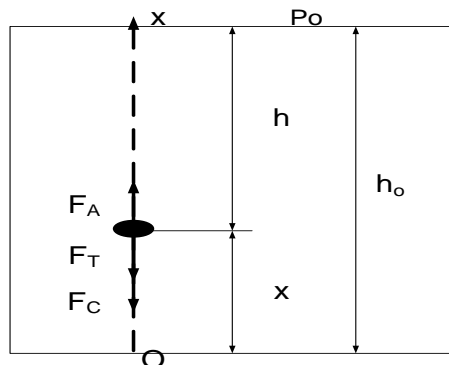


Рис. 1. Расчетная схема задачи движения и теплообмена пузырька газа в слое жидкости

На глубине h_0 от поверхности жидкости образуется пузырек радиусом r_0 с температурой газа T_0 . Считается, что на пузырёк при его всплытии кроме силы Архимеда (F_A) и силы тяжести (F_T) действует также сила гидродинамического сопротивления (F_C). Уравнение движения с учетом теплопередачи между жидкостью и пузырьком газа после преобразований записывается в виде системы трех дифференциальных уравнений относительно трех неизвестных функций: координаты пузырька $x(t)$, скорости его движения $v(t)$ и температуры газа пузырька $T(t)$

$$\begin{cases} \frac{dx}{dt} = v; \\ \frac{dv}{dt} = -g - \frac{3}{8} \cdot \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_r(x, T)} \cdot \frac{C_f}{r(x, T)} \cdot |v| \cdot v + \frac{\rho_{\text{ж}}}{\rho_r(x, T)} g; \\ \frac{dT}{dt} = \frac{3\alpha}{c_r \cdot r(x, T) \cdot \rho_r(x, T)} (T_{\text{ж}} - T) \end{cases} \quad (1)$$

где v – скорость пузырька газа; r – радиус пузырька; ρ_r и $\rho_{\text{ж}}$ – плотности газа и жидкости соответственно; $C_f = f(\text{Re})$ – коэффициент сопротивления в функции от числа Рейнольдса [1], α – коэффициент

теплоотдачи, c – теплоемкость газа, индекс «г» – относится к газу, «ж» – к жидкости.

Численное решение системы (1) получено методом Рунге-Кутты четвертого порядка для следующих исходных данных: $\alpha=3000$ Вт/м²К, $r_0=0,005$ м, $\rho_{ж}=1000$ кг/м³, $h_0=1$ м, $c=1918$ Дж/кг·К, $T_r=T_{ж}=293$ К. Результаты решения представлены на рис. 2 в виде зависимостей искомых функций $x(t)$ и $v(t)$ от времени процесса.

Для экспериментального исследования процесса движения пузырька в слое жидкости разработана специальная лабораторная установка, включающая мерную колбу, систему подачи пузырька в слой жидкости, кинокамеру, термометр. Цель эксперимента: получить экспериментальные зависимости координаты и скорости пузырька от времени.

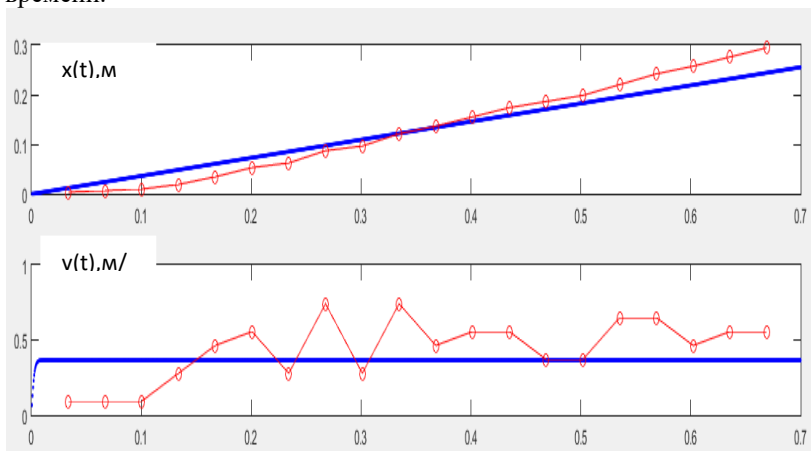


Рис. 2. Сопоставление результатов расчетных (линии) и экспериментальных (точки) исследований закона движения пузырька $x(t)$ и закона изменения его скорости $v(t)$ t, с

Результаты экспериментальных исследований приводятся на рис. 2 в виде точек. Сопоставление расчетных и экспериментальных данных позволило выявить качественно верное описание моделью реального процесса. Однако, нарастание скорости в начальный момент времени в модели оказалось намного быстрее, чем в эксперименте. Кроме этого, анализ характера изменения скорости показал наличие периодических колебаний экспериментального значения скорости относительно расчетного значения этой скорости. Качественно периодические колебания скорости в эксперименте можно объяснить тем, что моделирование велось при одномерной постановке задачи, в то время

как в эксперименте наблюдалось движение пузырька по спирали. Данные экспериментальные результаты, безусловно, представляют научный интерес, заслуживают пристального внимания и количественного теоретического обоснования.

Библиографический список

1. Жуков В.П., Барочкин Е.В., Неназников А.Ю., Беляков А.Н., Росляков А.Н. Эволюция межфазной поверхности теплообмена в барботируемом слое // Вестник ИГЭУ.- 2012.-вып.4.- С.12-16.

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

АЛГОРИТМ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПОПАДАНИЯ ТОЧКИ В ЗАДАННОЕ МНОЖЕСТВО ОБЛАСТЕЙ НА ПЛОСКОСТИ

В настоящее время становится актуальной задача определения попадания точки с известными координатами в заданную область или в заданное множество областей на плоскости или в пространстве. Эта задача актуальна, например, для определения возможности функционирования технологического оборудования с известными режимными параметрами или для определения местоположения точки на местности по известным ее координатам.

Целью работы является определение попадания объекта (точки) в заданное множество областей на плоскости.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Задача определения попадания точки с известными координатами в треугольную область по заданным координатам вершин треугольника.
2. Задача определения попадания точки с известными координатами в многоугольную область по заданным координатам ее вершин.
3. Программная реализация разработанного алгоритма для определения попадания точки в один из элементов множества заданных областей.

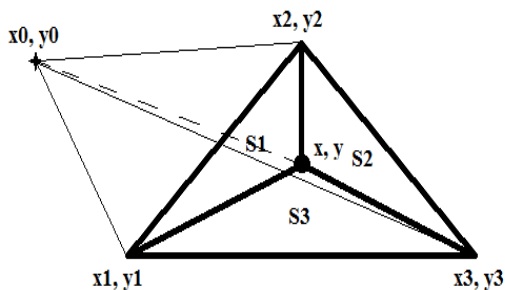


Рис. 1. К решению задачи попадания точки в треугольную область

При решении первой задачи для определения нахождения объекта в треугольной области в качестве критерия выбирается сравнение площадей треугольников, показанных на рис. 1. Сначала определяется площадь исходной треугольной области S . Затем определялись площади трех треугольников, образованных одной из сторон заданной треугольной области и точкой с известными координатами, для которой решается задача (рис. 1). Если точка с известными координатами (x, y) находится внутри треугольной области, то сумма площадей треугольников S_1, S_2, S_3 равна площади всей треугольной области S . Если это условие не выполняется, то точка находится вне заданной треугольной области.

При решении второй задачи для описания области со сложными произвольными границами используется многоугольник, границы которого совпадают с границами заданной области. Данный многоугольник разбивается на совокупность треугольников с одной общей вершиной согласно рис. 2. После этого проводится проверка попадания точки поочередно в каждый из полученных треугольников. В данном случае решение задачи 2 сводится к решению задачи 1 для каждого треугольника многоугольной области.

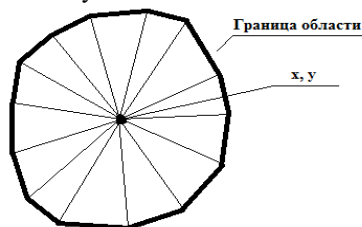


Рис. 2. Представление сложной области в виде многоугольника, состоящего из множества треугольников с одной общей вершиной

Решение третьей задачи рассматривается на примере множества заданных областей, определяемых зданиями корпусов ИГЭУ. В данном случае каждое здание рассматривается как многоугольник. Решение задачи 3 сводится, таким образом, к последовательному решению задачи 2 для каждой области. В ходе решения задачи в данном случае определяется корпус или его часть, в которой находится точка с известными координатами. На рис. 3 схематично показаны корпуса университета с указанием переходов между ними в виде экранной формы компьютерной реализации решения задачи.

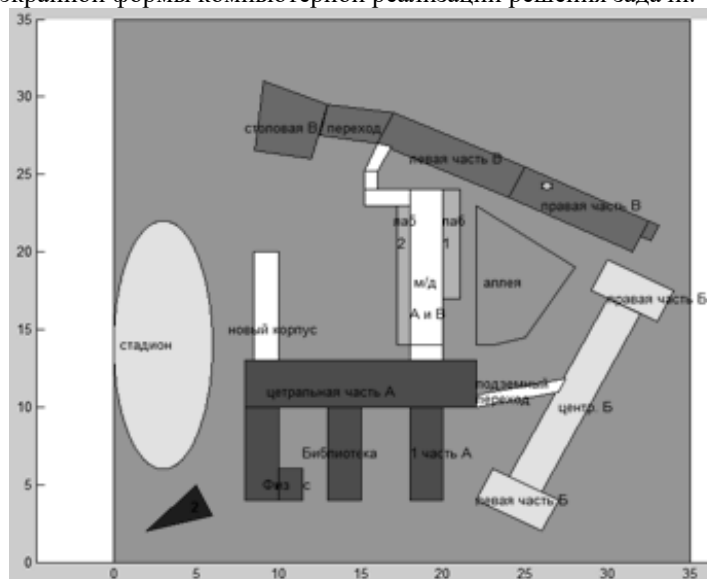


Рис. 3. Результат решения задачи по определению попадания точки с известными координатами в заданное множество областей на плоскости

Дальнейшее развитие работы предполагает проводить в направлении определения попадания точки в объёмную область, путём учета дополнительной координаты.

Библиографический список

1. Шахрамьян М.А. Пособие по проведению занятий с использованием Глонасс /GPS навигаторов. – Москва – 2008. – 38 с.

*А.А. Вороненкова, студ; И.В. Куприн, студ; рук. Е.А. Шуина, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОСТРОЕНИЕ ФИГУР ЛИССАЖУ

Важнейшей характеристикой периодических процессов является частота. Необходимость в измерении частоты возникает во многих областях науки и техники и, особенно в радиоэлектронике, которая охватывает обширную область электрических колебаний от инфранизких до сверхвысоких частот включительно.

Измеряемая частота может быть определена сравнением её с известной опорной частотой с помощью электроннолучевого осциллографа по схеме, показанной на рисунке 1.

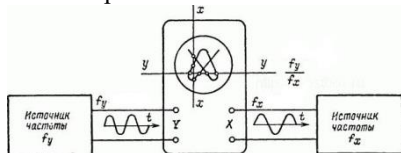


Рисунок 1 - Схема измерения частоты

Если эти частоты относятся друг к другу как целые числа, например 1:1, 2:1, 3:2 и т. п., то перемещение электронного луча приобретает периодический характер и на экране наблюдается неподвижное изображение, называемой фигурой Лиссажу. Форма этой фигуры зависит от соотношения амплитуд, частот и начальных фаз сравниваемых колебаний.

Математическое выражение для кривой Лиссажу [1]

$$\begin{cases} x(t) = A \cdot \sin(f_x \cdot t + \varphi), \\ y(t) = B \cdot \sin(f_y \cdot t), \end{cases}$$

где A, B – амплитуды колебаний; f_y, f_x – частоты; φ – сдвиг фаз.

Для расчета и построения фигур Лиссажу было создано приложение в среде Microsoft Visual Studio 10.0 на языке C# (рисунок 2). [2]

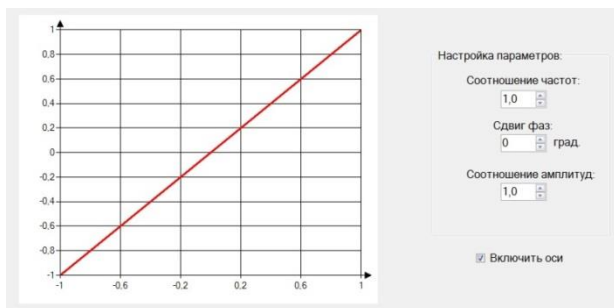


Рисунок 2 – Внешний вид приложения

В таблице 1 представлены построенные фигуры Лиссажу для некоторых соотношений частот. Из форм полученных фигур видно, что чем больше числа дроби, характеризующей отношение сравниваемых частот, тем сложнее фигура Лиссажу, наблюдаемая на экране.

Таблица 1 – Фигуры Лиссажу при различных соотношениях частот f_x и f_y

$\frac{f_y}{f_x}$	Фазовый сдвиг φ				
	0	45°	90°	135°	180°
1:1					
3:2					
2:1					
5:2					
3:1					
7:2					

Чтобы измерить опорную частоту, полученную фигуру мысленно пересекают линиями ХХ и УУ и подсчитывают число пересечений каждой из линий с фигурой. Отношение полученных чисел точно равно отношению частот $f_y:f_x$ при условии, что проведённые линии не проходят через узловые точки фигуры или касательно к ней, а форма сравниваемых колебаний близка к синусоидальной. Определив отношение $f_y:f_x$ и зная одну из частот, легко найти вторую частоту.

Но на высоких частотах даже малая нестабильность одной из частот вызывает столь быстрые изменения фигуры Лиссажу, что становится невозможным определить отношение частот. Это ограничивает верхний предел измеряемых частот значением примерно 10 МГц. Также, возрастает возможность ошибки в установлении истинного отношения частот из-за усложнения фигуры Лиссажу при целочисленном отношении сравниваемых частот, превышающем 8-10, или дробном их отношении с числами в знаменателе или числителе, большими 4-5.

Библиографический список

3. Бекшаев С.Я., Фомин В.М. Основы теории колебаний: учебное пособие. Одесса: Одесская государственная академия строительства и архитектуры, 2013 - 103 с.

4. **Джеффри Рихтер.** Программирование на платформе Microsoft.NET Framework 4.0 на языке C#. 3-е изд. Питер, 2012.

*А.Д. Потехин, студ.; рук. Е.А. Шуина, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ ЦЕПЯМИ МАРКОВА В СРЕДЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ MATLAB

Очень удобно описывать появление случайных событий в виде вероятностей переходов из одного состояния системы в другое, так как при этом считается, что, перейдя в одно из состояний, система не должна далее учитывать обстоятельства того, как она попала в это состояние.

Случайный процесс называется марковским процессом (или процессом без последствия), если для каждого момента времени t вероятность любого состояния системы в будущем зависит только от ее состояния в настоящем и не зависит от того, как система пришла в это состояние.

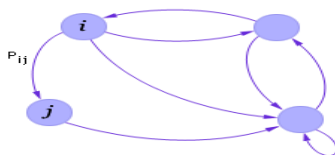


Рис.1. Пример графа переходов

Марковский процесс удобно задавать графом, в котором состояния (вершины) связаны между собой связями (переходами из i -го состояния в j -е состояние), см. рис. 1. Каждый переход характеризуется вероятностью перехода P_{ij} . Вероятность P_{ij} показывает, как часто после попадания в i -е состояние осуществляется затем переход в j -е состояние. Конечно, такие переходы происходят случайно, но если измерить частоту переходов за достаточно большое время, то окажется, что эта частота будет совпадать с заданной вероятностью перехода.

Рассмотрим моделирование дискретного марковского процесса с состояниями S_i . Весь набор S_i дискретных величин образует модельное пространство состояний системы, характеризующееся всевозможными исходами случайного процесса. Набор вероятностей, характеризующих эти исходы (состояния), образует в пространстве

вектор состояния \mathbf{S} с элементами S_i , $i= 1, 2, 3, \dots$. Вектор состояния представляется вектором столбцом размером $n \times 1$:

$$\mathbf{S} = \begin{bmatrix} S_1 \\ S_2 \\ \dots \\ S_n \end{bmatrix} = [S_1 \quad S_2 \quad \dots \quad S_n]^T, \quad (1)$$

где символ T обозначает транспонирование вектора.

Очевидно, что в любой момент времени вектор состояния полностью характеризует процесс. Пусть в момент времени t_k зафиксирован вектор состояния \mathbf{S}_k . Элементы вектора \mathbf{S}_k будут изменяться с течением времени. Наблюдая за процессом, будем фиксировать вектор состояния через конечные промежутки времени Δt . Тогда моментами фиксации состояния процесса будут времена $t_k=(k-1)\Delta t$, $k=1,2,\dots$, где величина k – номер перехода – является дискретным целочисленным аналогом времени. В результате одного перехода вектор состояния \mathbf{S}_k изменится и станет равным \mathbf{S}_{k+1} . Каждый переход характеризуется своей вероятностью p_{ij} – переходом из состояния i в состояние j за время одного перехода. Если $i=j$, то p_{ii} это вероятность остаться в этом же состоянии. Для того, чтобы исходная цепь образовывала цепь Маркова, необходимо и достаточно, чтобы переход $\mathbf{S}_k \rightarrow \mathbf{S}_{k+1}$ не зависел от величин $\mathbf{S}_{k-1}, \mathbf{S}_{k-2}, \dots$, то есть необходимо, чтобы состояние системы в будущем зависело только от настоящего и не зависело от прошлого.

Если цепь является цепью Маркова, то зависимость между величинами S_k и S_{k+1} описывается следующей матричной формулой

$$\mathbf{S}_{k+1} = \mathbf{P}\mathbf{S}_k, \quad (2)$$

где \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей или матрица переходов: j -й столбец матрицы состоит из вероятностей перехода из j -ого состояния. Пример матрицы переходных вероятностей имеет вид

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} & 0 & \dots & 0 & 0 \\ P_{21} & P_{22} & P_{23} & \dots & 0 & 0 \\ 0 & P_{32} & P_{33} & \dots & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{n-1,n-1} & P_{n-1,n} \\ 0 & 0 & 0 & \dots & P_{n,n-1} & P_{n,n} \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Рассмотрим моделирование дискретного марковского процесса на примере стрельбы из пушки. Определим следующие три состояния: S_0 — цель не повреждена; S_1 — цель повреждена; S_2 — цель разрушена. Граф цепи Маркова показан на рис.2.

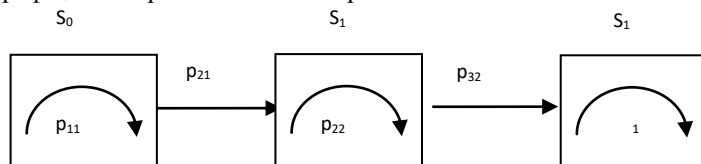


Рис.2. Граф цепи Маркова

Матрица переходных вероятностей будет иметь вид

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_{11} & 0 & 0 \\ p_{21} & p_{22} & 0 \\ 0 & p_{32} & 1 \end{bmatrix} \quad (4).$$

Начальный вектор состояния $\mathbf{S}_0 = [1 \ 0 \ 0]'$ (5).

Задача состоит в определении количества снарядов для разрушения цели. В терминах теории марковских процессов для рассматриваемого примера, необходимо найти такое число k , при котором вектор состояния \mathbf{S}_k будет иметь вид $\mathbf{S}_k = [0 \ 0 \ 1]'$.

На рис.3 показана эволюция вектора состояния \mathbf{S} , выполненная в среде программирования MatLab. Очевидно, что цель будет полностью разрушена за 35 выстрелов.

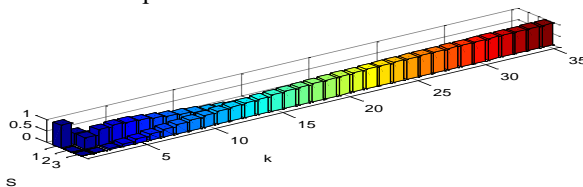


Рис.3. Эволюция состояний цепи Маркова

Библиографический список

1. Е.А. Баранцева, В.Е. Мизонов. Введение в теорию цепей Маркова и ее инженерные приложения: Учеб. пособие / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». Иваново, 2010. – 80 с.
2. Кривилев А. В. Основы компьютерной математики с использованием системы MATLAB. - М.: Лекс-Книга, 2005, 496 стр.

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

ПОСТРОЕНИЕ ФРАКТАЛОВ В СРЕДЕ MATLAB

Самые гениальные открытия в науке способны кардинально изменить человеческую жизнь. Изобретенная вакцина может спасти миллионы людей, создание оружия, наоборот, эти жизни отнимает. Но есть и такие открытия, которым мало кто придает значение, хотя они тоже сильно влияют на нашу жизнь. Одно из таких «незаметных» открытий — фракталы.

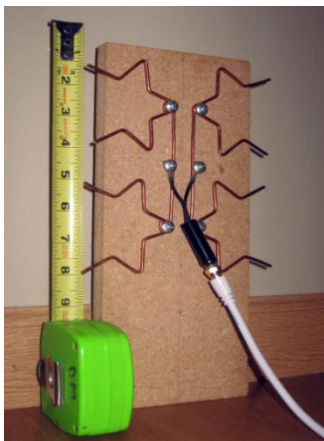


Рис.1 Фрактальная антенна

Фрактал (лат. *fractus* — дроблёный, сломанный, разбитый) — математическое множество, обладающее свойством самоподобия (объект, в точности или приближённо совпадающий с частью самого, то есть целое имеет ту же форму, что и одна или более частей).

В математике под фракталами понимают множества точек в евклидовом пространстве, имеющие дробную метрическую размерность (в смысле Минковского или Хаусдорфа), либо метрическую размерность, отличную от топологической, поэтому их следует отличать от прочих геометрических фигур, ограниченных конечным числом звеньев.

Теория фракталов имеет многочисленное практическое применение. Одно из них — это применение фрактальных форм к проектированию антенн. На рис.1 изображена фрактальная антенна, запатентованная Натаном Коэном. Она имеет высокий КПД и покрывает гораздо более широкий частотный диапазон по сравнению с

классическими решениями. Кроме того, форма антенны в виде кривой фрактала позволяет существенно уменьшить геометрические размеры. Натан Коэн даже вывел теорему, доказывающую, что для создания широкополосной антенны достаточно придать ей форму самоподобной фрактальной кривой. Антенна на рисунке сделана из проволоки в форме одного из самых известных фракталов — «снежинки Коха». Шведский математик Хельге фон Кох (Helge von Koch) придумал эту кривую еще в 1904 году. Она получается путем деления отрезка на три части и замещения среднего сегмента равносторонним треугольником без стороны, совпадающей с этим сегментом. Алгоритм построения этой кривой показан на рис.2.

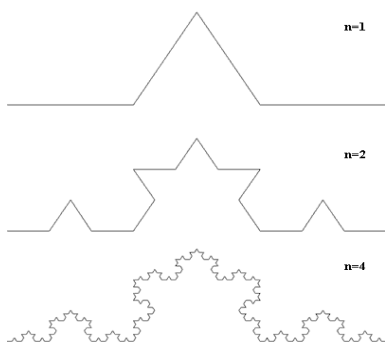


Рис.2. Снежинка Коха

Свойства кривой Коха

- 1) Кривая Коха нигде не дифференцируема и не спрямляема.
- 2) Кривая Коха имеет бесконечную длину.
- 3) Кривая Коха не имеет самопересечений.
- 4) Кривая Коха имеет промежуточную (то есть не целую) хаусдорфову размерность, которая равна $\ln 4 / \ln 3$ поскольку она состоит из четырёх равных частей, каждая из которых подобна всей кривой с коэффициентом подобия $1/3$.

В пакете MATLAB наиболее просто реализовать L-систему, используя рекурсивную функцию. Понятие "L-система" было введено А. Лидермайером в 1968 г. при изучении формальных языков. С их помощью оказывается возможным не только строить многие известные самоподобные фракталы, например, снежинку Коха, ковер Серпинского, кривые Пеано, Гильберта, Серпинского и др., но и создавать бесконечное разнообразие новых фракталов, укладывающихся в данную схему.

Терл-графика (от turtle - черепашка) является подсистемой вывода графического представления фрактального объекта. Основным исполнителем данной системы является "черепашка" (точка), которая перемещается по экрану дискретными шагами, прочерчивая или не прочерчивая свой след. "Мгновенное" положение "черепашки" задается тремя параметрами (x, y, α), где (x, y) - координаты "черепашки", α - направление следующего шага (угол, отсчитываемый от положительного направления оси x). Последовательность команд, определяющая направление перемещения и действия "черепашки", задается кодовым словом, буквы которого читаются слева направо. Кодовое слово, представляющее собой результат работы L-системы, может включать в себя следующие буквы:

- F - переместиться на один шаг вперед, прорисовывая след;
- b - переместиться на один шаг вперед, не прорисовывая след;
- [- открыть ветвь;
-] - закрыть ветвь;
- + - увеличить угол α на величину Θ ;
- - уменьшить угол α на величину Θ ;
- X, Y - вспомогательные переменные.

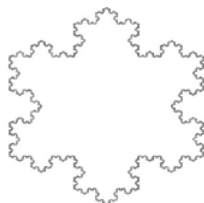
Размер шага и величина приращения по углу Θ задаются изначально и остаются неизменными для всех перемещений "черепашки".

Формально, детерминированная L-система состоит из алфавита, слова инициализации, называемого аксиомой или инициатором, и набора порождающих правил, указывающих как следует преобразовывать слово при каждой следующей итерации. Например, L-система, соответствующая снежинке Коха, представленной на рисунке 3, задается следующим образом:

Аксиома: F++F++F

Порождающее правило:

Newf =F - F + +F - F



$\Theta := \pi/3$ Рис.3. Снежинка

Очевидно, что графическим представлением аксиомы F + +F + +F является равносторонний треугольник. "Черепашка" делает один шаг

вперед, затем угол увеличивается на $2\pi/3$ и "черепашка" делает еще один шаг вперед, далее угол вновь увеличивается на $2\pi/3$ и "черепашка" делает еще один шаг. На первом шаге каждая буква F в слове инициаторе заменяется на слово New:

F-F ++F -F ++F - ++F-F ++F -F ++F -F

Повторяя этот процесс, на втором шаге получим:

F-F++F-F-F-F++F-F+F-F++F-F-F-F++F-F++F-F++F-F-F-F++F
-F++F-F++F-F-F-F++F-F++F-F++F-F-F-F++F-F и т. д.

На рис.3 показана кривая, построенная в среде MatLab по описанному выше алгоритму.

Библиографический список

1. Мандельброт Б. Фрактальная геометрия природы. — М.: «Институт компьютерных исследований», 2002.
2. Кривилев А. В. Основы компьютерной математики с использованием системы MATLAB. - М.: Лекс-Книга, 2005, 496 стр.

*Платонов Д.В., студ.; Широкова Ю.Д., студ.; А.Д. Силинг, студ.;
рук. доц. А.В. Огурцов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОГРАММНОЙ СИСТЕМЫ ANSYS ДЛЯ РЕШЕНИЯ ИНЖЕНЕРНЫХ ЗАДАЧ

Решая определенный набор задач, мы задались вопросом – а что если реальная ситуация ставит нам такие условия, при которых аналитический расчет становится невозможным? В таких случаях мы начинаем искать возможность упростить задачу, пренебрегая многими факторами.

Прочность конструкции, с одной стороны, и требования экономичности, с другой, не позволяют пренебрегать ни одним из факторов. В любой отрасли инженеры задают себе одни и те же ключевые вопросы: «Сколько прослужит это изделие при ежедневном использовании?», «При каких условиях оно разрушится?» и многие другие. А еще возникает бесконечное число вопросов «А что, если...», например: «А что будет, если уменьшить толщину ребра этого изделия на 1 мм для экономии материала?». Программная система ANSYS для механики деформируемого твердого тела, в частности ANSYS Mechanical, позволяет получить ответы на подобные вопросы.

ANSYS Mechanical предоставляет пользователю возможность проведения различных расчетов в рамках механики сплошной среды. Это удобный, легкий в освоении, многофункциональный инструмент,

возможности которого варьируются от самых простых инженерных расчетов на прочность для экспресс-оценки напряженного состояния до сложных многодисциплинарных задач [1, 2].

Расчёты на прочность и жёсткость для элементов конструкций – самые распространенные типы расчетов в рамках механики деформируемого твердого тела, которые проводятся инженерами многих отраслей. ANSYS Mechanical обеспечивает возможность вычисления напряженно-деформированного состояния (НДС) конструкции любой сложности.

К преимуществам программного комплекса следует также отнести возможность решения динамических задач, например на удар, виброустойчивость и др.

Программа ANSYS для математического моделирования физических процессов использует метод конечных элементов (МКЭ). Исследуемая область разбивается на конечные элементы, форма которых может быть различна, в зависимости от типа решаемой задачи (конечный элемент в виде стержня, треугольника, четырёхугольника, элементарных объёмных фигур). Конечные элементы наделяются свойствами, заданными в виде констант или опций. Состояние тела характеризуется конечным числом независимых параметров, определённых в узлах конечно-элементной сетки. Конечные элементы взаимодействуют через общие узлы. Для всей конечно-элементной модели составляется общая система уравнений (обычно в матричной форме), которая решается различными приближёнными методами [3].

Для первоначального знакомства с работой в системе ANSYS был поставлен и решён набор задач, аналитическое решение которых известно:

- 1) Шарнирно закреплённая балка, нагруженная силой в центре.
- 2) Шарнирно закреплённая балка с равномерно распределённой нагрузкой по всей длине.
- 3) Консольная балка с неравномерно (линейно) распределённой нагрузкой.

Полученные результаты позволили убедиться, что аналитическое решение и решение в вычислительном комплексе имеют общий ответ.

Затем с помощью системы ANSYS была решена задача на растяжение пластины с отверстием (такая задача не может быть решена аналитически, т.к. нарушается гипотеза плоских сечений [4]).

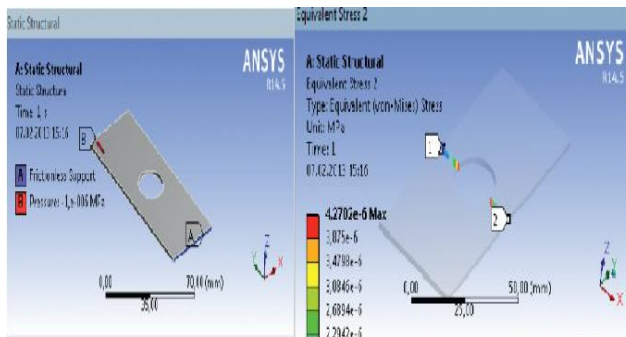


Рис. 1. Задание входных данных для решения задачи растяжения полосы с отверстием

Пример задания входных данных приведён на рис. 1. Программный комплекс позволяет получить не только качественную картину распределений напряжений в опасном сечении, но и количественную оценку с приемлемой точностью. Результаты расчётов в виде графика и таблицы приведены на рис.2.

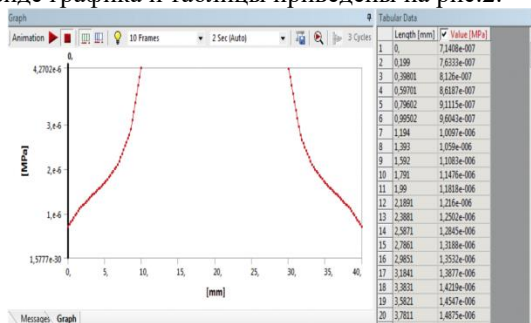


Рис. 2. Результаты расчёта напряжения в опасном сечении в виде графика и таблицы

Результаты работы позволяют сделать вывод, что программный комплекс ANSYS может быть использован в учебных, исследовательских и практических целях, а так же о том, что технологии не стоят на месте и все то, что инженерам 40-50 лет назад казалось фантастикой, сейчас широко используется и вычислительный комплекс ANSYS не является исключением.

Библиографический список

1. **Moaveni, S.** Finite Element Analysis Theory and Application with ANSYS/ S. Moaveni // 3rd edition. Prentice Hall, 2008. 880 p.
2. **Stolarski, T.** Engineering Analysis with ANSYS Software. / T. Stolarski, Y. Nakasone, S. Yoshimoto // Butterworth – Heinemann, January 2007, ISBN 9780750668750, 480 p.

3. Бруяка, В.А. Инженерный анализ в Ansys Workbench. / Учебное пособие. В.А. Бруяка, В.Г. Фокин, Я.В. Курвева. – Самара : Самар. гос. техн.ун-т, 2013. –148с.
4. Водопьянов, В.И. Курс сопротивления материалов с примерами и задачами. / В.И. Водопьянов, А.Н. Савкин, О.В. Кондратьев// ВолгГТУ. – Волгоград, 2012. – 136 с.

*Князева Е.А., студ., Беликова Е.А., студ.; рук. доц. А.В. Огурцов
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДВИЖЕНИЯ АНСАМБЛЯ ЧАСТИЦ НАД ВИБРИРУЮЩЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Дробильно-сортировочное оборудование применяется во многих отраслях промышленности. Вибрационные грохоты применяются для фракционирования сыпучих материалов, разделения по составу угля и железной руды, производства строительных материалов. Кроме того, процессы грохочения нашли применение в энергетической, металлургической, химической, горнодобывающей отраслях, используются при производстве цемента, а также на предприятиях, занимающихся переработкой отходов. Вибрационные грохоты могут быть использованы как вспомогательные машины в линии обработки камней, твёрдых пород и т.п. Все перечисленные технологии реализованы, как правило, в крупнотоннажном производстве, где энергосбережение является наиглавнейшей задачей.

По типу расположения просеивающей (вибрирующей) поверхности грохоты можно разделить на два типа:

- горизонтальное расположение вибрирующей поверхности;
- наклонное положение вибрирующей поверхности [1].

Проектирование и оптимизация работы вибрационных грохотов представляет собой сложную инженерную задачу. Это связано, в первую очередь, с большим количеством физических процессов, одновременно происходящих на вибрирующей поверхности. Многие расчётные зависимости носят частный эмпирический характер, не позволяющий иметь универсальный подход к решению подобных задач. Следовательно, поведение материала на вибрирующей поверхности является актуальной задачей.

Математическое моделирование проводилось в среде Matlab. В начале решалась задача движения одиночной частицы над вибрирующей поверхностью. Движение рассматривалось по вертикальной оси и было представлено как сложное, состоящее из переносного и относительного [2]. Учитывалось действие на частицу силы тяжести и переносной силы инерции. Т.к. модули скоростей частиц в реальных аппаратах с виброоживленным слоем невелики,

силой сопротивления в расчётах пренебрегли. Дифференциальные уравнения, описывающие движение частицы, решались приближённо методом Эйлера [3]. Коэффициенты восстановления скорости при ударе принимались равными нулю и единице.

Движение одиночной частицы на вибрирующей поверхности в значительной степени отличается от движения слоя частиц из-за их интенсивного взаимодействия [4, 5]. Поэтому была поставлена и решена задача движения двух и трёх частиц, с учётом их соударений. Перемещения частиц рассматривались также в вертикальном направлении. На каждом временном шаге положения частиц проверялись на наличие или отсутствие удара. Так же как и для задачи движения одиночной частицы, сила сопротивления не учитывалась, а коэффициенты восстановления удара между частицами принимались равными единице, а коэффициент восстановления удара о вибрирующую поверхность принимался равным нулю (абсолютно неупругий удар).

Анализ результатов расчёта показал удовлетворительную работоспособность предложенных моделей, а так же перспективы для дальнейших исследований.

Библиографический список

1. **Вайсберг, Л.А.** Проектирование и расчет вибрационных грохотов / Л.А. Вайсберг // М.: Недра, 1986, - 144 с.
2. **Пискунов, Н. С.** Дифференциальное и интегральное исчисления для втузов т. 2/ Н. С. Пискунов // Учебное пособие для втузов.—13-е изд.— М.: Наука, Главная редакция физико-математической литературы, 1985. — 560 с.
3. **Тарг, С.М.** Краткий курс теоретической механики / С. М. Тарг // Издательство: Высшая школа, 1986, с. 416.
4. **Огурцов, В. А.** Расчетное исследование движение частиц по поверхности виброгрохота / В.А. Огурцов, В.Е. Мизонов, С.В. Федосов// Строительные материалы, №6, 2008, с.74-75.
5. **Огурцов, В.А.** Моделирование движения частицы по продольно колеблющейся поверхности грохота/ В.А. Огурцов, С.В. Федосов, В.Е. Мизонов // Промышленное и гражданское строительство, №2, 2009, с.23-24.

*А.В. Станюш.; рук. Н.А. Кузнецов, к.т.н., доц.
(ФГБОУ ВО КГТА им. Дегтярева, г. Ковров)*

МЕТОДИКА СИНТЕЗА СИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ СИГНАЛА ДОПЛЕРОВСКОГО СДВИГА ЧАСТОТЫ

Синтез информационно-измерительной системы должен происходить с фундаментальными особенностями сигнала лазерного доплеровского измерителя скорости, являющиеся следствиями предложенной модели [1].

1. Центральная частота сигнала прямо пропорциональна скорости:

$$f_c = \frac{1}{K_{ГП}} \nu,$$

2. Ширина частотного спектра сигнала пропорциональна центральной частоте:

$$\Delta f = \frac{1}{Q} f_c,$$

где Q – добротность спектра.

3. Спектральная характеристика имеет Гауссову форму:

$$W(f) = A \cdot \exp\left[-\frac{(f - f_c)^2}{2\sigma^2}\right],$$

где
$$\sigma = \frac{f_c}{2Q\sqrt{2 \ln \sqrt{2}}}.$$

4. Центральная частота спектра соотносится с полосой полезного сигнала как:

$$Q = \frac{f_c}{\Delta f} \approx 1...10,$$

таким образом, сигнал является широкополосным, применение пороговых методов не позволяет достоверно определять центральную частоту сигнала, и как следствие измеряемую скорость.

Основными исходными параметрами для проектирования многоканальной информационно-измерительной системы обработки сигнала доплеровского сдвига частоты являются:

1. Диапазон скоростей: от ν_{\min} до ν_{\max} , определяющий диапазон изменения центральной частоты сигнала от f_{\min} до f_{\max} .

2. Характеристики оптической схемы: длина волны лазера, угол схождения световых пучков, фокусное расстояние, определяющие особенности частотного спектра сигнала.

Разбиение частотного диапазона многоканальной информационно-измерительной системы приведено на рисунке 1.

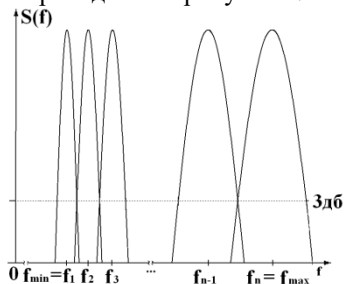


Рисунок 1 – Разбиение динамического диапазона

Добротность всех фильтров одинакова $Q_1 = Q_2 = \dots = Q_n$, определяются добротность частотного спектра сигнала.

Центральная частота первого низкочастотного фильтра соответствует нижней границе частотного диапазона $f_1 = f_{\min}$. Центральную частоту следующего смежного фильтра находим из условия неразрывности полосы пропускания смежных фильтров (по уровню -3дБ):

$$f_{c_{i+1}} = f_{c_i} + \frac{\Delta f_i}{2} + \frac{\Delta f_{i+1}}{2},$$

где $\Delta f_i = \frac{f_i}{Q}$ – полоса пропускания i -го фильтра,

Полоса пропускания $i+1$ -го фильтра:

$$\Delta f_{i+1} = \frac{f_{i+1}}{Q}$$

Исходя из этого условия, коэффициент кратности центральных частот смежных фильтров определится как:

$$k = \frac{1 + \frac{1}{2Q}}{1 - \frac{1}{2Q}}$$

Число фильтров (каналов) определяется:

$$n \geq \text{round} \left[\log_k \left(\frac{f_{\max}}{f_{\min}} \right) + 1 \right]$$

Каждый канал содержит в себе два ортогональных вейвлет-фильтра по выходным сигналам, которых $\text{Re}_n(t)$ и $\text{Im}_n(t)$ определяются текущие значения амплитуды и фазы сигнала.

Библиографический список

2. Станюш А.В., Кузнецов Н.А., Тегерин Е.П., Потехин Д.С. Математическая модель формирования сигнала в лазерном доплеровском измерителе скорости // Системы управления и информационные технологии, №4 (62), 2015. – С. 15-18.

Содержание**Секция 19.** Анализ и синтез систем электроприводов

<i>Альтахер Аббас А. Карим, рук. Доманов В.И.</i> Анализ точности работы модели асинхронного двигателя.....	3
<i>Беляков М.А., рук. Пруднов А.В., Соломаничев М.А.</i> Элементы системы автоматизации процесса формирования ткацких навоев.....	5
<i>Болатова А., рук. Курнышев Б.С.</i> Телекоммуникационные сети в режимах автоматизированной передачи данных.....	7
<i>Бунас К.В., рук. Капустин А.Г.</i> Моделирование системы частотно-токового векторного управления асинхронного двигателя серии 4А в среде MatLab.....	8
<i>Гаврилова С.В., рук. Доманов В.И.</i> Анализ работы многодвигательного электропривода.....	10
<i>Доброхотов А.А., рук. Ширяев А.Н.</i> Электропривод на базе синхронного двигателя с постоянными магнитами	12
<i>Ионов Р.С., рук. Захаров М.А.</i> К вопросу модернизации атомной станции с реактором ВВЭР-1000 с точки зрения экономии энергопотребления собственных нужд.....	14
<i>Киселев Д.С., рук. Курнышев Б.С.</i> Электромагнитная совместимость регулируемых электроприводов	15
<i>Ковалев И.В., рук. Захаров А.М., Вилков П.В.</i> Разработка электрооборудования тепловой станции.....	17
<i>Манаков В.И., Чапурин В.А., рук. Ширяев А.Н.</i> Частотно-регулируемый электропривод насосной установки.....	18
<i>Серов Р.А., рук. Захаров М.А., Захаров А.М.</i> Моделирование каскадного многоуровневого инвертора напряжения	21
<i>Филиппов А.А., рук. Вилков П.В.</i> Информационные технологии управления мехатронными объектами.....	22
<i>Холмов И.В., рук. Филичев В.Т.</i> Моделирование асинхронного электропривода с тиристорным регулятором напряжения.....	23
Секция 20. Электромеханика и магнитожидкостные устройства	
<i>Волков М.Н., рук. Караулов В.Н.</i> Исследование вращающего момента синхронного реактивного двигателя.....	25
<i>Каржевлин А.А., рук. Шишкин В.П.</i> К вопросу расчета асинхронных двигателей с экранированными полюсами.....	26
<i>Комов К.П., рук. Морозов Н.А.</i> Способ определения начального касательного напряжения в магнитной жидкости.....	28
<i>Котов А.Б., рук. Казаков Ю.Б.</i> Расчетные исследования виброшумовых характеристик асинхронного двигателя на основе метода конечных элементов.....	30

<i>Легков А.А., рук. Тихонов А.И.</i> Разработка метода поискового моделирования с использованием параметрических генераторов конечно-элементных моделей.....	32
<i>Макаров Д.Ю., рук. Морозов Н.А.</i> Расчет кривой намагничивания ферромагнитного наполнителя.....	34
<i>Океанский А.П., Морозов А.Н., рук. Казаков Ю.Б.</i> Анализ внешнего электромагнитного поля синхронных машин.....	36
<i>Подобный А.В., Тамьярова М.В., рук. Тихонов А.И.</i> Полевая динамическая модель универсального коллекторного двигателя в Simulink.....	38
<i>Подобный А.В., Плаксин А.В., рук. Тихонов А.И.</i> Разработка управляемого блока питания для создания системы экспериментальных исследований УКД.....	40
<i>Профьев М.В., рук. Тихонов А.И.</i> Исследование динамики синхронной машины с постоянными магнитами в полевой постановке.....	43
<i>Розанов Д.Ю., рук. Шишкин В.П.</i> Магнитный шум универсального коллекторного двигателя.....	45
<i>Сахаров М.В., рук. Караулов В.Н.</i> Анализ электромеханических и тепловых процессов в обращенном СДПМ.....	47
<i>Рассолов С.Е., рук. Страдомский Ю.И.</i> Исследование коалесцентного фильтра очистки воды от нефтепродуктов.....	49
Секция 21. Микроэлектронные и микропроцессорные информационно-управляющие системы	
<i>Чадов М.А., рук. Тютиков В.В.</i> Исследование модели синусно-косинусного вращающегося трансформатора.....	51
<i>Дроздов Д.Н., рук. Бурков А.П.</i> Компенсация нелинейностей характеристик трения в контурах положения сервоприводов.....	53
<i>Ершов Д.С., рук. Тютиков В.В.</i> Обучающий стенд широтно-импульсной модуляции.....	55
<i>Гамидов П.И., рук. Егоров В.Н.</i> Модель силового преобразователя.....	56
<i>Герасимов А.А., рук. Швецов В.А.</i> Автоматизация жилых помещений на модулях MSU.....	58
<i>Кузнецова О.А., рук. Копылова Л.Г.</i> Устройство управления активным магнитным подвесом.....	59
<i>Маидже Р.Ж.</i> Автоматическая система управления лифтом.....	60
<i>Радецкий В.С., рук. Терехов В.Г.</i> Сопряжение периферийных устройств к ПК через USB на демоплате PIC18FXXXX.....	61
<i>Скворцова А.А., рук. Копылова Л.Г.</i> Разработка математической модели магнитного подшипника.....	62
<i>Скворцова А.А., рук. Копылова Л.Г.</i> Lifeware для больных паркинсонизмом.....	63

<i>Вороненкова А.А., рук. Тютиков В.В.</i> Аналитический синтез и анализ вариантов системы управления объектом с запаздыванием.....	65
<i>Восканян П. Э., рук. Карандашев А. П.</i> Резервирование промышленных сетей. поиск оптимального решения.....	67
<i>Вышковский В.О., рук. Карандашев А.П.</i> Импульсные или трансформаторные зарядные устройств.....	68
<i>Белухин В. А., рук. Терехов А. И.</i> Особенности контура регулирования тока при широтно-импульсном управлении.....	70
<i>Горбенков Р.И., рук. Смирнов А.А.</i> Бездатчиковое определение электрического положения ротора синхронного двигателя с постоянными магнитами.....	71
<i>Дедученко А.С., рук. Карандашев А.П.</i> Недостатки современных аккумуляторных батарей.....	73
<i>Карабанова А.Д., рук. Софронов С.В.</i> Трехфазный силовой преобразователь для регулирования частоты вращения барабана чесальной машины.....	74
<i>Некрасова Е.И., рук. Копылова Л.Г.</i> Построение математической модели активного магнитного подшипника.....	77
<i>Соловьев И.В., рук. Терехов А.И.</i> Вытяжной прибор текстильной машины.....	78
<i>Aleksandr Liadov, Andrey Kudryavtsev, Kanty Rabenoroso</i> Rtc vision.....	80
<i>Andrey Maslovskiy, Nikolai Vorobyev, Yann.</i> Le gorrec système actif de suspension de train.....	83
<i>Гатиятуллин Б.Р., Шамсияров А.Н., Фазлиахметова Л.А.</i> рук. <i>Богданов А.Н.</i> Изготовление станка с ЧПУ.....	86
<i>Р.В.Буйко, рук. Сизиков С.В.</i> Модернизация противопожарной системы самолета ТУ-204.....	88
<i>Буйко Р.В., рук. Сизиков С.В.</i> Система контроля доступа персонала.....	90
<i>Буйко Р.В., рук. Сизиков С.В.</i> Многоточечной системы измерения температуры на борту воздушного судна.....	92
<i>Роганов А.О., рук. Сазонникова Н.А.</i> Разработка лазерных измерительных систем для контроля углового положения элементов конструкций.....	94

Секция 22. Технология машиностроения

<i>Шпенькова Е.В., Власов А.М., рук. Полетаев В.А.</i> Применение полного факторного эксперимента при исследовании магнитожидкостного герметизатор	96
<i>Карташов Р.Е., рук. Ведерникова И.И.</i> Поверхностная лазерная обработка	98

<i>Дадаев Р.Т., рук. Зарубин В.П.</i> Изучение возможности применения шнековых двигателей в робототехнике.....	100
<i>Утюгова А.А., рук. Полетаев В.А.</i> Измерение толщины покрытий на металлах с помощью прибора для неразрушающего контроля.....	102
<i>Шарапов М.Ф., рук. Степанова Т.Ю.</i> Легирование промышленных масел высокомолекулярными спиртами.....	104
<i>Дашевский А.Р., рук. Полетаев В.А.</i> Виды методов упрочняющей обработки металлов.....	106
<i>Медведко С.А., Першин М.Н. рук. Кропотова Н.А.</i> Особенности стержневых пространственных конструкций для решения инженерных задач.....	108
<i>Яблоков М.С, Спрыгин М.Ю., Муратов В.А., рук. Копосов В.Н.</i> Применение нейросетевых технологий в машиностроении.....	110
<i>Сорокин С.А., Халенгинов С.Г., рук. Кропотова Н.А.</i> Огнезащита металлических конструкций для решения инженерных задач быстровозводимых модульных зданий.....	112
<i>Шпенькова Е.В., рук. Полетаев В.А.</i> Применение смазочно-охлаждающих технологических средств для процессов поверхностного пластического деформирования.....	114
<i>Кузнецов М.А., Сычев С.А., рук. Легкова И.А., Зарубин В.П.</i> О возможностях современных компьютерных технологий для проведения инженерных расчетов.....	116
<i>Шибяев М.М., Пазухин П.С., рук. Бекташов Д.А.</i> Влияние режимов резания на качество обрабатываемой поверхности минералокерамического режущего инструмента.....	118
<i>Ляпин А.А., Бушковский Е.А., рук. Мальцев А.Н.</i> Использование предпусковых подогревателей для облегчения запуска двигателей пожарной техники.....	120
<i>Тютюнников Ю.М., рук. Орлов А.С.</i> Особенности использования программы Art CAM для получения сложных профилей при фрезеровании на станке с ЧПУ.....	122
<i>Чистов Д.Е., Борисов Д.В., рук. Пучков П.В., Киселев В.В.</i> К вопросу использования магнитоэлюидной смазки в резьбовых соединениях.....	124
<i>Моисеева Е.Ю., рук. Зарубин В.П.</i> Применение экспресс-методики при исследовании свойств смазок.....	126
<i>Бритова А.А., рук. Третьякова Н.В.</i> Применение полимерных материалов в машиностроении.....	128
<i>Гасанов Г.А., Злобин Т.А., рук. Кропотова Н.А.</i> Инженерная оценка влияния жесткости климата на надежность узлов металлоконструкций рабочего оборудования в суровых условиях.....	130
<i>Масляев М.А., рук. Орлов А.С.</i> Исследование САМ - системы Power Mill для обработки на гравировально-фрезерном станке с четырьмя степенями подвижности.....	132

<i>Пианов А.П., рук. Зарубин В.П.</i> Способы увеличения надежности двигателей внутреннего сгорания.....	134
<i>Бут И.С., рук. Павлюкова Н.Л.</i> Анализ параметров прогрессивных методов обработки давлением.....	136
<i>Корниенко А.А., рук. Егоров С.А.</i> Разработка и исследование смазочных материалов для парафинирования нитей.....	137
<i>Масляев М.А., рук. Шурыгин А.М.</i> Модель широтно-импульсного преобразователя с несимметричным управлением.....	139
<i>Порядочнова К.А., рук. Киселев В.В.</i> Улучшение трансмиссионных масел, используемых в пожарной технике.....	141
<i>Роммель И.А., Кирьянов В.В., рук. Иванов В.Е.</i> Современные робототехнические конструкторы.....	143
<i>Баранов Б.Ш., рук. Павлюкова Н.Л.</i> Основные проблемы обработки глубоких и точных отверстий в технологии машиностроения	145
<i>Молоткова Ю.А., рук. Пучков П.В., Киселев В.В.</i> Анализ действия пониженных температур на прочностные свойства сталей.....	147
<i>Азизов И.И., рук. Киселев В.В.</i> Расчет критериев устойчивости пожарных автоцистерн при проезде опасных поворотов.....	149
<i>Архангельский К.Н., рук. Киселев В.В.</i> Актуальность разработки огнестойких покрытий для защиты металлоконструкций от пожаров.....	151
<i>Копкин Е.А., Ивановский А.А., рук. Киселев В.В.</i> Кинематическое исследование двигателей пожарных автомобилей «ЗИЛ» и «Мерседес».....	153
<i>Яковлев В.М., Бакиев И.Р., Кулаков А.С., рук. Киселев В.В.</i> Анализ неисправностей деталей тормозов пожарной техники.....	155
<i>Матвеев М.О., рук. Покровский А.А.</i> Мероприятия по модернизации кантователя двигателя.....	157
<i>Архангельский К.Н. Сорокин С.А., Медведко С.А., рук. Кропотова Н.А.</i> Эффективность огнезащитного покрытия металлических конструкций для инженерных быстровозводимых модулей.....	159
<i>Гасанов Г.А., Злобин Т.А., Медведко С.А., рук. Кропотова Н.А.</i> Аналитическая оценка работы пожарных автомобилей при воздействии пагубных климатических факторов.....	161
<i>Смирнов М.В., рук. Топоров А.В.</i> Сравнительный анализ использования электрической энергии и энергии сжатого газа для привода гидравлического аварийно-спасательного инструмента.....	163
<i>Экумби А.В., рук. Ведерникова И.И.</i> Повышение коррозионной стойкости деталей машиностроения.....	164
<i>Шалов И.Е., рук. Лапочкин А.И.</i> Редчайший металл с уникальными свойствами.....	166
<i>Козловский А.Л. рук. Кадыржанов К.К.</i> Направленная модификация металлических наноструктур.....	167

Козловский А.Л., рук. Кадыржанов К.К. Разработка защитных покрытий от ионизирующего излучения.....169

Секция 23. Динамика и прочность сложных механических систем

<i>Бирюченко Т.А., Карпова А.В., Чувашов В.А., рук. Маслов Л.Б.</i> Проверка прочности листов балок стрел и рукоятей гидроцилиндра.....	171
<i>Шильцев Е.С., рук. Маслов Л.Б.</i> Конечно-элементный анализ авиационных конструкций на основе сетчатых композитов.....	173
<i>Теплякова Д.О., рук. Ноздрин М.А.</i> Создание модели ленточного шлифовального станка.....	175
<i>Евграфова К.И., рук. Пирогов Д.А.</i> Исследование напряженно-деформированного состояния объемной тканой структуры.....	176
<i>Колотилов А.К., рук. Пирогов Д.А.</i> Моделирование характеристик механизма привода челноков лентоткацкого станка.....	177
<i>Логинова А.Н., рук. Огурцов В.А.</i> Движение ансамбля частиц по вибрирующей просеивающей поверхности грохота.....	179
<i>Авруцкий В.В., рук. Зинин А.В., Бычков Н.Г., Смирнова Л.Л.</i> Малоцикловая усталость жаропрочного сплава при термоциклическом нагружении с учетом вибрационных нагрузок.....	180
<i>Коврова Е.А., рук. Телегина О.В.</i> Расчет основных параметров и экономической эффективности ленточного конвейера.....	182
<i>Ильина Е.Э., рук. Ноздрин М.А.</i> Механические свойства сплавов с эффектом памяти формы	183
<i>Шахов А.С., рук. Зарубин З.В.</i> Напряженно-деформированное состояние упругого элемента с эффектом памяти формы.....	185
<i>Колотилов А.К., рук. Ноздрин М.А.</i> Расчет несущей способности элемента конструкции самолета МС-21.....	187
<i>Бондарев К.П., рук. Ноздрин М.А.</i> Расчет на прочность элементов крыла летательного аппарата.....	189
<i>Гуралюк И.А., рук. Ноздрин М.А.</i> Расчет на прочность элемента жесткости руля направления.....	191
<i>Седов В.М., рук. Маслов Л.Б.</i> Параметрический и модальный анализ системы «Кость - имплант».....	192
<i>Найденова К.И., рук. Маслов Л.Б.</i> Конечно-элементное моделирование регенерации костной мозоли.....	193
<i>Корнилова М.А., Крылова А.Л., рук. Огурцов Ф.Б., Шапин В.И.</i> Дискретно-двухкоординатный метод вибростимуляции развития растений.....	194
<i>Калачева А.В., рук. Колобов А.Б.</i> Разработка алгоритмов диагностики центробежного агрегата по частотным признакам вибрации.....	196

<i>Будаев Д.С., рук. Крайнова Л.Н.</i> Напряженно деформированное состояние стержневого элемента при различных видах нагрузки.....	199
<i>Швед А.В., рук. Огурцов Ф.Б.</i> Исследование высокочастотной вибрации подшипников качения.....	200
<i>Бизяева О.Г., рук. Крайнова Л.Н.</i> Виброиспытания консольно-закрепленного стержня из нелинейно-упругого материала.....	202
<i>Пасечник С.В., Галлиуллин Д.Р., рук. Филина О.А.</i> Техническая диагностика.....	204
<i>Макарова А.С., рук. Телегина О.В.</i> Перспектива установки крутонаклонного конвейера на Михайловском гоке.....	206
<i>Осипенко А.А., рук. Ноздрин М.А.</i> Исследование динамической задачи термоупругости.....	208
<i>Газимагомедов Ш.М., рук. Огурцов Ф.Б.</i> Расчет напряженно-деформированного состояния элементов крыла самолета.....	210
<i>Корепов Д.В., рук. Филатов Ю.Е.</i> Разработка системы комплексной оценки ресурса элементов авиационных конструкций.....	211
<i>Роменский Е.В., рук. Федоров Ю.А.</i> Влияние положения затяжки на распределение усилий в трехшарнирной стропильной системе.....	212
<i>Полякова А.М., рук. Зарубина Е.В., Наумов А.Г., Шмелева Т.В.</i> Применение скин-эффекта для изучения напряженно деформированного состояния противопожарного водопровода.....	214

Секция 24. Математические методы в технике и технологиях

<i>Балагуров И.А., рук. Мизонов В.Е.</i> Экспериментальное исследование вибрационного перемешивания при послойной загрузке компонентов.....	218
<i>Герасимов А.А., рук. Мизонов В.Е.</i> Моделирования эволюции состояния цепи Маркова с блуждающей поглощающей ячейкой	221
<i>Камело А., рук. Митрофанов А.В.</i> Моделирования эволюции состояния цепи Маркова с блуждающей поглощающей ячейкой.....	224
<i>Герасимов А.А., Балагуров И.А. рук. Мизонов В.Е.</i> Подавление пульсаций порционной подачи микрокомпонента в смеситель непрерывного действия.....	227
<i>Рыжакова Я.С., Плаксин А.В., рук. Митрофанов А.В.</i> Расчетно-экспериментальное исследование усадки биоорганических частиц при их тепловой обработке в коническом кипящем слое.....	230
<i>Гарманов В.С., Павленко М.Э., рук. Митрофанов А.В.</i> Моделирование сушки дисперсного топлива в аппарате кипящего слоя переменного сечения.....	233

<i>Трушевич А.С., Панюшкин И.С., рук. Митрофанов А.В.</i> Расчетно-экспериментальное исследование изменения высоты кипящего слоя в процессе сушки биоорганических частиц.....	236
<i>Осипов Д.А., рук. Жуков В.П.</i> Обогащение смеси разнопрочных компонентов.....	239
<i>Груданов И.В., рук. Жуков В.П., Барочкин А.Е.</i> Моделирование процесса теплопередачи в спиральных теплообменных аппаратах.....	241
<i>Пискарёв К.В., Сахаров М.В., рук. Жуков В.П.</i> Расчетно-экспериментальные исследования движения пузырьков газа в слое жидкости.....	243
<i>Океанский А.П., Осипов Д.А., рук. Жуков В.П.</i> Алгоритм определения попадания точки в заданное множество областей на плоскости.....	246
<i>Вороненкова А.А., Куприн И.В. рук. Шуина Е.А.</i> Построение фигур Лиссажу.....	249
<i>Потехин А.Д., рук. Шуина Е.А.</i> Моделирование дискретных процессов цепями Маркова в среде программирования MatLab.....	251
<i>Горелкин Р.О., рук. Шуина Е.А.</i> Построение фракталов в среде MatLab.....	254
<i>Платонов Д.В., Широкова Ю.Д., Силинг А.Д., рук. Огурцов А.В.</i> Моделирование и расчет температурного поля в многослойной среде с различными тепловыми свойствами.....	257
<i>Князева Е.А., Беликова Е.А., рук. Огурцов А.В.</i> Исследование движения ансамбля частиц над вибрирующей поверхностью.....	260
<i>Станюш А.В., рук. Кузнецов Н.А.</i> Методика синтеза системы обработки сигнала доплеровского сдвига частоты.....	261

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ДВЕНАДЦАТАЯ
МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ
УЧЕНЫХ «ЭНЕРГИЯ - 2017»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 4

Печатается в авторской редакции

Составитель – Шмелева Т.В.

Компьютерная верстка – Полякова Е.В.

Подписано в печать . Формат 60×84 1/16.
Печать офсетная. Усл. печ. л 15.81. Уч.-изд. л. 17
Тираж 50 экз. Заказ № .
ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ