



ИВАНОВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ЭНЕРГИЯ-2016

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

5-7 апреля 2016 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»
Объединенный институт высоких температур Российской Академии Наук
Российский национальный комитет СИГРЭ (Молодежная секция)
Академия электротехнических наук РФ

**ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И
УПРАВЛЕНИЕ
«ЭНЕРГИЯ-2016»**

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

г. Иваново, 5-7 апреля 2016 года

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ

ТОМ 4

ИВАНОВО

ИГЭУ

2016

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

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ // Одиннадцатая международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2016»: Материалы конференции. В 6 т. Т. 4 – Иваново: ФГБОУ ВО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2016. – 244 с.

ISBN 978-5-00062-158-5
ISBN 978-5-00062-162-2 (Т. 4)

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

Сборник предназначен для студентов, аспирантов и преподавателей вузов, интересующихся вопросами 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; Егоров В.Н. – декан ЭМФ; Кокин В.М. – декан ИВТФ; Карякин А.М. – декан ФЭУ; Гофман А.В. – рук. МС РНК СИГРЭ; Попель О.С. – заведующий лабораторией ОИВТ РАН.

Ответственный секретарь: Иванова О.Е.– зам. декана ФЭУ.

Секретарь: Вольман М.А. – ассистент кафедры АЭС.

Координационная группа: Смирнов Н.Н., Маршалов Е.Д., Ильченко А.Г., Ведерникова И.И.

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

СЕКЦИЯ 19

АНАЛИЗ И СИНТЕЗ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Председатель – к.т.н., доцент **Чистосердов В.Л.**
Секретарь – старший преподаватель **Репин А.А.**

*Х.Ш. Муродов, магистрант; рук. У.Р.Халиков
(НГГИ, г.Навоий, Узбекистан)*

ОБЗОРНЫЙ АНАЛИЗ ПРИМЕНЕНИЯ БЕСКОНТАКТНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ КАРЬЕРНОГО ЭКСКАВАТОРА

Электроприводы главных механизмов большинства экскаваторов, находящихся ныне в эксплуатации в странах СНГ и Узбекистане, выполнены по системе СМУ-Г-Д (силовой магнитный усилитель - генератор - двигатель постоянного тока) [1]. Первоначально это была система ТВ-Г-Д (тиристорный возбудитель - генератор - двигатель постоянного тока) [2]. В последние годы на смену тиристорным возбудителям пришли статические преобразователи на основе силовых транзисторных IGBT - модулей [3]. При этом на всех моделях экскаваторов сохранялась базовая система Г-Д. Единственная серия на которой использован электропривод ТП-Д (тиристорный преобразователь - двигатель постоянного тока) - это серия ЭКГ-20. Однако дальнейшего распространения схема ТП-Д в экскаваторных электроприводах не получила, т.к. уровень высших гармонических составляющих тока, появляющихся в карьерных сетях из-за одновременной работы большого количества силовых тиристорных преобразователей, оказался настолько высок, что встала необходимость массового применения фильтро-компенсирующих устройств.

Одним из перспективных направлений является использование для экскаваторных механизмов частотно-регулируемых электроприводов

переменного тока. Широкое внедрение в экскаваторный электропривод систем переменного тока до недавнего времени сдерживалось невозможностью создания в приемлемых массах и габаритах достаточно надежных преобразователей частоты экскаваторной мощности. Появление на мировом рынке силовых IGBT-транзисторных модулей и IGCT-тиристорных модулей обусловило новые возможности по созданию силовой части преобразователей частоты.

Применение IGBT с более высокой частотой переключения в совокупности с микропроцессорной системой управления в преобразователях частоты снижает уровень высших гармоник, характерных для тиристорных преобразователей. Как следствие меньшие добавочные потери в обмотках и магнитопроводе электродвигателя, уменьшение нагрева электрической машины, снижение пульсаций момента и искключение так называемого «шагания» ротора в области малых частот. Снижаются потери в трансформаторах, конденсаторных батареях, увеличивается их срок службы и изоляции проводов, уменьшаются количество ложных срабатываний устройств защиты и погрешности индукционных измерительных приборов.

Современные преобразователи частоты выполнены, как правило, по схеме управляемый выпрямитель – автономный инвертор напряжения. Это обстоятельство отрицательно скажется на энергетической эффективности экскаваторных электроприводов. В то же время на основе той же элементной базы возможно построение управляемого выпрямителя (рис.1). Переменное напряжение питающей сети ($U_{вх.}$) с постоянной амплитудой и частотой ($U_{вх} = \text{const}$, $f_{вх} = \text{const}$) поступает на управляемый выпрямитель 1. Для сглаживания пульсаций выпрямленного напряжения ($U_{выпр.}$) используется фильтр 2. Выпрямитель и емкостный фильтр 2 образуют звено постоянного тока. С выхода фильтра постоянное напряжение U_d поступает на вход автономного импульсного инвертора 3 с IGBT-транзисторным модулем. При необходимости на выходе автономного инвертора устанавливается фильтр 4 для сглаживания пульсаций тока.

Сочетание такого выпрямителя со статическим инвертором в составе преобразователя частоты позволяет реализовать систему экскаваторного электропривода переменного тока, обеспечивающую все характерные для экскаваторов режимы работы.

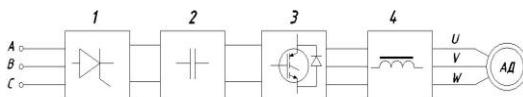


Рис. 1. Схема преобразователя частоты - управляемый выпрямитель - автономный инвертор напряжения

Таким образом, совершенствование экскаваторных электроприводов переменного тока как в плане повышения эксплуатационной надежности и долговечности механического оборудования, так и в плане повышения энергетических показателей путем построения системы экскаваторных электроприводов как единого комплекса является задачей актуальной.

Библиографический список

1. Бариев Н.В. Электрооборудование одноковшовых экскаваторов. М.: Энергия, 1980.
2. Сандригайло И.Н., Цветков В.Н. Новый карьерный экскаватор ЭКГ-12 и его модификации // Горный журнал. 1999. - №7.
3. Современный частотно-регулируемый электропривод / Горбань Р.Н., Янукович А. Т. II Под ред. Гаврилова А.В. СПб: СПЭК, 2001.

М.Р. Шмигель, М.Ю. Русяева, студ.;
рук. И.И. Артюхов, д.т.н., проф.
(СГТУ имени Гагарина Ю.А., г. Саратов)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПУСКОВЫХ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВЕНТИЛЯТОРОВ АППАРАТОВ ВОЗДУШНОГО ОХЛАЖДЕНИЯ ГАЗА

На компрессорных станциях магистрального транспорта газа получили широкое применение многополюсные асинхронные двигатели (АД), в частности, серии ВАСО мощностью 37 кВт. Эти двигатели осуществляют привод вентиляторов в аппаратах воздушного охлаждения (АВО) газа. Благодаря большому количеству пар полюсов ($p=12$) скорость вращения ротора близка к 250 об/мин, что позволяет устанавливать вентиляторы непосредственно на вал АД.

Представляет интерес исследование переходных процессов, которые происходят при пуске электропривода вентиляторов АВО газа. Из-за большой инерционности мехатронной системы эти процессы происходят в течение нескольких секунд и сопровождаются перегрузкой источника питания [1].

Для исследования переходных процессов построена имитационная модель (рис. 1) в среде MATLAB (версия R2012a) с пакетом расширения Simulink [2].

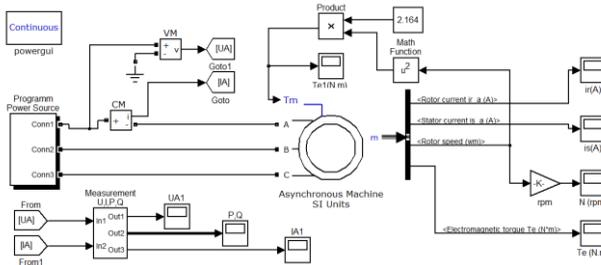


Рис. 1. Схема имитационной модели электропривода

Основой модели АД с вентиляторной нагрузкой является блок Asynchronous Machine, использующий уравнения в системе Парка – Горева. Момент сопротивления, создаваемый вентиляторной нагрузкой двигателя, моделируется блоками Math Function и Product из библиотеки Math Operations, а также блоком Constant библиотеки Sources. Источник питания моделируется оригинальным блоком Programm Power Source, в котором реализованы функции ступенчатого изменения величины и частоты напряжения.

С помощью имитационной модели исследовалась возможность снижения пусковых токов АД за счет ступенчатого увеличения напряжения на статорных обмотках. Некоторые результаты моделирования для ситуации, когда линейное напряжение источника питания возросло от 200 до 380 В с шагом 60 В через каждые 0,5 секунд представлены на рисунках 2 и 3.

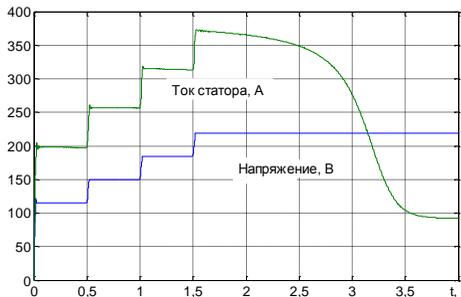


Рис. 2. Графики изменения входного напряжения и потребляемого тока

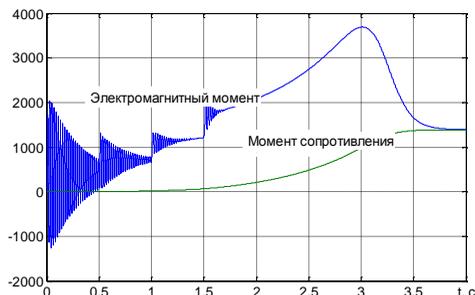


Рис. 3. Графики изменения момента сопротивления и электромагнитного момента

Из графиков видно, что данный способ пуска не позволяет решить поставленную задачу. Реактивная составляющая полного тока АД в переходном режиме превышает активную составляющую в 4,4 раза. Поэтому пусковой ток многополюсного АД можно значительно уменьшить либо за счет динамической компенсации реактивной составляющей, либо применением частотно-регулируемого пуска.

Библиографический список

1. Аршакян И.И., Артюхов И.И. Динамические процессы в системах электроснабжения установок охлаждения газа. Саратов: СГТУ, 2004. 120 с.
2. Черных И.В. Моделирование электротехнических устройств в MATLAB, SimPowerSystems и Simulink. М.: ДМК Пресс; СПб.: Питер, 2008. 288 с.

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

НАСТРОЙКА АСТАТИЧЕСКИХ РЕГУЛЯТОРОВ ПОЛОЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Использование электромехатронных модулей позиционирования делает конкурентоспособным технологическое оборудование. В робототехнике при управлении движением манипуляторов происходит связанное с изменением конфигурации манипулятора изменение инерционных коэффициентов звеньев [1].

Исследуем системы с ПИ(Д) и ПИ2И(Д) регуляторами, настроенными на динамику Бесселя [2], с целью сравнить два вида фиксированной настройки: на минимум или на максимум инерции модуля.

При настройке на минимум рост k_{in} модуля приводит к неустойчивости процессов, на рис.1 показаны процессы на грани устойчивости для системы с астатизмом 1-го порядка при увеличении k_{in} в 5,5 раз.

Аналогичная картина наблюдается в системе с астатизмом 2-го порядка при увеличении k_{in} в 2,97 раз (рис. 2).

Настройка на максимум обеспечивает приемлемые динамические характеристики при 10-и кратном изменении k_{in} модуля, на рис. 3, как пример, показаны графики процессов системы с астатизмом 2-го порядка.

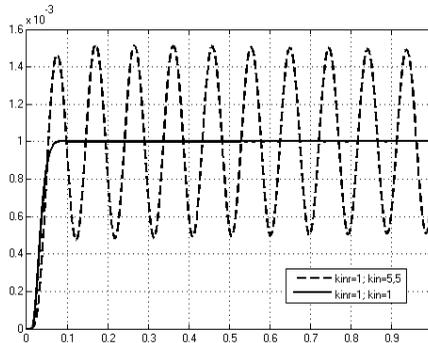


Рис. 1. Графики изменения положения при настройке ПИ(Д) регулятора на минимум инерционного коэффициента

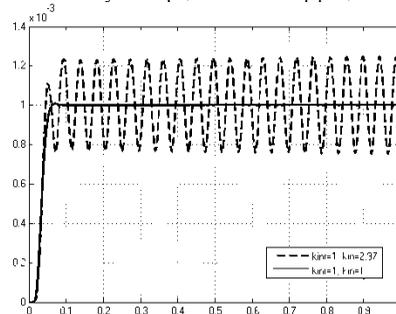


Рис. 2. Графики изменения положения при настройке ПИ2И(Д) регулятора на минимум инерционного коэффициента

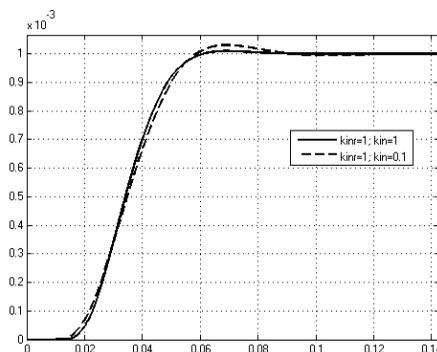


Рис. 3. Графики изменения положения при настройке ПИИ(Д) регулятора на максимум инерционного коэффициента

Для практической реализации систем с ПИ(Д) и ПИИ(Д) регуляторами, настроенными на динамику Бесселя, можно рекомендовать настройку регуляторов на максимальное значение k_{in} модуля.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

Библиографический список

1. Лебедев С.К. Электромеханические системы позиционирования: расчет кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов: уч. пос.– Иваново: ИГЭУ, 2003.–120 с.
2. Лебедев С.К., Колганов А.Р. Исследование характеристик стандартных распределений корней характеристических уравнений для электромехатронных систем позиционирования // Вестник ИГЭУ.– Иваново, 2014. – №6. – С. 57-62.

*С.А. Мамин, студ.; рук. В.Ф. Глазунов, д. т. н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

О ДЕФОРМАЦИИ ДВИЖУЩЕЙСЯ НИТИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ СИЛ ТРЕНИЯ

Известная математическая модель деформации транспортируемых гибких материалов в процессе их обработки [1] не может использоваться в случае перемотки нити и основы в связи с неопределённостью величины скорости материала на входе в зону

деформации. Здесь рассмотрим зону деформации нити (рис.1) с сосредоточенной в узле трения 1 силой трения $F_{тр}$, влияющей на относительное удлинение ε_1 наматываемой со скоростью v_2 нити.

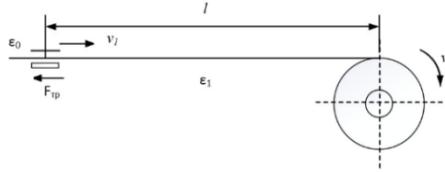


Рис. 1. Зона деформации нити.

$\varepsilon_0, \varepsilon_1$ – относительные удлинения нитей; v_1, v_2 – скорости движения нити, м/с, на входе и выходе зоны деформации; $F_{тр}$ – сила сопротивления движению нити, Н.

Возникающее в процессе перемотки нити относительное удлинение ε , зависит от её скорости v_1 на выходе узла трения. Примем для простоты анализа эту зависимость линейной $v_1 = k\varepsilon_1$, нить упругой и не имеющей массы.

В этом случае известное уравнение материального баланса [1] при отклонении скорости v_2 на величину Δv_2 , имеет вид [1]:

$$\frac{l}{1+\varepsilon_1+\Delta\varepsilon_1} = \frac{l}{1+\varepsilon_1} + \frac{k\varepsilon_1\Delta t}{1+\varepsilon_0} - \frac{v_2\Delta t}{2} \left(\frac{1}{1+\varepsilon_1} + \frac{1}{1+\varepsilon_1+\Delta\varepsilon_1} \right); \quad (1)$$

Выполнив преобразования и опуская члены второго порядка малости имеем (1) в виде:

$$l\Delta\varepsilon_1 + k\varepsilon_1\Delta t = v_2\Delta t + v_2\Delta t\varepsilon_1 + v_2\Delta t\varepsilon_0 \quad (2)$$

Разделив левую и правую части уравнения (2) на Δt , получим:

$$l \frac{\Delta\varepsilon_1}{\Delta t} + (k - v_2)\varepsilon_1 = v_2(1 + \varepsilon_0). \quad (3)$$

При $\Delta t = 0$ имеем дифференциальное уравнение:

$$l \frac{d\varepsilon_1}{dt} + (k - v_2)\varepsilon_1 = v_2(1 + \varepsilon_0). \quad (4)$$

Запишем (4) в виде:

$$\frac{l}{k - v_2} s + 1 = v_2 \frac{1 + \varepsilon_0}{k - v_2}. \quad (5)$$

Здесь $\frac{l}{k - v_2} = T_H$ – постоянная времени деформации нити, с.

Тогда зависимость ε_1 от скорости v_2 имеет вид:

$$\varepsilon_1 = \frac{1}{T_H s + 1} \cdot \frac{1 + \varepsilon_0}{k - v_2} v_2. \quad (6)$$

Передаточная функция зоны деформации

$$H(s) = \frac{\varepsilon_1(s)}{v_2(s)} = \frac{(1 + \varepsilon_0)/(k - v_2)}{T_H s + 1}. \quad (7)$$

Анализ (7) показывает, что постоянная времени T_H возрастает с увеличением длины нити в зоне деформации и уменьшением сил сопротивления её движению.

При $k \gg v_2 T_H = \frac{l}{k}$;

$$H(s) = \frac{\varepsilon_1(s)}{v_2(s)} = \frac{\frac{1}{k}(1 + \varepsilon_0)}{\frac{l}{k} T_H s + 1} v_2(s). \quad (8)$$

В случае наличия на месте узла трения 1 (рис) рабочего органа, транспортирующего нить со скоростью v_1 передаточная функция (7) имеет вид:

$$H'(s) = \frac{\varepsilon_1(s)}{(v_2 - v_1)(s)} = \frac{k_v}{T'_H s + 1}, \quad (9)$$

где $k_v = \frac{1}{v_2}$; $T'_H = \frac{l}{v_2}$.

Анализ (7) и (9) позволяет говорить о специфике процесса деформации нити, наматываемой с натяжением, определяемым силами трения, существенно влияющими на его инерционность. При этом с ростом сил трения инерционность процесса деформации увеличивается.

Библиографический список

1. Глазунов В.Ф., Прокушев С.В. Автоматизация оборудования для непрерывной обработки текстильных материалов / ИГЭУ 2002, 348 с.

*Д.А. Замкова, В.А. Замков, студ.;
рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ НА ХАРАКТЕРИСТИКИ СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ИЗМЕНЕНИЯ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Обеспечить технологическое оборудование конкурентоспособными характеристиками позволяют электромехатронные модули позиционирования. В системах робототехники при управлении движением промышленных манипуляторов происходит связанное с изменением конфигурации манипулятора изменение инерционных коэффициентов звеньев [1]. Модель системы позиционирования позволяет отдельно задавать параметры модуля и регулятора. На рис. 1 в качестве примера показана модель исследования систем с П(Д) регулятором, настроенным на динамику Бесселя [2], позволяющая оценить два вида фиксированной настройки регулятора: на минимум инерции модуля, на максимум.

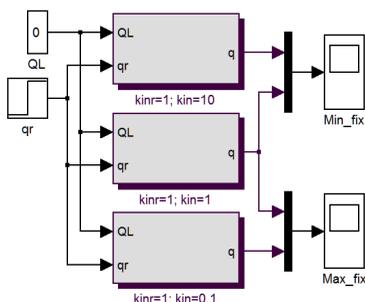


Рис. 1. Модель для сравнения настроек систем с П(Д) регулятором

На рис. 2 показаны графики изменения положения при позиционировании статических систем с регулятором, настроенным на минимум инерционного коэффициента, при увеличении в 10 раз. График на верхней границе показывает существенное ухудшение динамики: рост переупругости и колебательности. Настройка на

максимум (рис. 2) демонстрирует монотонность процесса при уменьшении в 10 раз.

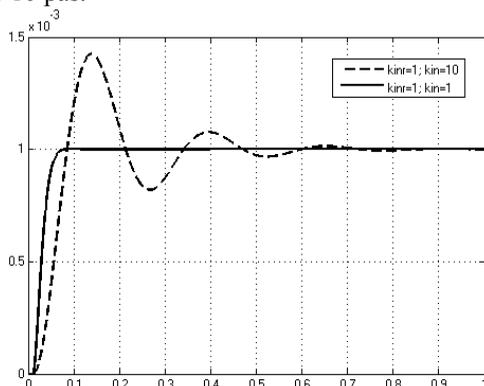


Рис. 2. Графики изменения положения при фиксированной настройке П(Д) регулятора на минимум инерционного коэффициента

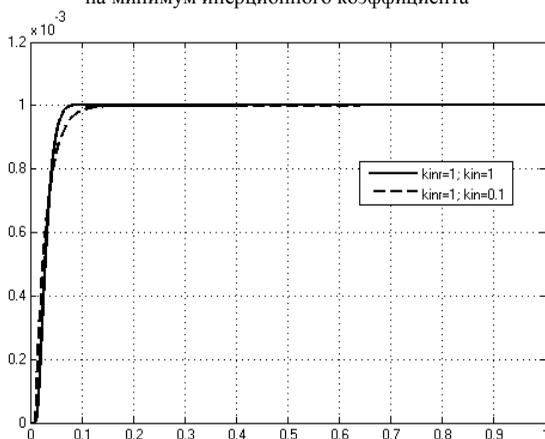


Рис. 3. Графики изменения положения при фиксированной настройке П(Д) регулятора на максимум инерционного коэффициента

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

Библиографический список

1. Лебедев С.К. Электромеханические системы позиционирования: расчет кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов: уч. пос.– Иваново: ИГЭУ, 2003.–120 с.

2. **Лебедев С.К.**, Колганов А.Р. Исследование характеристик стандартных распределений корней характеристических уравнений для электромехатронных систем позиционирования // Вестник ИГЭУ.– Иваново, 2014. – №6. – С. 57-62.

*А.В. Спичков, Д.А. Зайцев, студ.;
рук. М.С. Куленко, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЫБОР ТИПА ФУНКЦИЙ ПРИНАДЛЕЖНОСТИ В СИСТЕМАХ НЕЧЕТКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАТЯЖЕНИЕМ ГИБКОГО МАТЕРИАЛА

В рамках продолжения работ по исследованию применений нечетких регуляторов в системах автоматизированного электропривода выполнено исследование применения такого типа регуляторов в системах управления натяжением гибкого материала, формируемого в рулонную структуру.

В работе исследовано применение фаззи-регулятора натяжения в условиях недостаточной информации об объекте управления и максимально упрощенной его математической модели.

Использован двухканальный тип регулятора с интегральной и пропорциональной составляющими сигнала ошибки, фаззифицируемыми в диапазоне ограничений на реальные физические координаты, с формированием правил логического вывода на основе исследования поведения модели объекта, выполненной по методу механических аналогий.

Установлено, что динамические характеристики регулирования во многом определяются видом функций принадлежности, используемых при фаззификации входных и выходных координат. При этом упрощенное их представление в виде t -, L - и S -функций [1] вносит ошибку относительно желаемого поведения системы, а усложнение функций до сигмоидного класса предполагает увеличение нагрузки на вычислительную часть алгоритма логического вывода. Кроме того, отсутствует обоснование выбора того или иного класса функций для реализации вполне определенной задачи.

С целью снижения субъективного фактора при выборе функций принадлежности предлагается использовать обобщенную функцию желательности Харрингтона, позволяющую преобразовать возможные значения фаззифицируемых переменных в соответствии со шкалой желательности.

Выполненные исследования работы нечеткого регулятора, построенного на основе такого подхода к фаззификации, показали возможность упрощения вычислительной части алгоритма нечеткого вывода и обоснованность выбора значений функций принадлежности.

Исследования выполнены при формировании равноплотностной и равнонапряженной рулонной структуры при типовых законах изменения намоточного натяжения.

Библиографический список

1. **Яхьяева Г.Э.** Нечеткие множества и нейронные сети. М.: Бином, Лаборатория знаний, 2006.

*Д.Д. Бонокин, студ.; рук. А.А. Репин, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ИЕРАРХИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМ КОМПЛЕКСОМ БПЛА ВЕРТОЛЕТНОГО ТИПА

Комплексы на основе беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) вертолетного типа представляют собой многокомпонентную группу разнородных (негомогенных) мехатронных объектов со сложным характером информационного обмена по каналам управления полетом, операторскому каналу, а также при взаимодействии автономных элементов системы между собой. Актуальность разработки таких комплексов обусловлена, прежде всего, высокими скоростными и маневровыми характеристикам винтокрылых автономных летательных аппаратов, обеспечивающих возможность непосредственного получения видеоизображений объекта, снятых с близкого расстояния с высоким разрешением, передаваемых на пульт оператора в реальном времени для последующей цифровой обработки и выявления дефектов объекта.

Объектом исследований является электроприводной вертолет *Align T-Rex 800 DFC*, который обладает автономной системой управления, а также может управляется оператором полета с помощью высокоуровневых команд.

Целью научных исследований, проводимых в рамках данной работы, является проектирование комплекса БПЛА вертолетного типа, обеспечивающего выполнение следующих задач:

- многоуровневое распределения задач между оператором полета и роботом-вертолетом при решении задачи дистанционного видеомониторинга в предписанной зоне;
- обеспечение трансляции видеоизображения инспектируемого объекта в зоне, описываемой опорными точками (координатами *GPS*);
- предварительная обработка и беспроводная гарантировано безошибочная (*failsafe system*) передача информации об изображении на пульт оператора;
- обеспечение длительности сеанса видеомониторинга в 0,5 часа.

Для преодоления трудностей разработки комплекса, возникающих при применении методов классической теории управления для синтеза алгоритмов управления движением мехатронных модулей БПЛА, нами было предложено использовать иерархически структурированную систему управления на основе поведенческих реакций с использованием нейронных сетей, архитектура которой представлена на рис. 1.

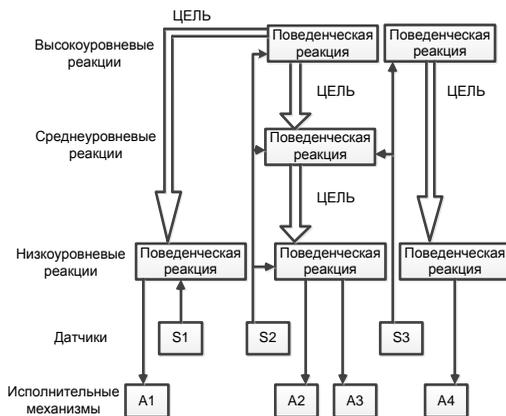


Рис. 1. Архитектура системы управления БПЛА вертолетного типа

На высшем уровне иерархии решаются долгосрочные задачи, стоящие перед вертолетом: следование заданной траектории, обеспечение требуемой ориентации в пространстве при следовании по заданной траектории и т. п. Эти задачи формулируются на основе команд, поступающих с центрального пункта управления или оператора полета, а также на основе показаний телеметрии.

Средний уровень иерархии поддерживает необходимые программные для выполнения высокоуровневых команд, которые

представляют собой выполнение ряда «элементарных» маневров, выполняемых вертолетом, таких как переход на новую требуемую высоту, обеспечение требуемой пространственной ориентации вертолета и т. п.

На нижнем уровне управления главным приоритетом является обеспечение выживания вертолета. На этом уровне обеспечивается выполнение очень быстрых реакций на внешние воздействия для удержания вертолета в режиме зависания. В режиме зависания система управления обеспечивает наличие постоянного направления и положения над землей.

На данный момент научно-исследовательские и опытно-конструкторские работы, выполняемые в рамках проекта находятся на этапе решения задач анализа и исследования мехатронной системы БПЛА вертолетного типа, а также разработки высокоэффективных алгоритмов формирования траектории полёта и адаптивного управления движением машины. Предполагаемый срок реализации проекта при удовлетворительном финансировании составляет 2 года.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

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

ОГРАНИЧЕНИЕ СКОРОСТИ В АСТАТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Модель для исследования систем с астатизмом 1-го порядка с регулятором ПИ(Д), настроенном на динамику Бесселя [1], показана на рис. 1. Здесь сравниваются два варианта задания скорости при позиционировании. Структура подсистемы, моделирующей ПИ(Д) регулятор с переменной структурой, показана на рис. 2.

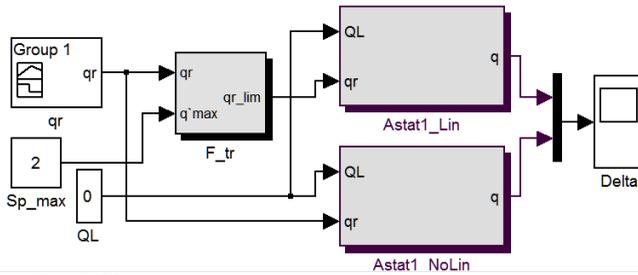


Рис. 1. Модель для сравнения способов ограничения скорости в системах позиционирования с ПИ(Д) регулятором положения

Задание скорости формируется двумя элементами: интегратором с ограничением и блоком ограничения. Величина ограничения на интеграторе и в блоке ограничения определяется выражением:

$$U_{ogr} = \pm 3,417 k_{in} \omega_0 \dot{q}_{max} \cdot$$

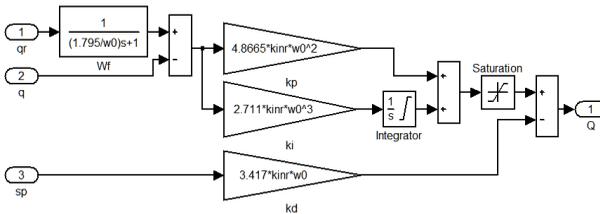


Рис. 2. ПИ(Д) регулятор положения с переменной структурой

На рис. 3 показаны графики позиционирования двух вариантов систем с ПИ(Д) регулятором. Здесь более «быстрой» оказывается система с нелинейным регулятором. Но динамика позиционирования системы с нелинейным регулятором демонстрирует переупругивание.

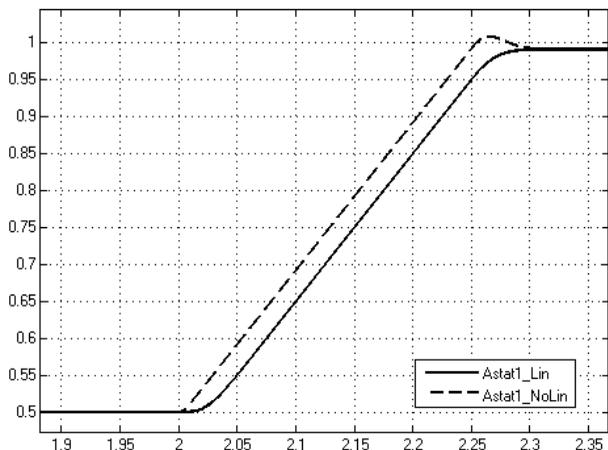


Рис. 3. Графики изменения положения линейной и нелинейной систем позиционирования с ПИ(Д) регуляторами

Это связано с тем, что «временный» контур регулирования скорости не подвергался оптимизации. Существуют решения для таких регуляторов с переменной структурой [2], позволяющие оптимизировать процессы, связанные с переключением структуры системы на входе и выходе из ограничения. Но в этом случае алгоритмическая и структурная сложность регулятора сделает систему неконкурентоспособной по отношению к варианту с формирователем. При этом следует не забывать о возможности реализации в формирователе дополнительных функций (ограничение ускорения и пр.). Поэтому для реализации в системе позиционирования с астатизмом 1-го порядка следует однозначно рекомендовать вариант с формирователем траектории позиционирования.

Структура *Simulink* модели для исследования системы с астатизмом 2-го порядка с регулятором ПИ(Д), настроенном на динамику Бесселя [1], показана на рис. 4.

Здесь нет альтернативы формированию траектории позиционирования на входе системы, так как реализация задания в ПИИ(Д) регуляторе положения связана с организации согласованно управляемых ограничений на 3-х интеграторах, причем два из них включены последовательно. Поэтому графики на рис. 5 лишь демонстрируют эффективность «работы» системы позиционирования с

астатизмом 2-го порядка в режиме формирования траектории позиционирования с заданной скоростью движения.

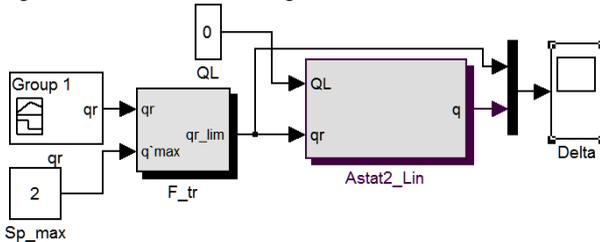


Рис. 4. Модель для сравнения способов ограничения скорости в статических системах позиционирования с ПИ2И(Д) регулятором положения

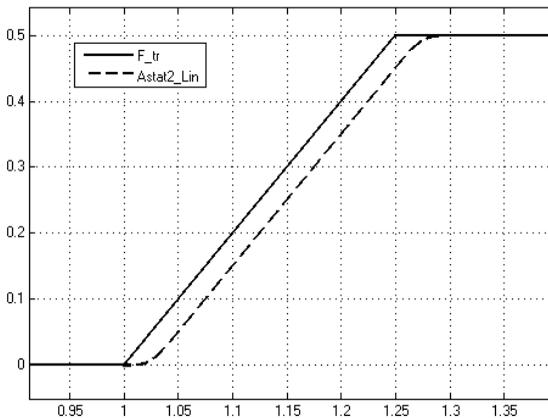


Рис. 5. Графики изменения положения системы позиционирования с ПИ2И(Д) регулятором

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

Библиографический список

1. Лебедев С.К., Колганов А.Р. Исследование характеристик стандартных распределений корней характеристических уравнений для электромехатронных систем позиционирования // Вестник ИГЭУ. – Иваново, 2014. – №6. – С. 57-62.
2. Глазунов В.Ф., Лебедев С.К., Гнездов Н.Е. Многосвязные электромехатронные системы с нежесткой механикой. – Иваново: ИГЭУ, 2013. – 256 с.

*А.Д. Винокуров, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОГРАММНО-АППАРАТНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Отсутствие универсальных программных и аппаратных средств исследований электромеханических систем, выполняемых в учебных и научных целях, позволяющих минимизировать временные затраты на подготовку эксперимента, изменение структуры и параметров исследуемой системы, сохранение и обработку полученных массивов экспериментальных данных, обуславливают необходимость создания базовых типовых программно-аппаратных модулей, использование которых позволяет исследователю формировать программу эксперимента, фиксировать в требуемом виде и обрабатывать необходимыми методами его результаты. Цель работы состоит в создании комплекса программно-аппаратных средств, обеспечивающего возможность автоматизированного выполнения лабораторных экспериментов.

Реализация основных задач, возлагаемых на программно-аппаратные компоненты комплекса, таких как контроль физических параметров исследуемой системы; обеспечение необходимой последовательности действий экспериментатора; сохранение и последующая обработка результатов эксперимента выполнена на основе плат ввода/вывода данных 6024E фирмы National Instruments (для обмена информацией в аналоговом и цифровом виде между управляющей программой и исследуемым объектом), среды программирования Matlab, в которой происходит формирование программы эксперимента.

На основе разработанных и протестированных на лабораторном оборудовании алгоритмах реализации аналогового вывода сигналов заданной формы, обмена цифровыми сигналами между моделью и объектом созданы виртуальные модели элементов управления, позволяющих реализовывать различные законы управления.

Полученные результаты использованы при создании лабораторного практикума по исследованию систем управления электроприводами в части изучения регуляторов в многоконтурных системах.

Осуществлено сопряжение программной части, выполненной в подсистеме Simulink комплекса Matlab, с экспериментальным стендом. Реализованы типовые операции управления экспериментом, а также снятия и обработки экспериментальных данных.

*П.В. Гаак, студ.; рук. А.В. Пруднов, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, Иваново)*

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДАМИ МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ СТАНКОВ

Современные многоцелевые металлообрабатывающие станки типа обрабатывающий устройства предназначены для высокопроизводительной обработки деталей различных размеров и сложности, из различных материалов: от любых сплавов до высокопрочных сталей.

Анализ нагрузок подобных работающих станков и технологических программ показывает, что как привод главного движения, так и привода подач по моменту в большинстве случаев загружены на 50%. Поэтому можно отметить, что эти станки во многих случаях используются весьма нерационально. Представляется целесообразным применение адаптивных систем управления электроприводами подач. Для повышения эффективности использования станков необходимо в ряде случаев значительно увеличивать скорость подачи. Критерием работы адаптивной системы представленного управления нагрузка электродвигателя. Однако, надо учитывать, что при скорости подачи, обеспечивающий загрузку приводом станка близкой к максимальной, изменении поверхности заготовки, возможно увеличится припуска на обработку, из-за затупления инструмента, возможно увеличение нагрузки до максимальной. Для ограничения значительных перегрузок необходимо контролировать температуру двигателей и не подводить ее до определенных значений, уменьшать нагрузку двигателя снижением скорости подачи.

Диаграмма, представляющая работу системы, представлена на рис. 1.

В интервале времени $T1-T2$ и $T6-T7$, при выходе тока за пределы уставок I_{\max} и I_{\min} , воздействия на скорость подачи не оказывается, т.к. длительность сигнала $I > I_{\max}$ и $I < I_{\min}$ меньше уставок времени таймеров $T1$ и $T2$ соответственно. Величины уставок I_{\max} и I_{\min} изменяются в функции температуры двигателя.

На рис.2, условно изменение температуры двигателя по времени. Цифрами от 1 до 6 отмечены различные температурные пороги. 1 – температура окружающей среды. 6 – зона срабатывания термозащиты и преобразователя привода подачи.

Количество порогов может быть различным, а ширина «коридора» I между установками тока I_{\max} и I_{\min} должна задаваться при помощи параметров.

Рассматривается возможность построения системы на базе современных систем ЧПУ и электропривода.

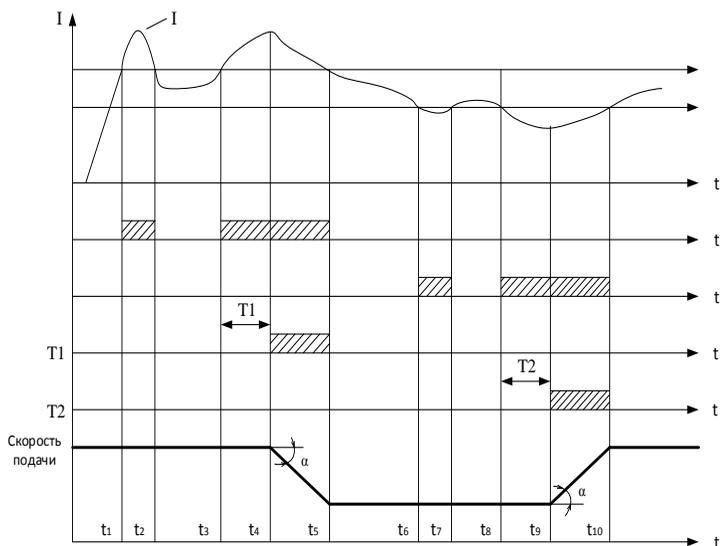


Рис.1. Диаграмма работы системы

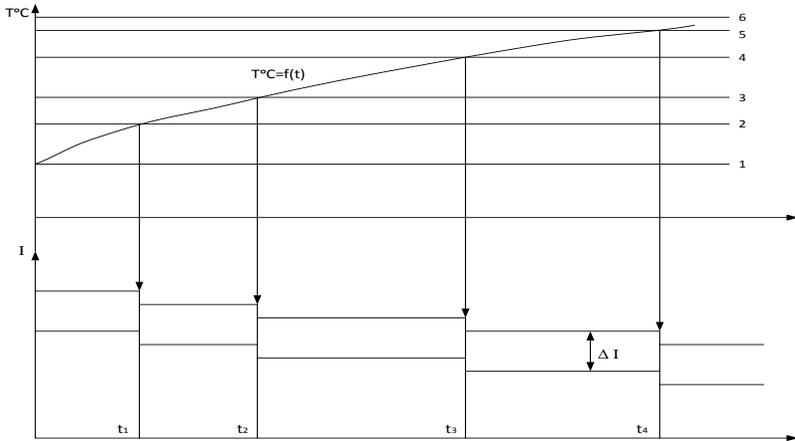


Рис.2. Изменение температуры двигателя во времени

Библиографический список

1. **Корытин А.М.**, Петров Н.К., Радимов С.Н., Шапарев Н.К. Автоматизация типовых технологических процессов и установок. М: Энергоатомиздат, 1988.
2. **ГКБ «СТАНКОСИСТЕМА».** Исследование функциональных возможностей устройств ЧПУ и программируемых контроллеров для реализации адаптивного контроля работы станка. ОТЧЕТ.

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

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ТРАЕКТОРИЙ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Наряду с реализацией задания на позиционирование электромехатронные модули должны обеспечивать выполнение требований технических заданий на ограничение или фиксацию параметров движения исполнительных органов. Наиболее распространенным требованием является требование обеспечения ограничения или задания определенной скорости при позиционировании, что особенно важно для станочных и робототехнических систем [1]. Рассмотрим варианты реализации задания скорости движения.

Первый вариант заключается в использовании в качестве элемента задания скорости регулятора положения, при этом регулятор

оснащается элементами, превращающими регулятор в нелинейный элемент или элемент с переменной структурой [2].

Второй вариант использует применение специального формирователя траектории изменения задания на позиционирование (задатчика интенсивности, формирователя задания), который формирует на входе системы позиционирования сигнал, параметры которого обеспечивают выполнение технических требований по параметрам движения.

Исследовано применение этих вариантов для систем позиционирования. На примере статических систем позиционирования с П(Д) регулятором положения, настроенным на динамику Бесселя [3] показаны две системы:

- с линейным регулятором и формирователем траектории (рис. 1);
- с нелинейным регулятором переменной структуры (рис. 2).

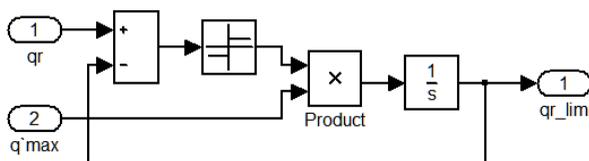


Рис. 1. Подсистема формирователя траектории позиционирования с заданием скорости движения

Графики на рис. 3 позволяют сделать рекомендации по применению алгоритмов на практике.

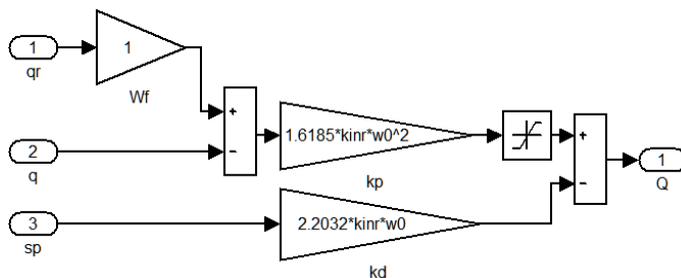


Рис. 2. П(Д) регулятор положения с переменной структурой

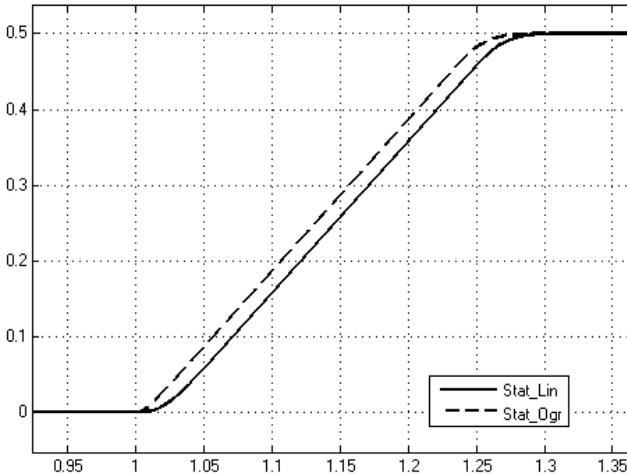


Рис. 3. Графики изменения положения линейной и нелинейной систем позиционирования с П(Д) регуляторами

Продолжается работа по разработке алгоритмов для астатических систем позиционирования.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

Библиографический список

1. **Лебедев С.К.** Электромеханические системы позиционирования: расчет кинематики и динамики манипуляторов промышленных роботов: уч. пос.– Иваново: ИГЭУ, 2003.–120 с.
2. **Глазунов В.Ф., Лебедев С.К., Гнездов Н.Е.** Многосвязные электромехатронные системы с нежесткой механикой.– Иваново: ИГЭУ, 2013.– 256 с.
3. **Лебедев С.К., Колганов А.Р.** Исследование характеристик стандартных распределений корней характеристических уравнений для электромехатронных систем позиционирования // Вестник ИГЭУ.– Иваново, 2014. – №6. – С. 57-62.

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

СИСТЕМА ЧАСТОТНОГО РЕГУЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ГЛАВНОГО ЦИРКУЛЯЦИОННОГО НАСОСА ПЕРВОГО КОНТУРА АТОМНОГО РЕАКТОРА КАЛИНИНСКОЙ АЭС

Согласно данным статистических исследований на сегодняшний день доля энергии, вырабатываемая на атомных станциях, чуть более 15% от общего количества вырабатываемой энергии.

Атомная электростанция (АЭС) является источником повышенной опасности и поддержание параметров рабочей среды на станции очень важно.

Ядерная энергетика сегодняшнего дня развивается только на базе АЭС с реакторами деления (главным образом с реакторами на тепловых нейтронах), использующими в качестве ядерного топлива только один изотоп урана-235. Тепло, вырабатываемое в процессе протекания реакции, передается на теплоноситель, который в свою очередь под рабочим давлением циркулирует по первому контуру. Первый контур предназначен для циркуляции теплоносителя и передачи тепла выделяющегося в активной зоне реактора, воде второго контура в парогенераторах с целью генерации пара во втором контуре для турбогенераторной установки. Далее на турбогенераторной установке происходит преобразование тепловой энергии в электрическую энергию.

Первый контур работает под давлением, достаточно высоким, чтобы не допустить кипения теплоносителя при проектных параметрах. Рабочее давление первого контура составляет 160 кгс/см^2 . На данный момент регулирование давления в первом контуре происходит при помощи системы компенсации давления теплоносителя.

Целью работы является создание системы регулирования давления первого контура. Данная система разрабатывается с применением высоковольтного преобразователя частоты. Кроме поддержания давления система должна обеспечивать ограничение температуры активной зоны реактора. Применение данной системы позволит

сократить энергопотребление собственных нужд и межремонтные интервалы.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ СКАЛЯРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫМИ МОДУЛЯМИ МНОГОУРОВНЕВОГО ВЫСКОВОЛЬТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Целью работы является разработка различных способов управления высоковольтным асинхронным двигателем для промышленной вентиляционной системы и моделирование работы системы управления в компьютерной среде Matlab-Simulink на основе каскадного многоуровневого инвертора напряжения.

Силовая схема системы состоит из многообмоточного фазосдвигающего трансформатора, инверторных ячеек, включенных последовательно в каждую фазу; асинхронного двигателя 8 МВт напряжением 10 кВ и вентиляторной нагрузкой.

Системы управления преобразователем возможны скалярным или векторным способами регулирования.

Скалярная система реализует закон управления U/f инверторными ячейками. Частота и напряжение выступают как два управляющих воздействия. Фаза содержит 6 силовых ячеек и формирует тринадцать уровней выходного напряжения. Каждая ячейка содержит однофазный инвертор на IGBT-транзисторах, осуществляющий обратное преобразование постоянного напряжения в переменное с помощью ШИМ. Принцип формирования выходного напряжения заключается в логическом сравнении синхронизирующего напряжения и модулирующей функции генераторов импульсов.

Matlab-модель системы векторного управления включает подсистемы блока задания скорости и блока системы управления инвертором. Данная система основана на регулировании составляющих векторов тока статора, направленных перпендикулярно вектору потокосцепления ротора. Система представлена регуляторами скорости, потокосцепления и узлами вычисления задания фазных напряжений. Регулятор скорости вырабатывает сигнал задания момента. Регуляторы токов I_d , I_q выполнены ПИ-регуляторами. Разработаны блоки формирования сигналов управления инвертором,

блоки формирования и распределения импульсов, и модель ШИМ - генератора.

В результате моделирования были созданы общие схемы с различными способами управления преобразователем для анализа переходных процессов в системе электропривода вентиляционной установки.

*А.Х. Хангулиев, студ.; Б.С. Курнышев, д. т. н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ СОВМЕСТИМОСТЬ В ПРИВОДНОЙ ТЕХНИКЕ

С развитием технологий разрывного управления электроприводами переменного тока [1] и с применением быстродействующих силовых коммутирующих приборов в преобразователях частоты (ПЧ) возникла проблема защиты от электромагнитных помех [2].

Целью данной работы является исследование механизма возникновения помех и выработка рекомендаций по их устранению.

Для этого определены основные электромагнитные эффекты в силовых цепях ПЧ, рассмотрены основные технические решения в этой области и требования к устройствам подобного типа. В этих целях проведен анализ информации в Internet, периодической и иной научно-технической литературе, а также рассмотрены разработки ведущих фирм в области электропривода переменного тока с ПЧ. Показано, что решение указанной задачи в ряде случаев возможно путём применения фильтров пассивного типа.

Назначение указанных фильтров – это подавление высокочастотных помех, возникающих на выходе и входе работающих ПЧ и снижение скорости нарастания напряжения и тока на фазах нагрузки (двигателей), защита изоляции двигателей от пробоя, предотвращение преждевременного износа подшипников.

Поставленная цель достигается методом математического моделирования на основе теории электрических цепей с распределенными параметрами.

Основными решёнными задачами являются:

- обоснование и разработка математической модели электрического кабеля, соединяющего ПЧ и двигатель переменного тока;

- разработка программы расчета переходных процессов в кабеле;
- исследование электромагнитных процессов в кабеле.

В результате была построена математическая модель электрического кабеля, были разработаны программы для моделирования и проанализированы различные варианты фильтров.

Для решения перечисленных задач были проведены следующие работы:

1. Определено понятие электромагнитной совместимости (ЭМС) в электротехнике по действующим стандартам применительно к поставленным цели и задачам.
2. Проведён анализ механизмов помех.
 - 2.1. Рассчитаны характеристики линии электропередачи при высоких частотах.
 - 2.2. Определены причины высокочастотных помех.
 - 2.3. Выявлены источники помех и их воздействие на потребители электрической энергии.
 - 2.4. Определены механизмы воздействия электромагнитных помех на потребители электрической энергии.
 - 2.5. Установлены механизмы помех применительно к использованию преобразователей на IGBT.
3. Рассмотрены вопросы проектирования электрошкафов с учетом ЭМС.
 - 3.1. Исследована степень влияния места размещения установки электрошкафов по отношению к другим потребителям электроэнергии.
 - 3.2. Исследовано качество сетей в зависимости от их конфигурации.
 - 3.3. Осуществлено проектирование электрошкафа по заданному техническому заданию (ТЗ).
 - 3.4. Выполнен подбор компонентов электрошкафа.
4. Рассмотрены способы обеспечения электромагнитной совместимости электроприводов с преобразователями частоты.
 - 4.1. Рассмотрены вопросы, связанные с заземлением промышленных электроустановок.
 - 4.2. Проведён анализ кабельных соединений с точки зрения электромагнитной совместимости.
 - 4.3. Рассмотрены вопросы подачи электропитания.
 - 4.4. Рассмотрены некоторые вопросы передачи управляющих сигналов в условиях промышленных помех.
 - 4.5. Проработана конструкция электрошкафа по заданному ТЗ.
 - 4.6. Рассмотрены вопросы применения различных конструкций фильтров на входе и выходе преобразователей в зависимости от конфигурации промышленных электросетей.
5. Проведён анализ законов и стандартов ЭМС:
 - современные обозначения;
 - классификация по областям применения;

– обзор законов и стандартов.

Библиографический список

1. **Ключев В.И.** Теория электропривода. – М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **ГОСТ Р 51317.3.2-99** (МЭК 61000-3-2-95) «Совместимость технических средств электромагнитная».

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЕКТОРНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТРАНЗИСТОРНЫМИ МОДУЛЯМИ МНОГОУРОВНЕВОГО ВЫСКОВОЛЬТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ

Целью работы является разработка системы управления электропривода переменного тока для питательного насоса энергоблока тепловой электростанции 210 МВт. Проведен сравнительный анализ способов регулирования производительности насосного агрегата, в ходе которого был выбран частотный способ регулирования с использованием высоковольтного преобразователя частоты (ВЧРП). В основу принципа работы ВЧРП заложен алгоритм многоуровневого сложения напряжения. Каждый силовой модуль является источником напряжения с преобразованием переменного в постоянный и постоянный в переменный и имеет трехфазный входной трансформатор низкого напряжения и однофазный выход. Силовая схема преобразователя состоит из многообмоточного трансформатора, ячеек с силовыми IGBT-модулями, ячейки управления с промышленным компьютером. Для качественной оценки работы преобразователя частоты была разработана компьютерная МАТЛАВ-модель на основе силовой схемы. Проведено отдельно моделирование каждого блока системы. Модель многообмоточного трансформатора представлена тремя одинаковыми трансформаторами, каждый из которых моделирует одну фазу с заданием необходимого фазового сдвига каждой вторичной обмотки. Это нейтрализует большинство гармонических токов от отдельных силовых ячеек и придает синусоидальность токам первичной обмотки. Система управления основана на векторном законе управления и на принципе

синусоидальной широтно-импульсной модуляции. Модель асинхронного двигателя мощностью 8 МВт с напряжением 10 кВ была реализована с имитацией нагрузки насосного агрегата при прямом пуске. На основе моделирования была синтезирована общая схема системы каскадного многоуровневого преобразователя частоты для исследования характеристик переходных процессов высоковольтного асинхронного двигателя с заданной нагрузкой.

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

МОДЕЛИ И ПРОГРАММЫ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОЙ СОВМЕСТИМОСТИ АСИНХРОННЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

В связи с широким внедрением электроприводов переменного тока с преобразователями частоты возникла известная проблема защиты потребителей электрической энергии от электромагнитных помех (проблема ЭМС) [1, 2].

Целью данной работы является разработка программ для ЭВМ, предназначенных для исследования процессов, протекающих в промышленных сетях при работе электроприводов с полупроводниковыми преобразователями.

Для достижения поставленной цели были решены задачи в следующей последовательности:

1. Проведён анализ электромагнитных помех в электроприводах переменного тока с преобразователями частоты.
 - 1.1. Сделан анализ типов электромагнитных помех.
 - 1.2. Определены точки подключения.
 - 1.3. Проведён анализ спектра электромагнитных помех в системах с преобразователями частоты.
 - 1.4. Проведён анализ контуров распространения электромагнитных помех в системах с преобразователями частоты и их частотные характеристики.
 - 1.5. Рассмотрены процессы, связанные с блуждающими токами и современные конструкции силовых электрических кабелей.
2. Разработаны следующие расчётные схемы.
 - 2.1. Расчетная схема двигательного кабеля.
 - 2.2. Расчетная схема сетевого кабеля.
 - 2.3. Расчетная схема преобразователя.

- 2.4. Расчетная схема звена постоянного тока.
- 2.5. Расчетная схема системы «Сетевой кабель – преобразователь частоты – двигательный кабель – двигатель».
- 2.6. Исследованы механизмы возникновения синфазной и дифференциальной помех в сетевом кабеле при коммутации ключей инвертора в выходных цепях преобразователя.
3. Разработана программа для расчёта переходных процессов в системах электропитания электропривода с преобразователями частоты.
 - 3.1. Обоснована структура базовой математической модели.
 - 3.2. Разработана базовая расчетная схема.
 - 3.3. Разработана базовая математическая модель.
 - 3.4. Исследованы процессы в системе "Сетевой кабель – преобразователь частоты – двигательный кабель – двигатель".

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».

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

АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТКАЦКИХ НАВОЕВ

На качество формирования ткацких навоев влияет целый ряд предварительных технологических операций таких как прядение, перемотка, снование, шлихтовка. При всех этих технологических операциях предъявляются довольно жесткие требования к системам электропривода и автоматизации этих процессов.

Наибольшее внимание в последние годы уделяется процессам снования и шлихтования. При формировании сновальных валов ставится задача обеспечить идентичные сновальные паковки с

постоянной плотностью намотки, одинаковыми конечными радиусами и заданной длиной основы. При этом используют математическую модель процесса наматывания на основе уравнений спирали Архимеда. Используются различные модификации алгоритма управления механизмами сновального и уплотняющего валов, использующие принципы активного воздействия уплотняющего вала на основу [1, 2].

Для шлихтовальных машин предложено также большое количество способов и устройств для формирования качественных ткацких навоев.

В работе рассматривается способ формирования ткацких навоев с использованием идентичных сновальных валов с заранее заданными параметрами намотки [3].

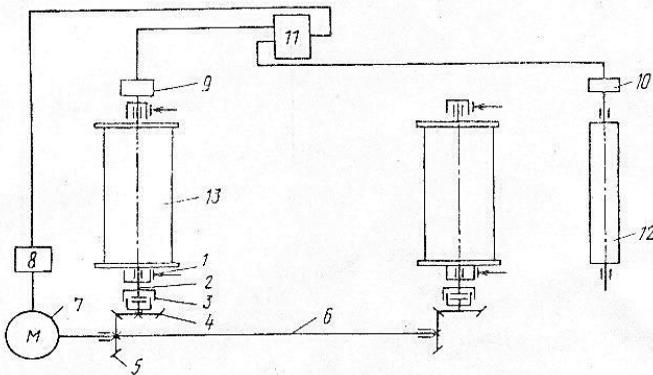


Рис. 1. Схема устройства для формирования ткацких навоев

Принцип работы устройства заключается в следующем.

В момент заправки стойки шлихтовальной машины сновальные валы 13 с помощью муфт 3 сцепления отсоединяются от линейного вала 6. Когда все потоки нитей со сновальных валов 13 заправлены в ткацкий навой, сновальные валы с помощью муфт 3 подключаются к линейному валу 6. С помощью регулируемого механического тормоза 1 устанавливается начальный тормозной момент и машина пускается в работу. При вращении сновальных валов 13 информация с датчиков количества оборотов сновального и тянущего валов 9 и 10 поступает в расчетный блок 11. Расчетный блок 11, имеющий в своем составе таймер, производит расчет угловых скоростей питающих и выпускных органов, текущего радиуса по модели размотки и определяет вытяжку.

Расчетный блок 11 после проведения соответствующих расчетов сравнивает полученную вытяжку с заданием, которое хранится в его

памяти. Если полученное значение вытяжки не укладывается в допустимые нормы, то на выходе расчетного блока 11 появляется сигнал. Этот сигнал поступает на блок управления 8, который обеспечивает сопряжение расчетного блока 11 с электрически управляемым тормозным блоком 7. Электрически управляемый блок 7 под воздействием сигнала с блока управления 8 изменяет тормозной момент на линейном валу 6, изменяя тем самым тормозные моменты на сновальных валах 13. Этот процесс продолжается до тех пор, пока расчетная и заданная вытяжки не уравниваются, сигнал на выходе расчетного блока 11 пропадает и изменение тормозного момента прекращается.

В процессе работы планируется разработка модели элементов автоматизированной системы управления процессом формирования ткацких навоев.

Библиографический список

1. **Кутын А.Ю.**, Кутын Ю.К., Егорова Н.Г. Метод расчета параметров намотки // Вестник Ивановской государственной текстильной академии - 2002, №2. С34-37.
2. **Кутын Ю.К.**, Беляев Л.П., Генварев Н.И., Смирнов В.Ю. Устройство для контроля плотности и длины намотки нитей на сновальной паковке // Текстильная промышленность. - 1988, №4. С.41-43.
3. **Пат 2061807 РФ**, МПК D 02 H 13/28. Способ формирования ткацких навоев и устройство для его осуществления / Ю.К.Кутын, В.Л. Маховер, Н.И.Генварев, С.К.Паникрагов, А.Ю.Кутын и др. РФ №5051285-12. Заявлено 06.07.92, опубл. 10.06.96, Бюл. №16.

*А.А. Репин, ст. преп.; А.В. Введенский, студ.
рук. П.В. Вилков, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОНЦЕПЦИЯ ПОСТРОЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕХАТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Основными элементами систем управления сложными взаимосвязанными производственными комплексами являются мехатронные модули (ММ), качественно новые свойства которых достигаются за счёт синергетической интеграции составляющих их элементов. Такая интеграция основана, прежде всего, на трех основных базовых принципах:

1. реализация заданных функциональных преобразований минимально возможным числом структурных и конструктивных

блоков путем объединения двух и более элементов в единые многофункциональные модули;

2. выбор интерфейсов в качестве локальных точек интеграции и исключение избыточных структурных блоков и интерфейсов как сепаратных элементов;
3. перераспределение функциональной нагрузки в мехатронной системе от аппаратных блоков к интеллектуальным компонентам.

В этой связи поиск путей применения достижений современной теории управления электроприводами и внедрения новейших технических решений в области проектирования встраиваемых систем при построении высокоэффективных ММ представляется на сегодняшний день весьма актуальной задачей.

В рамках проведенных исследований нами проанализированы особенности структуры современных ММ, тенденции их развития, основные проблемы проектирования ММ и пути их решения.

Основываясь на указанных выше трех принципах синергетического объединения, целесообразно классифицировать ММ по уровням интеграции. ММ первого уровня включают в себя лишь только два исходных элемента – механический редуктор и электродвигатель, выпускаемые как единый функциональный элемент. ММ второго уровня дополнительно объединены с устройствами преобразования электроэнергии и системами датчиков. ММ третьего уровня, являясь по сути интеллектуальными электромеханическими системами, интегрированы со встроенной микропроцессорной системой управления – так называемым «контроллером движения».

Интеллектуальные ММ заранее ориентированы на работу в условиях неполноты или нечеткости исходной информации и требуют привлечения при проектировании нетрадиционных подходов к управлению с использованием специальных методов и технологий искусственного интеллекта, таких как иерархически структурированные нейросетевые, нечеткие и синергетические алгоритмы регулирования координат.

Проведенный анализ позволил нам выделить основные проблемы, с которыми сталкиваются разработчики интеллектуальных ММ. Они связаны в первую очередь с синтезом алгоритмов управления движением, инвариантных к типу кинематической схемы многосвязного механизма, а также с разработкой принципов динамической развязки быстродействующих приводов, учитывающих компенсацию влияния степеней подвижности кинематических звеньев. Для решения этих проблем нами предложено два пути: во-первых,

разработка высокоскоростных аппаратных средств вычислительной техники, а, во-вторых, синтез специальных алгоритмов управления на основе современных методов и технологий обработки информации.

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 14-19-00972).

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

УСТРОЙСТВО ВЫЧИСЛЕНИЯ ПОКАЗАТЕЛЕЙ КАЧЕСТВА ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА

При исследовании переходных процессов в системах автоматического управления (САУ) в качестве входного воздействия рассматривается обычно единичная ступенчатая функция (единичный скачок на входе). В этом случае кривая переходного процесса для регулируемой величины ($y_{(t)}$) будет представлять собой переходную характеристику, которая характеризуется некоторыми показателями, определяющими качество САУ.

К числу таких показателей могут быть отнесены:

- перерегулирование – максимальное относительное значение регулируемой величины $\sigma\% = (y_{\max}/y_{\text{уст}} - 1) \cdot 100$;
- где y_{\max} – максимальное значение регулируемой величины в ходе переходного процесса; $y_{\text{уст}}$ – установившееся значение регулируемой величины после завершения переходного процесса;
- время регулирования t_p (длительность переходного процесса t_n) – время, протекающее от момента приложения на вход единичного скачка до момента вхождения регулируемой величиной в заданную зону Δ , составляющую, как правило, от $\pm 1\%$ до $\pm 5\%$ величины скачка (заданного значения регулируемой величины u_3) на входе, т.е. $\Delta\% = \pm(1 - 5)\%$ от u_3 ;
- число колебаний, наблюдаемое в течение времени переходного процесса.

Для вычисления показателей качества переходной характеристики САУ предлагается устройство вычисления показателей качества (УВПК) переходного процесса, которым может быть дополнена модель системы, созданная в среде MATLAB.

УВПК в ходе переходного процесса вычисляет две переменные вида

$$Y = (y/y_3 - 1) \cdot 100\%;$$

$$Z = \begin{cases} t, & \text{если } (y/y_3) < (1 - \Delta) \\ \text{или } (y/y_3) > (1 + \Delta); \\ 0, & \text{если } (1 - \Delta) \leq (y/y_3) \leq (1 + \Delta). \end{cases}$$

Максимальные значения этих переменных, полученные в ходе переходного процесса, и есть перерегулирование $Y_{\max} = \sigma\%$ и время регулирования $Z_{\max} = t_p$ соответственно.

Математическая модель УВПК в Matlab приведена на рис. 1.

Величина $\Delta\%$ в модели рис. 1 при вычислении переменной Z принята $\pm 5\%$.

На рис. 2 приведен график переходного процесса тока якоря $I_a(t)$ двигателя постоянного тока в линейной системе подчиненного регулирования тока и графики выходных сигналов УВПК, по которым вычисляются показатели качества переходной характеристики.

По графикам Y и Z рис. 2 можно легко и с необходимой точностью вычислить показатели качества переходной характеристики $I_a(t)$.

Так, величина перерегулирования скорости $\sigma = 17.5\%$, время регулирования $t_p = 2.35 \cdot 10^{-3}$ сек, число колебаний – одно колебание.

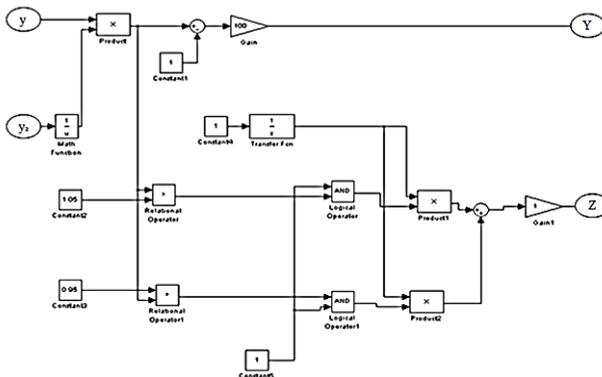


Рис. 1. Математическая модель УВПК:
 y и y_3 – текущее и заданное значения регулируемой величины

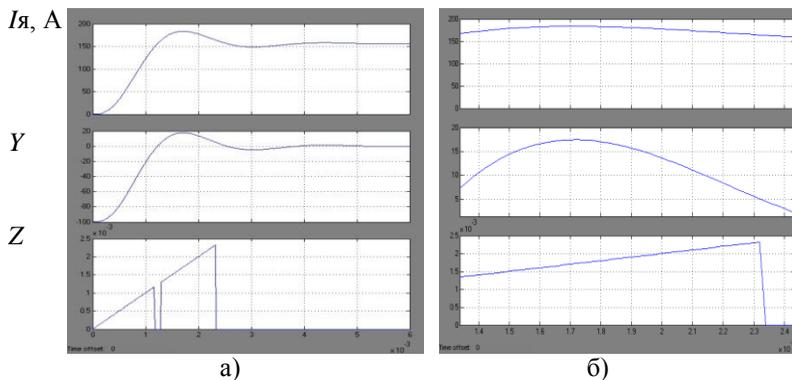


Рис.2. Графики переходной характеристики и выходных сигналов УВПК (а) и их фрагмент в увеличенном масштабе (б)

*А.П. Романов, студ.; Ю.П. Спичков, к. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В МЕХАНИЗМАХ ПОДАЧИ СТАНКОВ

Автоматизированный электропривод играет в станкостроении исключительно важную роль, и уровень его развития определяет совершенство технологического оборудования.

При этом в связи с возрастанием цен на энергоносители, в частности на электроэнергию возникла проблема снижения электропотребления за счет применения современных систем электропривода.

В частности это возможно применением регулируемых электроприводов переменного тока, которые в настоящее время рассматриваются как ключ к энергосбережению, повышению надежности и конкурентоспособности предприятия, улучшению его экологической обстановки.

В настоящее время основным направлением совершенствования существующего парка металлообрабатывающего оборудования, в условиях ограниченного внедрения нового оборудования, является его техническая модернизация. Это достижимо, прежде всего, за счет

установки современных электроприводов и новых микропроцессорных средств автоматики на уже работающем оборудовании и приближения их технических данных к показателям нового.

Сейчас зарубежные производители предлагают большой ассортимент электроприводов переменного тока на базе частотно-регулируемых преобразователей. Однако в условиях существующей экономической ситуации эта продукция не может быть выбрана ввиду значительной стоимости и недостатка информации, необходимой при проектировании и, прежде всего, при эксплуатации. В этих условиях есть целесообразность применения отечественного частотно-регулируемого электропривода ЭПВ, не уступающий и даже превосходящий по техническим возможностям многие зарубежные.

В ходе проводимых в рамках данной работы исследований рассмотрен электропривод механизма подачи металлорежущего станка, где движение подачи обуславливает перемещение инструмента, например механизм подачи шпиндельной бабки копировального станка 6В445.

Данные механизмы таких станков имеют небольшой уровень рабочих скоростей и, следовательно, небольшой их диапазон, но имея при этом высокий уровень быстрых установочных перемещений. Момент нагрузки привода подачи в этом режиме не большой (для станка 6В445 в 3-4 раза меньше рабочего) и практически постоянен.

Традиционно в подобных механизмах предполагалось использование электропривода с синхронным двигателем, обеспечивающего стабильную работу во всем диапазоне изменения скорости механизма подачи. Однако использование синхронных двигателей существенно удорожает стоимость электропривода.

Учитывая эту особенность работы привода подачи шпиндельной бабки станка, был рассмотрен электропривод с асинхронным двигателем, работающего в режиме двухзонного регулирования скорости. При этом область рабочих скоростей покрывается работой двигателя в первой зоне (от скорости ω_{\min} до $\omega_{\text{ном}}$), а скорости установочных перемещений – второй зоной при частотах (скоростях) выше номинальной. Таким образом, это дало возможность повысить уровень минимальной скорости работы двигателя и вывести его из области неравномерности вращения на низких скоростях.

В основу исследований данного электропривода положена математическая модель асинхронного двигателя в системе координат dq , ориентированной по магнитной оси ротора.

Для проверки расчётов параметров системы управления была использована математическая модель электропривода, выполненная в программном комплексе MATLAB. Проведён расчёт переходных процессов в режимах пуска, изменения скорости и отработки «сброс/наброс» нагрузки.

Проведённые исследования показали правильность выше принятых решений. Переходные процессы удовлетворяют всем требованиям, предъявляемым к электроприводам данной группы.

*А.А. Власов, студ.; рук. В.Т. Филитчев, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ДИНАМИКИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДВУХМАШИННОГО АГРЕГАТА С ЧЕРВЯЧНЫМ РЕДУКТОРОМ С САМОТОРМОЖЕНИЕМ

Необходимость получения большого передаточного отношения в кинематике электроприводов отделочного производства, например, осевых накатных машин, обусловило применение червячных редукторов. Однако специфические свойства червячной передачи накладывают на работу системы электропривода ряд ограничений.

Червячная передача представляет собой нелинейный элемент с сухим трением, зависящим от момента на червячном колесе. Увеличение момента на валу червяка приводит к повороту червячного колеса. Обратная передача движения, как правило, невозможна. При приложении момента к червячному колесу может происходить заклинивание, самоторможение передачи.

Оценка влияния червячного редуктора на динамические характеристики системы электропривода, обеспечивающей стабилизацию натяжения полотна, выполним на примере двухмашинного агрегата, представленного рабочими органами технологических машин, кинематически связанными через редукторы с валами приводных двигателей. Приводные двигатели получают питание от индивидуальных преобразователей частоты, а система регулирования натяжения материала построена по принципу подчиненного регулирования. Датчик натяжения имеет упругий элемент и измерительный ролик, а оптимизация контуров тока и

скорости выполнена по известным соотношениям без учета упругости кинематических звеньев [1].

Моделирование эффекта самоторможения червячного редуктора выполнено для двух возможных вариантов направления действия потенциального момента со стороны червячного колеса. В обоих вариантах со стороны червяка действует момент двигателя. В схеме первого варианта потенциальный (активный) момент действует против направления вращения червячного колеса. Эффект самоторможения возникает в том случае, если по каким-либо причинам потенциальный момент превысит момент двигателя. Направление действия потенциального момента в схеме второго варианта совпадает с направлением скорости червячного колеса. Эффект торможения возникает в случае, если потенциальный момент превысит сумму момента двигателя и момента трения [2].

Сравнительный анализ переходных процессов работы двухмашинного агрегата при набросе активного момента выполнен для кинематической схемы одной из машин, содержащей червячный редуктор с самоторможением и с редуктором без самоторможения.

В электроприводе с червячным редуктором эффект самоторможения сопровождается максимальными значениями момента двигателя, увеличением натяжения материала и значительными колебаниями линейных скоростей приводных валков, а также перемещениями ролика компенсатора; при использовании редуктора без самоторможения рассмотренное возмущение не вызывает значительных изменений ни момента, ни натяжения, ни перемещения ролика компенсатора.

Библиографический список

1. Глазунов В.Ф., Литвинский А.Н. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. Иваново, 1980, №4.
2. Глазунов В.Ф., Филичев В.Т., Глотов А.В. Изв. вузов. Технология текстильной промышленности. Иваново, 2008, № 3.

СЕКЦИЯ 20

ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

Председатель – д.т.н., профессор **Казakov Ю.Б.**
Секретарь – к.т.н., доцент **Караулов В.Н.**

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

ИССЛЕДОВАНИЕ СИНХРОННОГО РЕАКТИВНОГО ДВИГАТЕЛЯ С АНИЗОТРОПНОЙ МАГНИТНОЙ ПРОВОДИМОСТЬЮ РОТОРА

Простота конструкции и высокая надежность в работе синхронных реактивных двигателей всегда привлекала внимание ученых и инженеров. К настоящему времени разработано значительное число различных конструкций 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]. Данные двигатели имеют унифицированный с асинхронным двигателем сердечник и обмотку статора. Ротор синхронного реактивного двигателя может выполняться на основе двух технологий: продольной шихтовки пакета ротора (ALA - Axially Laminated Anisotropic) и поперечной шихтовки пакета ротора с немагнитными барьерами (TLA - Transversally Laminated Anisotropic).

Актуальной является задача исследования синхронного реактивного двигателя с анизотропной магнитной проводимостью ротора, определения параметров обмотки статора, создания параметрической модели, расчёт характеристик.

В данной работе представлен анализ электромагнитного состояния СРД с АМПР (110 кВт, 1000 об/мин) в среде MaxWell.

Библиографический список

1. **Постников И. М.** Синхронные реактивные двигатели/ И.М. Постников, В.В. Ралле//Техніка, 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.

*К. А. Коростелев, магистрант; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, Иваново)*

ПОДСИСТЕМА ОПТИМИЗАЦИИ САПР РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Основной задачей данной работы является усовершенствование разработанной подсистемы оптимизации, опирающаяся на современные математические модели САПР распределительных трансформаторов. В качестве объекта проектирования был взят масляный трансформатор ТМГ мощностью 1000кВА, напряжением 1000/0,4 кВ с гофробаком прямоугольной формы без маслорасширителя.

Среда интерактивного проектирования САПР выполнены в MS Excel. Интерфейс для ввода технического задания на оптимизацию представлен на рис. 1. Математический аппарат подсистемы оптимизации реализован в пакете MatLab, связанным с рабочей книгой MSExcel посредством интерфейса XIILink.

Оптимизация трансформатора							
Подготовка списка		Расчет осуществляется по плотности тока					
Варируемые параметры		Имя	Ед.	Rmin	Rmax	P0	Popt
1	Индукция в стержне	Bc	Тл	1,4	1,9	1,42	1,42
2	Диаметр стержня	d	мм	150	400	228,4	229,0
3	Активная высота обмотки	L	мм	300	1000	911,2	795,3
4	Плотность тока ОНН	J1	А/мм ²	1	3	2,39	1,39
	Высота проводника ОНН	br1	мм	3,75	18	18,06	18,00
	Радиальный размер проводника ОНН	br1	мм	1	5,6	4,25	5,60
	Количество слоев ОНН	Nrg1	-	1	4	4	4
	Количество параллелей ОНН	Nrg1	-	1	20	2	2
9	Плотность тока ОВН	J2	А/мм ²	1	3	1,55	2,38
10	Высота проводника ОВН	br2	мм	3,75	18	2,80	3,00
11	Радиальный размер проводника ОВН	br2	мм	1	5,6	2,80	3,00
12	Количество параллелей ОВН	Nrg2	-	1	2	1	1
13	Ширина канала между ОВН и ОНН	a12	мм	20	35	20,0	25,8
14	Количество слоев ОНН	Ns1	-	1	10	2	2
15	Количество слоев ОВН	Ns2	-	5	20	13	8
16	Количество каналов ОНН	Nk1	-	1	2	1	1
17	Количество каналов ОВН	Nk2	-	1	2	1	1
18	Глубина гофр по длинной стороне бака	bgl	мм	50	310	113,5	108,4
Функциональные ограничения		Имя	Ед.	Fmin	Fmax	F0	Fopt
1	Потери короткого замыкания	Pk	Вт	800	14500	12685	14291
2	Напряжение короткого замыкания	uk	%	6,25	6,75	7	6,25
3	Потери холостого хода	P0	Вт	1300	1900	1420	1483,86
4	Ток холостого хода	i0	%	0	1,5	1	0,67
5	Суммарные потери	ΣP	Вт	2100	16400	14105	15775
6	Превышение темп. обмоток над воздухом	To	°C	50	65	44	52
7	Превышение темп. обмоток над маслом	Tom	°C	1	40	42	47

Рис. 1. Окно запуска оптимизации; назначение пределов изменения варьируемых параметров в САПР

Оптимизация проекта происходит с использованием генетических алгоритмов, реализованных в MatLab. В качестве функции цели берется стоимость активных материалов с учетом текущей цены. Важной частью правильной работы оптимизационных алгоритмов является формирование области допустимых значений варьируемых параметров. Для каждого варьируемого параметра необходимо задать пределы изменения, то есть параметрические ограничения.

Основными варьируемыми параметрами в данной работе являются десять аргументов: индукция в стержне магнитопровода B_c ; диаметр стержня магнитопровода d ; высота обмотки L ; плотность тока в обмотке низкого напряжения J_1 ; плотность тока в обмотке высокого напряжения J_2 ; ширина главного канала a_{12} ; количество слоев обмотки низкого напряжения N_{s1} ; количество каналов обмотки низкого напряжения N_{k1} ; количество каналов обмотки высокого напряжения N_{k2} ; глубина гофра по длинной стороне бака bg_1 .

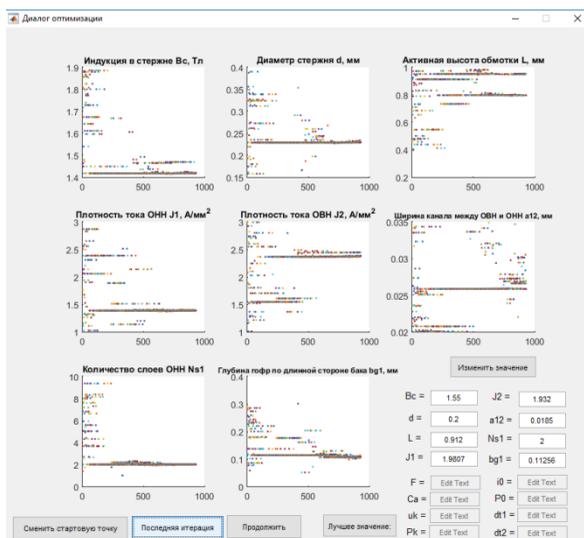


Рис. 2. Диалог оптимизации с варьируемыми параметрами

Во время работы генетического алгоритма в диалоговое окно оптимизации (рис. 2) выдаются тренды изменения варьируемых параметров в ходе поиска оптимального решения задачи. В конце каждой итерации в диалоговое окно выдается итоговое значение

параметров данной итерации. Там же эти параметры можно изменить и начать поиск оптимального решения с новой точки.

В итоге можно проследить, как изменяются варьируемые параметры в ходе поиска оптимального решения, и влиять на интересующий нас параметр с целью коррекции направления поискового процесса.

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

МЕТОДИКА АНАЛИЗА ВИБРОШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

Преобразование энергии в электрических машинах сопровождается возникновением шумов и вибрации от электромагнитных сил, зависящих от типа и конструкции машины, нагрузки, частоты вращения, частоты питающего напряжения, числа зубцов статора и ротора, обмотки статора и других факторов, в том числе, формы напряжения источника питания [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]. Отмечено, что присутствие высших гармоник в напряжении сети с суммарной амплитудой 20 % может увеличить амплитуду шумов и вибраций АД до 40% [4].

Целью работы является проведение расчетных исследований виброшумовых характеристик АД при работе от ПЧ с ШИМ напряжения на основе доработанной, с целью учета влияния ПЧ, методики [2]. Уточнены некоторые коэффициенты, выбраны допущения.

Альтернативным методом является полевой подход к анализу виброшумовых характеристик АД от ПЧ с ШИМ напряжением. Это позволит учесть в расчетах возникающие пространственные и временные гармоники электромагнитных сил, распределенность магнитного поля и магнитных сил в частях электрической машины,

конфигурацию зубцово-пазовой зоны, нелинейность характеристик материалов и другие факторы.

Литература

1. Лазарову Д.Ф., Бикир Н. Магнитный шум электрических машин и трансформаторов/ Пер. с рум. –М.:Энергия 1973.
2. В.Т. Медведев, О.В. Чебышева. Борьба с виброакустическим загрязнением окружающей среды: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 2015. – 56 с.
3. 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. - 152 с.: ил.
4. Немцев А.Г., Федоров О.В., Шестакова Л.А. О вибрации электродвигателей при наличии высших гармонических составляющих в напряжении источника питания // Труды VIII Междунар. конф. по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. – Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, 2014. – Т. 1. – С. 330–331.

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

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО ПАРАМЕТРИЧЕСКОГО ГЕНЕРАТОРА КОНЕЧНО- ЭЛЕМЕНТНОЙ МОДЕЛИ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН ДЛЯ ПОДСИСТЕМ ОПТИМИЗАЦИИ

При разработке электромеханических устройств (ЭМУ) особое значение отдается системам, опирающимся на численный расчет физических полей. Следует отметить, что существующие системы моделирования физических полей являются дорогостоящими закрытыми приложениями. Поэтому в настоящее время актуальной является задача разработки доступных специализированных программных средств, способных интегрироваться с открытыми приложениями, адаптируя их к решению задач электромеханики.

Рабочее место исследователя может строиться на базе одной из открытых систем, которая обеспечивала бы пользователя максимальным количеством стандартных математических процедур и в которую можно при желании интегрировать произвольный набор моделей разрабатываемого технического устройства, оформленных в виде полуавтономных открытых мобильных объектов. В качестве таких систем могут использоваться математические пакеты, например, MSExcel, MatLab, SciLab и т.п.

Основой для построения конечно-элементной модели является геометрическая модель исследуемого устройства, которая строится из объектов, имеющих определенный смысл только в плане описания геометрических особенностей элементов реального устройства. Например, лист ротора электрической машины, являющийся единой деталью, может быть представлен множеством таких геометрических объектов, как пазы, зубцы, ярмо, отверстие под вал и т.п. Такая декомпозиция целостной детали является условной и строится путем введения вспомогательных границ, не являющихся фактическими границами раздела сред. Цель данной декомпозиции состоит в упрощении алгоритмов генерации конечно-элементной модели, что требует наличия подобластей с простой формой границ.

В параметрических генераторах геометрических моделей изображение строится по изначально сформированному алгоритму, оперирующему с ограниченным набором переменных, однозначно определяющих геометрию расчетной области. Изменение значений данных переменных при неизменном алгоритме построения приводит к перестройке всего изображения.

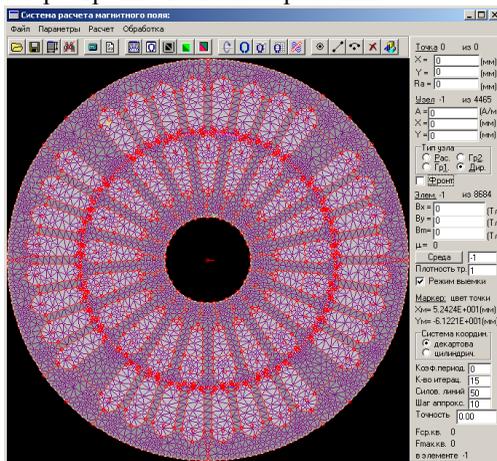


Рис. 1. Результат работы универсального параметрического генератора конечно-элементной модели электрических машин

Разрабатываемый параметрический генератор конечно-элементной модели представляет собой программный код в среде MSExcel, обращающийся к функциям внедренного в данную систему программирования библиотеки моделирования магнитного поля EMLib, с помощью которой осуществляется формирование и связывания объектов полевой модели в соответствии с заданным алгоритмом. Исходными

данными являются параметры магнитной системы устройства, полученные в ходе проектного расчета. На выходе формируется готовая конечно-элементная модель. В настоящее время осуществляется разработка версии универсального генератора конечно-элементных моделей электрических машин произвольной конструкции, который может быть использован при решении задач оптимизации. В частности, на рис. 2 представлены две модели, сгенерированные одним и тем же генератором при различных значениях исходных данных.

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

ВЛИЯНИЕ МАГНИТНОГО НАПОЛНИТЕЛЯ НА ПРОВОДИМОСТЬ ВОЗДУШНОГО ЗАЗОРА.

Одним из способов очистки воды от нефтепродукта является объёмная очистка. В данном методе осуществляется пропускание воды вместе с нефтепродуктом через специальную ячейку, с металлическим наполнителем чешуйчатой формы. В ячейке создается магнитное поле, вследствие чего стружка намагничивается. Её поверхность покрыта слоем магнитной жидкости, которая захватывает капельки нефтепродукта из воды. Мы считаем его наилучшим среди имеющихся методов очистки.

В реальности чешуйки располагаются в хаотичном порядке, что затрудняет определение магнитной проводимости рабочей зоны. А для проектирования и расчета таких ячеек необходимо знать, как наполнитель влияет на магнитное поле. Поэтому определение магнитной проводимости возможно только в ходе эксперимента.

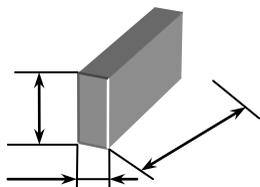


Рис. 1. Обозначения сторон чешуйки

Чешуйки условно можно рассматривать в виде параллелепипеда со сторонами $a \times b \times c$ (рис. 1). В реальности чешуйки не могут быть такого типа, так как стружка при фрезеровании имеет различные размеры и

неправильности форм.

Были приняты принципиальные виды расположения чешуек в зазоре: 1 – плоскостью $a \times b$ перпендикулярно прохождению магнитного потока; 2 – боком, т.е. магнитный поток проходит по

высоте (а) чешуек; 3 – магнитный поток проходит вдоль большей стороны (b). В реальности добиться таких расположений чешуек невозможно. Они располагаются в хаотичном порядке, но не могут выйти за пределы принятого расчета.

Для каждого положения чешуек были выведены уравнения для нахождения магнитной проводимости в зазоре с учетом магнитной проводимости чешуек, магнитная проницаемость которых принимается равной бесконечности.

$$G_{\delta_1} = \frac{\mu_0}{K} \frac{AN}{(\delta_2 + a)(\delta_3 + b)} \left(\frac{ab(\delta_1 + c)}{\delta_1} + \delta_2\delta_3 + \delta_2b + \delta_3a \right);$$

$$G_{\delta_2} = \frac{\mu_0}{K} \frac{AN}{(\delta_2 + c)(\delta_3 + b)} \left(\frac{cb(\delta_1 + a)}{\delta_1} + \delta_2\delta_3 + \delta_2b + \delta_3c \right);$$

$$G_{\delta_3} = \frac{\mu_0}{K} \frac{AN}{(\delta_2 + c)(\delta_3 + a)} \left(\frac{ca(\delta_1 + b)}{\delta_1} + \delta_2\delta_3 + \delta_2a + \delta_3c \right).$$

Здесь μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, K – ширина зазора, A – размер ячейки в вертикальном направлении, N – размер ячейки в горизонтальном направлении, δ_1 – зазор между чешуйками по ширине ячейки, δ_2 – зазор между чешуйками в вертикальном направлении, δ_3 – зазор между чешуйками в горизонтальном направлении.

Для численного исследования магнитной проводимости в зазоре были приняты следующие размеры чешуек: a = 5 мм, b = 20 мм, c = 1 мм. Для упрощения решения было принято считать, что зазоры между чешуйками во всех направлениях равны между собой и равны 1 мм.

Подставляя в приведенные выше выражения, все размеры и изменяя зазоры между чешуйками в диапазоне от 1 до 0,2 мм.

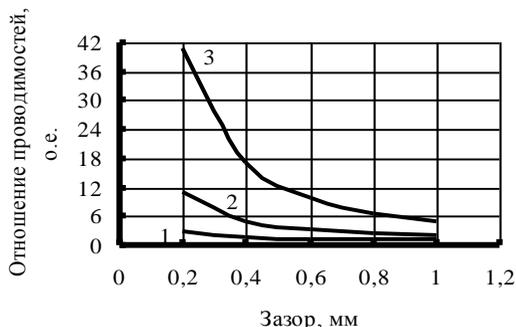


Рис. 2. Отношения проводимостей к проводимости ячейки при разных вариантах расположения чешуек

Рассчитав отношения проводимостей к проводимости ячейки при различных вариантах расположения чешуек (рис. 2), получаем, что проводимость относительно пустой ячейки при 3 варианте будет наибольшей, а при 1 варианте расположения – наименьшей. Это доказывает, что суммарный зазор вдоль магнитного потока при 3 варианте наименьший и больший при 1.

В ходе численного решения было выявлено, что положение чешуек не влияет на коэффициент заполнения рабочей зоны ячейки. Максимальный коэффициент заполнения равен 0,793 при зазоре между чешуйками равным 0,2 мм.

Результаты расчета необходимо подтвердить экспериментально. Опытные данные проводимостей предположительно должны находиться в диапазоне, определяемом первым и третьим вариантом. Результаты экспериментов позволят получить коэффициенты или другие параметры необходимые для учета изменения вида и плотности магнитного наполнителя в рабочем зазоре на проводимость магнитной цепи, что необходимо при проектировании и расчете ячейки объемной очистки воды от нефтепродуктов с помощью магнитной жидкости.

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

АНАЛИЗ РАБОТЫ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ ПИТАНИИ ЕГО ОТ ЧАСТОТНОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

Асинхронные двигатели являются наиболее распространёнными электромеханическими преобразователями энергии. Для управления ими используются частотные преобразователи. Выходное напряжение в частотном преобразователе формируется методом широтно-импульсной модуляции. Питание асинхронного двигателя посредством частотного преобразователя обеспечивает широкие возможности управления, повышение КПД электропривода.

Так как, питающее напряжение несинусоидальное, а импульсное высокой частоты, то это приводит к изменению электромеханических процессов в двигателе. Соответственно изменяются электромагнитный момент и потери в двигателе. Это отражается на рабочих, механических и других характеристиках двигателя. Использование

напряжения импульсной формы, амплитуда которого значительно превышает амплитуду первой гармоники выходного напряжения, приводит к преждевременному старению изоляции и снижению срока службы обмотки и двигателя в целом.

Целью работы является полевой анализ электромагнитного состояния асинхронного двигателя, питаемого от частотного преобразователя.

Метод исследования – использование возможностей программы ELCUT.

Выполнены расчёты и анализ электромагнитного поля, параметров и режимов работы асинхронной двигателя, питаемого от частотного преобразователя. Определены характеристики двигателя в установившихся режимах работы.

Библиографический список

1. **Копылов И.П., Клоков Б.К.** Проектирование электрических машин. М.: Высш. шк., 2005. 767 с.

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

ИНДУКЦИОННЫЙ ДАТЧИК УГЛА ПОВОРОТА

Работа информационно-измерительных систем основывается на применении различных преобразователей информации. Одними из них являются индукционные датчики. Датчик – это аппарат, постоянно преобразующий входную величину в выходную. Существует множество датчиков, у которых предел измерения достаточно широкий, но конструктивно они сложны. На практике наиболее рационально использовать бесконтактные датчики, у которых исключается влияние контакта на выходную величину.

Проблема может быть решена применением кольцевого датчика углового перемещения. Целью работы является разработка простой, надёжной конструкции датчика с широким линейным диапазоном измерения значения угла поворота и повышение точности измерений.

Основным требованием к любому датчику является точность и линейность выходной характеристики.[1,2] Был изготовлен опытный образец датчика, питание которого осуществляется от автономного инвертора напряжения. Измерения проводили при разных частотах входного напряжения. По результатам измерений были получены характеристики с линейным участком в широком диапазоне

измеряемых углов. После обработки результатов было выявлено, что при более высоких частотах чувствительность датчика повышалась.

Следовательно, при повышении частоты точность измерений увеличивается. Но при очень высоких частотах возникают вихревые токи, что снижает точность показаний. Решением этой проблемы может быть применение ферритовых сердечников. Вихревые токи возникать тогда не будут, так как феррит не проводит ток.

Исследование такого типа датчика позволяет судить о его надёжности, высокой точности и чувствительности измерений, а также позволяет измерять широкий диапазон углов.

Библиографический список

1. **Куликовский Л.Ф.** Индуктивные преобразователи перемещения с распределёнными параметрами. М.-Л.: Энергия, 1966. 112 с.
2. **Морозов Н.А., Морозов А.Н.** Анализ точности индукционных датчиков перемещения / XVIII Бенардосовские чтения III том электротехника, Иваново, 2015. – с. 156-160.

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

РАЗРАБОТКА SCADA-СИСТЕМЫ НА ОСНОВЕ ВИРТУАЛЬНОГО ЛАБОРАТОРНОГО СТЕНДА

Разработанный в ИГЭУ виртуальный лабораторный стенд (ВЛС) является имитацией реальной лабораторной установки (рис. 1).

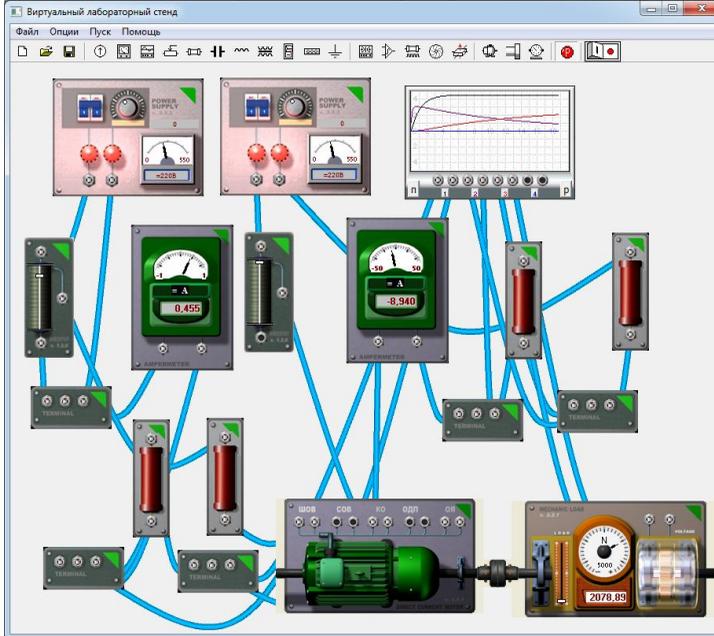


Рис. 1. Внешний вид виртуального лабораторного стенда

ВЛС предназначен для имитации исследования виртуальных устройств, представленных своими математическими моделями. ВЛС позволяет собирать в интерактивном режиме электрические цепи и механические каскады из электромеханических устройств, имитировать работу этих устройств в реальном времени, позволяя пользователю управлять приборами посредством курсора, контролируя ход эксперимента по показаниям виртуальных приборов.

Функционал ВЛС наилучшим образом подходит для реализации функционала SCADA-системы. Главным дополнением к визуальным

конструкциям ВЛС, переводящей его в разряд SCADA-системы является внедрение в него нового виртуального элемента, представляющего собой виртуальный образ реального объекта, подключенного к персональному компьютеру через плату Arduino. Для этого в ВЛС используется виртуальная панель внешнего устройства. В диалоговом окне характеристик данной панели можно задать имя файла рисунка, который будет позиционироваться на данной панели, количество электрических и механических клемм и их координаты на панели, а также поясняющие надписи и координаты их расположения на панели. Таким образом, панель внешнего устройства является настраиваемой как в визуальном, так и функциональном плане.

Главной отличительной особенностью SCADA-системы от базовой версии ВЛС является наличие виртуальных объектов, связанных через контроллер с внешними устройствами. Для этого виртуальная панель внешнего устройства должна быть однозначно связана с конкретными элементами внешнего устройства. Например, двигатель постоянного тока (ДПТ) имеет две электрически несвязанные обмотки, контакты которых присоединяются к соответствующим клеммам аналоговых выводов на плате Arduino. Каждая обмотка представляет собой самостоятельный канал, управляемый напряжением и поставляющий в контроллер величину тока. Такой канал в ВЛС может быть представлен электрической схемой замещения, состоящей из параллельно соединенных элементов: сопротивления и источника тока. Для фиксации скорости вращения ДПТ необходимо воспользоваться датчиком скорости, в роли которого может выступать тахогенератор, напряжение с которого подается на один из аналоговых входов Arduino. В электрической схеме замещения канала он представляется величиной ЭДС, соединенной последовательно с внутренним сопротивлением.

Следует отметить, что непосредственное присоединение ДПТ к контактам платы контроллера возможно лишь для микродвигателей с напряжением питания не более 10 – 20 В и током не более 40 – 50 мА. Если требуется подключить более мощные устройства, то необходимо воспользоваться усилителями, желательно на полевых транзисторах и желательно с оптической развязкой силовой и измерительной цепей. Самый простой и доступный способ подключения более мощных двигателей состоит в использовании микросхемы драйвера двигателей L293D, позволяющей подключать двигатели с напряжением питания

36 вольт и продолжительным током до 0,6 А (максимальный ток может кратковременно подскочить до 1,2 А).

М. В. Профьев, студ.; рук. А. К. Громов, к. т. н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ В СИНХРОННОЙ МАШИНЕ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Проведение исследования электромеханических процессов в электрических машинах возможно в случае известных размеров, обмоточных данных. Эти этапы следуют за проведением поверочного расчета. Методы расчета электрических машин с постоянными магнитами (ЭМ ПМ) изложены в [1].

Электромеханические процессы в ЭМ ПМ это: переходные процессы (пуск, синхронизация) и установившиеся (симметричные и несимметричные) режимы работы. Различают следующие методы моделирования электромеханических процессов в электромеханических преобразователях энергии: с помощью цепных схем замещения и моделирование магнитных полей. В дальнейшем будут рассматриваться оба метода с различной подробностью. В отличие от полевых методов моделирования, где за основу взяты уравнения Максвелла, цепные модели базируются на уравнениях Кирхгофа. Параметры машины, вычисленные с использованием известных положений [1], или при экспериментальных исследованиях позволяют строить соответствующую расчетную модель. Полевые модели предполагают наличие специального программного обеспечения, например ANSYS Maxwell.

В качестве объекта для исследования принимается синхронная машина с постоянными магнитами, имеющая следующие данные: номинальная мощность 40 кВА, номинальная частота вращения 8000 об/мин, номинальное фазное напряжение 120 В. Определена методика выбора размеров постоянных магнитов при двух различных конструкциях ротора: коллекторного типа, либо типа звездочка.

Ротор типа звездочка имеет следующую конструкцию: постоянные магниты 1 (рис. 1, а) установлены на втулке 2 из магнитомягкого материала, которая закреплена на валу машины. Для обеспечения механической прочности конструкции на собранные магниты и втулку

надевают сварной бандаж. Он состоит из полюсных башмаков 3 из магнитной стали и немагнитных вставок 4, сваренных в местах стыка 5. Промежутки между магнитами заполняются компаундом 6.

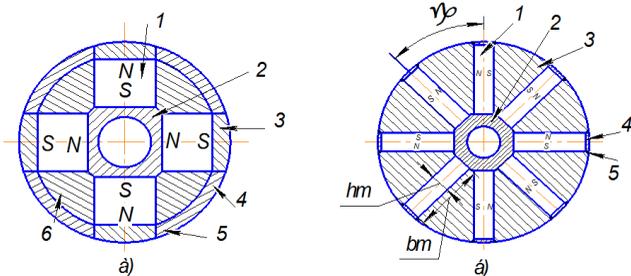


Рис. 1. Сборочный ротор типа звездочка (а) и коллекторного типа (б).

При использовании этой конструкции удалось получить приемлемое значение массы; одновременно появилась проблема: неполная реализация высоких удельных энергетических показателей редкоземельных магнитов, конструкция ротора не технологична (содержит много конструктивных элементов).

Следующей разработкой конструкции роторов с постоянными магнитами стали роторы коллекторного типа (рис. 1, б). Ротор набирается из призматических постоянных магнитов 1. Магниты устанавливаются на немагнитную втулку 2 таким образом, чтобы оси намагничивания были направлены тангенциально. Между магнитами устанавливаются полюсы 3 из магнитной стали. Для обеспечения механической прочности на магниты сверху накладываются вставки 4 из немагнитного материала, которые привариваются к полюсам 3 (на рис. 1, б позицией 5 обозначены места сварки). Основным достоинством коллекторной конструкции ротора является максимальное использование энергии магнита. Однако, у коллекторных роторов есть и свои недостатки: интегральное значение удельной энергии ротора значительно ниже удельной энергии магнита (доля магнитов в объеме ротора относительно невелика); наличие полюсов из магнитомягкой стали увеличивает индуктивность и, следовательно, снижает жесткость внешней характеристики, усложняя совмещение двигательного и генераторного режимов; сложность конструкции.

Библиографический список

1. **Балагуров В. А.** Проектирование специальных электрических машин переменного тока: Учеб. пособие для студентов вузов.– М.: Высш. школа, 1982.– 272 с., ил.
2. <http://vunivere.ru/work21550>.

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

МЕТОДЫ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД ОТ НЕФТЕПРОДУКТОВ

Для очистки воды от нефтепродуктов в настоящее время используются разнообразные методы (рис. 1).

Механическую очистку сточных вод от нефтепродуктов применяют преимущественно как предварительную. Задачи механической очистки заключаются в подготовке воды к физико-химической и биологической очисткам. Механическую очистку проводят для выделения из сточной воды находящихся в ней нерастворенных грубодисперсных примесей. К способам данной очистки относят: песколовки, отстойники, гидроциклоны, центрифуги, фильтры (сетчатые или тканевые).

К физико-химическим методам очистки сточных вод от нефтепродуктов относят коагуляцию, флотацию и сорбцию. Коагуляция - это процесс укрупнения дисперсных частиц в результате их взаимодействия и объединения в агрегаты. Флотация является сложным физико-химическим процессом, заключающимся в создании комплекса частица-пузырек воздуха или газа, всплывании этого комплекса и удалении образовавшегося пенного слоя. Сорбция – это процесс поглощения вещества из окружающей среды твердым телом или жидкостью.

Различают следующие виды сорбционного фильтрования: 1) фильтрование через пористые зернистые материалы, обладающие адгезионными свойствами; 2) фильтрование через волокнистые и эластичные материалы, обладающие сорбционными свойствами и высокой нефтеемкостью; 3) фильтрование на основе явления коалесценции. Этот способ разделения водомасляных эмульсий из несмешивающихся жидкостей заключается в коалесценции

эмульгированных нефтепродуктов на олеофильных частицах коалесцирующего материала.

Два первых вида фильтрации близки по основным технологическим принципам, и отличаются нефтеемкостью, регенерацией фильтрующей загрузки и конструктивным оформлением. Такие фильтры не поддаются промывке, после выработки своего ресурса подлежат замене и утилизации. В третьем методе прерывание технологического цикла для выгрузки и загрузки материала исключается, что способствует повышению производительности процесса очистки. В процессе очистки происходит унос коалесцирующего материала нефтепродуктом.

Химическая очистка, основными способами которой являются хлорирование и озонирование. Сущность химической реакции состоит в отнятии электронов от атомов или ионов.

Биологический метод универсален для очистки сточных вод от органических загрязнений. Он основан на способности микроорганизмов использовать разнообразные вещества, содержащиеся в сточных водах, в качестве источника питания в процессе их жизнедеятельности. Задачей биологической очистки является превращение органических загрязнений в безвредные продукты окисления.

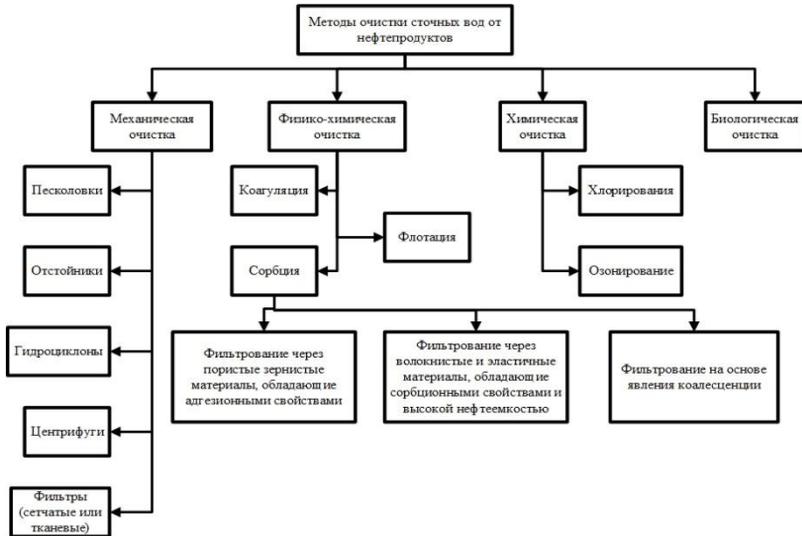


Рис. 1. Блок-схема существующих методов очистки воды от нефтепродуктов

В результате рассмотренных методов очистки сточных вод было установлено, что самыми эффективными способами являются физико-химические методы очистки, а именно фильтрование на основе явления коалесценции. В качестве коалесцентного материала может использоваться магнитная жидкость, имеющая родственную химико-физическую природу с нефтепродуктом. При этом повышается энергия взаимодействия коалесцирующего материала (нефтепродуктов) с коалесцентным материалом (магнитная жидкость), что должно способствовать ускорению и повышению качества процесса очистки.

*Полякова А. М. курсант;
рук. Е. В. Зарубина, к.т.н, доц.; И. А. Краснов ст. преп.
(ИПСА ГПС МЧС России)*

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Системы пожарного водоснабжения играют важную роль в решении задач противопожарной защиты современных объектов. Опыт строительства и эксплуатации противопожарного водоснабжения на объектах показывает, что существующие системы

не всегда обеспечивают бесперебойную подачу достаточного расхода воды на пожаротушение, имеют недостаточную надежность, неудобны в эксплуатации [1]. Нами разработана компьютерная программа для определения показателей надежности элементов противопожарных насосных станций.

При комплектовании новых и реконструкции действующих противопожарных насосных станций необходимо принимать во внимание следующее.

Центробежные и осевые насосы обеспечивают плавную и непрерывную подачу перекачиваемой жидкости при высоких значениях КПД. Относительно несложное устройство этих насосов обеспечивает их высокую надежность и достаточную долговечность. Конструкция проточной части лопастных насосов и поверхностей трения допускает возможность перекачивания загрязненных жидкостей. Простота соединения с высокооборотными приводными двигателями способствует компактности насосного агрегата и повышению его КПД [1]. Именно лопастные и, в первую очередь центробежные, насосы получили наибольшее распространение в противопожарном водоснабжении. К недостаткам центробежных насосов следует отнести ограниченность их применения в области малых подач и высоких напоров, что объясняется снижением КПД при увеличении количества ступеней. Определенные сложности в эксплуатации насосных установок с центробежными насосами возникают также из-за необходимости их заполнения перекачиваемой жидкостью перед включением в работу [3].

В процессе эксплуатации насосы подвергаются воздействию большого количества факторов, которые можно подразделить на три основные группы. Это факторы конструктивные, технологические и эксплуатационные. При работе насосных станций информации об условиях эксплуатации, как правило, бывает не достаточно и в силу субъективных или объективных причин она имеет высокую степень неопределённости. При оценке надёжности систем с ограниченной информационной базой рекомендуется использовать статический метод прогнозирования надёжности [3].

При эксплуатации возможны следующие случаи состояния элементов систем: исправное состояние, работоспособное состояние, неработоспособное состояние, предельное состояние. Теоретически описать различные состояния технических систем можно, используя модель теории надёжности [2], рис. 1.



Рис. 1. Схема основных состояний элементов систем

В насосных станциях в системах водоснабжения основными элементами являются насосы, трубопроводы внутри станции, задвижки, обратные клапаны; электродвигатели насосов, пусковые и распределительные устройства, элементы автоматики и трансформаторы. Соответственно, и отказы могут делиться на отказы механической части и отказы электрической части. Главную задачу, которую выполняют насосы это обеспечение требуемого напора для водопотребителя. Они с определенной вероятностью не должны допускать перерывов в подаче воды либо эти перерывы должны быть не более одних суток.

Нами предлагается программа для расчета оценки надежности насосной станции упрощенным методом вычисления параметров надежности насосных станций.

Программа, написанная на языке Delphi, позволяет определить соответствие нормативной документации категорий надежности различных насосных станций.

Библиографический список

1. Кармазинов Ф. В., Курганов Ю. А., Кинебас А. К. и др. Изменение технологических показателей надежности работы насосов в процессе эксплуатации // Водоснабжение и сан. техника. 2005. № 11.
2. Найманов А.Я., Гостева Ю.В. УДК 628.1/192; 62/192; 628/16. Надежность насосных станций. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.
3. Ильин Ю. А. Расчет надежности подачи воды. — М.: Стройиздат, 1987. — 320 с.

*Р.М. Rogozin, студ.; рук. А.Н. Лапин к.т.н, доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ РАСЧЁТА МАГНИТНОГО ПОЛЯ ТРАНСФОРМАТОРА МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ РАЗНОСТЕЙ В 2-Х МЕРНОЙ ПОСТАНОВКЕ

В настоящее время для расчёта магнитного поля в основном используют системы, основанные на методе конечных элементов. Такие системы в большинстве случаев являются довольно дорогими, что делает их приобретение для малого и среднего бизнеса довольно затруднительным. Поэтому встаёт вопрос о разработке САПР на базе открытых и дешёвых программных средств (Excel, SciLab, SolidWorks, MatLab).

В данной работе за основу был взят САПР для расчета магнитного поля силового трансформатора методом конечных разностей, разработанный в ИГЭУ на кафедре «Электромеханики». Геометрические параметры и точки для формирования будущей сетки взяты из конечно-элементной модели и импортированы в Matlab, так же из данной модели были взяты плотности токов в обмотках трансформатора и магнитные свойства стали, для удобного сравнения результатов. [1]

Далее создаем сетку конечно-разностной модели с необходимым шагом по x и y (шаг варьируется). Используемые условия построения сетки: линии сетки совпадают с границами раздела сред; в локальных областях, где ожидается большое значение магнитной индукции, линии сетки имеют более мелкий шаг. В данном случае сетка получилась неравномерная. Затем создаем дополнительные оси для условий Неймана. Импортируем плотности токов в обмотках и задаем магнитные сопротивления ячеек. Далее идет расчет геометрических коэффициентов альфа (α) и бета (β), необходимых для определения векторного магнитного потенциала. Далее идет расчет векторного магнитного потенциала (A) по формуле (1):

$$A = \frac{M + J}{N} \quad (1)$$

где M и N специально рассчитанные коэффициенты на основании ранее полученных альфа (α) и бета (β). Начальное значение векторного

магнитного потенциала во внутренних узлах сетки принимается равным нулю (2):

$$A_{i,k}^0 = 0 \quad (2)$$

Так же здесь необходимо задать количество итераций, которые определяют точность расчета (чем больше, тем точнее расчет, но также увеличивается время расчёта), здесь же рассчитывается относительная погрешность расчёта (из значение векторного магнитного потенциала на следующей итерации вычитается значение на предыдущей и делится на текущее значение векторного магнитного потенциала). Если погрешность нас устраивает, то расчет прекращается, если нет то расчет продолжается с увеличенным количеством итераций.

Результаты расчета выводятся на экран в виде распределения магнитной индукции вдоль расчетной области. В качестве примера был взят силовой трансформатор мощностью 630 кВА. Результаты расчета методом конечных разностей (МКР) и методом конечных элементов (МКЭ) представлены на рис. 1.



Рис. 1. Результаты расчета МКР и МКЭ

Как видно из рисунков качественно результаты практически идентичны, но количественно имеются небольшие расхождения, поэтому система расчета методом конечных разностей нуждается в дальнейшей отладке.

Результатами данной работы можно считать доказательство того, что метод конечных разностей для расчёта трансформаторов ничем не уступает методу конечных элементов, а по ряду пунктов даже выигрывает, например, простота реализации на базе доступных программных средств, не дороговизна САПР на его основе и т.п. Так же одним из достоинств стоит отметить прямоугольную сетку, которую удобно применять к трансформаторам в 2-х мерной постановке, без потери точности вычислений (в сравнении с методом конечных элементов). Для реализации 3-х мерной модели необходимо

вести дополнительную (полярную) систему координат из-за особенностей концентрических обмоток, а затем связать обе системы координат в одну.

Литература

1. Лейтес Л. В. Электромагнитные расчёты трансформаторов и реакторов. – М.: Энергия, 1981.

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

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ КОНСТРУКЦИИ МНОГОСЛОЙНОГО МАССИВНОГО РОТОРА НА МЕХАНИЧЕСКУЮ ХАРАКТЕРИСТИКУ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Асинхронный двигатель с массивным ротором конструктивно похож на асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором, с тем отличием, что ротор выполняется цельным из массива стали. Особенность механической характеристики двигателя с массивным ротором – большой пусковой момент при относительно малой величине пускового тока. Это соотношение показателей сохраняется при небольших скоростях вращения. К недостаткам двигателя относят повышенные потери и слабые моменты при малых скольжениях [1].

Подбор материала ротора с оптимальными магнитными и электрическими свойствами, синтез оптимальной конструкции ротора – важнейшие этапы проектирования асинхронного двигателя такой конструкции [2,3].

В данной работе проблема поиска оптимальной конструкции и материалов ротора решается на основе анализа электромагнитного состояния двигателя методом конечным элементов. Оптимальные свойства ротора оцениваются с помощью такого показателя, как полный вращающий момент. Полевая задача решалась в линейной постановке. Выполнен подбор оптимальной величины электрической проводимости стали ротора при постоянной магнитной проницаемости стали, а затем, подбор магнитной проницаемости стали при постоянной электрической проводимости. Подбор свойств стали ротора вёлся для разных частот вращения ротора и, соответственно, для разных частот вихревого тока, индуцированного в роторе.

Анализ выполнен для асинхронного двигателя с высотой оси вращения 160 мм, шестиполусного, с номинальной мощностью 15 кВт. Короткозамкнутый ротор двигателя заменён на массивный. По результатам анализа определены оптимальные электрические и магнитные свойства стали ротора для разных частот вращения. Оптимальными являлись свойства материала ротора, дающие наибольший для своей частоты вращения момент.

В соответствии с полученными зависимостями было принято решение сделать конструкцию ротора слоистой. Глубина проникновения магнитного поля статора в ротор вследствие демпфирования его полями токов ротора изменяется в зависимости от частоты вращения ротора. В слоистой конструкции ротора верхний слой выполняется из стали, свойства которой оптимальны для пуска, а нижние – для меньших скольжений. Сталь ниже максимальной глубины проникновения поля можно удалять, оставив лишь опорные рёбра жёсткости ротора, что приведёт к облегчению машины и её удешевлению, к уменьшению постоянных времени для пуска.

Вместе с многослойностью было применено и другое конструктивное решение – сделать на поверхности ротора пазы и вырезы в нижнем слое ротора. Магнитное поле, обтекая пазы и вырезы, заходит глубже в ротор, плотность индуцированного тока в нижних слоях возрастает, что приводит к росту электромагнитного момента для низких скольжений.

Сравнение полученных механических характеристик позволяет судить о влиянии применённых материалов и конструктивных решений. Применение данных решений привело к тому, что момент, максимальный в момент пуска, не падает до скольжения 0,4. Кроме того, применение вырезов позволило увеличить величину момента в области малых скольжений.

Библиографический список

1. **Вольдек А.И., Попов В.В.** Электрические машины. Машины переменного тока: – СПб.: Питер, 2008. 350 с.: ил.
2. **Иголкин П.А.** Проектирование асинхронного двигателя А315М2: дис. магистра техники и технологии. ИГЭУ им. Ленина. Иваново. 2012.
3. **Лиценко А.И., Лесник В.А.** Асинхронная машина с ферромагнитным ротором оптимальной геометрии. – 1978, №175, 54 с.

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

ВОПРОСЫ РАСЧЕТА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ЭКРАНИРОВАННЫМИ ПОЛЮСАМИ

В настоящее время электрические машины малой мощности активно используются в различных областях промышленности. Маломощные электрические машины применяются в системах автоматики, в транспортных средствах, в гироскопических приборах, в радиосвязи, в дистанционном управлении, выполняют различные функции в промышленности, сельском хозяйстве, а также в бытовых приборах [1].

В данной работе рассматриваются проблемы расчета асинхронного двигателя с экранированными полюсами (АДЭП) и способы их решения. Большое распространение АДЭП во многих сферах деятельности приводит к необходимости усовершенствования конструкции двигателя и оптимизации его показателей.

Описание процессов в АДЭП и расчет его показателей и характеристик усложняется из-за наличия сильно выраженных пространственных гармоник магнитного поля, четырех групп потоков рассеяния статора и короткозамкнутого витка, ось которого образует угол β с осью остальной части полюса. Данный угол меньше 90° , но в большинстве методик проектирования его принимают равным 90° для упрощения расчетных формул [2].

Для анализа процессов в АДЭП может использоваться программное обеспечение Ansys Maxwell. По существующей методике проектирования [3] был рассчитан АДЭП со следующими данными: номинальная мощность 90 Вт, номинальное напряжение 220 В, синхронная частота вращения 1500 об/мин.

Для расчёта АДЭП в данном программном обеспечении необходимо разбить модель на достаточно большое количество конечных элементов, причём, чем мельче будут составляющие её элементы, тем более близкую к реальности картину поля мы получим. Сетка конечных элементов для АДЭП построена с наименьшим линейным размером элемента равным 5мм.

Данный пакет позволяет произвести расчеты характеристик двигателя, а также построить картину поля. В ходе моделирования

работы двигателя в данном программном обеспечении были построены картины магнитного поля при пуске двигателя в моменты времени от 0 до 0,1 с. Картины распределения магнитной индукции в моменты времени 0,05 с и 0,1 с приведены на рис. 1.

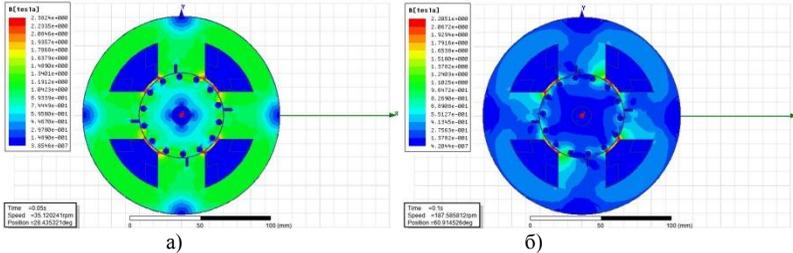


Рис. 1. Картины магнитной индукции в АДЭП для моментов времени 0,05 с (а) и 0,1 с (б)

Также в процессе расчета были получены зависимости характеристик АДЭП от времени. В результате анализа полученных данных была доказана необходимость доработки методики расчета. В результате проделанной работы выявлена возможность улучшения энергетических показателей АДЭП путем изменения конструкции, а также даны рекомендации по уменьшению затрат на производство двигателя.

Библиографический список

1. **Лифанов В.А.** Электрические машины систем автоматики и бытовой техники: Учебное пособие / В.А.Лифанов – Челябинск: изд. ЮУрГУ, 2006. – 237с.
2. **Ланген А.М.** К расчету электродвигателей с короткозамкнутым витком на полюсе / А.М. Ланген // Вестник электропромышленности. – 1956. – №9 – с. 31-38.
3. **Ермолин Н.П.** Электрические машины малой мощности. Изд. Второе / Н.П. Ермолин – М.: Высш. школа, 1967. – 504 с.
4. **Вебинары ANSYS на русском языке. Электромеханика** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.caclub.ru/forum/elektromagnetizm/elektromekhanik>

Секция 21

МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-УПРАВЛЯЮЩИЕ СИСТЕМЫ

Председатель – к.т.н., доцент Терехов В.Г.
Секретарь – инженер Аполонский В.В.

*Р.Ш. Гафутдинов, Р.Р. Гаязов;
Л.В. Ахметвалеева (к.п.н. доц.)
(КГЭУ, г. Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК БИПОЛЯРНЫХ ТРАНЗИСТОРОВ В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ *MULTISIM*

В настоящее время все чаще для проектирования и исследования характеристик полупроводниковых приборов используют различные программные среды для разработки электронных схем. Среди различных программ моделирования широкое распространение получила программная среда *Multisim*, разработанная фирмой *National Instruments*.

Целью данной работы является исследование вольтамперных характеристик (ВАХ) биполярных транзисторов разных серий с последующим созданием виртуального цифрового лабораторного стенда. Работа проводилась в программной среде *Multisim 12.0*, результаты которой впоследствии будут более детально исследованы в программной среде *LabVIEW*.

Multisim - средство разработки и моделирования электронных схем. *Multisim* позволяет создать схему, используя обширную библиотеку компонентов, а также сохранять данные в различных форматах, что позволяет интегрировать их в среду программирования *LabVIEW*[1].

В качестве объектов исследования были выбраны биполярные транзисторы с разными типами проводимости (*n-p-n*, *p-n-p*). Для точности исследования были взяты десять транзисторов по пять каждого типа, использована схема работы биполярного транзистора для исследования входных и выходных вольтамперных характеристик (рис.1). При построении схем использовалась стандартная библиотека компонентов среды *Multisim*. После построения схемы, выбора номинальных значений тока и напряжения и выбора значения

сопротивления базы снималась входная ВАХ с помощью осциллографа *XSC1*. Данная схема позволяет провести универсальный анализ для всех транзисторов. После построения схем в среде *Multisim* были проведены анализы входных и выходных характеристик и рабочих точек каждого из транзисторов для последующего нахождения h - и y - параметров. [2]

На рис. 1 показана принципиальная электрическая схема работы биполярного транзистора *2N3904* для снятия вольтамперных характеристик. Схема построена в программной среде *Multisim 12.0*.

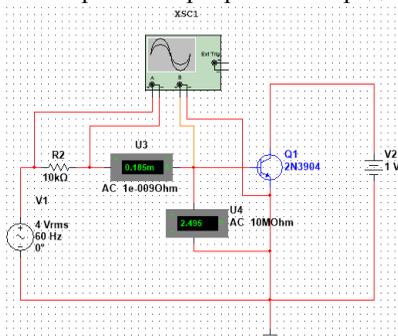


Рис. 1. Схема работы биполярного транзистора *2N3904*

На рис. 1 элементом *XSC1* является осциллограф, канал А измеряет ток базы, канал В - напряжение база-эмиттер. Зависимость тока базы от напряжения база-эмиттер ($I_B=f(U_{БЭ})$) показана на графике, представленном на рис. 2.

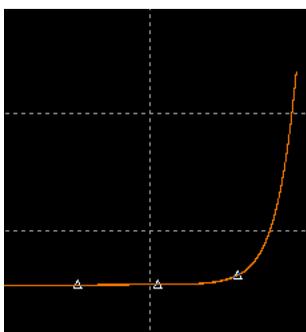


Рис. 2. Входная ВАХ биполярного транзистора

Исследование проводится для выбранных типов транзисторов. Результаты исследования сохраняются в виде массива данных для дальнейшего их изучения на макете виртуального лабораторного стенда в программной среде *LabVIEW*.

Библиографический список

1. Хернитер М.Е. Электронное моделирование в Multisim./Пер. с англ. Осипов А.И. – М.:ДМК Пресс, 2010.
2. Дорошков А.В. Теория и компьютерное моделирование устройств электроники. Учеб. пособие. - СПб.: СПбГУНиПТ, 2006.

*А.Н. Покровский, студ.;
рук. Л.Л. Лямец, к.т.н., доц.
(филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Смоленск)*

ДАТЧИК ЛИНЕЙНЫХ ПЕРЕМЕЩЕНИЙ НА ОСНОВЕ МАНИПУЛЯТОРА «КОМПЬЮТЕРНАЯ МЫШЬ»

Разработка датчиков линейных перемещений с требуемыми характеристиками является распространенной технической задачей во многих предметных областях научной и практической деятельности. Для этой цели может быть использован ресурс современных персональных компьютеров и специализированных цифровых устройств. В общем случае датчик линейных перемещений может быть подключен к компьютеру через специальное цифровое устройство и управляться при помощи разработанного программного обеспечения. Используемые аппаратные и программные средства позволят производить дискретные измерения линейного перемещения с заданным периодом дискретизации T , записывать эти измерения в память компьютера. Сформированный набор данных может быть в дальнейшем обработан в соответствии с требуемым алгоритмом. Анализ устройства и технических возможностей манипулятора «компьютерная мышь» (манипулятор) позволяют сделать вывод о том, что он может быть использован как датчик линейных перемещений.

В соответствии со своим прямым предназначением манипулятор подключается к компьютеру по протоколу USB 2.0, однако, узким

местом такой системы становится спецификация протокола, которая предусматривает для компьютерной мыши режим Low-speed, ограниченный скоростью передачи информации 1500 Кбит/с, что соответствует частоте опроса манипулятора от 80 до 125 Гц [1]. Очевидно, что такой частоты может оказаться недостаточно для получения требуемых характеристик датчика линейных перемещений. Следует отметить, что технические характеристики манипулятора предусматривают возможность обеспечивать дискретизацию с большей частотой. Для этого необходимо послать манипулятору специальный набор машинных команд при инициализации.

Для решения обозначенной проблемы предлагается подключение манипулятора к компьютеру через микроконтроллер, производящий опрос мыши независимо от компьютера с требуемой частотой и затем отправляющий данные от манипулятора по каналу USB в режиме High-speed (100Мбит/с) на компьютер, где специально разработанный программный модуль будет производить сбор, обработку, анализ и визуализацию поступающих данных.

В качестве микроконтроллера был выбран чип ATmega16U2, аппаратно поддерживающий трансляцию соединения через USB. К микроконтроллеру могут быть подключены манипуляторы USB или PS/2, так как протоколы опроса манипулятора идентичны. Для микроконтроллера была разработана специальная программа, инициализирующая мышь при запуске, проводящая ее последующий опрос, а затем отправляющая данные на компьютер.



Рис. 1. Схема алгоритма

Программное обеспечение включает утилиту, которая позволяет обмениваться сообщениями с микроконтроллером по каналу USB, а также разработанную автором программу на языке Python, производящую сбор данных от манипулятора, их обработку и

визуализацию измеряемого линейного перемещения в режиме реального времени с использованием библиотеки Matplotlib. Полученные данные могут быть сохранены в памяти компьютера и использованы для дальнейших исследований и анализа.

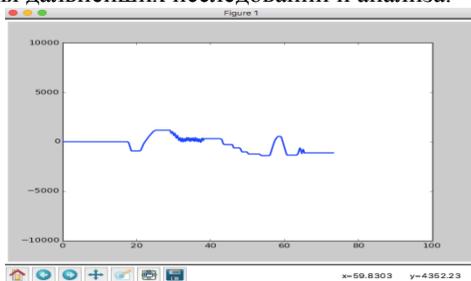


Рис. 2. Интерфейс программы с примером визуализации данных

Библиографический список

1. Мюллер С. Модернизация и ремонт ПК. М.: Вильямс, 2007. 1517 с.

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

ДАТЧИК ЛИНЕЙНОЙ ПЛОТНОСТИ НИТИ

Датчик линейной плотности нити содержит излучатель, два фотоприемника, первый из которых расположен по ходу измерительного потока излучения, а второй - по ходу опорного, при этом выходы фотоприемников подключены к входам разностной схемы, а также заслонку, расположенную между излучателем и вторым фотоприемником и выполненную с возможностью перемещения в направлении, перпендикулярном оси опорного потока, второй фотоприемник расположен перпендикулярно первому в непосредственной близости от излучателя.

На рис. 1 показана конструкция датчика линейной плотности; на рис. 2 - электрическая схема датчика.

Датчик линейной плотности массы материала содержит корпус 1 с каналом, в котором находится измеряемый материал 2, фотоприемники 3 и 4, излучатель 5 светового потока и заслонку 6,

расположенную между излучателем и фотоприемником 4. В качестве фотоприемников могут использоваться фотодиоды, фоторезисторы и др., а излучателя, - например, светодиоды. Измерительный первый фотоприемник 3 и излучатель 5 располагаются с диаметрально противоположной стороны канала с волокнистым материалом, а фотоприемник 4 расположен перпендикулярно первому вне зоны канала в непосредственной близости от излучателя таким образом, что фотоприемник и излучатель образуют изолированный от материала световой проход. Между этим фотоприемником и излучателем располагается заслонка, имеющая возможность перемещаться и перекрывать часть светового потока.

Расположение фотоприемника 4 под углом 90° к измерительному каналу "Фотоприемник 3 - излучатель 5" обеспечивает стабильную работу датчика в заданном диапазоне измерения линейной плотности. Угол меньше 90° ограничивает диапазон измерения из-за сильной засветки фотоприемника и затрудняет регулировку светового потока заслонкой. Угол более 90° вызывает искажение информационного сигнала о линейной плотности из-за меняющегося при движении ленты отраженного светового потока на фотоприемник 4.

Фотоприемники 3 и 4 соединены с инвентурирующим и неинвертирующими входами дифференциального усилителя и источником питания (рис. 2). Излучатель 5 одновременно освещает два фотоприемника. Резисторы 7 и 8 подключены параллельно входам дифференциального усилителя. Выходом дифференциального усилителя является постоянное напряжение, пропорциональное в заданном интервале линейной плотности материала в канале датчика.

Работает датчик следующим образом.

При подаче напряжения на светодиод световой поток, проходя через волокнистый материал - ленту, попадает на фотоприемник 3 и одновременно часть светового потока через изолированный проход воздействует на второй аналогичный фотоприемник 4. Перемещая заслонку, можно изменять величину светового потока, проходящего к фотоприемнику 4. При этом выбирают такую величину освещенности, чтобы обеспечить работу датчика на линейном участке характеристики. Сигналы с фотоприемников 3 и 4 поступают на дифференциальный усилитель, выделяющий разностный сигнал. Интенсивность светового потока на фотоприемнике 3 меняется в зависимости от линейной плотности материала, а на фотоприемнике 4 остается постоянной. Все дестабилизирующие воздействия от изменения питающего напряжения, нагрева корпуса датчика, дрейфа

освещенности от излучателя, а также уход характеристик фотоприемников от старения вызывают одинаковые изменения сигнала на входе дифференциального усилителя и не приводят к изменению напряжения на выходе усилителя, а следовательно, к дополнительной погрешности датчика.

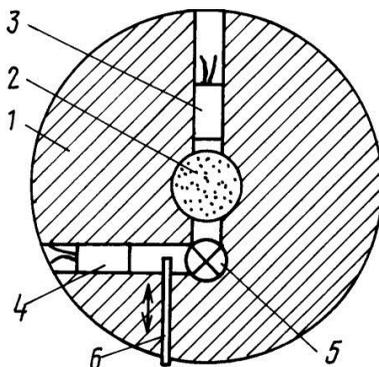


Рис. 1. Конструкция датчика линейной плотности

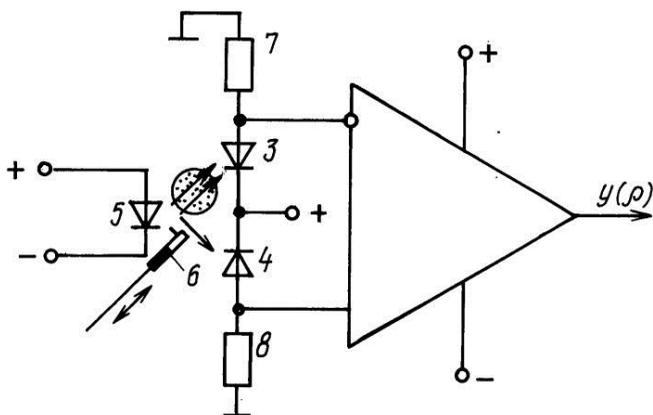


Рис. 2. Электрическая схема датчика

Библиографический список

1. <http://www.freepatent.ru/patents/2516966>
2. <http://allpatents.ru/patent/2516966.html>

*А. В. Маколкин, студент; рук. В.Г. Терехов, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПОЛИВОМ ДЛЯ ТЕПЛИЧНЫХ И ЧАСТНЫХ ХОЗЯЙСТВ

Одной из основных задач для владельцев тепличных и частных хозяйств служит своевременная и правильная организация полива растений. Для большинства плодовоовощных культур и цветов нарушение расписания или пропуск полива ведёт к полной или частичной гибели урожая.

Поэтому достаточно большое значение имеет правильная организация систем орошения. Такой подход избавит от проблем пересыхания и недостатка влаги. Автоматические системы обеспечивают равномерное увлажнение грунта таким образом, что максимальное количество влаги попадает непосредственно к корням. Такой принцип полива создает не только удобство, но и более благоприятные условия для развития садовых культур.

Недостатком доступных на рынке решений является их дороговизна и плохая масштабируемость, сильно завязанная на поставщиков оборудования и фирм по его установке. Упор в разработке будет сделан на расширяемости и универсальности системы управления для применения её в различных условиях, от газонов до капельного полива тепличных растений. Простота настройки и управления будет обеспечиваться за счёт использования беспроводных интерфейсов и устройств на базе Android и iOS. В зависимости от показаний датчиков температуры, влажности и выбранного плана полива, система будет автоматически корректировать объёмы и расписание для обеспечения заданного параметра – влажности почвы.

Помимо контроллера, в системе будут задействованы электромагнитные клапана, спринклер (разбрызгиватель, дождеватель) и капельница (для капельного полива).

Контроллер основной узел системы, отвечает за продолжительность полива (посылая импульс электромагнитным клапанам открыться/закрыться), принимает импульсы от датчиков (отмена программы при неблагоприятных погодных условиях и возврат к ранее запрограммированной программе).

Электромагнитный клапан, принимая импульс на открытие, пропускает водяное давление из магистральной трубы в поливочную зону. По окончании полива получая сигнал на закрытие, клапан прекращает подачу воды. В поливочной зоне может быть разное количество спринклеров и капельниц, это зависит от технических параметров и специфики объекта.

Спринклер состоит из выдвигной штанги (высотой до 30 см) и поливочного сопла. Под давлением выдвигная штанга поднимается из земли и производит разбрызгивание воды через сопло.

Капельница предназначена для направленного полива растений со сходной потребностью во влаге. Капельница стабилизирует давление воды (от 1 до 4 бар) и обеспечивает стабильный дозированный расход влаги от 1 до 8 л/ч. Для орошения одиночного растения капельницу подключают напрямую к шлангу.

В гидравлическую часть системы автоматический полив входят пластиковые трубы разного диаметра, предназначенные для магистрального трубопровода и поливочных линий. Глубина закладки в грунт 30-40 сантиметров.

Микропроцессорная часть будет выполнена на основе 32 разрядного высокоскоростного микропроцессора STM32F103C8 архитектуры ARM, ядро Cortex-M3. Будут использоваться следующие периферийные модули: ESP8266 (Wi-Fi), HC-06 (Bluetooth); датчики: DS18B20 (температуры), DHT11 (влажности) и др.

Программная часть будет написана на языке C с использованием библиотеки CMSIS. Для разработки приложений для Android и iOS будут использованы официальные IDE: Android Studio и Xcode соответственно, а также другие инструменты разработчика.

Библиографический список

1. STM32F103C8 datasheet, URL:

- <http://catalog.gaw.ru/index.php?page=document&id=7996>.
2. ESP8266 community forum, URL: <http://esp8266.ru>.
3. DS18B20 datasheet, URL: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/DS18B20.pdf>.
4. DHT11 datasheet, URL: <http://www.micropik.com/PDF/dht11.pdf>.
5. HC-06 datasheet, URL: <http://cxem.net/arduino/download/HC%20Serial%20Bluetooth%20Products%20201104.pdf>.

*А.О. Адаменко, студ.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ГАЗОВЫМИ КОТЛАМИ

С каждым годом система автоматического управления улучшается и становится нужной даже там, где ее совсем не было ранее. До появления газовых котлов система автоматического управления не требовалась при отоплении помещения. Были различные печки на древесном или угольном отоплении и уровень тепла, количество топлива контролировал все время человек. С использованием же газа, как отопительное сырье, стало удобнее обогревать помещения, но гораздо опаснее, чем углем или древесиной. Поэтому и потребовалась система автоматического управления для газовых котлов, которая обеспечивает безопасное отопление помещения, экономию топлива и постоянный контроль комфортной температуры в этом помещении.

Работа системы автоматического управления газовым котлом осуществляется следующим образом: при подаче к котлу газа включают электронный розжиг. От искры поджигается запальник, который горит постоянно. Подача газа к горелке в отсутствие горящего запальника не допускается автоматикой для исключения взрыва. От запальника поджигается основная горелка, которая прогревает в котле теплоноситель до заданных параметров. Термодатчики, находящиеся внутри помещения следят за заданной температурой в этом помещении и при понижении температуры, датчик подает сигнал на включение или увеличение подачи топлива клапану горелки. При достижении заданной температуры, подается сигнал с датчиков о закрытии клапана подачи топлива, и котел переходит в ждущий режим. В случае возникновения каких-либо неполадок, на экране котла появится соответствующее сообщение. Таким образом, человек освобождается от постоянной слежки за

котлом. Ему не нужно постоянно регулировать уровень подачи топлива к горелке, следить за подачей газа и работой запальника.

В настоящее время существует много вариантов систем автоматического управления газовыми котлами. Но, как правило, они являются неэкономичными, дорогими и ограниченными по функциональным возможностям. Это делает их менее эффективными и требующими много места. Для расширения функциональных возможностей и для снижения стоимости при разработке и использовании системы контроля необходимо использовать более новую элементную базу и микропроцессоры, что позволяет реализовать аппаратуру с улучшенными техническими и потребительскими характеристиками, которые будут своевременно реагировать на изменение температуры в помещении и экономить топливо для обогрева этого помещения.

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

ИНТЕРНЕТ ВЕЩЕЙ. ПРОТОКОЛ MQTT

Что же это такое? «Интернет вещей» или «Internet of Things» (IoT) имеет много определений, но все они по сути подразумевают «интернет вещей» как единую сеть, соединяющую окружающие нас реальные объекты с виртуальными объектами. «Интернет вещей» это не просто куча различных приборов и датчиков, соединённых между собой и подключённых в сеть, это еще интеграция виртуального и реального миров, где происходит общение между людьми и устройствами. Один из плюсов «интернета вещей» использование в своих вычислениях облачных сервисов, благодаря чему на устройство согласующее «вещь» и интернет ложится лишь формирование данных или управление подключенной периферии.

Проблема «интернета вещей» на сегодняшний день является отсутствие стандартов в данной области, что затрудняет возможность интеграции предлагаемых на рынке решений и во многом сдерживает появление новых. Так же для полноценного функционирования такой сети необходима автономность всех «вещей», т.е. датчики должны научиться получать энергию из окружающей среды, а не работать от батареек или аккумуляторов, как это происходит сейчас.

MQTT (Message Queue Telemetry Transport) - упрощенный сетевой протокол, работающий поверх TCP/IP. Используется для обмена сообщениями между устройствами по принципу издатель-подписчик (publish-subscribe).

MQTT превосходно подходит для использования во встроженных устройствах, так как прост в использовании, используются короткие сжатые сообщения и для внедрения клиента не требуется устанавливать большое количество ПО, благодаря чему он прекрасно подходит для устройств с ограниченным объемом памяти, таких как микроконтроллеры PIC, AVR, STM32.

В данной работе производилось исследование понятия «интернет вещей» и его практическая реализация с использованием протокола MQTT, облачного сервиса и электрической схемы с использованием отладочной платы Arduino UNO и Wi-Fi модуля ESP8266. Данная схема позволяет совершать управление и сбор информации с устройств подключенных к отладочной плате. Собранные данные формируются в пакет и по протоколу MQTT через Wi-Fi модуль отправляется на облачное хранилище. В облачном хранилище данные обрабатываются и предоставляются пользователю. Благодаря использованию облачного сервиса можно производить сложные вычисления и взаимодействие с человеком.

В результате работы получилось электронное устройство по сбору данных (температура) и управлению осуществляемое через облачное хранилище по средствам интернет сети. Подобное устройство получилось простым, а если использовать микроконтроллер по меньше, то и маленьким. Данное устройство еще не готово считаться полноценным, так как нужны доработки и интеграция с какой-либо «вещью». В качестве «вещи» может быть любой электронный прибор домашней сети, будь это: холодильник, светильник, обогреватель, кондиционер, телевизор и т. п.

Результаты данной работы будут полезны студентам обучающимися по техническим специальностям и простым людям которым интересны новые технологии и идеи, такие как «интернет вещей». С развитием электронных технологий понятие «интернет вещей» будет входить в повседневный обиход. Да и сейчас если упростить схему, использовать маленькие электронные компоненты, понизить электропотребление и зависимость от батарейки и аккумулятора, то можно получить устройство, внедряемое на большинство вещей.

С развитием Интернета вещей все больше предметов будут подключаться к глобальной сети, тем самым создавая новые возможности в сфере безопасности, контроля, анализа и управления, открывая все новые и более широкие перспективы и способствуя повышению качества жизни населения.

Библиографический список

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/MQTT>
2. https://ru.wikipedia.org/wiki/Интернет_вещей
3. <http://geektimes.ru/post/149593/>
4. <https://github.com/tuanpmt/espduino>

*А.С. Игнатов, студ.;
рук. А.П. Карандашев, к.т.н., с.н.с., зам. ген. дир.,
НПО «Системотехника»
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА ПОТРЕБЛЯЕМОЙ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Автоматизированная информационно-измерительная система коммерческого учёта электроэнергии (АИИС КУЭ, АСКУЭ) — совокупность аппаратных и программных средств, обеспечивающих дистанционный сбор, хранение и обработку данных об энергетических потоках в электросетях. АИИС КУЭ необходима для автоматизации торговли электроэнергией. Также АИИС КУЭ выполняет технические функции контроля за режимами работы электрооборудования. Иерархическая система, представляющая собой техническое устройство, функционально объединяющее совокупность измерительно-информационных комплексов точек измерений, информационно-вычислительных комплексов электроустановок, информационно-вычислительного комплекса и системы обеспечения единого времени, выполняющее функции проведения измерений, сбора, обработки и хранения результатов измерений, информации о состоянии объектов и средств измерений, а также передачи полученной информации в интегрированную автоматизированную систему управления коммерческим учётом на оптовом рынке электроэнергии в автоматизированном режиме.

Проблема учета количества электроэнергии обусловлена развитием рыночных отношений, которые требуют увеличения точности учета для целей коммерческих расчетов. Например, ежегодно только в одной точке учета сети 110 кВ недоучет оценивается единицами, десятками миллионов рублей. Кроме того, постановлением Правительства РФ №1013 от 13.08.1997 г. электроэнергия признана видом товара, который характеризуется качеством. Под качеством электроэнергии понимается множество технических параметров (частота основной гармоники, спектральный состав тока и напряжения, отклонение напряжения от номинала и т.д.), на основании которых вычисляются показатели качества электроэнергии (ПКЭ). Методику расчета ПКЭ и нормы на них устанавливает ГОСТ 13109-97 "Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". Поэтому, говоря о контроле качества электроэнергии, следует понимать определение некоторого множества физических величин, на основании которых рассчитываются ПКЭ.

Проблема качества электроэнергии актуальна и в современное время.

При этом сложность решения поставленной задачи обусловлена тем, что электроэнергия, как товар, помимо требований к качеству, обладает особенностью: ее производство и потребление являются неразделимыми во времени процессами, т.е. электроэнергию нельзя хранить и запасать (в больших количествах).

Анализ некоторых литературных статей соответствующей тематики, определяет круг технических и методических задач, решение которых обеспечивается созданием единой автоматической системы контроля качества и учета количества электроэнергии (АСКУЭ), основанной на современной микропроцессорной базе. В настоящее время, распространенные в России системы АСКУЭ ориентированы на сети ниже 10 кВ. Построение комплексной АСКУЭ, функционирующей в масштабе реального времени и соответствующей требованиям ГОСТ 13109-97, является сложной и крайне актуальной задачей, решение которой обеспечивается заменой существующего парка первичных датчиков (штатных ТТ и ТН) на их альтернативные технические решения, переходом от периодических измерений к непрерывным (мониторингу). Следовательно, разработка АСКУЭ требует комплексных исследований, направленных на решение следующих задач:

- построение высоковольтных прецизионных датчиков тока и напряжения, свободных от недостатков ТТ и ТН;
- разработка системы обработки сигналов на базе современных технологий, т.е. создание алгоритма обработки сигналов датчиков в масштабе реального времени, обеспечивающего достоверность, повторяемость и высокую точность измерений независимо от параметров анализируемого сигнала;
- выбор структуры АСКУЭ, удовлетворяющей требованиям единого времени и единой базы данных;

Целью работы будет являться рассмотрение перечисленных проблем создания высокоточных АСКУЭ. При этом особое внимание предполагается уделить построению первичных датчиков и вопросам ЭМС средств обработки сигнала и высоковольтного оборудования.

*И. О. Белянин, студ.; рук. В. Н. Егоров, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОДЪЕМНО- ТРАНСПОРТНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

До настоящего времени основным типом электропривода подъемных кранов был электрический двигатель постоянного или переменного тока с релейно-контакторным управлением, в котором функции управления, защиты и регулирования скорости осуществляется при помощи различного рода крановых и защитных панелей. Регулирование скорости в таких электроприводах реализуется за счет введения в силовые цепи добавочных сопротивлений.

Основным недостатком такого способа регулирования является его низкая энергоэффективность, особенно при работе на скоростях ниже номинальной. Кроме того, этот способ требует использования двигателя с фазным ротором, если идет речь о приводе переменного тока. Такого рода двигатели, как и двигатели постоянного тока, имеют вращающиеся токоведущие части, что, в свою очередь, требует более

тщательного и трудоемкого обслуживания. Кроме того, данный способ не позволяет получить значительный диапазон регулирования скорости. Низкая эффективность использования релейно-контакторной аппаратуры общеизвестна. В настоящее время все шире применяются более совершенные способы коммутации силовых цепей: тиристорные ключи, твердотельные реле, бездуговая коммутация и т. п. Однако принцип регулирования скорости остается прежний и, в основном, базируется на введении добавочных сопротивлений в силовые цепи.

Сегодня самым распространенным двигателем промышленных электроприводов является асинхронный электродвигатель с короткозамкнутым ротором. Это самый простой, надежный и самый дешевый электродвигатель в широком диапазоне частоты вращения мощности. Наиболее эффективным и распространенным среди глубокорегулируемых асинхронных электроприводов является частотнорегулируемый электропривод на основе преобразователя частоты.

Применение частотно-регулируемого асинхронного электропривода в механизмах подъемно-транспортного оборудования является эффективным методом повышения технологичности производства. Использование таких приводов позволяет:

- Значительно (до 40%) снизить энергопотребление крана, что особенно актуально при постоянно растущих тарифах на энергоносители.

- Осуществить разгон и торможение двигателя плавно, по произвольной временной зависимости, с варьированием времени разгона и торможения от долей секунды до десятков минут.

- Повысить комфортные показатели при движении крана и долговечность механического оборудования благодаря плавности переходных процессов.

- Защитить двигатель от перегрузок по току, перегрева, утечек на «землю» и от обрывов в цепях питания двигателей.

- Снизить эксплуатационные расходы на капитальный ремонт оборудования за счет значительного снижения динамических нагрузок в элементах кинематической цепи.

- Изменять скорости и ускорения движения механизмов крана применительно к конкретным технологическим задачам.

Предлагается несколько вариантов управления электроприводами механизмов крана. Все варианты могут быть реализованы на оборудовании фирм SIEMENS, ABB, SCHNEIDER ELECTRIC, DANFOSS и др.

Предполагается питание каждого двигателя главного подъема от собственного преобразователя, питание двигателей вспомогательных подъемов от индивидуальных преобразователей, питание двигателей тележки одним преобразователем на два двигателя, питание двигателей передвижения моста - по одному преобразователю на два двигателя перемещения. В первом варианте каждый преобразователь включает звено постоянного тока и автономный инвертор с соответствующими элементами (вводная аппаратура, дроссели, блоки торможения с тормозными резисторами).

Достоинства схемы: Высокая надежность схемы, так как каждый привод является независимым от других.

Недостатки схемы: Большие затраты на оборудование. Значительные габаритные размеры. Бесплезные тепловые потери на резисторах в тормозных режимах.

Второй вариант отличается от первого отсутствием тормозных сопротивлений с заменой их на блок рекуперации, общий для всех электроприводов. Выпрямленное напряжение всех приводов связано с блоком рекуперации.

Достоинства схемы: Рекуперация энергии в тормозных режимах. Обмен энергией по цепи постоянного тока по коротким сетям (межшкафные соединения).

Схема отличается от предыдущих наличием общего выпрямителя для всех электроприводов. В качестве выпрямителя используется активный выпрямитель на транзисторах.

Достоинства схемы: Минимальная установленная мощность преобразователей за счет активного выпрямителя меньшей мощности. Возможность рекуперации энергии в тормозных режимах. Возможность компенсации падения напряжения в сети за счет активного выпрямителя.

С точки зрения работы самого крана все эти схемы в равной степени удовлетворяют требованиям отдельных механизмов крана и могут быть рекомендованы к использованию.

Управление преобразователями частоты крана при любом варианте реализации целесообразно осуществлять от программируемого контроллера (PLC). Контроллер наиболее оптимален по своим характеристикам с точки зрения цены и качества, наиболее распространен в промышленных установках, очень надежен при тяжелых условиях эксплуатации.

Контроллер предлагается установить в кабине крановщика. Он принимает сигналы с пульта и от датчиков, осуществляет взаимные блокировки между приводами, выдает сигналы управления по сети на приводы, а также выводит текущую и аварийную информацию на табло. Благодаря использованию сети между контроллером и преобразователями количество информационных кабелей сокращено до минимума. По сети информация передается в обе стороны, и вся информация о работе и состоянии ПЧ доступна контроллеру и может выводиться на табло.

В качестве информационной панели для оператора применяется графическое табло. Табло подключается к системе управления по отдельной сети и позволяет создать кольцевой энергонезависимый буфер необходимого размера для хранения информации об авариях, действиях крановщика, о работе всех приводов крана. Оно имеет сенсорный экран, осуществляет доступ для работы на кране через парольную защиту.

Система управления в целом обеспечивает:

- управление энергопотребителями крана и контроль состояния силовых цепей, информацию об отказах и срабатываниях защит;
- непрерывный контроль датчиков безопасности;
- ограничение грузоподъемности основного и вспомогательного подъема с помощью независимого блока с функцией регистратора параметров;
- контроль и регистрацию данных о функционировании частотных преобразователей;
- обработку и регистрацию команд оператора;
- управление частотными преобразователями и получение диагностической информации от них;
- подсчет суммарного времени работы каждого механизма (счетчик моточасов);
- пуск приводов подъемов с начальным моментом для исключения просадки груза
- контроль превышения скорости для приводов подъемов;
- самодиагностику и вывод на панель оператора сообщений об отказах в СУ;
- управление системой с различными уровнями доступа.

Предусмотрена простая процедура просмотра содержимого циклического буфера на персональном компьютере. Специалистами инженерно-технического предприятия «Автоматизированные системы и комплексы» (Екатеринбург) выполнен и внедрен ряд проектов с

использованием частотно-регулируемых электроприводов для крановых механизмов, где реализованы вышеизложенные принципы управления.

Результаты исследований планируется использовать в магистерской диссертации.

Библиографический список

1. Тетяф Е.Ф., Волегов А.С. Частотно-регулируемый электропривод крановых механизмов // Силовая электроника. - 2007. - №4.

*А.В. Лядов, студ.; рук. А.П. Бурков, к.т.н.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОМПЕНСАЦИЯ КОЛЕБАНИЙ В ТОКОВЫХ КОНТУРАХ СЕРВОПРИВОДОВ

Сервопривод (следающий привод) — привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения.

Сервоприводы с постоянными магнитами на роторе имеют решающее влияние на качество продукции в высокоточных производственных процессах. Двигателям для таких задач часто приходится выполнять жесткие требования, касающиеся размера, и эффективность. Сервопривод с постоянными магнитами (PSM) может выполнять эти требования, но он часто производит нежелательные пульсации крутящего момента. Если требуется равномерное движение с чрезвычайно низким уровнем пульсаций скорости то, пульсация вращающего момента должна быть компенсирована регулятором скорости.[1]

Анализ некоторых литературных статей соответствующей тематики, определяет круг технических и методических задач, решение которых обеспечивается созданием различных управляющих структур и их сравнение на предмет способности подавлять влияние периодического возмущения крутящего момента.

К структурным решениям относят использование ПИ, или ПИД регуляторов скорости или положения, которые обеспечивают оптимальное управление, снижая периодические колебания момента.

Библиографический список

1. Scholl, F.D.: Reduzierung der Drehmomentwelligkeit von permanentmagneterregten Servoantriebssystemen. Dissertation Universität Stuttgart, 1995.

*И.А. Мошкин, студ.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТЕЛЕКАМЕРЫ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ: ОТ НАЧАЛА ОСВОЕНИЯ КОСМОСА И ДО НАШИХ ДНЕЙ

С момента начала освоения космоса появилась проблема, как же зафиксировать визуальную информацию «глазами аппарата» - визуальная информация является одной из важнейших для человека. Для её решения были применены камеры, способные делать снимки для последующей передачи на Землю.

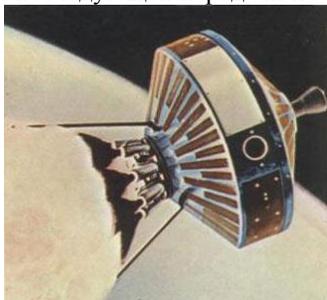


Рис. 1. Внешний вид зондов Пионер-0, Пионер-1, Пионер-2

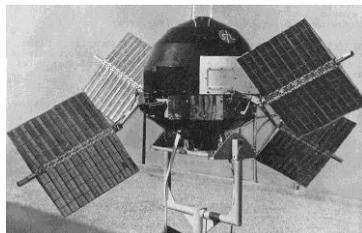


Рис. 2. Внешний вид космического аппарата «Эксплорер-6»

Первым космическим аппаратом, оборудованным телекамерой, стал американский «Пионер-0» (1958). Камера была инфракрасной, запитывалась от серебряно-цинковой батареи; предназначалась для съёмок поверхности Луны. Однако старт был неудачным – через 4 минуты после старта произошёл взрыв первой ступени ракеты-носителя. Запуск аналогичного зонда «Пионер-1» считается частично успешным, так как из-за проблем с управлением исследовать поверхность луны так и не удалось. Полностью аналогичный двум

предыдущим «Пионер-2» вообще не сумел достичь второй космической скорости. Зонды «Пионер-3» (1958) и «Пионер-4» (1959) имели фотоэлектрические датчики для изучения поверхности Луны, но «Пионер-3» не достиг второй космической скорости. «Пионер-4», запущенный 3 марта 1959 года, стал первым американским аппаратом, достигшим второй космической скорости, однако он пролетел в два раза дальше от расчётной траектории, и фотодатчик так и не сработал.



Рис. 3. Первый снимок Земли из Космоса



Рис. 4. Поверхность Юпитера, снятая «Вояджером-2»

Первое успешное использование камеры в космосе было совершено на аппарате «Эксплорер-6», запущенном 7 августа 1959 года. Камеру на этом аппарате правильнее назвать оптическим сканером. Оптический сканер «Эксплорера-6» был усовершенствованной версией прибора, применённого на «Пионере-4». Сканер состоял из вогнутого сферического зеркала, фототранзистора, таймера, логических схем и телеметрии. Оптическая ось сканера была направлена под углом в 45 градусов к плоскости вращения, которая была параллельна плоскости орбиты. Вращение аппарата формировала линию сканирования, которая перемещалась вместе с движением аппарата по орбите. Впервые в истории была совершена и успешно передана фотография Земли из космоса.

Затем советскими лунными аппаратами были получены снимки обратной стороны Луны, поверхности Луны. В 1965 году американским аппаратом «Маринер-4» был впервые сфотографирован Марс с близкого расстояния.

Относительно качественные снимки стали возможны в 1970-1980-х годах. Космический аппарат «Вояджер-2» был запущен в 1977 году и был оборудован двумя телекамерами, одна из которых была широкоугольной. Кадр каждой камеры содержал 125 килобайт информации. Радиосистема «Вояджера» передавала поток информации со скоростью 115,2 кбит/с от Юпитера и 45 кбит/с — от Сатурна. Первоначально расчётная скорость передачи с Урана

составляла лишь 4,6 кбит/с, однако её удалось повысить до 30 кбит/с за счёт перепрограммирования встроенных компьютеров.

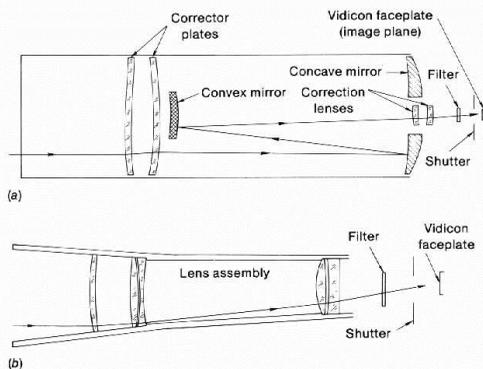


Рис. 5. Строение камер аппарата «Вояджер-2»

Примером современного космического аппарата, снабжённым камерами, может служить марсоход «Кьюриосити», запущенный в 2011 году и севший на поверхность Марса 6 августа 2012 года. Он имеет три камеры, позволяющие делать фотографии в разрешении 1600x1200 пикселей, снимать видео в разрешении 1280x720 и частотой до 10 кадров в секунду.

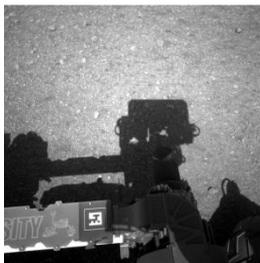


Рис.6. Первое фото, снятое марсоходом «Кьюриосити»

Каждая камера имеет встроенный фильтр Байера RGB и по 8 переключаемых ИК-фильтров. По сравнению с панорамной камерой, которая стоит на «Спирите» и «Оппортьюнити» и получает чёрно-белые изображения размером 1024×1024 пикселя, камера MAC MastCam имеет угловое разрешение в 1,25 раза выше, а камера NAC MastCam — в 3,67 раза выше.

Библиографический список

1. <http://weebau.com/satplan/pioneer0.htm>
2. http://space.skyrocket.de/doc_sdat/explorer_s2.htm
3. <http://www.astro-world.narod.ru/solarsystem/missions/voyager1-missions.html>
4. <http://mars.nasa.gov/msl/mission/rover/eyesandother>

*М.В.Жуков, студент; рук. Л.Г. Копылова
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ДАТЧИК ДВИЖЕНИЯ ОХРАННОЙ СИГНАЛИЗАЦИИ

Датчик движения охранной сигнализации — это датчик обнаруживающий движение человека. Один из вариантов датчика движения охранной сигнализации является электронный пассивный (т.е. только принимающий излучение) инфракрасный датчик, обнаруживающий перемещение человека.

Принцип работы [1] основан на отслеживании уровня ИК-излучения в поле зрения датчика. При движении человека (или другого массивного объекта с температурой большей, чем температура фона) на выходе пироэлектрического датчика [2] повышается напряжение. В инфракрасном датчике движения используется оптическая система — линза Френеля. Иногда вместо линзы Френеля используется система вогнутых сегментных зеркал. Сегменты оптической системы (линзы или зеркала) фокусируют ИК-излучение от объекта на пироэлементе, который выдает (при движении человека) электрический импульс в схему обработки.

Принципиальная схема инфракрасного датчика движения представлена на рис.1.

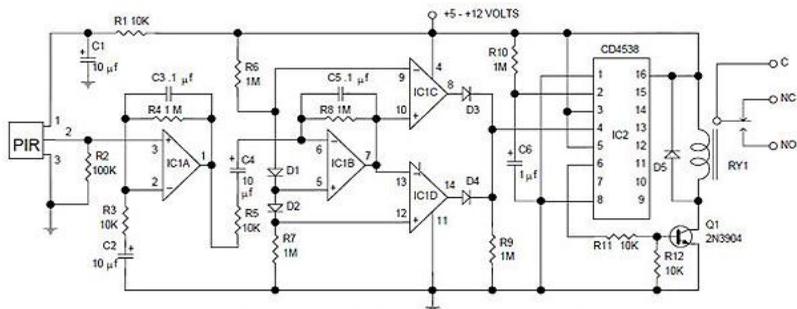


Рис. 1. Схема инфракрасного датчика движения

Сигнал с пиродатчика поступает на усилитель, далее работает компаратор, с выхода которого сигнал через транзистор идет на катушку реле. Реле имеет 3 контакта: "С"-общий, "NC" - нормально замкнутый контакт, "NO" - нормально разомкнутый контакт. Таким образом, при срабатывании датчика движения замкнутая цепь (когда на датчик подано питание) между контактами "С" и "NC" разомкнется.

Рассмотренный датчик движения широко используется в системах охранной сигнализации различных объектов.

Библиографический список

1. <http://www.samelectric.ru/komponenty/sxema-datchika-dvizheniya.html>
2. PIR325 datasheet, URL:<http://datasheet-pdf.com/PDF/PIR325-Datasheet-Globlab-499687>.

*Гамидов Парвиз Илгар-оглы, студ.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРИМЕНЕНИЕ ДВУНАПРАВЛЕННЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ В СОВРЕМЕННОЙ ТЕХНИКЕ

Выпрямитель – это преобразователь переменного напряжения в постоянное. Неуправляемые выпрямители выполняются на базе диодов, управляемые – на базе тиристоров или других управляемых вентильных приборов. Принцип выпрямления основан на использовании свойств силовых электронных вентилях проводить

однонаправленный ток для преобразования переменного тока в постоянный без существенных потерь энергии. Выпрямители потребляют из сети несинусоидальный ток.

Процесс управления выпрямителем приводит к повышению коэффициентов несинусоидальности как тока, так и напряжения.

Проблемы возникают следующие:

1. Для устранения отмеченных выше недостатков можно искажение формы питающего напряжения;
2. падение напряжения в распределительной сети;
3. резонансные явления на частотах высших гармоник;
4. наводки в телекоммуникационных и управляющих сетях;
5. повышенный акустический шум в электромагнитном оборудовании;
6. вибрация в электромашинных системах;
7. снижение электрического и механического КПД нагрузок;
8. ухудшение характеристик защитных автоматов;
9. завышению требуемой мощности автономных электроэнергетических установок;
10. нагрев и дополнительные потери в трансформаторах и электрических машинах;
11. нагрев конденсаторов;
12. нагрев кабелей распределительной сети.

рекомендовать активный выпрямитель.

Выпрямители комплектуются полностью управляемыми вентилями с обратными диодами. С помощью широтно-импульсной модуляции реализуются режимы принудительного формирования сетевого тока. Форму тока приближают к синусоидальной с регулируемой начальной фазой, что и обеспечивает желаемый результат (форму кривой тока и коэффициент мощности). При помощи коррекции коэффициента мощности возможно не только организовать потребляемый ток сети, совпадающий по форме и фазе с напряжением, но и обеспечить заданный уровень постоянного напряжения на конденсаторе. Кроме того, в электроприводе за счет связи инвертора-выпрямителя с питающей сетью, возможна обратная рекуперация энергии, получаемая при работе привода в генераторном режиме.

Наиболее массовое практическое применение в системах регулируемых электроприводов переменного тока получили двухзвенные преобразователи частоты с промежуточным звеном постоянного тока, а из них – преобразователи с автономными инверторами напряжения. Также применяется для питания

асинхронного двигателя от сети постоянного напряжения с возможностью регулирования скорости и рекуперативного торможения. Для транспортных средств, питающиеся от аккумулятора (или другого источника), могут содержать преобразователь, приспособленный для того, чтобы повышать выходное напряжение аккумулятора и/или понижать напряжение, подаваемое на аккумулятор.

Улучшить показатели преобразователей частоты помогает использования в звене постоянного тока выпрямителей с принудительной коммутацией. Структуру силовых цепей двухзвенного ПЧ с активным выпрямителем напряжения иллюстрирует рис.1. В силовой цепи последовательно включены активный выпрямитель напряжения (АВН), фильтр Φ и автономный инвертор напряжения АИН. Силовые полупроводниковые переключающие элементы выпрямителя и инвертора, обладающие полной управляемостью и двусторонней проводимостью тока, условно показаны в виде ключей. Выпрямитель АВН, выполненный по трехфазной мостовой схеме, преобразует напряжение питающей сети переменного тока в стабилизированное напряжение постоянного тока U_d на конденсаторе фильтра. Трехфазный мостовой АИН работает в режиме широтно-импульсной модуляции (ШИМ) и преобразует это постоянное напряжение в переменное напряжение на выходе с требуемыми значениями частоты и амплитуды основной гармоники. Это обеспечивает благоприятную форму тока двигателя и равномерность его вращения в широком диапазоне скоростей.

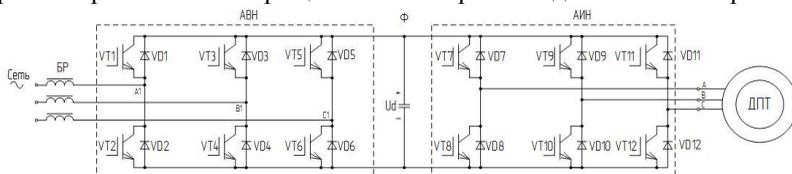


Рис. 1. Выпрямителем и автономным инвертором напряжения

Активный выпрямитель выполняется по схеме, полностью идентичной схеме инвертора и по существу представляет собой обращенный АИН, также работающий в режиме ШИМ. Так же, как и автономный инвертор, активный выпрямитель инвертирует постоянное напряжение фильтрового конденсатора U_d в импульсное напряжение на своих зажимах переменного тока А, В и С. Эти зажимы

связаны с питающей сетью через буферные реакторы БР. В отличие от регулируемой рабочей (полезной) частоты напряжения на зажимах переменного тока АИН А1, В1 и С1 рабочая частота напряжения на зажимах переменного тока АВН постоянна и равна частоте питающей сети. Разность мгновенных значений синусоидального напряжения питающей сети и импульсного напряжения на зажимах переменного тока АВН воспринимаются буферными реакторами БР, являющимися неотъемлемыми элементами системы, индуктивность обеспечивает повышающий режим работы преобразователя. Благодаря использованию режима ШИМ импульсное напряжение, формируемое активным выпрямителем на стороне переменного тока, имеет благоприятный гармонический состав, в котором основная (полезная) гармоника и высшие гармоники существенно различаются по частоте. Это создает благоприятные условия для фильтрации высших гармоник тока, потребляемого из питающей сети, буферными реакторами. Таким образом решается задача потребления из сети практически синусоидального тока.

Как преобразователь энергии постоянного тока в энергию переменного тока автономный инвертор обладает чрезвычайно ценным свойством – возможностью двустороннего энергетического обмена между сетями постоянного и переменного тока. Это свойство сохраняется и в инверсной схеме включения автономного инвертора в качестве активного выпрямителя. В итоге двухзвенный ПЧ с активным выпрямителем обеспечивает двусторонний энергетический обмен между питающей сетью и электрическим двигателем, в том числе режимы рекуперации энергии в питающую сеть. Благодаря этому возможно построение энергосберегающих систем электропривода в различных сферах применения с высоким качеством потребления электроэнергии.

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

ОБЗОР СВЕРЛИЛЬНО-ФРЕЗЕРНЫХ СТАНКОВ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ПЕЧАТНЫХ ПЛАТ

Сверлильно-фрезерный станок является достаточно универсальным агрегатом, который может, в зависимости от поставленной задачи, работать как фрезой, так и сверлом. Современные агрегаты

дополнительно оснащаются устройствами управления ЧПУ, что повышает их функциональные возможности и делает обработку заготовок более точной и качественной.

В настоящее время сверлильно-фрезерные станки нашли широкое применение в самых разных сферах промышленности. Для нас наиболее важно производство прототипов печатных плат.

Поскольку производство прототипов в промышленности стоит достаточно дорого и занимает очень много времени (от 5 дней), некоторые фирмы начали производить лабораторные сверлильно-фрезерные станки.

В настоящее время оборудование данного класса выпускается в самых разных модификациях. Рассмотрим некоторые из них.

LPKF ProtoMat S63 – продукт немецкой компании LPKF с разрешением 0,5мкм, точностью в системе разметки $\pm 0,02$ мм и повышенной скоростью вращения шпинделя 60.000 об/мин. Благодаря данным параметрам, кроме точнейшего изготовления прототипов печатных плат в лабораторных условиях, пригоден для сверления тестовых адаптеров и обработки корпусов. К числу достоинств данного станка также относятся автоматическая смена инструмента, что уменьшает время настройки и позволяет работать без участия оператора, автоматическая установка ширины фрезерования, следящая за тем, чтобы ширина проводной дорожки оставалась постоянной, встроенный распределитель, наносящий паяльную пасту, наличие акустического кабинета для улучшенной шумоизоляции, небольшая потребляемая мощность – 450 Вт, относительная компактность (занимаемая площадь 67х84 см) и небольшой вес (58 кг), что делает ProtoMat S63 еще более удобным для использования в лабораторных условиях. Также существует возможность апгрейда до более продвинутой версии S103. Из недостатков хотелось бы отметить быстрый износ фрезы.

MAPE CNC-1 – сверлильно-фрезерный станок производства «МАРЕ» - Дания. Обладает скоростью вращения шпинделя 0-60.000 об/мин, магазин содержит 20 инструментов и точность позиционирования $\pm 0,01$ мм. Основными достоинствами данной установки являются: высокая точность, поддержка всех популярных CAD форматов и высокая производительность с возможностью ее увеличения, за счет принципа модульной стыковки. Недостатками же можно назвать высокую потребляемую мощность 3,6кВт,

колоссальные размеры (ШхГхВ): 85x100x155 см и вес в 1250 кг, что приближает CNC-1 к промышленным установкам. Также в документации отсутствует информация о присутствии встроенного распределителя паяльной пасты и возможности автоматической смены инструмента.

Сверлильно-фрезерный станок для печатных плат CCD S производства «РТС Инжиниринг» - Россия. Скорость вращения 25.000-60.000 об/мин, точность сверления и позиционирования ± 25 мкм. Область применения – обработка базового материала печатных плат FR2...FR4, металлов (алюминий, латунь). Станок занимает площадь 120x80 см и весит всего 50 кг, а потребление составляет всего 150 Вт. Недостатками данной модели является отсутствие защитного кожуха и ручной замены инструмента «из коробки». И лишь при использовании устройства смены инструмента и специального программного обеспечения, разработанного для этой цели, станок может применяться для нанесения паяльной пасты или другого материала в отдельные точки.

Подводя итог всему вышесказанному, стоит отметить, что для производства прототипов в лабораторных условиях из трех рассмотренных моделей наиболее подходит LPKF ProtoMat S63. Эта модель воплощает в себе баланс компактности, точности, безопасности, производительности и универсальности. Именно такой станок установлен в лаборатории на кафедре ЭиМС. Быстрый износ фрезы у ProtoMat S63 при выпуске единичных экземпляров является несущественным недостатком.

Библиографический список

1. ООО Предприятие Остек: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.ostec-st.ru/>. (Дата обращения: 08.12.2015).
2. LPKF Laser & Electronics AG: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.lpkf.ru/>. (Дата обращения: 08.12.2015).
3. РТС Инжиниринг: [Электронный ресурс]. URL: <http://www.rts-engineering.ru/>. (Дата обращения: 08.12.2015).

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

ДАТЧИКИ ДВИЖЕНИЯ И ПРИСУТСТВИЯ

Всё большее внимание уделяется вопросам энергосбережения. Одним из эффективных способов решения проблемы экономии

электроэнергии является установка датчиков движения и присутствия.

Датчики автоматически включают / выключают освещение в помещении в зависимости от интенсивности естественного потока света и/или присутствия людей. Возможным это делает пассивная технология инфракрасного излучения: встроенные IR-датчики производят запись тепловой радиации и преобразовывают ее в измеряемый электрический сигнал и производит заранее установленные действия (включение / выключение групп освещения).

При выборе между применением датчика движения или присутствия необходимо принимать во внимание дальность действия датчиков и их чувствительность, которая зависит от ряда факторов, способных меняться в зависимости от состояния окружающей среды и иных причин.

Датчики максимально компенсируют и сглаживают влияние окружающей среды на работу устройств. После выбора соответствующего датчика при его инсталляции внимание должно быть уделено возможным помехам, таким как: растения, животные, горячие воздушные потоки от вентиляторов или отопительного оборудования и т.д.

Датчики могут быть запрограммированы с помощью дистанционного пульта управления, что облегчает установку различных параметров и настройку работы датчика, а также избавляет от необходимости применять дополнительное оборудование (инструменты, лестницы и т. п.). Преимуществом датчиков движения и присутствия является простая установка и их настройка для последующей работы: не требуется прокладка специальных сетей управления или применение дополнительного дорогостоящего оборудования. Датчики устанавливаются в разрыв электрической цепи и сразу готовы к эксплуатации.

Библиографический список

1. http://www.energosovet.ru/bul_stat.php?idd=43
2. http://www.retail-group.ru/catalog/datchik_prisutstvija/
3. http://www.abok.ru/for_spec/articles.php?nid=4452

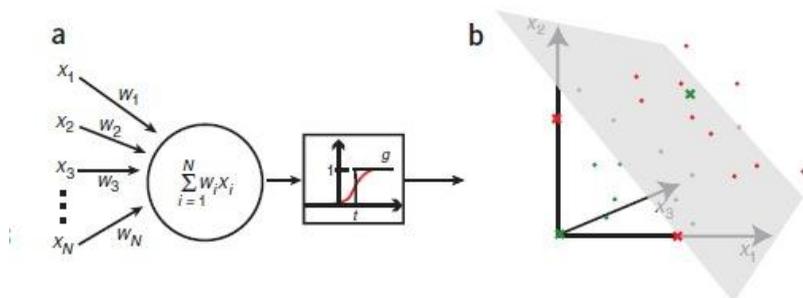
*А. А. Масловский, студ.; рук. А. А. Анисимов, д. т. н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИСКУССТВЕННЫЕ НЕЙРОННЫЕ СЕТИ. СВОЙСТВА И СПОСОБЫ ПРИМЕНЕНИЯ.

Искусственная нейронная сеть (ИНС) – математическая модель, а также её программное или аппаратное воплощение, построенная по принципу организации и функционирования биологических нейронных сетей – сетей нервных клеток живого организма. Это понятие возникло при изучении процессов, протекающих в мозге, и при попытке смоделировать эти процессы.

Искусственные нейронные сети применяются в различных областях науки: начиная от систем распознавания речи до распознавания вторичной структуры белка, классификации различных видов рака и геной инженерии.

ИНС могут быть созданы путем имитации модели сетей нейронов на компьютере. Используя алгоритмы, которые имитируют процессы реальных нейронов, мы можем заставить сеть «учиться», что помогает решить множество различных проблем. Модель нейрона представляется как пороговая величина (она проиллюстрирована на рис. а). Модель получает данные от ряда других внешних источников, определяет значение каждого входа и добавляет эти значения. Если общий вход выше пороговой величины, то выход блока равен единице, в противном случае – нулю. Таким образом, выход изменяется от 0 до 1, когда общая «взвешенная» сумма входов равна пороговой величине. Точки в исходном пространстве, удовлетворяющие этому условию, определяют, так называемые, гиперплоскости. В двух измерениях, гиперплоскость – линия, в то время как в трех измерениях, гиперплоскость является нормальной (перпендикулярной) плоскостью. Точки с одной стороны от гиперплоскости классифицируются как 0, а точки с другой стороны – 1. Это означает, что задача классификации может быть решена с использованием пороговой величины, если два класса будут разделены гиперплоскостью. Эти проблемы называются линейно сепарабельными и изображены на рис. б.



Для процесса обучения ИНС необходимо иметь модель внешней среды, в которой функционирует нейронная сеть - нужную для решения задачи информацию. Во-вторых, необходимо определить, как настраиваются веса связей сети.

Существуют три вида обучения: "с учителем", "без учителя" (самообучение) и смешанное. В первом случае нейросеть имеет в своем распоряжении правильные ответы (выходы сети) на каждый входной пример. Весы настраиваются так, чтобы сеть вырабатывала ответы близкие к известным правильным ответам. Обучение без учителя не требует знания правильных ответов на каждый пример обучающей выборки. В этом случае используется внутренняя структура данных и корреляция между образцами в обучающем множестве для распределения образцов по категориям. При смешанном обучении часть весов определяется по помощи обучения с учителем, в то время как другая определяется по помощи самообучения.

При правильной настройке ИНС, а так же при грамотном обучении, список сфер, где могут быть использованы ИНС становится весьма внушительным.

В каждой предметной области при ближайшем рассмотрении можно найти постановки задач для нейронных сетей. Вот список отдельных областей, где решение такого рода задач имеет практическое значение уже сейчас.

- Экономика и бизнес: прогнозирование временных рядов (курсов валют, цен на сырьё, объемов продаж,...), автоматический трейдинг (торговля на валютной, фондовой или товарной бирже),

оценка рисков невозврата кредитов, предсказание банкротств, оценка стоимости недвижимости, выявление переоцененных и недооцененных компаний, рейтингование, оптимизация товарных и денежных потоков, считывание и распознавание чеков и документов, безопасность транзакций по пластиковым картам.

- Медицина: постановка диагноза больному, обработка медицинских изображений, мониторинг состояния пациента, анализ эффективности лечения, очистка показаний приборов от шумов.

- Авионика: обучаемые автопилоты, распознавание сигналов радаров, адаптивное пилотирование сильно поврежденного самолета, беспилотные летательные аппараты.

- Связь: сжатие видеoinформации, быстрое кодирование-декодирование, оптимизация сотовых сетей и схем маршрутизации пакетов.

- Интернет: ассоциативный поиск информации, электронные секретари и автономные агенты в интернете, фильтрация и блокировка спама, автоматическая рубрикация сообщений из новостевых лент, адресные реклама и маркетинг для электронной торговли, распознавание cartcha.

- Автоматизация производства: оптимизация режимов производственного процесса, контроль качества продукции, мониторинг и визуализация многомерной диспетчерской информации, предупреждение аварийных ситуаций.

- Робототехника: распознавание сцены, объектов и препятствий перед роботом, прокладка маршрута движения, управление манипуляторами, поддержание равновесия.

- Политологические и социологические технологии: предсказание результатов выборов, анализ опросов, предсказание динамики рейтингов, выявление значимых факторов, кластеризация электората, исследование и визуализация социальной динамики населения.

- Безопасность и охранные системы: распознавание лиц; идентификация личности по отпечаткам пальцев, голосу, подписи или лицу; распознавание автомобильных номеров, анализ аэрокосмических снимков, мониторинг информационных потоков в компьютерной сети и обнаружение вторжений, обнаружение подделок, анализ данных с видеодатчиков и разнообразных сенсоров.

- Ввод и обработка информации: распознавание рукописных текстов, отсканированных почтовых, платежных, финансовых и бухгалтерских документов.

- Геологоразведка: анализ сейсмических данных, ассоциативные методики поиска полезных ископаемых, оценка ресурсов месторождений.

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

ОБРАБОТКА СИГНАЛА С ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ УГЛОВОГО ПОЛОЖЕНИЯ НА БАЗЕ ARDUINO UNO

На сегодняшний день существует множество платформ быстрой разработки. Одна из них это Arduino выпускающая целую линейку платформ быстрой разработки как для начинающих UNO, так и для мастеров MEGA. Язык программирования устройств Ардуино основан на C/C++. Он прост в освоении, и на данный момент Arduino — это, пожалуй, самый удобный способ программирования устройств на микроконтроллерах.

На платформе Arduino необходимо было разработать алгоритм и программу, реализующую вычисления изменения угла поворота, измеряемого с помощью фотоэлектрического преобразователя углового положения (ФИХ2). Для визуального отображения изменения угла поворота используется ЖК-индикатор, который подключается по интерфейсу I^2C , на который выводится угол в градусах. Для наглядности подключается сервопривод.

Для реализации такой программы необходимо составить три подпрограммы.



Рис. 1.Объявление переменных и вывод значения

На рис. 1 приведена блок схема основной программы, которая будет включать в себя еще две подпрограммы. В первом блоке идет объявление переменных с которыми в дальнейшем будем обращаться, во втором блоке идет вывод переменной и управление сервоприводом.

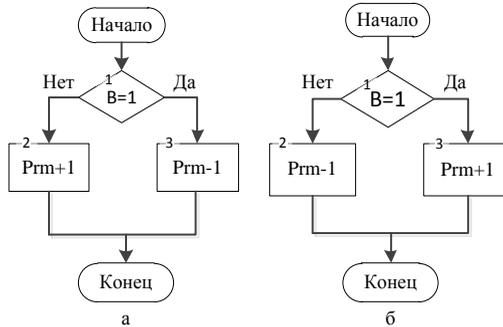


Рис. 2. Прерывания а) по фронту, б) по спаду

На рис. 2, а приведена блок схема подпрограммы по внешним прерываниям по фронту. Если сигнал А имеет фронт и в это время сигнал В имеет логический ноль, то тогда идет прямой отчет +1, а если В имеет логическую единицу значит идет обратный отчет -1. На рисунке 1.2.б приведена блок схема подпрограммы по спаду. Она отличается от подпрограммы по фронту тем, что при тех же условиях

прямого отчета будем теперь -1 и при прежних условий обратного отсчета теперь будем +1

Программная часть написана для ArduinoUno на микроконтроллере ATmega 328p и проверена на нем же. Сигнал А подключается к выводам 2 и 3 которые служат для внешних прерываний. Вывод 2 настроили как прерывание по фронту, а вывод 3 по спаду. Сигнал В подается на вывод 9, который служит для сравнения логического уровня в момент прерывания, сервопривод подключили к выводу 10.

Библиографический список

1. Фрайден Дж. Современные датчики: Справочник; Под общ. ред. Е. Л. Свинцова. – Л.: Техносфера. Моск. отд-ние, 2005. – 592 с
2. <http://arduino.ru/>
3. <http://www.datasheetspdf.com/datasheet/SG90.html>

*Е.И. Некрасова, студ.; рук. В.В. Лапин.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

КОРРЕКЦИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ЧАСТОТНОЙ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Задачей работы являлась коррекция экспериментальной частотной характеристики высокочастотного контура обратной связи по напряжению в источнике питания линзы наведения на резонанс. Питание импульсных линз для резонансной раскачки пучка на синхротроне ИФВЭ осуществляется от двенадцатипульсного тиристорного выпрямителя с LC-фильтром.

Предварительно экспериментальная частотная характеристика была отмоделирована при помощи функции `freq2tf`, аналога которой нет в Matlab. При помощи этой функции была найдена передаточная функция частотной характеристики по экспериментальным данным. Для дальнейшего удобства работы передаточная функция заносилась в среду Matlab, там же построена переходная характеристика. В Matlab выполнилось сравнение, в ходе которого выяснилось, что программный комплекс Scilab справляется с задачей построения характеристик по экспериментальным данным.

В процессе работы возник вопрос об уменьшении ошибки при выполнении программы преобразования данных в передаточную

функцию (freq2tf), так при увеличении порядка системы ошибка уменьшалась.

Коррекция производилась в среде Control System Toolbox Matlab с использованием возможностей SISO Design Tool. Меняя расположения «нулей» и «единиц» добивался необходимый вид характеристики. Руководителем задана частота среза 12кГц, коэффициенты усиления на частотах 50 и 600Гц, запасы устойчивости по фазе и амплитуде. Запас устойчивости по фазе 40 градусов, по амплитуде 20 Дб. Особенностью системы является наличие резонансного пика на частоте 39 кГц, обусловленного резонансной частотой выходного трансформатора подавления пульсаций.

В ходе работы было доказано, что без демпфирования резонансного пика получить заданную частоту среза с необходимыми запасами по фазе и амплитуде невозможно.

Библиографический список

1. С.Н. Васильев, О.А.Гусев, И.И. Ковалевский, В.М.Кофман, В.Н. Рожков, В.Д. Федоров . Импульсные источники питания линз резонансной раскочки для медленного вывода пучка протонов .НИИ электротехнической аппаратуры им. Д.В. Ефремова.
2. К.П. Мызников, В.М. Татаренко, Ю.С. Федотов. Препринт ИФВЭ 70-51, Серпухов, 1970.

*Щляцкая Е.М., студ; рук. к.т.н., проф. Терехов А.И.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

СРАВНЕНИЕ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ СТАБИЛИЗИРОВАННЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ НАПРЯЖЕНИЯ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Известны два основных принципа построения стабилизированных преобразователя постоянного напряжения: непрерывный и импульсный.

Поскольку непрерывный стабилизированный преобразователь требует замкнутой системы регулирования, обеспечение его заданной точности, т.е. стабильности выходного напряжения, должно производиться с учетом требований устойчивости и качества переходных режимов.

На динамические свойства преобразователя существенное влияние оказывает сглаживающий фильтр, а также нелинейное ограничение тока нагрузки.

Необходимость контроля не только выходного напряжения, но и тока регулирующего элемента дает предпочтительную структуру подчиненного регулирования, содержащую подчиненный контур регулирования тока (РТ) и основной контур регулирования напряжений (РН).

Для того, чтобы не нарушить устойчивость контура РТ в результате увеличения коэффициента усиления пропорционального (П) регулятора, постоянство тока силового транзистора во время заряда конденсатора можно обеспечить введением положительной обратной связи по выходному напряжению.

В качестве РН наиболее подходящим является пропорционально – интегральный (ПИ) регулятор, что при идеальном датчике напряжения обеспечивает стабильность выходного напряжения при всех допустимых возмущениях.

Применение импульсного преобразователя напряжения предполагает широтно-импульсное или частотно-импульсное регулирование выходных параметров устройства. При этом силовая схема по сравнению с непрерывной организацией приобретает неоспоримые преимущества по массогабаритным показателям и КПД.

Возможности современных транзисторов MOSFET и IGBT позволяют создавать импульсные преобразователи напряжения, имеющие широкую область применения в регуляторах и стабилизаторах постоянного напряжения.

Для регулирования и стабилизации напряжения для импульсных преобразователей рекомендуют несколько принципов организации системы управления, сравнение которых и производится в докладе. Особенностью исследования является оценка статических и динамических параметров исследуемых систем при работе на двигательную нагрузку, а также попытка перенести технические решения поставленной задачи для непрерывной системы на импульсную.

Библиографический список

1. Коршунов А.В. Методика построения непрерывных моделей импульсных преобразователей напряжения постоянного тока, Компоненты и технологии. вып.№8, 2006.
2. П. Четти Проектирование ключевых источников электропитания. Москва, Энергоатомиздат, 1990.

*Д. Ю. Ануфриев, студ. Консорциума EU4M
рук. P. Mallecot, N. Piat
(ENSMM, Безансон, Франция)*

**РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОЙ
МОДЕЛИ ГАЛЕРЫ**

Макеты играют важную роль в разработке новых технологий. Они помогают визуализировать работу реально существующих устройств, не теряя при этом в функциональности по сравнению с оригиналом.

Целью проекта является реализация электромеханической модели галеры с помощью новейших материалов и технологий, а также достижений в области электроники. Проект включает в себя максимальное разнообразие операций в цикле создания embedded устройств от «идеи» до реально работающей модели. Подобная разработка прототипа является обязательным этапом в каждой компании, занимающейся серийным выпуском электронных приборов.

В качестве основы выбрана электромеханическая система, осуществляющая преобразование электрической энергии аккумулятора в механическую энергию вращения вращающихся частей при помощи двигателей постоянного тока. Предусмотрено дистанционное управление моделью.

В процессе разработки технического задания работа была разделена на две части:

1. Механическая

а. Разработка модели устройства. Проектирование велось в двух современных САПР Pro Engineer и CATIA, используемых ведущими мировыми компаниями. Программы позволяют осуществить 3D моделирование и первоначальную отладку механизма на компьютере.

б. Расчет механической передачи. В качестве механизма выбрана шестеренчатая передача, произведен расчет необходимых параметров двигателей.

с. Разработка механизма вращения весел. Необходимо обеспечить синхронное вращение пяти весел от одного двигателя (для левой стороны галеры, механизм также продублирован и для правой стороны).

d. Изготовление деталей. Все необходимые детали изготовлены самостоятельно при помощи различных методов производства: токарная обработка (валы), фрезерование на станке ЧПУ (механизм фиксации весел), электроэрозия (шестерни), выращивание на 3D принтере (корпус, весла).

2. Электронная

a. Разработка нового устройства с созданием принципиальной схемы, разводением печатной платы и пайкой компонентов занимает достаточно длительное время. Принято решение использовать готовую отладочную плату фирмы STMicroelectronics STM32F3. Данная плата имеет практически полный функционал, необходимый для реализации проекта: 32-битный ARM CortexM4 микроконтроллер, поддержка ШИМ, протоколов I2C, UART, наличие гироскопа, магнитного датчика, выполняющего роль компаса, и датчика линейного ускорения. Дополнительно выбран Bluetooth модуль HC-05.

b. В качестве дистанционной системы управления выбран смартфон с операционной системой Android. Передача данных осуществляется по Bluetooth интерфейсу. Разработано приложение для Android, позволяющее подключиться к нашей модели, задать желаемую скорость и направление движения.

с. Текущее положение галеры в реальном времени отображается на экране смартфона (в виде компаса с магнитной стрелкой), указывая абсолютное направление относительно сторон света с точностью до двух градусов. Для этой цели задействован магнитный датчик, соединенный с микроконтроллером по интерфейсу I2C.

d. Управление скоростью и направлением галеры осуществлено при помощи двух двигателей (ШИМ). На микроконтроллере реализован ПИ регулятор, позволяющий поддерживать заданную скорость, а также предусмотрен плавный пуск для предотвращения повреждения механизма при старте и максимальному приближению к действиям оригинала. Для реализации разворота галеры, предусмотрено замедление вращения весел с той или иной стороны судна. На экране смартфона осуществлена возможность указания желаемого угла поворота галеры. При этом микроконтроллер

обеспечивает разворот до тех пор, пока не совпадут заданное и реальное положения судна, после чего он контролирует удержание указанного курса.

Все вышеописанные действия выполнены в соответствии с планом. Таким образом, удалось реализовать проект с момента разработки идеи до реального претворения концепции в жизнь. Однако, существует еще множество нюансов, которые могут быть доработаны, такие как контроль рассинхронизации весел при развороте, подключение акселерометра и гироскопа, позволяющих определить скорость и отклонение от заданного положения (например, раскачивание на волнах) и пр. На базе данного проекта будущие поколения студентов могут изучать разнообразные аспекты, связанные с работой современных микроконтроллеров, и доработать указанные выше проблемы. Данная работа позволяет получить большой практический опыт в разработке электронных устройств, так необходимый молодым инженерам.

Библиографический список

1. <https://ru.wikipedia.org/wiki/Галера>
2. <https://ru.wikipedia.org/wiki/CATIA>
3. https://en.wikipedia.org/wiki/PTC_Creo_Elements/Pro
4. http://www.st.com/web/catalog/tools/FM116/CLI1620/SC959/SS1532/LN1848/PF254044?s_searchtype=partnumber
5. <https://hackspark.fr/fr/hc-05-bluetooth-v2-0-serial-transceiver-module-3-3v.html>
6. <http://startandroid.ru/en/lessons/complete-list.html>

М. Н. Горячев

(University of Western Australia, Australia)

О ПРОБЛЕМАТИКЕ ПОСТРОЕНИЯ КВАНТОВОГО ОПТИКО-МИКРОВОЛНОВОГО ИНТЕРФЕЙСА

Квантовые вычисления и исследования в области построения квантовых вычислительных машин являются очень динамично развивающимися областями современной науки. Преимущество квантовых вычислений на определенных задачах достигается за счет того что один квантовый бит (кубит), в отличие от своего классического аналога, одновременно может быть как нулем так и единицей в пропорции задающейся как амплитудой комплексного

числа, так и фазой. «Сохранение» этой фазы при манипуляциях, хранении или передачи квантовой информации называется когерентностью. За счет этого достигается параллелизм вычислений, когда за один проход алгоритма обрабатываются все комбинации входных данных.

Существует несколько подходов к физическому построению квантовых вычислителей. Одним из наиболее многообещающих направлений благодаря легкости масштабирования и компактности является использования сверхпроводящей электроники на основе переходов Джозефсона. При таком подходе вычисления выполняются в микроволновом (X-band) диапазоне часто при милли-Кельвиновых температурных для сохранения когерентности (энергия квантовых уровней кубитов должна быть больше температурных флуктуаций). Однако, при передаче такой информации между различным вычислителями, находящимися на расстоянии друг от друга, возникает необходимость преобразования кубитов в оптический диапазон, поскольку оптические фотоны сохраняют когерентность и на комнатной температуре. Более того предпочтительна инфракрасная длина волны 1550нм (т.н. Эрбиевое окно), на которую и рассчитаны современные телекоммуникационные сети. Передача именно квантовой информации по таким сетям имеет еще одно преимущество, связанное с невозможностью ее тайного перехвата из-за невозможности «клонирования» квантовой информации.

Существует два основных подхода к построению оптико-микроволнового интерфейса с квантовой эффективностью: использование промежуточного механического резонатора сильно связанного с оптическим и микроволновыми резонаторами, использование атомного ансамбля с микроволновыми и оптическими квантовыми уровнями сильно связанными с соответствующими резонаторами. «Сильная связь» в данном случае означает тот факт, что фотон должен успеть провзаимодействовать с ансамблем или механическим резонатором до того, как он будет рассеян в любой из под систем. Это требование накладывает большие ограничения именно на микроволновую часть, где типичная (магнитная) атомно-фотонная связь гораздо слабее, а потери выше.

На практике, при осуществлении второго подхода, описанного выше, используются ионные (искусственные или собственные) примеси в высокочастотных кристаллах. При этом выбор концентрации очень

критичен: более высокая концентрация ведет к увеличению связи, но также ухудшает диссипационные свойства. Изначально, было предложено использование примесей Эрбия и Европия в кристаллах Иттриевого Ортосиликата (YSO), которые имеют и оба типа переходов. Причем микроволновые переходы создаются полем ядер примесей и не требуют внешнего магнитного поля, что критично для сверхпроводящей электроники. Кроме того нами была достигнута сильная связь с ионами хрома в том же кристалле. Также нами были исследованы редкоземельные ионы в кристаллах YAG, YAP и YVO а также ионах группы железа в сапфире, ниобате лития, кварце и др. Несколько иным направлением является использование магнитных кристаллов, таких как Железисто Иттриевый Гранат. Благодаря регулярной и высокой концентрации ионов железа в таких кристаллах образуются квазичастицы – магноны, обладающие очень высокой связью с фотонами. Нами были проведены несколько экспериментов в этой области и достигнуты величины связи, сравнимые с собственными частотами фотонов. Такие режимы очень интересны для исследования квантовых систем, поскольку соответствуют задачам, не имеющим аналитического решения.

Таким образом, сильная связь в микроволновом диапазоне была достигнута для различных ионных ансамблей в кристаллах. Однако еще остается проблемой достижение сильной связи с одиночным ионом.

*А.В. Кудрявцев
(Университет Франш-Конте, г. Безансон, Франция)*

ЭМУЛЯЦИЯ ФИЗИЧЕСКИХ СИСТЕМ НА МИКРОКОНТРОЛЛЕРЕ

Физическая система представляет собой множество элементов, находящихся в отношениях и связях друг с другом. В теории автоматического управления, при разработке регуляторов для таких систем необходимой является фаза тестирования, которая может быть затруднена в реальных условиях, где доступ к объекту невозможен. Для таких случаев было разработано устройство на микроконтроллере позволяющее эмулировать поведение реальной системы.

Представленное устройство представляет собой печатную плату с одним входом и выходом. Так как одним из наиболее распространённых методов моделирования линейных систем является использование передаточной функции, устройство предусматривает

функции необходимые для их эмуляции: пользователь имеет возможность задать передаточную функцию, выбрать порядок числителя и знаменателя системы и каждый из их множителей. Так как данное устройство является цифровым, использование аналоговой передаточной функции невозможно. Следовательно, для перехода к цифровой модели были применены следующие алгоритмы: метод Эйлера[1] и метод Рунге-Кутты[2]. Принимая во внимание тот факт, что идеальных линейных систем не существует, была также реализована возможность использования нелинейных блоков, таких как возведение в квадрат, насыщение, а также дискретная модель гистерезиса Прайзака[3].

Программа была протестирована на микроконтроллере STM32F207ZG с ядром ARM Cortex-M3. Для разработки использовалось программное обеспечение Keil μ Vision.

Библиографический список

1. Эйлер, Л. "Интегральное исчисление, т. 1." М.: Гостехиздат, 1956.
2. Бахвалов Н. С., Жидков Н. П., Кобельков Г. М. Численные методы. — М.: Бинوم, 2001.
3. Visintin, Augusto. Differential models of hysteresis. Vol. 111. Springer Science & Business Media, 2013.

Г.А. Чапурин, студ. Мехатр. и Микро-мехатр.;
рук. Ж. Минтенбек
(Высшая школа техники и экономики, г. Карлсруэ)

РАЗРАБОТКА И РЕАЛИЗАЦИЯ ИНДУКТИВНОЙ ЗАРЯДНОЙ СТАНЦИИ ДЛЯ РОБОТА MICROMAN

Беспроводная передача электричества — способ передачи электрической энергии без использования токопроводящих элементов в электрической цепи. Техника беспроводной передачи методом электромагнитной индукции использует ближнее электромагнитное поле, поэтому приёмник должен находиться в непосредственной близости к передатчику для того, чтобы эффективно с ним взаимодействовать [1].

Использование резонанса несколько увеличивает дальность передачи. При резонансной индукции передатчик и приёмник настроены на одну частоту (130 кГц). Производительность может быть улучшена ещё больше путем изменения формы волны управляющего тока от синусоидальных до несинусоидальных переходных формы волны. Импульсная передача энергии происходит в течение нескольких циклов. Таким образом, значительная мощность может быть передана между двумя взаимно настроенными LC-цепями с относительно невысоким коэффициентом связи (Рис. 1). Передающая и приёмная катушки представляют собой однослойные соленоиды или плоскую спираль с набором конденсаторов, которые позволяют настроить принимающий элемент на частоту передатчика (Рис. 2).

Резонанс используется как в панели беспроводной зарядки (передающем контуре), так и в модуле приёмника (встроенного в нагрузку) для обеспечения максимальной эффективности передачи энергии.

Обычным применением резонансной электродинамической индукции является зарядка аккумуляторных батарей портативных устройств, таких, как портативные компьютеры и сотовые телефоны, медицинские имплантаты и электромобили (Рис. 3).

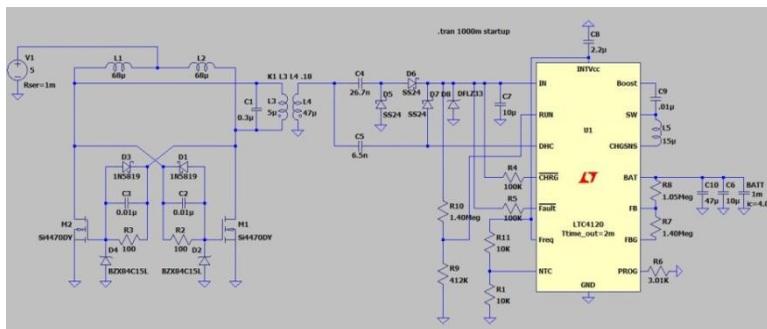


Рис. 1. Схема индуктивной зарядной станции в программном комплексе LTspice.

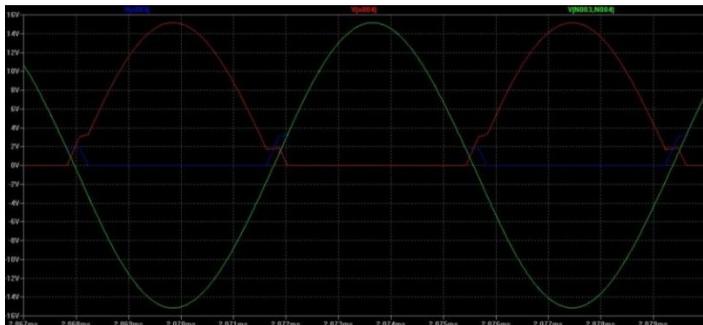


Рис. 2. Напряжения на передающем и принимающем контурах в программном комплексе LTspice.

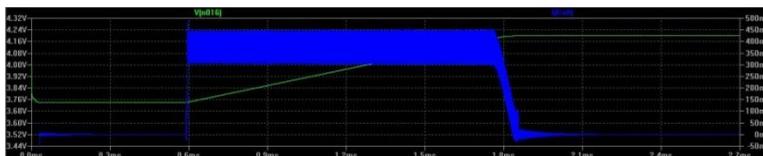


Рис. 3. Напряжение и ток на зажимах аккумуляторной батареи в программном комплексе LTspice.

Беспроводная зарядка имеет огромный потенциал. Если бы мы могли передавать энергию без проводов мы сможем переосмыслить не только бытовую электронику, но инфраструктуру, используемой человечеством.

Библиографический список

1. Berührungslose Energieübertragung - Stand der Technologie. VDE, abgerufen am 18. Juni 2013.
2. Hochspringen nach: a b Johnson I. Agbinya (Hrsg.): Wireless Power Transfer. River Publishers Series in Communications, 2012, ISBN 978-8-79232923-3.
3. Dominik Huwig: Energieübertragung durch Nahfeldkopplung. etatronix.de, abgerufen am 20. Juni 2013. S. 53.

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

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ СИСТЕМ МОДАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ НИЗКОЙ ПАРАМЕТРИЧЕСКОЙ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ

Параметрической грубость (малая чувствительность к вариациям параметров) является одним из важнейших свойств, определяющих работоспособность САУ. Вопросам обеспечения параметрической грубости последние десятилетия уделяется большое внимание исследователей [1-9]. Одним из наиболее эффективных методов обеспечения параметрической грубости является «метод больших коэффициентов усиления» [7].

В [10] предложено использовать «метод больших коэффициентов усиления» применительно к системам модального управления с полиномиальными регуляторами. Однако его также можно применить и к системам модального управления с регуляторами состояния.

Рассмотрим процедуру синтеза системы модального управления с регулятором состояния на примере упругого двухмассового электромеханического объекта, структурная схема которого приведена на рис. 1.

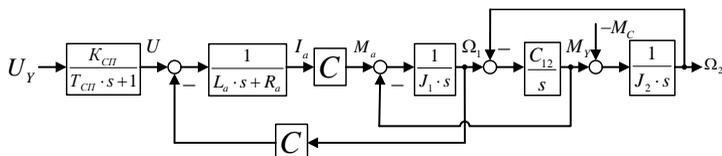


Рис. 1. Структурная схема

Параметры объекта имеют следующие значения:

- постоянная времени и коэффициент усиления силового преобразователя $T_{сп} = 0.0033\text{с}$, $K_{сп} = 22$;
- конструктивная постоянная, индуктивность и сопротивление якорной цепи, момент инерции электродвигателя $C = 2.07\text{Вб}$, $L_{я} = 0.026\text{Гн}$, $R_{я} = 0.58\text{Ом}$, $J_1 = 0.06\text{кгм}^2$;
- коэффициент жесткости механической передачи и момент инерции рабочего органа $C_{12} = 20.5\text{Нм/рад}$, $J_2 = 0.162\text{кгм}^2$.

При синтезе пренебрежем малой постоянной времени $T_{СП}$. Описание объекта управления в пространстве состояний примет вид:

$$\mathbf{x}^T(s) = [I(s) \quad \Omega_1 \quad M_y \quad \Omega_2] \mathbf{s}\mathbf{x}(s) = \mathbf{A}\mathbf{x}(s) + \mathbf{B}\mathbf{u}(s), \quad \Omega_2(s) = \mathbf{C}\mathbf{x}(s)$$

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -22.3 & -79.62 & 0 & 0 \\ 34.5 & 0 & -16.67 & 0 \\ 0 & 20.5 & 0 & -20.5 \\ 0 & 0 & 6.17 & 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{B} = \begin{bmatrix} 846.15 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \mathbf{C}^T = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}.$$

Пусть необходимо обеспечить быстроедействие САУ не хуже 250 мс при аperiodическом переходном процессе при возможном изменении момента инерции рабочего органа в два раза.

Исследовалась параметрическая грубость САУ, характеристические полиномы которых формировались по корням:

– вариант 1 – $s_{1-4} = -35$ (полином Ньютона),

– вариант 2 – $s_1 = -15$, $s_{2-4} = -100$,

– вариант 3 – $s_1 = -15$, $s_{2-4} = -200$.

Соответствующие матрицы обратных связей, полученные в результате стандартной процедуры синтеза регулятора состояния [11] имели вид:

$$\mathbf{K} = [-0.17 \quad -0.224 \quad -0.2575 \quad -0.19],$$

$$\mathbf{K} = [-0.346 \quad -1.0717 \quad -2.1272 \quad -2.9],$$

$$\mathbf{K} = [-0.7 \quad -4.31 \quad -15.7 \quad -28.08].$$

Графики переходных процессов приведены на рис. 2 а, б, в соответственно:

– 1 – при уменьшении момента инерции в 2 раза;

– 2 – при номинальных параметрах объекта управления;

– 3 – при увеличении момента инерции в 2 раза.

Очевидно, что формирование характеристического полинома предложенным в [10] способом позволяет синтезировать регуляторы, обеспечивающие параметрическую грубость САУ. Более того, выбирая величину «быстрых» полюсов САУ, можно управлять степенью проявления этого свойства и обеспечивать рациональное соотношение между параметрической грубостью и величиной коэффициентов обратных связей.

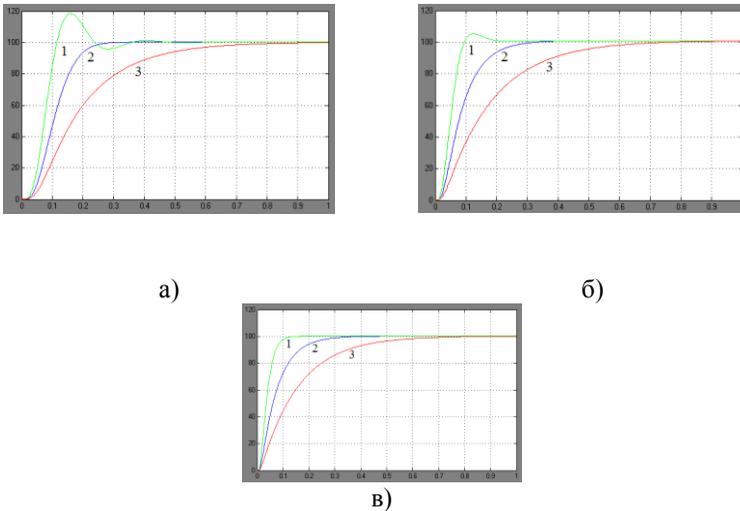


Рис. 2. Графики переходных процессов

Библиографический список

1. **Надеждин П.В.** О практической неустойчивости (негрубости) систем, полученных по методу статьи [1] // Изв. РАН. Автоматика и телемеханика. – 1973. – №5. – С. 196–198.
2. **Волгин Л. Н.** О грубых системах управления // Изв. РАН. Автоматика и телемеханика. – 1989. – № 4. – С. 186-187. 32
3. **Гончаров В. И.,** Лиепиньш А. В., Рудницкий В. А. Синтез робастных регуляторов низкого порядка // Изв. РАН. Теория и системы управления. – 2001. – № 4. – С. 36–43.
4. **Джури Э. И.** Робастность дискретных систем // Изв. РАН. Автоматика и телемеханика. – 1999. – № 3. – С. 3–28.
5. **Колесников А. А.** Основы теории синергетического управления. – М.: Испо-сервис, 2000. – 264 с.
6. **Поляк Б.Т.,** Щербаков П.С. Робастная устойчивость и управление. – М.: Наука, 2002. – 303 с.
7. **Мееров М. В.** Синтез структур систем автоматического регулирования высокой точности – М. : Наука, 1967. – 424 с.
8. **Востриков А. С.** Синтез нелинейных систем методом локализации. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. ун-та, 1990. – 120 с.
9. **Гайдук А. Р.** Теория и методы аналитического синтеза систем автоматического управления (полиномиальный подход). – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2012. – 360 с.
10. **Вершинин И. В., Тютиков В. В.** Синтез параметрически грубых систем модального управления // Материалы Международной конференции «Энергия», 2015.
11. **Тютиков В. В., Тарарькин С. В.** Робастное модальное управление технологическими объектами / В.В. Тютиков, С.В. Тарарькин ; – Иваново: ИГЭУ, 2006. – 256 с.

СЕКЦИЯ 22

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ

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

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

*А.А. Подолян ст.преп.; рук. Г.С. Тымчик д.т.н., проф.
(НТУУ «КПИ», г. Киев)*

ИССЛЕДОВАНИЯ ФОРМИРОВАНИЯ БЕГУЩЕЙ ВОЛНЫ ЭМА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Среди исследований, связанных с созданием аппаратуры неразрушающего контроля, особое место занимают поиски бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвука в твердых телах. Успехи в отмеченном направлении достигнуты за счет применения электромагнитно-акустического (ЭМА) способа возбуждения и приема ультразвуковых колебаний. Теоретические исследования формирования ультразвуковой волны ЭМА методом рассмотрены рядом авторов [1,2,3,4].

В ряде работ [2,3,4] показана принципиальная возможность углового ввода ультразвуковых колебаний с помощью ЭМА преобразователя, получены основные формулы. Вместе с тем, вопрос практического применения плавного управления углом ввода ультразвуковой волны с использованием ЭМА преобразователей с излучателями в виде решетки проводников остаётся открытым.

Целью исследований является теоретических исследования формирования бегущей волны ЭМА преобразователем.

Известно, что при падении плоской ультразвуковой волны по границе образуется вынужденная бегущая волна, скорость и направление которой зависит от угла падения. В этом случае, источником преломленных волн является колеблющаяся граница раздела, которая может быть эффективно возбуждена с помощью ЭМА преобразователя, построенного на основе решетки элементарных проводников-излучателей, расположенных в одной плоскости.

В работе получено выражение для угла, определяющего направление излучения, сформированного решеткой элементарных проводников-излучателей. Для возбуждения бегущей волны с заданными свойствами, необходимо, чтобы давление под каждым проводником-излучателем изменялось последовательно, со сдвигом

фаз. Заданный сдвиг фаз обеспечивается путем задержки в подаче гармонического сигнала на соседние нити-излучатели на некоторый промежуток времени.

Для исследования процесса формирования решеткой синфазных нитей-излучателей акустических колебаний по приведенным выше формулам, написана программа на языке Paskal. Результаты расчетов распространения бегущей волны представлены на графиках (рис. 1).

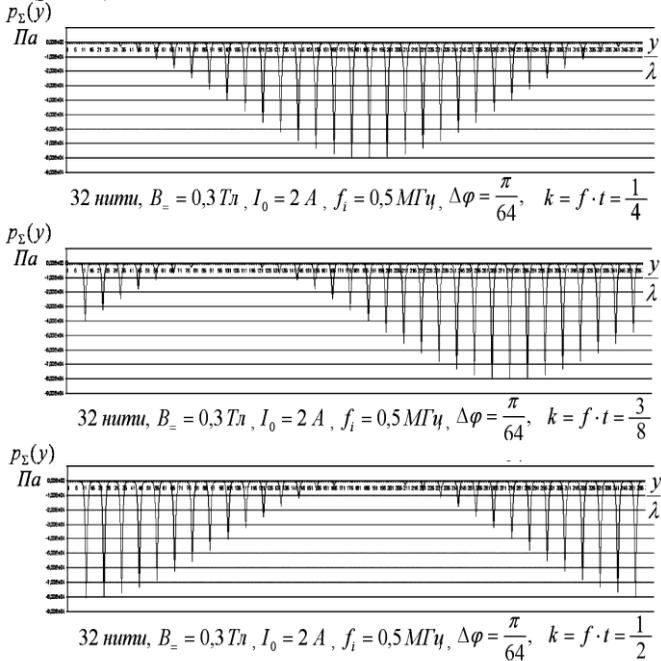


Рис. 1. Распространение бегущей волны

В процессе выполнения работы проведены исследования формирования акустической волны ЭМА преобразователем, получены теоретические данные распространения бегущей волны в объекте контроля.

Библиографический список

1. **Сазонов Ю.И., Шкарлет Ю.М.** Исследование бесконтактных методов возбуждения и регистрации ультразвуковых колебаний: Ультразвуковые методы контроля. Дефектоскопия. Вып.5. 1969.
2. **Малинка А. В.** Излучение и приём ультразвуковых колебаний под заданным углом при электромагнитно-акустическом методе / А. В. Малинка // Дефектоскопия. – 1979. – Вып. 5. – С. 16 – 20. 12
3. **Малинка А.В., Драпкин И.А., Коломец Н.Т.** Электромагнитно-акустический метод контроля ферромагнитных листов и труб. Дефектоскопия. 1972. Вып. 4.
4. **Тымчик Г.С., Подолян А.А.** Анализ электромагнитно-акустического преобразователя с угловым вводом возбуждения ультразвуковой волны Вестник национального технического университета Украины "Киевский политехнический институт" серия приборостроения. Киев. 2014. Вып. 47.

А.М.А. Аль-Шахейти, асп.; рук. **Ю.К. Евдокимов, д.т.н, проф,**
(КНИТУ-КАИ, г. Казань)

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПОДШИПНИК, АКТИВНЫЙ МАГНИТНЫЙ ПОДВЕС

Активные магнитные подшипники находят все большее применение во многих отраслях промышленности, бесконтактные активные магнитные подшипники применяются для улучшения стабилизации вращения роторных машин.

Электромагнитные подшипники ЭМП состоят из статора с установленными в двух осях четырьмя электромагнитами. Принцип действия ЭМП основывается на эффекте левитации в магнитном поле. Для поддержания, центрирования и контролирования положения вала-ротора устройства, применяются индуктивные датчики перемещения, путем измерения перемещений положения ротора, индуктивные датчики положения устанавливают полную левитацию ротора. ЭМП применяются в нефтегазовых турбинах, высокооборотных энергетических машинах, а также в компрессорной технике.

Роторы высокооборотных электрических машин с постоянными магнитами обеспечивают их стойкость и обладают достаточно высокую надежность при больших скоростях вращения.

Главным преимуществом ЭМП, по сравнению с традиционными подшипниками является отсутствие полного механического трения, что позволяет отказаться от масла, используемого для повышения вязкости устройства вала-ротора, отсутствия масла позволяет достичь

высочайшей надежности также и за счет отсутствия износа узлов машины.

Важной особенностью электромагнитных подвесов является не только обеспечение свободной левитации взвешиваемых тел, но и способность выдавать точную информацию об их смещениях и действующих на них силах [1].

Библиографический список

1. Ю. А. Осокин; В. Н. Герди. Теория и применение электромагнитных подвесов, , Москва, машиностроение, 1980.

*А. А. Голяс, аспирант; рук. В. А. Полетаев, д.т.н, проф.
(ИГЭУ, г Иваново)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКОМ МАШИНОСТРОЕНИИ ЗА СЧЁТ ВНЕДРЕНИЯ ПРОЦЕССА АЛМАЗНОГО ВЫГЛАЖИВАНИЯ

В настоящее время в отечественном энергетическом машиностроении происходит процесс технологической модернизации направленный на повышение эффективности механической обработки. Модернизация производства обеспечивается прежде всего за счёт внедрения современных образцов металлообрабатывающего оборудования и инструмента и передовых технологических операций и процессов. Одной из таких операций является финишная обработка алмазным выглаживанием. В данной статье приводится обоснование эффективности процесса алмазного выглаживания [2] по сравнению с другими методами финишной обработки применительно к производству дизелей для автономных электростанций и электроагрегатов.

Для обоснования применения метода сравним параметры эффективности финишной обработки алмазным выглаживанием, внешних цилиндрических поверхностей вращения, с параметрами эффективности метода круглого шлифования, который является наиболее распространенным методом финишной обработки в дизелестроении. Рассматриваемые параметры эффективности разделим на две группы, в первую группу входят параметры

экономической эффективности, во вторую параметры качества обрабатываемой поверхности. В результате сравнения параметров экономической эффективности было выявлено что алмазное выглаживание имеет значительно большее в сравнении с шлифованием машинное время обработки [1], однако эта разница может компенсироваться за счёт исключения из маршрута операции круглого шлифования. Алмазное выглаживание имеет значительно меньшие энергетические затраты в сравнении с шлифованием. По затратам на инструмент и его общей стойкости оба метода сопоставимы, однако алмазный инструмент имеет большое время работы без правки в сравнении с шлифовальными кругами.

При сравнении параметров качества поверхности (таблица 1) было выявлено, что в результате обработки алмазным выглаживанием получается поверхность с сопоставимой шероховатостью, но с лучшими характеристиками опорной способности поверхности [3].

Таблица 1. Параметры качества поверхностей обработанных алмазным выглаживанием и круглым шлифованием

Метод финишной обработки	Ra мкм.	Коэффициент заполнения профиля K	Радиус закругления неровностей R мкм.	Опорная часть		HRC	
				профиля t_p в %	площади t_f в %	до обраб.	после обраб.
Алмазное выглаживание	0,63	0,65 – 0,75	1500	50	20	30 – 40	40 – 52
Шлифование	0,63	0,45 – 0,55	100	7	2,0		25 – 40

На рис. 1 представлены профилограммы поверхностей получаемых при выглаживании (рис. 1, а) и при шлифовании (рис 1, б), которые имеют одинаковую шероховатость (высоту неровностей) но различную их форму. Также в результате выглаживания повышается микротвёрдость поверхностного слоя, что позволяет в некоторых случаях исключить из техпроцесса термическую обработку

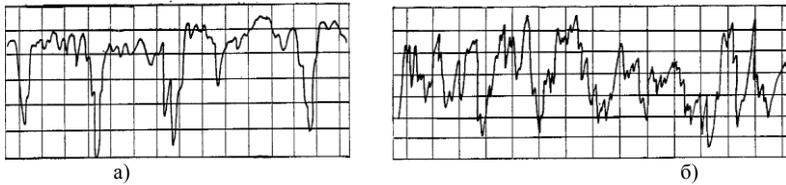


Рис. 1. Профилограммы поверхностей обработанных: а) круглым шлифованием, б) алмазным выглаживанием

Таким образом, можно сделать вывод, что рациональное внедрение в технологический процесс алмазного выглаживания способствует повышению качества обработки, а также снижению энергозатрат в сравнении с круглым шлифованием. Тем не менее, основным направлением развития метода, является повышение производительности обработки, за счёт применения эффективного инструмента и смазывающе-охлаждающих технологических средств.

Библиографический список

1. **Кашук В. А.**, Верещагин А. Б. Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.
2. **Торбило В.М.** Алмазное выглаживание. – М.: Машиностроение, 1972. – 104 с.
3. **Шнейдер Ю.Г.** Технология финишной обработки давлением: Справочник. – СПб.: Политехника, 1998. – 414 с.

*К.Н. Архангельский, курсант;
рук. В.В. Киселев, к.т.н, доц., Н.А. Кропотова, к.х.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР ПРИ ПОЖАРЕ НА ПРОЧНОСТЬ МЕТАЛЛОКОНСТРУКЦИЙ

По данным справки, подготовленной департаментом надзорной деятельности по анализу обстановки с пожарами и последствий от них на территории РФ, мы можем отметить, что доля пожаров, возникающих на объектах, выполненных с применением металлоконструкций составляет порядка 15%.

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. Задачей 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.

Проведенные исследования показали, что механические свойства стали при нагревании ее до температуры 200...250 °С практически не меняются. При температуре 250...300 °С прочность стали несколько повышается, пластичность снижается. Сталь в изломе имеет крупнозернистое строение и становится более хрупкой (синеломкость). Не следует при этой температуре деформировать сталь или подвергать ее ударным воздействиям.

Нагрев выше 400 °С приводит к резкому падению предела текучести и временного сопротивления, а при $t = 600...650$ °С наступает температурная пластичность и сталь теряет свою несущую способность.

Эксперименты показали, что для металлических конструкций критическое значение температуры $t_{кр}$, при котором ослабляются прочностные характеристики стали, равно 650 °С, причем продолжительность нагрева имеет определенное значения. Было выявлено, что прочностные параметры металлоконструкций при большем времени нагрева снижаются на 10 – 15 %.

В ходе испытаний также 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.

Библиографический список

1. 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.
2. 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.

О.В. Крестьянинова, студ.;
рук. А.М. Власов, асс.; В.А. Полетаев, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ В РАБОЧЕМ ЗАЗОРЕ МАГНИТОЖИДКОСТНОГО ГЕРМЕТИЗАТОРА

Момент трения является одним из важнейших параметров магнитожидкостных герметизаторов, который влияет на величины передаваемых моментов и мощности. На момент трения магнитожидкостного устройства влияет вязкость используемой магнитной жидкости, напряженность магнитного поля, градиент скорости сдвига в рабочем зазоре устройства, величина рабочего

зазора, включающая величины шероховатости поверхностей полюсов и втулки, контактирующих с магнитной жидкостью. [1].

Для исследования моментов трения в рабочем зазоре магнитно-жидкостных уплотнений была спроектирована и изготовлена установка, показанная на рис. 1 [2].

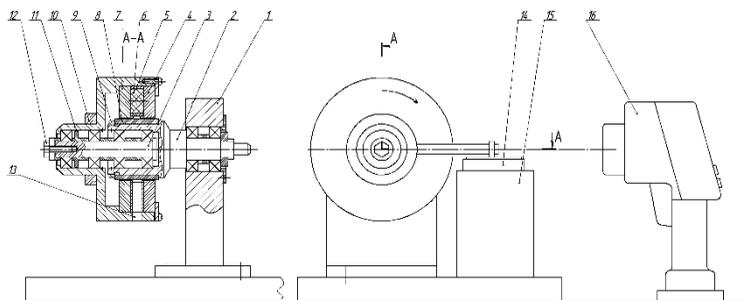


Рис. 1 Схема экспериментальной установки: 1 – стойка; 2 – подвижный вал; 3 – неподвижный вал; 4 – съемный полюс; 5 – диск (обойма); 6 – магнит; 7 – съемный полюс; 8 – сменная втулка; 9 – гайка; 10 – хомут; 11 – корпус; 12 – болт; 13 – отверстие для измерения температуры; 14 – весы; 15 – стойка; 16 – тепловизор.

На рис. 2-4 представлены зависимости моментов трения от частоты вращения втулок из стали 3 с разными величинами шероховатости поверхности R_a для различных типов магнитной жидкости. Замеры проводились при температуре в рабочем зазоре $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. Исследуются магнитные жидкости типов: МКУ-100-40, МКС-009-40, МКС-350-30.

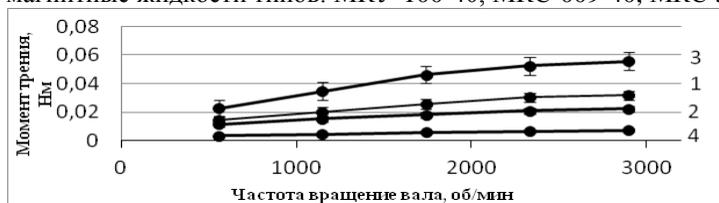


Рис. 2. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулки при величине шероховатости поверхности $R_a = 0,354\text{ }\mu\text{m}$ для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКУ-100-40; 2 – МКС-009-40; 3 – МКС-350-30; 4 – без магнитной жидкости

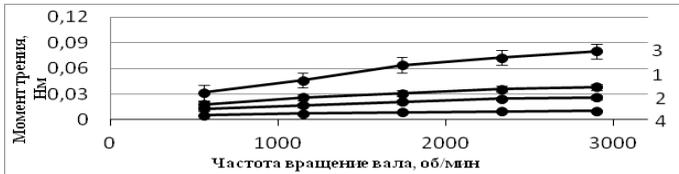


Рис. 3. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулки при величине шероховатости поверхности Ra= 1,220 мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКУ-100-40; 2 – МКС-009-40; 3 – МКС-350-30; 4 – без магнитной жидкости

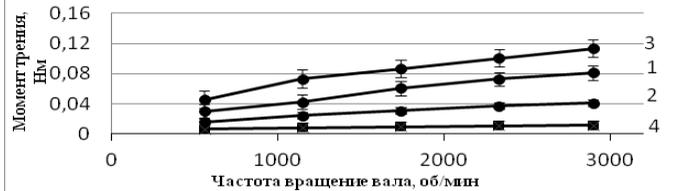


Рис. 4. Зависимость моментов трения от частоты вращения втулки при величине шероховатости поверхности Ra= 7,210 мкм для разных типов магнитной жидкости: 1 – МКУ-100-40; 2 – МКС-009-40; 3 – МКС-350-30; 4 – без магнитной жидкости

Библиографический список

1. Полетаев В.А., Перминов С.М., Пахолкова Т.А., Власов А.М. Исследование влияния качества поверхности магнитных полюсов на момент трения магнитожидкостных герметизаторов.// Трение и смазка в машинах и механизмах. – Москва. – М.: «Машиностроение». – 2014. – № 9. – С.38- 43.
2. Полетаев В.А., Пахолкова Т.А., Власов А.М. Установка для исследования величины рабочего зазора на момент трения магнитожидкостных устройств.// Трение и смазка в машинах и механизмах. – Москва. – М.: «Машиностроение». – 2013. – № 9. – С. 29– 31.

*Ю.А. Веденина, курсант; рук. А.В. Топоров, к.т.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

МОДУЛЬНАЯ СИСТЕМА ТРАНСПОРТИРОВКИ ПОЖАРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Работа пожарного в наше время требует качественного и четкого выполнения ряда функций.

Умело действовать в трудных и сложных условиях борьбы с огнем, полностью используя мощностность пожарной техники, может только волевой и всесторонне подготовленный пожарный. Такому специалисту необходимо быть подкованным, как физически, так и технически. Он должен постоянно иметь при себе необходимое количество оборудования, достаточного для экстренного оказания помощи, тушения пожара, разборки конструкций и проведении аварийно-спасательных работ. Требуется, чтобы оно в

необходимом количестве находилось «под рукой».

В наше время главной проблемой при таком обилии различного пожарно-технического оборудования является его транспортировка, а именно переноска во время действий по тушению пожаров.

Сегодня пожарный постоянно имеет при себе топор, также может на плече переносить спасательную веревку, остальное же вооружение он переносит непосредственно в руках, что нецелесообразно при оперативной работе. Поэтому решение проблемы транспортировки пожарно – технического оборудования является актуальной задачей.

Для упрощения работы пожарного и решения данной проблемы предлагается использовать в пожарной охране модульную систему крепления для переноски оборудования.

Главным преимуществом разработки является ее мобильность и многофункциональность. Эта система позволит пожарному-спасателю без особых усилий переносить необходимое ему количество оборудования, опираясь только на свою выносливость. Также ее отличительной чертой является отсутствие ограничений в количестве выбранного пожарно-технического оборудования. Это достигается за счет использования быстросъемных модулей.

Предложенная система крепления будет предназначена для переноски всех видов пожарно-технического оборудования, а также служить ложементом для подвесной системы дыхательного аппарата. Снаряжение и оборудование может быть закреплено в любой комбинации друг с другом и в любом порядке. Для крепления модулей будет достаточно некоторого количества ремней на оборотной стороне чехла, оснащенных надежными застежками, которые обеспечат правильное крепление подсумка к системе.

Может возникнуть вопрос: «не каждый чехол сейчас имеет ремни для крепления» – это вполне решаемо. Система не требует заказа специальных чехлов-модулей, достаточно просто оборудовать стандартный подсумок тремя-пятью ремнями. На ложемент возможно прикрепить как один подсумок, например для переноски бензореза, так и несколько небольших, для более мелких приборов. Пожарный-спасатель сам определяет количество оборудования, которое ему необходимо и достаточно для выполнения задачи и, непосредственно перед заступлением на дежурство, снаряжает систему.

Чтобы реализовать проект, требуется завершить разработку конструкции ложемента системы крепления. Главным затруднением является выбор материала, который должен быть достаточно прочен и

устойчив к высокой температуре. Форма ложементов должна быть эргономичной и удобно прилегать к спине. Она по всему периметру будет оснащена горизонтально расположенными рейками, через которые должны продеваться ремни модулей.

При реализации предложенная система имеет все перспективы стать неотъемлемой частью экипировки пожарного, так как она позволит значительно повысить эффективность и мобильность работы пожарных-спасателей.

Библиографический список

1. **Теребнев, В.В.** Справочник руководителя тушения пожара. Тактические возможности пожарных подразделений. - М.: Пожкнига, 2004 г. - 256 с.
2. **Плат, П.В.** Методические рекомендации по изучению пожаров, 2013 г. – 19 с.

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

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ МОМЕНТОВ ТРЕНИЯ В МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ УПЛОТНЕНИЯХ

Момент трения является одним из важнейших параметров магнитожидкостных герметизаторов, который влияет на величины передаваемых моментов и мощности. На момент трения магнитожидкостного устройства влияет вязкость используемой магнитной жидкости, напряженность магнитного поля, градиент скорости сдвига в рабочем зазоре устройства, величина рабочего зазора, включающая величины шероховатости поверхностей полюсов и втулки, контактирующих с магнитной жидкостью. [1]. В процессе работы в магнитно-жидкостном герметизаторе выделяется тепловая энергия. Количество тепла, выделяемое в жидком элементе, практически все идет на его нагрев. Увеличение температуры ведет к уменьшению вязкости жидкости и некоторому снижению ее магнитных свойств. Для исследования влияния температуры на изменение моментов трения в рабочем зазоре магнитно-жидкостных уплотнений была спроектирована и изготовлена установка, показанная на рис.1 [2].



Рис. 1. Фотография экспериментальной установки: 1 – двигатель; 2 – стойка; 3 – корпус; 4 – весы; 5 – тепловизор.

На рис. 2. представлены зависимости момента трения от температуры в рабочем зазоре, образованном сменной втулкой (сталь 3, $Ra=0,354$ мкм, $Ra=1,220$ мкм, $Ra=7,210$ мкм,) и сменным полюсом (сталь 3; $Ra=3,301$ мкм) и заполненным магнитной жидкостью типа МКС 009-40, с разными частотами вращения втулки.

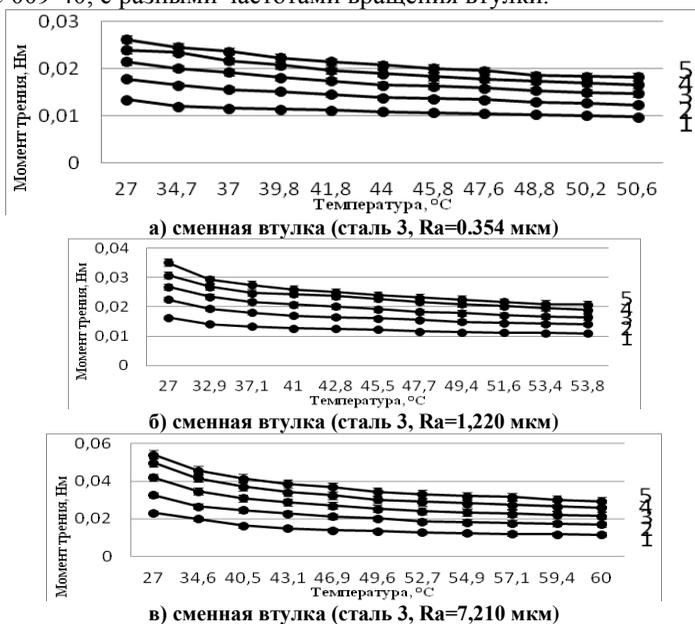


Рис.2. Зависимость момента трения от температуры в рабочем зазоре, образованном сменной втулкой и сменным полюсом (сталь 3; $Ra=3,301$ мкм) и заполненным магнитной жидкостью типа МКС 009-40, с разными частотами вращения втулки: 1 – 556 об/мин.; 2 – 1146 об/мин.; 3 – 1793 об/мин.; 4 – 2331 об/мин.; 5 – 2897 об/мин.

Библиографический список

1. Полетаев В.А., Перминов С.М., Пахолкова Т.А., Власов А.М. Исследование влияния качества поверхности магнитных полюсов на момент трения магнитожидкостных герметизаторов.// Трение и смазка в машинах и механизмах. – Москва. – М.: «Машиностроение». – 2014. – № 9. – С.38- 43.

2. Полетаев В.А. Пахолкова Т.А, Власов А.М. Установка для исследования величины рабочего зазора на момент трения магнитожидкостных устройств.// Трение и смазка в машинах и механизмах. – Москва. – М.: «Машиностроение». – 2013. – № 9. – С. 29– 31.

*И.А. Калинин, курсант; рук. В.В. Киселев, к.т.н, доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ТРАНСМИССИОННЫХ МАСЕЛ

Одним из наиболее экономически выгодных путей повышения надежности и долговечности различных машин и механизмов является улучшение качества смазочных материалов, в первую очередь улучшение их противоизносных и антизадирных свойств. Это может быть достигнуто введением в масла специальных высокоэффективных добавок, реализующих безызносное трение.

Основной задачей нашей работы является исследование триботехнических свойств присадки на основе солей меди и олова, реализующей избирательный перенос, на малых и предельных скоростях.

Присадка представляет собой стеараты меди и олова в смесях предельных и непредельных жирных кислот растительных масел. Металлы в стеарате находятся в виде комплексов, которые разрушаются с выделением химически чистых мягких металлов только в зоне трения, где присутствуют нормальные и сдвигающие нагрузки и повышение температуры. Химически чистые металлы очень активны и практически мгновенно восстанавливаются на металлических поверхностях деталей узлов трения, предотвращая непосредственный контакт пары трения.

Большинство присадок, реализующих эффект безызносности, имеют один существенный недостаток. Металлические компоненты данных присадок находятся в масле в виде мелких зерен, которые не способны проходить через системы фильтров, что резко снижает круг

применения данных присадок, другими словами такие присадки не являются универсальными, они, как правило, имеют узко направленную область применения.

В данной работе для оценки и сравнения разработанной присадки была взята зависимость коэффициента трения от приложенной нагрузки. Данная характеристика определяет границы работоспособности пары трения, ресурс и срок службы узла трения.

Концентрация противоизносной присадки в базовом трансмиссионном масле ТМ–5–18 составляла 3 %.

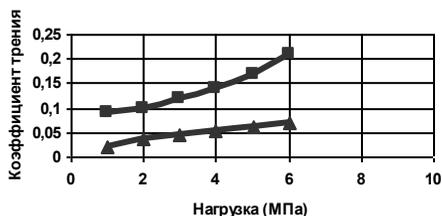


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от нагрузки:

- – Для базового масла И – 40 без присадок;
- ▲ – для масла И – 40 с 1.5% разработанной присадки.

Параллельно с изучением основных триботехнических показателей медно-оловянного комплекса проводились испытания на определение коррозионности масла с присадкой согласно ГОСТа 20502 – 75.

Потери массы пластин в масле с разработанным медно – оловянным комплексом составили от 0,8 до 0,95 г/м², что согласно ГОСТа 20502 – 75 соответствует отсутствию коррозионного воздействия данной присадки на испытываемое масло.

Исходя из вышеизложенного можно сделать вывод о том, что введение в базовое трансмиссионное масло медно – оловянного комплекса, на основе солей перечисленных мягких металлов приводит к улучшению его триботехнических свойств, а в частности к уменьшению коэффициента трения при различных скоростных режимах до 2,5 раз, а следовательно и к снижению износа, что в конечном итоге должно привести к увеличению надежности, безаварийности и продлению срока службы трансмиссий автомобилей.

Библиографический список

1. 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.
2. Патент №2393206 (РФ) МПК⁷ С 10 М 129/40//. Смазочная композиция / Замятина Н.И, Киселев В.В. и др. (РФ); Оpubл. Бюл. №18, 2010.

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

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НА ИЗМЕНЕНИЕ МОМЕНТА ТРЕНИЯ В МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ УПЛОТНЕНИЯХ ПРИ ИСПОЛЬЗОВАНИИ РАЗНЫХ ТИПОВ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ

Момент трения является одним из важнейших параметров магнитожидкостных герметизаторов, который влияет на величины передаваемых моментов и мощности. [1]. В процессе работы в магнитно-жидкодном герметизаторе выделяется тепловая энергия. Количество тепла, выделяемое в жидком элементе, практически все идет на его нагрев. Увеличение температуры ведет к уменьшению вязкости жидкости и некоторому снижению ее магнитных свойств.

Для исследования влияния температуры на изменение моментов трения в рабочем зазоре магнитно-жидкостных уплотнений была спроектирована и изготовлена установка, показанная на рис. 1 [2].

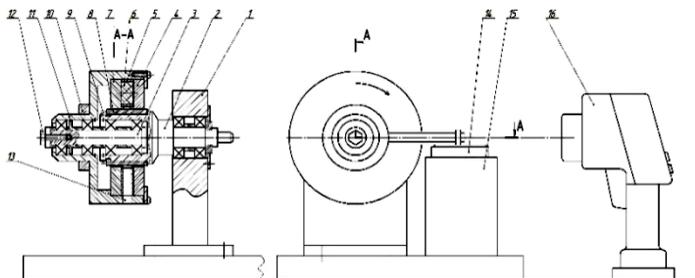


Рис. 1 Схема экспериментальной установки: 1 – стойка; 2 – подвижный вал; 3 – неподвижный вал; 4 – съемный полюс; 5 – диск (обойма); 6 – магнит; 7 – съемный полюс; 8 – сменная втулка; 9 – гайка; 10 – хомут; 11 – корпус; 12 – болт; 13 – отверстие для измерения температуры; 14 – весы; 15 – стойка; 16 – тепловизор.

На рис. 2 представлены зависимости момента трения от температуры в рабочем зазоре, образованном сменной втулкой (сталь 40X13, $Ra=8,028$ мкм) и сменным полюсом (сталь 3; $Ra=3,301$ мкм) и заполненным разными типами магнитной жидкости, с разными частотами вращения втулки. Исследуется магнитные жидкости типов: МКУ-100-40, МКС-009-40, МКС-350-30.

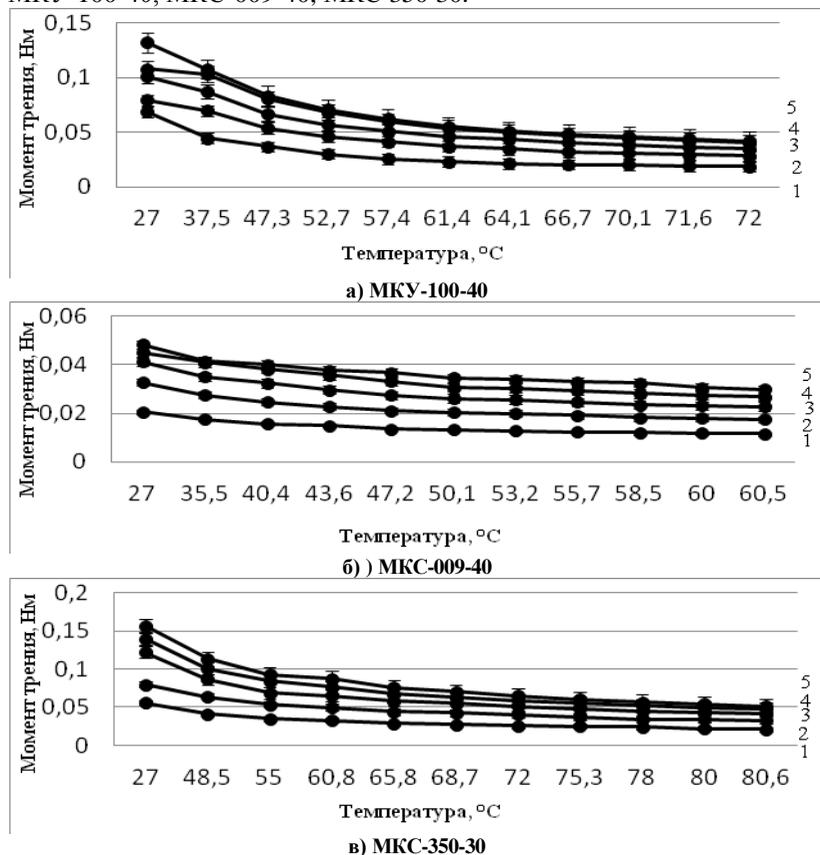


Рис.2. Зависимость момента трения от температуры в рабочем зазоре, образованном сменной втулкой (сталь 40X13; $Ra=8,028$ мкм) и сменным полюсом (сталь 3; $Ra=3,301$ мкм) и заполненным разными типами магнитной жидкостью, с разными частотами вращения втулки: 1 – 556 об/мин.; 2 – 1146 об/мин.; 3 – 1793 об/мин.; 4 – 2331 об/мин.; 5 – 2897 об/мин.

Библиографический список

1. **Полегаев В.А.**, Перминов С.М., Пахолкова Т.А., Власов А.М. Исследование влияния качества поверхности магнитных полюсов на момент трения магнитожидкостных герметизаторов.// Трение и смазка в машинах и механизмах. – Москва. – М.: «Машиностроение».– 2014. –№ 9.–С.38- 43.
2. **Полегаев В.А.**, Пахолкова Т.А, Власов А.М. Установка для исследования величины рабочего зазора на момент трения магнитожидкостных устройств.// Трение и смазка в машинах и механизмах. – Москва. – М.: «Машиностроение». – 2013. – № 9. – С. 29– 31.

*А. Н. Мальцев, соискатель
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЧЕСКИХ СИСТЕМ ПОЖАРОТУШЕНИЯ В ТОРГОВЫХ КОМПЛЕКСАХ

В настоящее время в стране происходит развитие экономики, рыночных отношений, торговли товаров и услуг. В процессе длительного развития и эволюции товарно-денежных отношений появился такой вид организации торговли, как торговый центр. Сегодня по всей России полным ходом идет развитие и строительство торгово-развлекательных центров (ТРЦ).

Здания торгово-развлекательных комплексов имеют свои особенности:

- занимают огромные площади, в них одновременно может находиться до нескольких тысяч человек;
- в здании имеется большое количество помещений различного назначения с различной степенью пожарной загрузки;
- в этих зданиях люди находятся в различном эмоциональном состоянии.

На примере города Иваново с четырехсот пятидесяти тысячным населением количество крупных торговых центров составляет свыше 50 единиц. Ежедневно через них проходит в среднем до двух – трех тысяч человек.

Согласно справке, подготовленной Департаментом надзорной деятельности и профилактической работы по анализу обстановки с пожарами и последствий от них на территории Российской Федерации, можно отметить, что количество пожаров в торгово-развлекательных центрах остается все еще значительным (порядка 5 %). Практически ежемесячно на территории России происходят крупные пожары в таких зданиях, причинами которых чаще всего служат неосторожное обращение с огнем и неисправности электрооборудования и проводки.

Именно поэтому обеспечение безопасности людей на таких объектах

должно осуществляться на высшем уровне. Исходя из вышеперечисленных особенностей, торгово-развлекательных комплексов обеспечение пожарной безопасности носит актуальный характер.

В настоящее время крупные торговые помещения оборудуются, как правило, дренчерными и спринклерными установками пожаротушения.

Одними из самых простых и эффективных типов автоматических систем тушения пожара являются спринклерные установки пожаротушения. В основе конструкции лежит применение окончателных элементов водопроводной системы, которые способны самостоятельно открываться при достижении температуры в помещении определенного порогового значения. Преимущества системы: работа в автоматическом режиме, отсутствие электропитания, отсутствие сложных схем обратной связи, постоянная готовность к работе, длительный срок эксплуатации.

В данной работе приведен расчет необходимого оборудования для обеспечения пожарной безопасности торговой площадки среднего размера (500 м^2). Торговые помещения должны быть оборудованы следующими системами противопожарной защиты: а) внутренний противопожарный водопровод; б) автоматическая система спринклерного пожаротушения с интенсивностью орошения $I=0,12 \text{ л/(с}\cdot\text{м}^2)$ и суммарным расходом не менее 10 л/с . Насосную станцию системы автоматического пожаротушения следует запроектировать согласно СП 10.13130.2009 в помещении первого этажа с самостоятельным выходом наружу. Помещение должно быть отапливаемым и должно отделяться от других помещений противопожарным перекрытием 1-го типа, противопожарными перегородками 1-го типа.

На основании вышеизложенного можем сделать следующие выводы и предложения:

- 1) для систем автоматического пожаротушения рационально выбрать оросители марки СВН-10, клапан Greenell F-200 модели AV-1;
- 2) для подачи воды наилучшим образом зарекомендовал себя насос марки Д200-90б с электродвигателями мощностью $55,0 \text{ кВт}$;
- 3) для поддержания рабочего давления в сети рекомендуется установка жокей-насоса марки КМ80-50-200/2-5, включающийся при падении давления в сети на 1 атм .

Рассматриваемые в данной статье объекты являются довольно сложными, требующими исключительно комплексного и

ответственного подхода. Работы по проектированию противопожарных систем должны начинаться с формирования технического задания на разработку систем противопожарной защиты и проводиться на этапе проектирования самого объекта защиты.

Библиографический список

- 1.Федеральный закон 123-ФЗ от 22.07.2008 «Технический регламент о требованиях пожарной безопасности».
- 2.Федеральный закон N 69-ФЗ. «О пожарной безопасности».
- 3.Постановление Правительства РФ от 25 апреля 2012 г. № 390 «О противопожарном режиме». Правила противопожарного режима в Российской Федерации.

*Д.С. Силантьев, студ.; Е.С. Уваров, студ.;
рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ТРИЗ И МАРКЕТИНГ В МАШИНОСТРОЕНИИ

Теория решения изобретательских задач (ТРИЗ) создана Альтшуллером Г.С. Изначально она предназначалась для решения творческих (изобретательских) задач в технике, но в последние десятилетия нашла применение в журналистике, педагогике, менеджменте, маркетинге и других отраслях деятельности человека.

Основой ТРИЗ являются законы развития технических систем (ТС). Другие составляющие теории: понятие идеальности, идеальной ТС, идеального конечного результата; вещественно-полевые ресурсы; веполи и веполюный анализ; противоречия и приемы их разрешения; информационный фонд стандартов и эффектов; теория развития творческой личности; алгоритм решения изобретательских задач [1].

Маркетинг, как рыночная деятельность, включает в себя процессы создания и продвижения товаров (изделий) к покупателю. Фирмы (в том числе и машиностроительные), создающие инновационные изделия, в настоящее время на рынке сталкиваются с жесткой конкуренцией. Период морального старения изделий постоянно уменьшается. Чтобы быть конкурентоспособными, фирмы вынуждены уменьшать сроки на разработку новых изделий. Покажем в качестве примера, как можно продвинуться на пути повышения конкурентоспособности, используя ТРИЗ, а именно его основу – законы развития ТС.

Любая ТС в своем развитии проходит три этапа – «статику», «кинематику» и «динамику». На этапе «статики» действуют следующие законы: полноты частей системы, энергетической проводимости системы и согласования ритмики частей системы. На этапе «кинематики»

действуют законы увеличения степени идеальности системы, неравномерности развития частей системы и закон перехода в надсистему. И на этапе «динамики» – закон перехода с макроуровня на микроуровень и закон увеличения степени вепольности системы [1].

Например, на первом этапе создания самолета изобретатели решали, из каких частей он принципиально должен состоять, какими должны быть крылья, двигатель и т.д. В конечном итоге остановились на конструкции самолета с неподвижными крыльями и бензиновым двигателем. На втором этапе совершенствовались отдельные части самолета, решалось, где разместить рули и двигатель, сколько колес должно быть у шасси, какие применить винты и т.д. На третьем этапе части самолета, которые соединялись между собой неподвижно, стали соединяться гибко, подвижно. Изобрели убирающиеся шасси и крылья, меняющие свою форму и площадь. Появились самолеты с поворотными двигателями и вертикальным взлетом [2].

Понимая, что любые ТС (изделия) в своем развитии подчиняются этим законам, при создании очередного инновационного изделия следует учитывать, на каком этапе развития находится базовое изделие. И в конструкцию нового изделия необходимо закладывать не произвольные его свойства, а те из них, которые характерны для последующего этапа развития. Т.е. нужно, не разрабатывая неперспективное изделие, создавать его сразу таким, каким оно должно быть согласно законам развития ТС. За счет этого будут уменьшаться время и объем денежных средств на величины, которые были бы затрачены при неправильной маркетинговой стратегии создания инновационных изделий.

Библиографический список

1. **Альтшуллер Г.С.** Творчество как точная наука. – М.: Сов. радио, 1979. – 184 с.
2. **Альтов Г.С.** И тут появился изобретатель. – М.: Дет. лит., 1989. – 142 с.

*Д.В. Шалкус, курсант; рук. А.А. Покровский, к.т.н.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ВЛИЯНИЕ МЕХАНИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА КИНЕТИКУ КОНВЕКТИВНОЙ СУШКИ

Одна из стадий производства синтетической кожи нового поколения, заключительная стадия, заключается в удалении растворителя, который остается в материале после экстракции. Данный процесс в наиболее экологически и пожаробезопасном варианте реализуется в токе перегретого водяного пара.

Предварительные исследования показали, что процесс удаления растворителя из синтетической кожи наиболее целесообразно разбить на две стадии: сушку кожи непосредственно от растворителя и сушку от воды, сконденсировавшейся из водяного пара. Предложен вариант комбинированной сушильной установки (рис. 1) для удаления растворителя из синтетической кожи и её последующей сушки перегретым водяным паром. Установка состоит камеры удаления растворителя 1, промежуточной камеры 11 и камеры сушки синтетической кожи от воды 2. Камеры 1 и 2 прямоугольного сечения. Первая камера снабжена щелевыми соплами 7 для подачи пара, механическими активаторами 6. В камере 2 вместо щелевых сопел применяются штуцера 10 для подачи перегретого пара. В обеих камерах имеются направляющие ролики 8, уплотнения 5, штуцера 9 для удаления обработавшего пара.

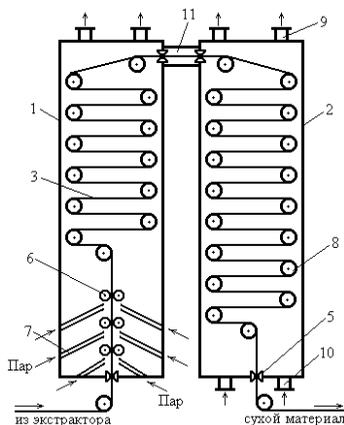


Рис.1 Схема комбинированной установки для сушки синтетической кожи от органического растворителя перегретым водяным паром.

Устройство работает следующим образом. Синтетическая кожа 3, пропитанная органическим растворителем, поступает из экстрактора через направляющий ролик в нижнюю часть камеры 1, где она подвергается обработке перегретым водяным паром с температурой 110 – 130 °С и воздействию механических активаторов 6. Пар движется снизу вверх в одном направлении с материалом. Механические активаторы представляют собой три пары валков, оказывающих на материал одновременно обжимающее и пульсирующее воздействие. Причём в каждой паре один из валков подпружинен и закреплён неподвижно, а другой может совершать пульсирующие движения в плоскости, перпендикулярной плоскости материала, тем самым, интенсифицируя перенос растворителя из внутренних слоёв к поверхности материала, то есть массоперенос. Из камеры отгонки растворителя материал через направляющие ролики и промежуточную камеру 11 поступает в верхнюю часть камеры 2, где происходит его сушка от воды, сконденсировавшейся в материале из водяного пара в первой камере. Перегретый пар с температурой 140 – 150 °С подаётся через штуцеры 10, расположенные в нижней части камеры и движется противотоком с материалом. Испарённая из кожи влага вместе с отработавшим паром выводится из камеры через штуцеры 9 и направляется в контур пароперегрева для последующего её использования в качестве теплоносителя. В обеих камерах в верхней и нижней части для избегания утечек теплоносителя и растворителя предусмотрены уплотнения 5.

Экспериментальные исследования показали, что на интенсивность испарения растворителя большое влияние оказывают механические активаторы, позволяющие посредством обжимающего и пульсирующего воздействия на материал трёх пар валков значительно увеличить скорость переноса влаги из макрокапилляров кожи на её поверхность и в паровую среду. Увеличение степени отжима способствует значительному повышению эффективности процесса удаления растворителя, так как уже за три цикла механического воздействия полностью удаляется свободная влага.

Библиографический список

1. **Покровский А.А.** Пожарная и экологическая безопасность процесса производства синтетической кожи нового поколения. // Материалы VI Международной научно-практической конференции «Пожарная и аварийная безопасность» (часть 1). - Иваново, 2011. - с. 320-321

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

ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННАЯ ОБРАБОТКА И ЕЕ ВОЗМОЖНОСТИ

Электроэрозионные станки предназначены для изготовления и обработки различных деталей из токопроводящих материалов.

С помощью электроэрозионной обработки можно обработать: Закаленную сталь, титан, хром, графит, высокопрочные композиционные материалы, а также любые токопроводящие материалы. Кроме того можно выполнять отверстия с изогнутой осью, можно работать с постоянными и переменными углами – как в наклонном, так и в строго вертикальном положении. Благодаря этому открываются широкие возможности по созданию разнообразных конфигураций в сравнении с механической обработкой.

В качестве инструмента при электроэрозионной обработке может применяться проволока, к которой подведен один полюс генератора электрических импульсов. Проволока перематывается с катушки на катушку, движущийся промежуток проволоки находящийся между катушками входит в контакт с заготовкой, к которой подведен второй полюс. Процесс обработки происходит в ванне с жидким диэлектриком (керосином, промышленным маслом или их смесями в разных пропорциях, в зависимости от режимов обработки). Проволока находится на расстоянии межэлектродного промежутка, промежуток пробивается и под действием электрических импульсов заготовка начинает разрушаться. Мелкие частицы заготовки и проволоки-инструмента вымываются из зоны обработки воздухом под давлением.

Также в качестве инструмента может применяться электрод. При использовании электрода-инструмента как и в предыдущем случае один полюс генератора импульсов подводится к инструменту второй к заготовке. В случае работы с электродом есть возможность изготавливать электроды определенной формы, которая будет повторяться на заготовке. Это дает возможность производить отверстия любой формы. А также производить отверстия с изогнутой осью (рис. 1).

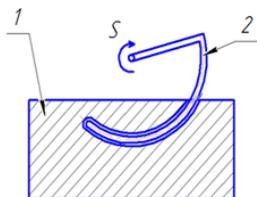


Рис.1 Схема получения отверстия с изогнутой осью: 1-заготовка; 2-электрод-инструмент; S-направление подачи

По технологическим признакам устанавливаются следующие виды ЭЭО: отрезка (ЭЭОт), объемное копирование (ЭЭОК), вырезание (ЭЭВ), прошивание (ЭЭПр), шлифование (ЭЭШ), доводка (ЭЭД), маркирование (ЭЭМ), упрочнение (ЭЭУ),

В результате использования ЭЭО исключается механическое воздействие, также отсутствует необходимость во вращающихся и подвижных рабочих частях. ЭЭО можно обрабатывать токопроводящие материалы повышенной твердости, в том числе закаленные стали которые трудно подвергаются механической обработке, в качестве инструмента на электроэрозионных станках используется проволока или электроды, что значительно дешевле в сравнении с резцами или фрезами используемыми для обработки резанием. При обработке ЭЭО обеспечивается высокая точность отклонения размеров 0,005 до 0,05 мм, и чистота поверхности до $R_a = 2,5 - 0,25$. Допускается возможность обработки деталей практически любой формы, без каких-либо значительных ограничений.

Недостатки.

ЭЭО занимает очень много времени в сравнении с механической обработкой, требует много электроэнергии и позволяет обрабатывать только токопроводящие материалы.

Основным направлением является производство следующих деталей: пресс-формы, шаблоны, матрицы, штампы, фасонные резцы и многое другое.

*Е.С. Румянцева, студ.; рук. А.М. Шурыгин, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ИМПУЛЬСНОГО СИЛОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ

В настоящее время большинство современных автоматизированных электроприводов использует в своем составе реверсивные транзисторные силовые преобразователи. Реверсивные преобразователи выполняются, как правило, по мостовой схеме и реализуются с помощью четырех симметричных ключевых элементов. Каждый ключевой элемент преобразователя представляет собой сочетание транзистора, выполняющего функцию электронного ключа, и шунтирующего обратного диода. Для двухфазных двигателей переменного тока обычно используются два однотипных широтно-импульсных преобразователя (ШИП), управляемых от одного интерфейса сопряжения.

Применение быстродействующих силовых транзисторов и транзисторных модулей со временем переключения менее 1 мкс и малым прямым падением напряжения в режиме насыщения позволяет при моделировании преобразователя принять следующие допущения: сопротивления замкнутых транзисторных ключей и диодов в проводящем состоянии равны нулю; сопротивления разомкнутых транзисторных ключей и диодов в непроводящем состоянии стремятся к бесконечности; время включения и время выключения силовых элементов равны нулю; источник питания является обратимым.

Для моделирования двухфазного реверсивного ШИП в среде MathCAD получены выражения, определяющие выходные ЭДС преобразователя $E_{\text{шип}_\alpha}(t)$, $E_{\text{шип}_\beta}(t)$ по осям неподвижной системы координат α , β при симметричной коммутации силовых ключей, показанные на рис. 1, где $E_{\text{и}}$ – ЭДС импульса; $E_{\text{п}}$ – ЭДС паузы; $T_{\text{шип}}$ – период работы преобразователя; $t_{\text{симм}} = T_{\text{шип}}/2$ – время импульса, при котором среднее за период $T_{\text{шип}}$ значение выходной ЭДС фазы преобразователя равно нулю; $t_{\text{упр}_\alpha}(t)$, $t_{\text{упр}_\beta}(t)$ – сигналы управления по осям α , β ; t – время.

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

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

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

Работоспособность представленной модели импульсного силового преобразователя иллюстрирует рис. 2.

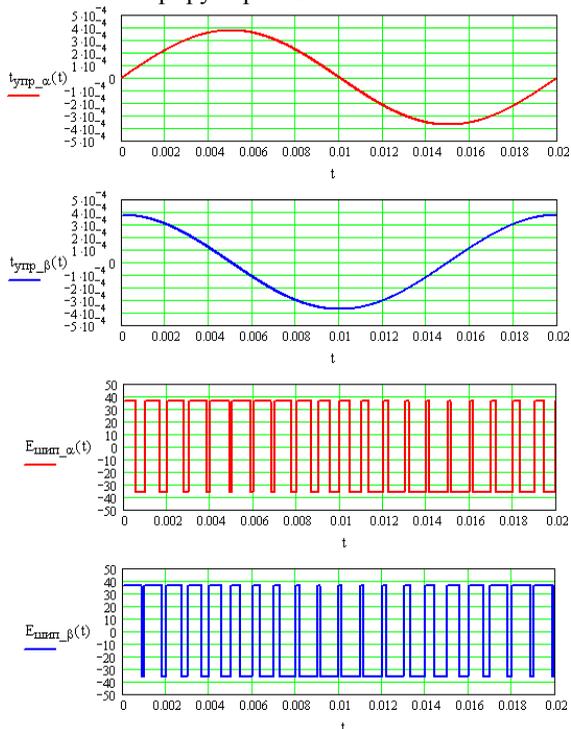


Рис. 2. Временные диаграммы работы двухфазного реверсивного ШИП при симметричной коммутации силовых ключей, полученные с использованием разработанной модели

Таким образом, выходные ЭДС преобразователя $E_{шип_α}(t)$, $E_{шип_β}(t)$ определяются формированием сигналов управления $t_{упр_α}(t)$, $t_{упр_β}(t)$, которые ограничиваются в диапазоне $[-T_{шип}/2; T_{шип}/2]$.

*А.М.Филатов, студ., рук. Н.В. Третьякова, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, Иваново)*

СОВРЕМЕННЫЕ МЕТОДЫ АЗОТИРОВАНИЯ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ

Азотирование с большим эффектом используется для повышения износостойкости, твердости, усталостной прочности, коррозионной и кавитационной стойкости различных материалов (конструкционных и инструментальных сталей, жаропрочных сталей, спеченных металлокерамических сплавов, немагнитных сталей и др.) во многих отраслях машиностроения, в том числе при изготовлении энергетических установок.

Азотированные поверхности обладают устойчивостью против коррозии на воздухе, в пресной воде, в паровоздушной и в газовой среде.

Традиционно в промышленности применяется процесс *газового азотирования*. Детали помещают в металлические ящики-муфели, которые устанавливают в нагревательной печи. В муфель подается газообразный аммиак. При температуре азотирования 500...600 °С происходит частичная диссоциация аммиака, в результате чего выделяется атомарный азот. В условиях повышенной температуры атомарный азот диффундирует вглубь металла.

Газовое азотирование обладает рядом неоспоримых достоинств: относительная простота процесса, возможность использования универсального оборудования и приспособлений для укладки деталей, возможность азотирования деталей любых форм и размеров. В тоже время газовое азотирование имеет ряд недостатков: большая длительность процесса (20...30 часов), процесс трудно поддается автоматизации, затруднена защита поверхностей, не подлежащих азотированию.

Одним из направлений интенсификации производства является разработка и внедрение на промышленных предприятиях новых перспективных процессов и технологий, позволяющих повысить качество выпускаемой продукции и сократить рабочие затраты на её выпуск.

Уменьшение длительности процесса достигается применением *ступенчатых циклов азотирования*. Сущность двухступенчатого цикла сводится к тому, что в первой стадии процесс ведется при более низкой температуре (510...530 °С) и малой степени диссоциации

аммиака (до 35%). Во второй стадии температура повышается до 540...580 °С, а степень диссоциации аммиака – до 65%. В результате скорость диффузии азота увеличивается, и общая продолжительность процесса сокращается.

Прогрессивной технологией является *ионно-плазменное азотирование (ИПА)*

ИПА – метод химико-термической обработки изделий из стали и чугуна, позволяющий получать диффузионные слои нужного состава путем использования разных газовых сред.

Сущность этого метода заключается в том, что в герметичном контейнере создается разреженная азотосодержащая атмосфера. Внутри контейнера размещают азотируемые детали, которые подключают к отрицательному полюсу источника постоянного напряжения. Они играют роль катода. Анодом служит стенка контейнера. Между катодом и анодом включается высокое напряжение (500...1000 В). В этих условиях происходит ионизация газа. Положительно заряженные ионы азота устремляются к отрицательному полюсу – катоду. Электрическое сопротивление газовой среды вблизи катода резко возрастает, и создается очень высокая напряженность электрического поля. Ионы азота, входя в зону высокой напряженности, разгоняются до больших скоростей и, соударяясь с деталью (катодом), внедряются в ее поверхность. Высокая кинетическая энергия, которую имели ионы азота, переходит в тепловую. В результате деталь за короткое время (15...30 мин) разогревается до температуры 470...580 °С, при которой происходит диффузия азота вглубь металла. При соударении ионов с поверхностью детали происходит выбивание ионов железа с ее поверхности. Благодаря этому происходит очистка поверхности от окисных пленок, препятствующих азотированию.

По сравнению с газовым азотированием ИПА обеспечивает: сокращение продолжительности обработки в 2...5 раз, как за счет снижения времени нагрева и охлаждения садки, так и за счет уменьшения времени изотермической выдержки; снижение хрупкости упрочненного слоя; сокращение расхода рабочих газов в 20...100 раз; сокращение расхода электроэнергии в 1,5...3 раза; снижение коробления и деформации деталей при сохранении шероховатости поверхности в пределах $Ra=0,63...1,2$ мкм; простоту и надежность экранной защиты от азотирования неупрочняемых поверхностей.

ИПА – эффективный метод упрочняющей обработки изделий из легированных конструкционных сталей: деталей топливной, гидро- и пневмоаппаратуры, прямозубых, конических и цилиндрических шестерен, зубчатых венцов, валов, муфт, валов-шестерен сложной геометрической конфигурации, и др., а также штампового инструмента и литевой оснастки из штамповых сталей и инструмента из быстрорежущих сталей.

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

ОПРЕДЕЛЕНИЕ МЕХАНИЗМА ИЗНАШИВАНИЯ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

При разработке методов предварительного упрочнения режущего инструмента, проектировании составов СОТС и износостойких покрытий необходимо иметь точное представление о механизме изнашивания контактной поверхности инструмента. Предварительные исследования показали, что на различных участках контактной поверхности изнашивание может происходить по разным механизмам и с различной интенсивностью.

При исследовании изношенная контактная поверхность инструмента условно разбивалась на 6 участков. В пределах каждого участка методами количественной металлографии исследовались изменения фазового, фракционного состава инструментального материала и ареальные характеристики степени повреждения поверхности [1]. Для оценки интенсивности каждого из видов изнашивания (адгезионно-усталостного, диффузионного, окислительного) определено их влияние на измеряемые характеристики контактной поверхности [2] и разработаны правила интерпретации результатов [3].

Проведенные исследования показали, что основное влияние на определение преобладающего вида изнашивания оказывает скорость резания. На низких скоростях резания (до 40 м/мин) причиной разрушения рабочих поверхностей является адгезионно-усталостный износ в зоне упругопластического контакта инструментального и обрабатываемого материалов. Наблюдаемые

в данном диапазоне скоростей резания проявления окислительного изнашивания локализованы на краях контактной поверхности.

При повышении скорости резания до 60-100 м/мин изнашивание контактной поверхности происходит по адгезионно-усталостному механизму вблизи режущего кромки и вследствие диффузионного разупрочнения в конце участка контакта. Причиной образования лунки износа, наблюдаемой на данных скоростях резания, является в основном адгезионно-усталостное разрушение матрицы инструментального материала.

В диапазоне скоростей резания 100-250 м/мин основной причиной изнашивания является комплексный механизм, при котором адгезионно-усталостному разрушению подвергается предварительно разупрочненная вследствие диффузионных процессов матрица. Чисто адгезионно-усталостному разрушению подвергаются участки контактной поверхности, прилегающие к режущей кромке.

На ультравысоких скоростях резания (до 750 м/мин) фиксируются только проявления интенсивного и равномерного диффузионного растворения всех фаз инструментального материала в обрабатываемом.

Определение преобладающих видов изнашивания контактной поверхности позволило предложить методы предварительного упрочнения инструмента, эффективные в заданном диапазоне условий обработки.

Библиографический список

1. **Микроскопические** методы исследования материалов: Пер. с англ./ Э. Р. Кларк, К. Н. Эберхардт. – М.: Техносфера, 2007. – 371 с.
2. **Микроструктура** материалов. Методы исследования и контроля: Пер. с англ. / Д. Брандон, У. Каплан. - М. : Техносфера, 2004. - 378 с.
3. **Дроздов Ю.Н.** Структура метода расчета на износ// Вестник машиностроения. 2003, №1. С.25-28.

*Карев Н.С., студ.; Зарубин В.П., к.т.н., доц.
(ИПСА ГПС МЧС России, г. Иваново)*

ПРОБЛЕМЫ ТРЕНИЯ И СМАЗКИ В УЗЛАХ МАШИН И МЕХАНИЗМОВ

Основное назначение смазочных материалов – уменьшение износа трущихся деталей и снижение затрат энергии на преодоление трения. Кроме этого, смазочные материалы выполняют и другие функции: отводят тепло от трущихся деталей, предохраняют детали от коррозии, очищают поверхности трения от продуктов износа и других примесей, герметизируют узлы трения [1].

Учитывая условия работы пар трения, следует подбирать «правильные» масла, принимая во внимание их вид происхождения и агрегатное состояние.

К самой большой группе масел относятся – минеральные, или нефтяные, которых выпускается более 90 %. Остальной объем выпускаемых масел занимают растительные, животные и синтетические. Органические масла по сравнению с нефтяными обладают более высокими смазывающими свойствами и более низкой термической устойчивостью. Поэтому их чаще используют в смеси с нефтяным. Синтетические масла получают из различного исходного сырья различными методами. Синтетические масла обладают всеми необходимыми свойствами, однако имеют высокую стоимость.

По агрегатному состоянию смазочные материалы делятся на жидкие смазочные масла, пластичные, или консистентные и твердые смазочные материалы [2].

Происхождение и агрегатное состояние масел, а также действие на пару трения определяет их назначение. По назначению смазочные материалы делятся на моторные, трансмиссионные, гидравлические.

Используя различного рода и назначения масла и смазки в узлах трения машин и механизмов, не все смазочные материалы отвечают возлагаемым на них требованиям. Например в масла, используемые в тяжело нагруженных парах трения, для улучшения их триботехнических свойств добавляют пакет присадок и наполнителей. Перспективным направлением является поиск различного рода добавок преимущественно твердого характера, позволяющих более расширить диапазон работы смазочных материалов. В качестве присадок используется графит, дисульфид молибдена, гексагональный нитрид бора (белый графит) и другие [2, 3].

В последнее время широкое распространение получают металлокерамические материалы как наполнители к маслам и смазкам. Геомодификаторы – это порошковые минерало-силикатные композиции на основе подвидов минерала серпентинита. При введении мелкофракционных порошков серпентина на поверхности трения деталей образуется упрочненный металлокерамический слой. Твердые фракции порошка, попадая в тонкие зазоры между поверхностями трения, производят их микрошлифовку, убирая следы износа. Процесс сопровождается сильным разогревом поверхностей, которому способствует выделение внутренней энергии при разрушении серпентина. Высокие температуры размягчают микронеровности поверхностей трения вплоть до их перехода в пластическое состояние. В размягченные слои внедряются твердые частицы минералов, образуется композит «металл-минералы», который обычно называют металлокерамикой. При этом использование такого рода наполнителей значительно улучшают триботехнические свойства масел и смазок, снижая коэффициент трения и интенсивность изнашивания.

Область применения минеральных наполнителей очень широка [3]. Проводятся исследования возможности применения геомодификаторов в качестве добавок к приработочным маслам, а также к маслам и смазкам в качестве ремонтно-восстановительных составов. Однако у природных наполнителей имеются недостатки, которые пытаются устранить заменой природных геомодификаторов на их искусственные аналоги. Проведение исследований в этом направлении показали положительные результаты. Использование искусственно полученного модификатора трения в качестве добавки к минеральному маслу привело к снижению коэффициента трения на 10 – 60 %, снижению интенсивности изнашивания на 70 – 85 %, время приработки пары трения сократилось в 1,5 раза. Однако остаются открытыми ряд вопросов: связанных с концентрацией наполнителя в смазке, дисперсностью частиц, влияние модификатора на изменение структуры поверхности трения различных материалов. Поэтому исследование влияния модификаторов трения на триботехнические свойства масел и смазок является актуальной задачей.

Библиографический список

1. **Гаркунов, Д.Н.** Триботехника. Износ и безызносность / Д.Н. Гаркунов. – М.: МСХА, 2001. – 616 с.
2. **Заславский, Ю. С.** Новое в трибологии смазочных материалов: Монография / [Ю. С. Заславский](#), [В. П. Артемьева](#). – М.: Нефть и газ, 2001. – 480 с.
3. **Зарубин В.П.** Перспективы применения нанопорошков силикатов в смазочных материалах, используемых в пожарной технике / В.П. Зарубин, В.В. Киселев, А.В. Топоров, П.В. Пучков, А.А. Мельников // Пожаровзрывобезопасность. Том 22, №5, 2013. – С.65-69.

***В.И. Ханов, студ., рук. Н.В. Третьякова, к.т.н., доцент
(ИГЭУ, Иваново)***

ПРИМЕНЕНИЕ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ В ЭНЕРГОМАШИНОСТРОЕНИИ

Современные композиционные материалы (КМ) сочетают высокую прочность и незначительную массу, они имеют высокую жаропрочность и хорошо сопротивляются усталостному разрушению. Их использование в машинах позволяет снизить вес конструкции, увеличить технический ресурс машин, снизить до минимума потери от коррозии, расход топлива и т.д. В энергетических установках применяются дисперсионно-упрочненные и волокнистые КМ.

В *дисперсионно-упрочненных материалах* основную нагрузку воспринимает матрица, а дисперсные частицы препятствуют развитию пластической деформации. Эффективное упрочнение достигается при содержании 5...10 % частиц упрочняющего вещества. Армирующими наполнителями служат дисперсные частицы тугоплавких оксидов, нитридов, боридов, карбидов (Al_2O_3 , SiO_2 , BN, ThO_2 , Ve_2C и др).

Широко применяются материалы на основе алюминия, упрочненные частицами Al_2O_3 . Их получают прессованием алюминиевой пудры с последующим спеканием (САП). При температурах 300...500 °С САП превосходит по жаропрочности все промышленные алюминиевые сплавы и отличается высокими характеристиками длительной прочности и ползучести. САП удовлетворительно деформируются в горячем состоянии, легко обрабатываются резанием. Из САП выпускают полуфабрикаты в виде листов, профилей, фольги, изготавливают лопатки компрессоров, вентиляторов и турбин, поршневые штоки.

Дисперсионно-упрочненные КМ на основе бериллия упрочняются оксидом и карбидом бериллия. При этом 100-часовая прочность

бериллия при температуре 650 °С повышается в 3 раза, а при 730 °С – более чем в 5 раз. Благодаря высокому коэффициенту рассеяния нейтронов, высокому модулю упругости и низкой плотности материал является перспективным в реакторостроении.

Дисперсионно-упрочненные КМ на основе магния упрочняются оксидом магния в количестве до 1 %. Материал характеризуется низкой плотностью, высокой длительной прочностью и высоким сопротивлением ползучести при нагреве. Наиболее перспективно применение композиции магний-оксид магния в авиации, ракетной и ядерной технике в качестве конструкционного материала для деталей корпусных изделий минимальной массы и повышенной прочности.

Дисперсионно-упрочненные КМ на основе никеля упрочняются диоксидом тория или диоксидом гафния в количестве до 2 %, они обозначаются ВДУ-1 и ВДУ-2 соответственно. Они пластичны, полуфабрикаты этих сплавов деформируются в широком диапазоне температур различными способами (ковка, штамповка, глубокая вытяжка и др.). Эти материалы применяют для изготовления камер сгорания, сосудов и трубопроводов, работающих при температурах выше 1000 °С в агрессивных средах.

В *волоконистых композиционных материалах* (ВКМ) упрочнителями служат волокна или нитевидные кристаллы чистых элементов и тугоплавких соединений, таких как бор, углерод, карбид кремния, оксид алюминия, а также высокопрочная проволока из молибдена, вольфрама, бериллия, стали и других металлов и сплавов. Диаметры волокон составляют от долей до сотен микрометров.

Высокие прочностные свойства проволок из молибдена, вольфрама, тантала сохраняется до 1200...1500 °С. Их целесообразно применять для армирования жаропрочных композиционных материалов.

Армирование жаропрочных никелевых сплавов осуществляют в целях увеличения времени их работы и повышения рабочей температуры. Для армирования применяют нитевидные кристаллы оксида алюминия (усы), проволоки из тугоплавких металлов и сплавов на основе вольфрама и молибдена, волокна углерода и карбида кремния. Для увеличения коэффициента полезного действия тепловых машин (газовые турбины) важнейшая деталь турбин – лопатка – работает в наиболее тяжелых условиях. Армирование никелевых сплавов нитями сапфира (Al_2O_3) позволяет существенно повысить температуру на входе в турбину

(значение предела прочности сапфировых кристаллов при температуре 1650 °С выше 750 МПа).

Волокна карбида кремния и углерода, характеризующиеся высокой температурой разупрочнения, применяют для армирования металлических матриц композитов, предназначенных для эксплуатации при высоких температурах.

Эвтектические композиционные материалы (ЭКМ) – сплавы эвтектического состава, в которых упрочняющей фазой служат ориентированные кристаллы, образующиеся в процессе направленной кристаллизации. Структура ЭКМ создается естественным путем, поэтому она обладает высокой прочностью, термической стабильностью до температур, близких к температуре плавления эвтектики. ЭКМ на основе никеля и кобальта используют для изготовления литых рабочих лопаток и крепежных деталей камер сгорания газотурбинных установок.

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

ПРИМЕНЕНИЕ АНОДНОГО ОКСИДИРОВАНИЯ

Анодное оксидирование (анодирование, анодное окисление) – процесс создания оксидной плёнки на поверхности некоторых металлов и сплавов путём их анодной поляризации в проводящей среде. Плёнка защищает изделие от коррозии, обладает электроизоляционными свойствами, служит хорошим основанием для лакокрасочных покрытий, используется в декоративных целях.

В зависимости от вида кислородсодержащей среды, заполняющей межэлектродное пространство, различают анодирование: в водных растворах электролитов, в расплавах солей, в газовой плазме, плазменно-электролитическое.

Процесс анодного оксидирования.

Для рассмотрения процесса анодного оксидирования рассмотрим самый распространенный вид – анодирование алюминия в водных растворах электролитов. Упрощенная установка для анодирования (рис. 1) представляет собой ванну, заполненную водным раствором электролита или расплавом солей, в которую помещены два электрода: катод – свинец и окисляемое изделие алюминий – анод.

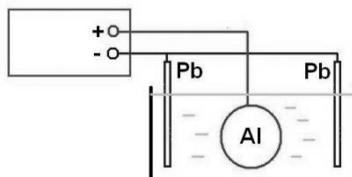


Рис. 1. Анодное оксидирование алюминия и его сплавов.

Определяющими реакциями при анодном оксидировании алюминия и его сплавов в серной кислоте являются электрохимическое формирование оксида в барьерном слое и химическое растворение оксида при воздействии электролита.

Для получения толстых пленок анодирование проводят при охлаждении электролита (0-5 °С) и иногда деталей. Для формирования антикоррозионных пленок используют хромовокислые и сернокислые растворы при наложении постоянного или переменного тока. Для получения покрытий с повышенной износостойкостью применяют способ по которому скорость оксидирования выше в 4-10 раз по сравнению со стандартным режимом. Анодные оксидные пленки, обладающие повышенной твердостью, формируются в электролитах на основе серной и щавелевой кислот. Декоративными и антикоррозионными свойствами обладают пленки, полученные эматалированием. Свойства анодных оксидных пленок определяются их пористостью, твердостью, износостойкостью, тепловыми, а также электроизоляционными и коррозионными характеристиками.

Применение анодированного алюминия.

1. Анодированный подслои для органических покрытий.
2. Коррозионностойкие покрытия.
3. Цветное анодирование.
4. С целью предотвращения загрязнения.
5. Осветительная аппаратура.
6. Тепловое отражение и излучение.
7. Износостойкость и смазка.
8. Электрическая изоляция.

Из автоматизированного оборудования наибольшее распространение получили кареточные линии с жестким циклом и автооператорные линии с программным управлением.

Библиографический список

1. Ведерникова И.И. Диссертация на соискание ученой степени кандидата наук, рук. 2004.
2. Справочник по анодированию./ Е. Е. Аверьянов – М.: Машиностроение. 1988. – 224 с.: ил.
3. Анодное оксидирование алюминия и его сплавов./ В. Ф. Хенли Пер. с англ./Под ред. Синявского В. С. – М.: Metallurgia. 1986. – 152 с.
4. Технология электрохимических покрытий. Учебник для средних специальных учебных заведений./М. А. Дасоян, И. Я. Пальмская, Е. В. Сахарова. – Л.: Машиностроение. Ленинградское отделение, 1989. – 391с.: ил.

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

МИКРОДУГОВОЕ ОКСИДИРОВАНИЕ

Основные тенденции современного машиностроения в целом и двигателестроения в частности, направлены на расширение использования алюминиевых сплавов, которые обладают целым комплексом неоспоримых достоинств: низкой плотностью, высокой теплопроводностью, достаточной прочностью. Однако у алюминиевых сплавов имеется один существенный недостаток – низкая износо- и задиростойкость. Решить эту проблему может использование метода поверхностного упрочнения деталей – микродугового оксидирования (МДО). Микродуговое оксидирование – один из наиболее перспективных видов поверхностной обработки изделий из металлов и сплавов, получивший в последнее время широкое распространение в различных отраслях промышленности.

Благодаря вышеперечисленным свойствам МДО широко используется для повышения износостойкости поверхности деталей различных узлов, агрегатов машин и механизмов из алюминиевых сплавов. Применяют МДО на таких деталях ДВС, как цилиндр, поршень и седла клапанов. Несмотря на то, что вышеперечисленные детали ДВС работают в сложных условиях, при высоких нагрузках, температуре, трении, наличии коррозионной среды, МДО-слои показали не только свою высокую работоспособность, но и способствовали значительному повышению надежности двигателей. Имеется положительный опыт использования МДО-покрытия в двигателе внутреннего сгорания устройства механизации бега (УМБ). В этом случае традиционная чугунная гильза не используется, вместо этого поверхность цилиндра из алюминиевого сплава Д16Т упрочняют методом МДО. В результате образуется слой, обладающий высокой микротвердостью и износостойкостью.

МДО проводится при большом напряжении, за счет чего происходят микродуговые разряды в точках пробоя барьерного слоя на поверхности. В области пробоя резко повышается температура и давление, часть металла переходит в раствор, где присутствует в виде ионов. Другая часть расплавленного металла взаимодействует с компонентами электролита и формирует МДО-покрытие. Благодаря этому покрытие формируется не только на поверхности, но и вовнутрь изделия. Помимо этого, высокие температуры в зоне пробоя приводят к формированию градиентного переходного слоя на границе металл-покрытие. Этот слой обеспечивает прочное сцепление МДО-покрытия с подложкой, что в свою очередь обеспечивает адгезию полимерных покрытий наносимых на поверхность детали.

Анализируя вышеизложенное, можно сделать выводы:

1. Покрытия, полученные методом МДО, являются сверхпрочными и износостойкими. Эти покрытия имеют превосходное сцепление с поверхностью обрабатываемого металла, которое обеспечивается наличием переходного слоя на границе металл-покрытия.

2. В зависимости от назначения и условий будущей эксплуатации деталей технология позволяет получать покрытия толщиной от долей до сотен микрометров, имеющие сразу несколько характеристик в комплексе.

3. Существует возможность обработки сложнопрофильных деталей, за счет высокой рассеивающей способности электролита и возможность получения разных покрытий на одном материале.

Библиографический список

1. <file:///C:/Users/comp/Downloads/vliyanie-rezhimov-mikrodugovogo-oksidirovaniya-na-svoystva-formiruemoj-poverhnosti.pdf>
2. <http://vestnik.kazntu.kz/files/newspapers/80/2550/2550.pdf>

СЕКЦИЯ 23

ДИНАМИКА, ПРОЧНОСТЬ, ВИБРОДИАГНОСТИКА

Председатель – к.т.н., доц. Ноздрин М.А.

Секретарь – к.т.н., доц. Шмелёва Т.В.

*М.Ф. Низамиев, асп.; рук. И.В. Ившин, д. т. н., проф.
(КГЭУ г. Казань)*

ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ КОНТРОЛЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ГАЗОВОГО ДВИГАТЕЛЯ КАМАЗ

Контроль технического состояния двигателя внутреннего сгорания является важным путем повышения качества продукции и снижения эксплуатационных расходов. Среди множества существующих методов контроля технического состояния наиболее точным, объективным, чувствительным к дефектам, позволяющим применять компьютерные технологии, является вибрационный метод. Вибрация двигателя содержит достаточно большую информацию о техническом состоянии двигателя, его узлов и деталей. Разработка способов и методов для анализа вибрации, выделения полезной информации, использование ее для поиска дефектов, контроля состояния его деталей, узлов и двигателя в целом является актуальной задачей и решается многими научными, эксплуатационными организациями и учеными. Существующие методы вибрационной диагностики требуют совершенствования по точности, чувствительности и надежности выявления дефектов.

С этой целью для контроля технического состояния газового двигателя КАМАЗ разработан и создан ИДК (рис. 1) [1]. В качестве чувствительных элементов используются лазерные виброметры и датчики акустической эмиссии. Сигналы от датчиков поступают на многофункциональный модуль ввода-вывода, откуда оцифрованные данные передаются на персональный компьютер, с установленным программным обеспечением.

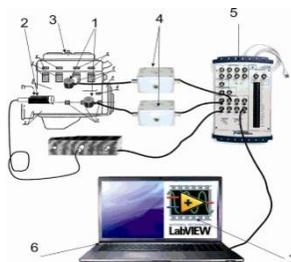


Рис. 1 Схема измерительно-диагностического комплекса: 1 – преобразователь акустической эмиссии GT350, 2 – лазерный виброметр LV-2; 3 – объект исследования, 4 – согласующие устройства AG-09; 5 – многофункциональный модуль ввода-вывода (BNC6251); 6 – персональный компьютер; 7 – программное обеспечение National Instruments

Записанный в цифровой форме сигнал преобразовывается в амплитудный спектр с помощью процедуры быстрого преобразования Фурье. Процедуры преобразований реализованы с помощью программного обеспечения, разработанного в среде графического программирования LabVIEW.

С помощью созданного ИДК и разработанной методики диагностики газового двигателя КАМАЗ, возможно, выявить такой дефект как «неработающий цилиндр». Спектры двигателя КАМАЗ при работе всех цилиндров и при отключенном питании дозатора 7-го цилиндра («неработающий цилиндр») представлены на рис. 2.

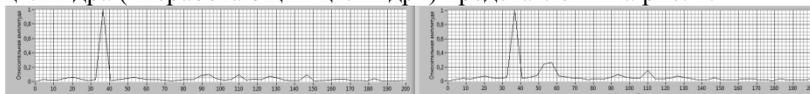


Рис. 2. Спектры двигателя КАМАЗ при работе всех цилиндров (слева) и при отключенном питании дозатора 7-го цилиндра («неработающий цилиндр») (справа).

Проведено сравнение спектров на частотах от 0 до 0,2 кГц (рис. 3).

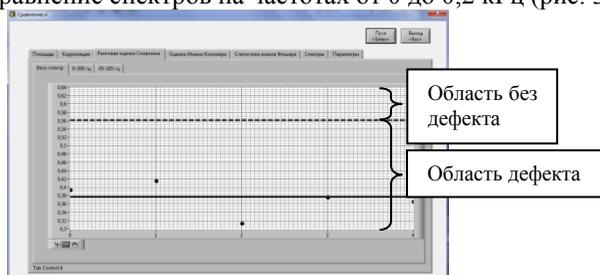


Рис. 3. Сравнение спектров по критерию «коэффициент корреляция».

Спектры двигателя при отсутствии питания на газовом дозаторе цилиндра №7 («неработающий цилиндр») и спектры двигателя, работающего в нормальном режиме, имеют отличия. Эти отличия определяются при сравнении с использованием коэффициентов вероятностных характеристик и выходом за границы доверительного интервала с уровнем доверительной вероятности 95%.

Таким образом, анализ экспериментальных данных показал устойчивое определение дефекта «неработающий цилиндр» с помощью лазерного датчика по 4 критериям и подтвердил возможность применения данного метода для контроля технического состояния газового двигателя КАМАЗ.

Библиографический список

1. Низамиев М.Ф., Ившин И.В., Владимиров О.В., Ваньков Ю.В. Измерительно-диагностический комплекс для диагностики энергетических установок / М.Ф. Низамиев, И.В. Ившин, О.В. Владимиров, Ю.В. Ваньков // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. - 2014. - №3-4. – С. 108-113.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПЕРЕСТРОЙКИ КОСТНОЙ ТКАНИ В ЗОНЕ ПЕРЕЛОМА

По статистике переломы костей голени составляют 20-37% среди переломов длинных трубчатых костей. 60-70% переломов костей голени получают люди трудоспособного возраста [1]. Сроки временной нетрудоспособности пострадавших с различными переломами костей голени колеблются в широких пределах: от 5-6 недель до 10-12 месяцев (при сложных переломах). На процесс перестройки костной ткани оказывают влияние как внешние, так и внутренние факторы. К внешним факторам относится, прежде всего, механическая нагрузка. Определение оптимальных параметров механической нагрузки для улучшения результатов при лечении переломов и уменьшения сроков временной нетрудоспособности является важной задачей.

Исследование процессов регенерации проводилось на конечно-элементной модели большеберцовой кости человека (рис.1). В месте перелома была достроена дополнительная область, занимаемая

перестраиваемым материалом. Характеристики материалов тканей получены расчетным путем по алгоритму вычисления эффективных модулей композитных материалов [2]. Граничные условия, наложенные на модель, моделируют одноосное шарнирное соединение в коленном и голеностопном суставах. В качестве внешней нагрузки, действующей на модель, выбрана медленно изменяющаяся сжимающая сила ($F_{\max} = 500 \text{ Н}$), постоянная на каждом шаге по времени, с наложенной на нее гармонической составляющей (F_{dyn}).

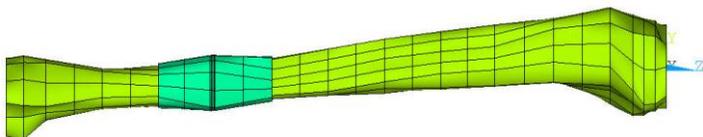


Рис.1. Конечно-элементная модель кости

На процесс регенерации ткани в зоне перелома оказывает большое влияние изменение частоты внешнего возмущения. На рис. 2 представлено изменение модуля продольной упругости E , как основной переменной характеризующей процесс восстановления костной ткани в зоне репарации, в течении периода восстановления 120 дней.

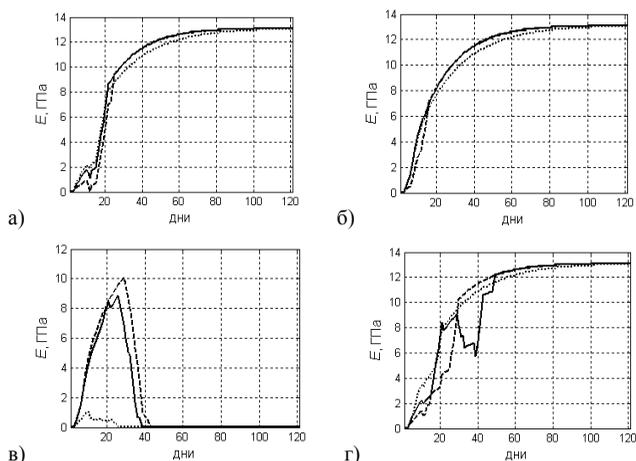


Рис. 2. График изменения модуля упругости в зоне репарации для характерных точек: а – 1 Гц, $F_{\text{dyn}}=50 \text{ Н}$; б – 10 Гц, $F_{\text{dyn}}=50 \text{ Н}$; в – 100 Гц, $F_{\text{dyn}}=50 \text{ Н}$; г – 100 Гц, $F_{\text{dyn}}=5 \text{ Н}$

Как следует из графика изменение модуля упругости E в зоне регенерации (рис. 2), в течение исследуемого периода времени равного 120 дням, стабильное увеличение механических свойств в исследуемых точках регенерата наблюдается не во всех вариантах приложения динамической нагрузки. Так при низкочастотной вибрации (1 Гц и 10 Гц) уже к 60 дню происходит образование зрелой костной ткани, благодаря адаптации клеток к условиям внешней нагрузки. При увеличении частоты внешнего возмущения (рис. 2 в) в модели регенерации происходит сбой, и зрелая костная ткань не образуется в результате явления резорбции. В свою очередь, уменьшив амплитуду динамической составляющей можно добиться, чтобы процесс перестройки области перелома завершился при значениях модуля упругости, соответствующим зрелой костной ткани (рис. 2 г).

Библиографический список

1. Военная травматология и ортопедия. Учебник / Под ред. Шаповалова В.М. – СПб.: Морсар, 2004. – 672 с.
2. Маслов, Леонид Борисович. 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).

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

КОНЕЧНО-ЭЛЕМЕНТНЫЙ РАСЧЁТ МОДЕЛИ РЕГЕНЕРАЦИИ КОСТНОЙ ТКАНИ

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. Костное вещество является одним из ярких представителей живых тканей, 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 обеспечить управление скоростью и самим процессом структурной перестройки. Трёхмерная модель кости представлена на рис. 1.

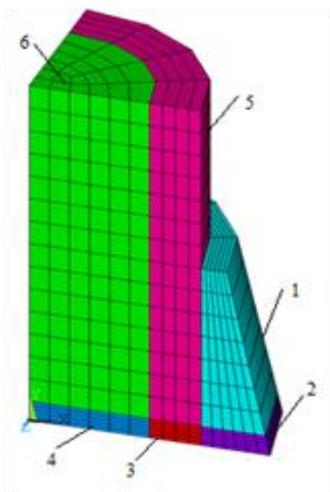


Рис. 1. Трёхмерная модель

кости:

1, 2 – костная мозоль, 3 – область образования зрелой кости, 4 – область образования губчатого вещества кости, 5 – здоровая кость, 6 – губчатое вещество кости

Уравнение гармонической нагрузки имеют вид:

$$F(t, \omega) = F_{sta}(t) + F_{dyn}(t)e^{i\omega t},$$

где F_{sta} – статическая нагрузка; F_{dyn} – динамическая составляющая нагрузки, $F_{dyn} = kF_{sta}$; k – коэффициент величины гармонической нагрузки.

Частота внешнего силового поля выбиралась из диапазона возможностей возбуждения колебаний современных вибрационных установок. Амплитуда динамической составляющей силы выбиралась

из условия нормировки по энергии колебаний. Эксперименты были проведены для частоты гармонической нагрузки 10 Гц и $k = 1\%$; 10 Гц и $k = 10\%$; 50 Гц и $k=0,5\%$; 100 Гц и $k=0,1\%$.

При помощи программы трехмерного моделирования физико-механических характеристик костной ткани в процессе регенерации FE3DRPEV (Маслов Л.Б., ИГЭУ ®) и программного комплекса ANSYS были получены пространственные конечно-элементные картины изменения плотности костной ткани в зоне перелома с течением времени. После проведения всех экспериментов можно сделать вывод о том, что нормирование коэффициента динамической составляющей нагрузки предположительно может уменьшить болевые ощущения у пациента, но из-за слишком резкого уменьшения амплитуды динамической нагрузки, поставленная задача регенерации не выполняется. В ходе численного эксперимента были получены перемещения в динамике и статике. Оптимальный результат регенерации, полученный экспериментально на трёхмерной модели, – при коэффициенте $k=10\%$, и частоте гармонической нагрузки 10 Гц (рис. 1).

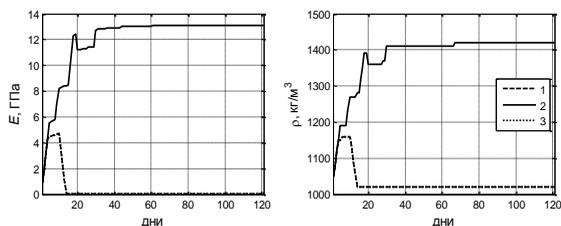


Рис. 2. Графики изменения модуля Юнга и плотности для элементов зоны регенерации при 10 Гц и $k=10\%$.

По окончании эксперимента на 120 день происходит полное срастание кости без уплотнения в зоны губчатости костной ткани и без образования костной мозоли.

Библиографический список

1. Маслов Л.Б. Математическое моделирование колебаний пороупругих систем: монография ИГЭУ, 2010. – 264 с.
2. Маслов Л.Б. Российский журнал биомеханики. 2013. Т. 17, № 2 (60): 39–63.

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

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» (рис. 1). Нагрузка на модель представлена формулами (1), (2). График нормированной статической силы, действующей на кость (F_{sta}) представлен на рис.2

$$F(t, \omega) = F_{sta}(t) + F_{dyn}(t)e^{i\omega\tau} \quad (1)$$

$$F_{dyn} = kF_{sta} \quad (2)$$

В работе были проведены численные эксперименты по поиску собственных частот и выведены моды колебаний. Собственные частоты находились на разных днях регенерации (1, 30, 120 день) и при различной пористости имплантата (10 %, 50 % и 90 %).

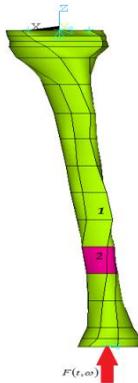


Рис.1 Конечно-элементная модель, где 1 – зона здоровой кости, 2 – имплантат

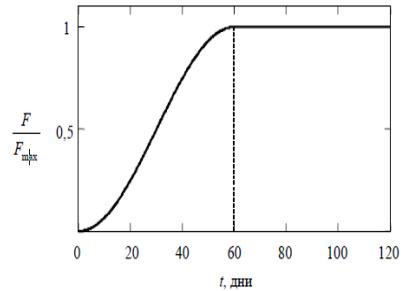


Рис.2. График статической силы F_{sta}

Результатами работы являются полученные расчетным путем величины собственных частот ω_i , где $i=1...5$, при различных стадиях заживления и пористости имплантата φ . Ниже в таблицах показана динамика изменения собственных частот колебаний системы «кость-имплантат».

Таблицы изменения собственных частот при различных стадиях заживления и пористости имплантата

$\varphi = 10\%$				$\varphi = 50\%$			
$\omega_i \backslash$ День	1	30	120	$\omega_i \backslash$ День	1	30	120
ω_1	215.23	215.18	21	ω_1	211.34	213.46	
ω_2	275	274.96	2	ω_2	270.02	272.76	
ω_3	849.9	849.55	84	ω_3	838.96	846.85	8
ω_4	969.1	968.7	96	ω_4	963.5	969.8	
ω_5	1256.2	1256.1	12	ω_5	1230.48	1243.9	1

$\varphi = 90\%$			
$\omega_i \backslash$ День	1	30	120
ω_1	133.62	202.19	204.50
ω_2	172.22	258.31	261.26
ω_3	649.01	812.47	819.64
ω_4	671.85	938.93	946.02
ω_5	864.68	1174.5	1188.4

При помощи ПК ANSYS были построены моды колебаний при всех вычисленных частотах колебаний. Примеры некоторых мод колебаний приведены ниже (рис 3).

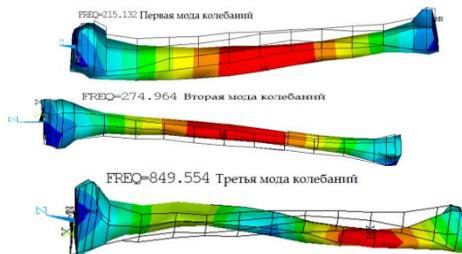


Рис.3. Примеры мод колебаний

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 ИГЭУ. – № 2014660190; заяв. 09.10.14; зарег. в Реестре программ для ЭВМ 26.11.14.

*Н.Н. Мечтаева, студ.; рук. В.И. Шапин, к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВОПРОСЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АППАРАТА ИЛИЗАРОВА В ТРАВМАТОЛОГИИ И ОРТОПЕДИИ

Впервые конструкция для длительной фиксации костной ткани с возможностью ее сжатия (компрессии) либо растяжения (дистракции) была предложена советским хирургом Г.А. Илизаровым в 1952 году под руководством д.м.н., проф. В.И. Фишкина, выдающегося ученого и педагога в области травматологии-ортопедии, заведующего кафедрой ИГМА. С тем пор устройство системы было подвержено множеству усовершенствований. На основе данной концепции рядом других специалистов были предложены аналогичные конструкции, имеющие схожие цели (рис. 1).



Рис. 1. Модель аппарата Илизарова

Остеосинтез аппаратом Илизарова осуществляется при помощи спиц, проходящих сквозь костную ткань конечности (метод чрезкостного компрессионно-дистракционного остеосинтеза). Снаружи спицы закреплены в кольца, между которыми имеются соединительные элементы с возможностью изменения длины [1].

Современный аппарат Илизарова – это титановое устройство с высокими показателями прочности. Современный аппарат Илизарова имеет крайне малый вес и небольшие габариты. Он нашёл свое широкое использование в области ортопедии и эстетической медицины. С его помощью исправляют деформации пропорций тела, кривизну ног,

косолапость, врожденные деформации и anomальные развития стопных костей.

Показаниями для применения аппарата Илизарова являются такие заболевания и диагнозы, как: рахит, псевдоартроз, переломы различной сложности и локализации [2]. Аппарат необходим и для увеличения роста на фоне системных скелетных заболеваний, для исправления – лечения суставной контрактуры, для коррекции дефектов костей и мягких тканей, которые возникают после опухолей, травм или инфекционных заболеваний.

К преимуществам применения аппарата Илизарова относится то обстоятельство, что это позволяет значительно сократить сроки сращения костей при переломах и снизить до минимума уровень риска развития ложного сустава в месте перелома [3, 4]. Более того, на поврежденную конечность разрешается частичная нагрузка уже на второй день после операции и процедуры установки аппарата.

Основной целью использования аппарата является обеспечение стабильности положения закрепленных частей. Стабильность положения укоряет и значительно облегчает процесс сращения.

Например, при переломах в случае неполной репозиции повторные перемещения костных отломков на их стыке травмируют образующийся регенерат, затрудняют восстановление нарушенного местного кровообращения, что приводит к возникновению краевой резорбции концов костей, увеличивает продолжительность репарации.

Степень фиксации отломков в аппарате можно характеризовать жесткостью. Под жесткостью понимается способность аппарата удерживать отломки от взаимных перемещений, вызываемых действием приложенной к ним нагрузки. Неизвестно, как обеспечить идеально стабильное положение отломков в условиях пользования конечностью, на которую наложен аппарат. Переменные механические нагрузки, конечно же, приводят к разбалтыванию креплений и соответственно ослаблению натяжения спиц аппарата. В этом случае стабильность аппарата не обеспечивается.

Для повышения эффективности использования аппарата Илизарова предполагается экспериментально или методами математического моделирования [5] рассчитать относительные деформации спиц и относительное ослабление креплений аппарата при определенной фиксированной на него нагрузке. С помощью полученных результатов становится возможным регламентированное использование аппарата в целом.

Библиографический список

1. Шевцов В.И., Немков В.А., Скляр Л.В. Аппарат Илизарова. Биомеханика. – Курган: Периодика, 1995. –165 с
2. bone-surgery.ru
3. trauma.ru
4. medbe.ru
5. <http://lib.uni-dubna.ru>

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

СОЗДАНИЕ ФИЗИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ С ЭФФЕКТОМ ПАМЯТИ ФОРМЫ

Объектом исследования в данной работе является двигатель Гинеля (рис.1). В двигателе используются пружины с ЭПФ из эквипотенциального сплава Нитинол (Никель 55%, Титана 45%) с температурным переходом 45°C [1].

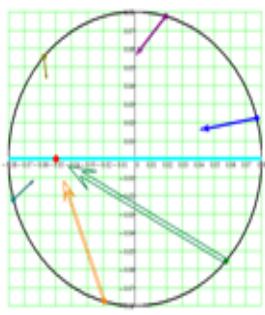


Рис.1.
Кинематическая
модель двигателя

Для математического моделирования составляется кинематическая схема двигателя, иллюстрирующая усилия, возникающие в пружинах при действии ЭПФ. По ней в программе MathCad строится кинематическая модель (рис. 1).

Производится определение крутящего момента системы, результатом является график зависимости крутящего момента системы от угла поворота (рис.2).

Уравнение решается четырехшаговым методом Рунге-Кутты [2].

Шаг для данного расчета выбран: $h = \frac{\pi}{24} = 0.131$. Для решения уравнения необходимо задать начальные условия задачи Коши: $\varphi_0 = 0$; $\psi(\varphi_0) = \psi_0$. В программе Mathcad необходимо задать цикл для φ и ψ с периодичностью шага: $N = \frac{2\pi}{h} = 48$ шагов.

Результат вычислений выводим в виде графика зависимости угловой скорости вращения от времени (рис. 3)

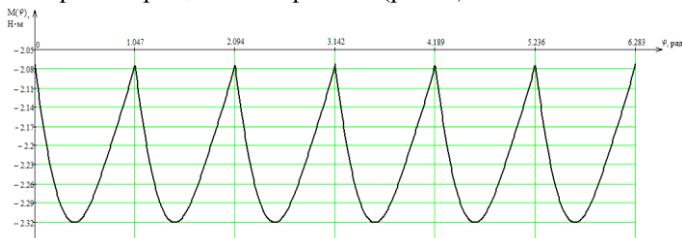


Рис. 2. График изменения крутящего момента модели, зависящего от угла поворота

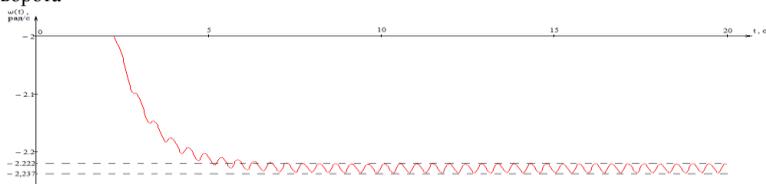


Рис. 3. График зависимости угловой скорости от времени

На основе созданной математической программы производился выбор оптимальных параметров двигателя. Были получены ключевые

значения параметров, по которым в дальнейшем отлаживается модель с учетом конструкции узлов:

- угол α , который составляют вектор OO_1 с горизонталью, равен 180° . Этот параметр варьировался в пределах $[0; 360^\circ]$ при $\lambda = 7,5/8$ и $w = 0,00$ м;
- коэффициент отношения расстояния между осями к радиусу колеса $\lambda = 5/8$. Этот параметр варьировался в пределах $[0/8; 7,5/8]$ при $\alpha = 180^\circ$ и $w = 0$;
- уровень воды относительно оси Ox $w = 0$. Этот параметр варьировался в пределах $[-0,06$ м; $0,06$ м] при $\lambda = 5/8$ и $\alpha = 180^\circ$.

Благодаря полученным результатам были созданы 3D модели и чертежи деталей, а также сборочный чертеж конструкции, по которым была собрана реальный действующая модель двигателя Гинеля. Дальнейшей целью работы является изучение усталости пружин с памятью формы в данной модели при многоцикловом нагружении и усовершенствование конструкции.

Библиографический список

1. **Ильина, Е.Э.** Энергия-2013. Сплавы с эффектом памяти формы / Е.Э. Ильина, Е.С. Шильцев; ИГЭУ.– Иваново, 2013.- с. 180-182.
2. **Дневский В.А.** Теоретическая механика: Учебное пособие. 2-е изд., испр. – СПб.: Издательство «Лань», 2008. – 320 с.
3. **Самарский, А.А.** Введение в численные методы./ А.А. Самарский.- СПб.: Машиностроение, 2005. – с.176-183.
4. **Курмаз, Л.В.** Детали машин. Проектирование: Справочное учебно-методическое пособие/Л.В. Курмаз, А.Т. Скойбеда. – 2-е изд., испр.: М.: Высш. шк., 2005. – 309с.
5. **Анухин В.И.** Допуски и посадки. Выбор и расчет, указание на чертежах: Учеб. пособие. 2-е изд., перераб. и доп. СПб.: Изд-во СПбГТУ, 2001. – 219 с.

*А.В. Швед, студ.; рук. И.А. Белов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ВИБРОСОСТОЯНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО ТРУБОПРОВОДА

За последнее годы развитие энергетики предъявляет более жесткие требования к надежности энергетических установок. Повысились требования к достоверности расчетов элементов энергетических установок на прочность, причем расчеты на колебания и прочность

при вибрационных нагрузках рассматриваются как неотъемлемая часть общего комплекса прочностных расчетов конструкций [1].

Рассмотрен технологический трубопровод электростанции, по которому передается конденсат из подогревателя высокого давления в деаэратор. Предполагалось, что пульсации давления теплоносителя оказывают силовое воздействие на трубопровод, приводя к его вынужденным колебаниям.

Этапы работы:

- 1) разработка конечно-элементной модели средствами ANSYS (рис. 1);
- 2) проведение модального анализа трубопровода в холодном (нерабочем) состоянии;
- 3) проведение статического теплового расчета напряженного состояния трубопровода;
- 4) проведение модального анализа трубопровода, разогретого до рабочей температуры, с учетом статических напряжений.

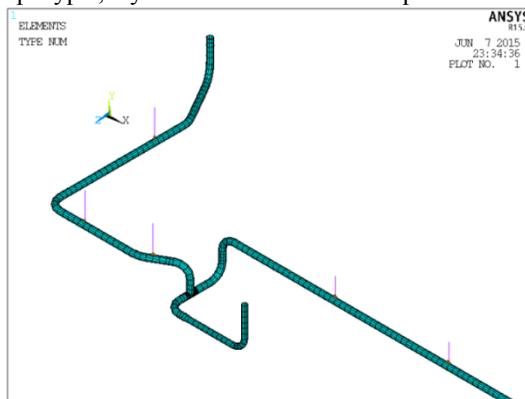


Рис. 1. Изображение части конечно-элементной модели

В результате работы получена картина вибрационного состояния трубопровода, собственные формы колебаний, распределение напряжений, возникающих в результате теплового расширения, определены места опасных сечений конструкции.

Библиографический список

1. Самарин А. А. Вибрации трубопроводов энергетических установок и методы их устранения. – М.: Энергия, 1979. – 288 с., ил.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЧНОСТИ ПОЛИМЕРНОГО ИЗОЛЯТОРА

Проектирование подвесных изоляторов из полимерных материалов предусматривает расчет напряженно-деформированного состояния. Подвесной изолятор предназначен для крепления и изоляции неизолированных и защищенных проводов высоковольтных линий переменного тока напряжения 35 кВ частотой до 100 Гц. Температурные условия работы изолятора от минус 60 до плюс 50 градусов С [1].

Расчет на прочность изолятора производится в программе ANSYS Workbench. В результате статического анализа определяются деформации точек изолятора (рис.1). Максимальная деформация составляет (при заданной боковой распределенной нагрузке $P = 100$ кПа) 0,19 мм, она наблюдается в точке приложения силы (на рисунке справа). Минимальная деформация наблюдается в точке закрепления изолятора (на рисунке слева).

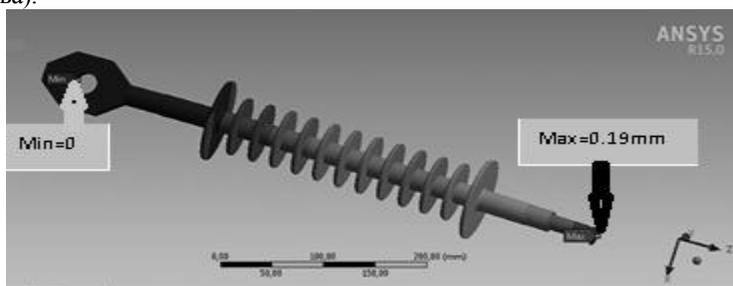


Рис. 1. Деформации точек изолятора, полученные в результате статического анализа

В результате статического анализа определяются напряжения в изоляторе. Проводятся расчеты деформации с учетом влияния температуры. Исследование модели изолятора при различных видах расчётов (механических и температурных) показывает, что значения деформаций и напряжений, которые возникают в подвесном изоляторе, не противоречат технологическим нормам. Полученные

результаты работы, выполненной по предложению кафедры «Высоковольтные электроэнергетика, электротехника и электрофизика» ИГЭУ, используются в конструкторско-проектировочных работах, выполняемых на этой кафедре.

Библиографический список

1. Каталог изоляторов / Компания ЗАО «Южноуральская изоляторная компания» – 2009.

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

РАСЧЕТЫ ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТА ЗАКРЫЛКА САМОЛЕТА

Целью работы является отработка методики численного расчета напряженно-деформированного состояния. Создается модель элемента концевой элерона крыла самолета и производится расчет на прочность при варьировании геометрических параметров и материала. Используется обобщенная исходная информация о детали элерона. Выполненная в программе SolidWorks 3D-модель параметризуется для большего удобства изменения размеров и импортируется в систему конечно-элементного анализа ANSYS [1].

3-D модель элерона закрепляется по торцам жесткими заделками и задается распределенная нагрузка с общим значением 1кН на верхних плоскостях. Проведен сравнительный расчет для двух видов геометрии элемента конструкции [2]. По результатам расчетов наиболее оптимальной с точки зрения максимальных деформаций является конструкция детали с закругленными краями.

Результаты расчетов на прочность и жесткость показывают, что наименьшей максимальной деформацией обладает модель со скругленными углами. В частности, для материала сталь она равна 0,002 мм. При сравнении с другими материалами оказывается, что сталь обладает наименьшей максимальной деформацией, но имеет наибольшую массу 77,284 кг.

Элемент, выполненный из дюралюминия (рис. 1), деформируется больше чем стальной (максимальная деформация равна 0,00497мм.). Однако он имеет наименьшую массу 27,271кг, поэтому предпочтение отдается дюралюминию. Материал титан показал хорошие прочностные свойства, но он тяжелее дюралюминия и дороже.

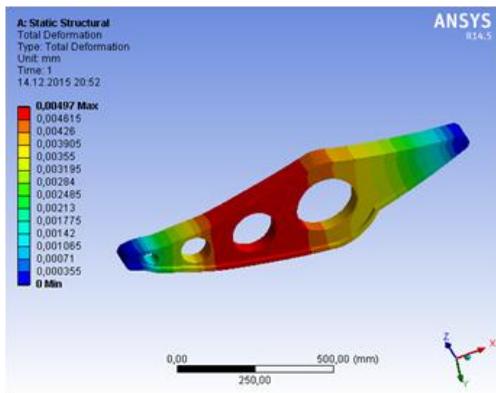


Рис. 1. Диаграмма деформаций элемента элерона

Таким образом, оптимальной является конструкция элемента элерона из дюралюминия с улучшенной геометрией.

Библиографический список

1. Голубев И. С. Беспелотные летательные аппараты. М., «Машиностроение», 1967.
2. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах. М: Компьютер Пресс, 2002. —224 с: ил.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФОРМЫ ДЛЯ ПРЕССОВАНИЯ БЕТОННЫХ БЛОКОВ

Целью работы является отработка методики численного расчета напряженно-деформированного состояния формы. Форма прессовального станка – основа для заливки бетонной смеси и формирования конечного блока. Металлоформы можно использовать как для производства фундаментных блоков, так и для стеновых панелей из железобетона. Устройства являются универсальными, так как с помощью этих форм для изготовления блоков можно получать изделия самых разных размеров. Конструкция металлоформ достаточно простая. Используя обобщенную исходную информацию о детали, создается 3-D модель в программе Solid Works. Дальнейшим

этапом работы является расчет модели на прочность в программном продукте ANSYS [1].

Работа выполняется в два этапа:

- построение 3D-модели формы в SolidWorks, разработка эскизов формы, придание толщины элементам формы;
- обработка модели в ANSYS: задание материала формы, конечно-элементное разбиение модели, приложение экспериментальных нагрузок, вывод результатов моделирования (рис. 1).

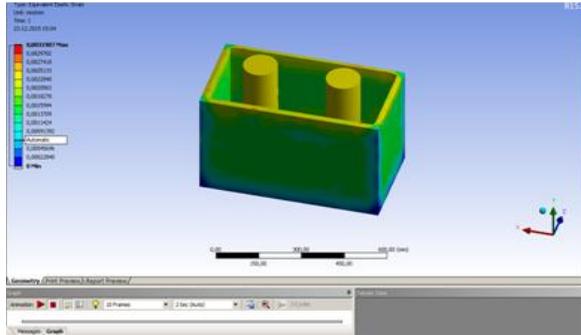


Рис.1. Деформации формы

В результате статического анализа определяются максимальные и минимальные значения напряжения в форме, они равны 0,0032 мм и 0 мм при нагрузке в 500 МПа. Точки максимального значения напряжения находятся на вершинах симметричных элементов формы, точки минимального значения напряжения – в нижних углах формы.

В производственных условиях уплотнение формовочной массы бетонных блоков происходит в течение 4-6 секунд, с приложением гиперпрессующей нагрузки не менее 30 МПа [2].

Результаты расчетов в ANSYS подтвердили достоверность условий уплотнения формовочной массы, а также показали, что имеется большой запас прочности основы для заливки.

Библиографический список

1. Каплун А.Б., Морозов Е.М., Олферьева М.А. ANSYS в руках инженера: Практическое руководство. – М.: Едиториал УРСС, 2003.
2. Способ изготовления строительных блоков прессованием, пресс-форма и линия для реализации способа (Авторское свидетельство СССР N 1472266, кл. В 28 В 3/00, 1989. Попов В.С.; Лукьянчиков М.К.; Ерошенко А.А.; Ройтман Е.Я.; Домашевский Б.Н.; Дмитриев А.В.

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

РАСЧЕТ НАПРЯЖЕННО- ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ СОСТАВНОЙ ОБОЛОЧКИ

Под оболочкой понимается тело, одно из измерений которого (толщина) значительно меньше двух других. Геометрическое место точек, равноотстоящих от обеих поверхностей оболочки, носит название срединной поверхности [1].

При расчете на прочность тонких оболочек в зависимости от характера распределения внешних нагрузок, опорных закреплений, применяется или безмоментная, или моментная теория. Предполагается равномерное распределение напряжений по продольным и поперечным сечениям оболочек, т.е. отсутствие в этих сечениях изгибающих, крутящих моментов и поперечных сил [2].

В работе исследована прочность составной оболочки в два этапа:

- 1) проектирование 3D-модели составной оболочки с дальнейшим разбиением на конечные элементы;
- 2) работа с моделью в программе ANSYS: подбор материала, разбиение модели на конечные элементы, приложение экспериментальных нагрузок, определение параметров расчетов.

В ходе выполнения работы построена 3D-модель составной оболочки в программе SolidWorks. В программной среде ANSYS произведен расчет деформаций (рис. 1).

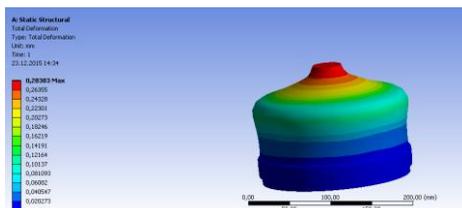


Рис.1 Деформация оболочки

В результате статического анализа определены значения 0.28 мм и 0 мм соответственно в оболочке. Итогом работы стало то, что

полученные значения деформации и напряжений находятся выше пределов нормы.

Библиографический список

1. **Власов В.З.** Общая теория оболочек и ее приложения в технике. М.: Гостехиздат, 1949. 784 с
2. **Бидерман В.Л.** Механика тонкостенных конструкций. М.: Машиностроение, 1977. 488 с.

*И.А. Гуралюк, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.,
В.И. Шапин., к.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПРОЧНОСТНОЙ РАСЧЕТ ОПОРЫ ЛЭП

Рассматривается наиболее распространенная на сегодняшний день опора СВ-95 (высота опоры 9,5 м).[1,2] Расчеты проводятся с помощью двух CAD-программ: SolidWorks и ANSYS. В программе SolidWorks создается 3D-модель, соответствующая реальным размерам опоры, а в программе ANSYS выполняются прочностные расчеты данной модели. Граничные условия задаются в виде жесткой заделки нижней части опоры. Прикладывается нагрузка в 1 кН на расстоянии 50 см от верхней точки опоры с варьированием угла вектора данной силы к вертикальной оси опоры от 90° до 30° с шагом в 15°. Рассматривать углы меньше 30° нерационально, т.к. эти углы возможны только при обрыве проводов. Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Максимальные значения деформаций и напряжений

Угол, приложения силы	90°	75°	60°	45°	30°
Деформации, см	4,7854	4,6456	4,1885	3,446	2,4696
Нормальные напряжения, МПа	3,7841	3,6733	3,3117	2,7245	1,9522
Касательные напряжения, МПа	3,4238	3,3146	2,979	2,4465	1,7582

Перемещения опоры по горизонтали графически представлены на рис. 1.

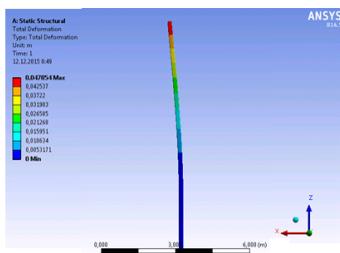


Рис. 1. Диаграмма деформаций опоры

Проведенные расчеты показали, что оптимальный угол вектора приложенной к опоре силы находится в диапазоне от 75° до 60° .

Библиографический список

1. Электромонтажные работы. Ч. 1 Воздушные линии электропередачи: Учеб. пособие для ПТУ./ Магидин Ф. А.; Под ред. А.Н. Трифонова – Высшая школа, 1991. – 208с.
2. Крюков К. П., Новгородцев Б. П. Конструкции и механический расчет линий электропередачи. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1979 – 112с.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РАМЫ ВЕЛОСИПЕДА

Проводится расчет прочностных характеристик рамной конструкции на примере велосипедной рамы.

Рама, как правило, сварена из профилей, образующих два так называемых треугольника — передний и задний [1].

На первом этапе создается 3D-модель в SolidWorks, затем она импортируется в ANSYS и задаются нагрузки, действующие на раму. После определения опасных участков конструкции проводится выбор метода улучшения конструкции с целью увеличения прочности и снижения веса.

В качестве материала принимается хромомолибден, так как высоколегированные хромомолибденовые стали лучше подходят для изготовления велосипедных рам по весу, прочности и износостойкости.

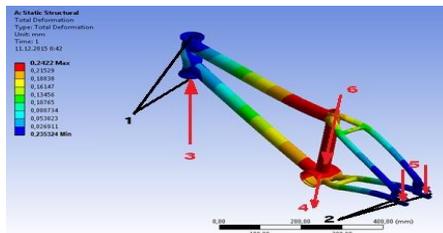


Рис. 1. Распределение деформаций конструкции рамы: 1 – закрепление модели в рулевом стакане; 2 – закрепление в выбеггах заднего треугольника; 3 – нагружение сосредоточенной силой рулевого стакана; 4 – нагружение сосредоточенной силой кареточного узла; 5 – нагружение сосредоточенной силой выбегов; 6 – нагружение сосредоточенной силой подседельной трубы

После проведения численных расчетов, определены наиболее опасные области конструкции – верхняя и подседельная трубы [2]. Полученные в результате небольшие деформации ($\sim 0,24$ мм) позволили уменьшить размер поперечных сечений участков с наименьшими деформациями в целях экономии материала. А именно – уменьшены размеры стенок рулевого стакана с 2 мм до 1,5 мм и толщина выбегов – с 5 мм до 4 мм.

Библиографический список

1. Гуревич И. Современный велосипед — СПб.: Велопитер, 2009. — 300 с.
2. Норри Д, Де Фриз Ж. Введение в метод конечных элементов / Пер. с англ. – М.: Мир, 1975. – 541 с.

*А.П. Алешина, асс. (ИВГПУ, г. Иваново),
Е.Э. Ильина, магистр.; рук. В.А. Огурцов, проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВИБРОВОЗДЕЙСТВИЯ СИТА НА СЫПУЧИЙ МАТЕРИАЛ В НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ ГРОХОТА

Анализ патентной и технической литературы показал, что вибрационные грохоты, у которых просеивающие поверхности активно воздействуют на сыпучий слой, более эффективны, чем грохоты, у которых сита совершают колебания по стандартным траекториям: окружностям, эллипсам, прямым.

Одним из способов повышения эффективности вибровоздействия сита на сыпучий материал является организация сложных траекторий колебаний просеивающих поверхностей грохотов [1].

Нами предложена новая конструкция вибрационного грохота, у которого положительный технологический эффект заключается в повышении качества продуктов отсева сыпучих материалов за счет создания пространственной траектории колебаний просеивающей поверхности [2]. Вибровоздействие сита на сыпучий материал при сложной траектории колебаний просеивающей поверхности, когда создаются независимые колебания с различными амплитудами и частотами по разным направлениям, приводит к увеличению подвижности частиц в слое сыпучего материала [3].

На рис. 1 изображена частица, которая заклинила отверстие сита, так как ее размер совпадает с размерами отверстия. Если сито принадлежит типовому грохоту, то точки сита совершают колебательное движение по траекториям, лежащим в плоскости наибольшего ската, перпендикулярной плоскости просеивающей поверхности.

Очевидно, что спектр сил инерции, действующих на частицу, способствующих проникновению ее через отверстия сита, в предложенном нами варианте грохота шире, чем для варианта сил инерции типового грохота. Кроме того, в новой установке силы инерции, действующие на частицу, обеспечивают более качественную самоочистку просеивающих поверхностей, чем у типовых грохотов.

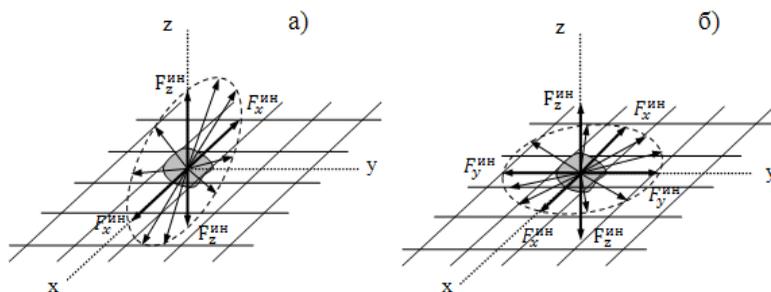


Рис. 1. Распределение сил инерции, действующих на частицу, застрявшую в отверстии сита: а) – схема действия сил для типового грохота; б) – схема действия сил для грохота

с пространственной траекторией колебаний сита

Предлагаемый вибрационный грохот, как и грохота, послужившие аналогами данному аппарату, имеет более широкие возможности, чем инерционные и самобалансные грохоты, которые традиционно используют на сортировочных предприятиях.

Новый грохот может осуществлять высокоомобильный переход от одного колебательного режима к другому, если происходит изменение характеристик сыпучей среды или осуществляется переход к грохочению другого материала.

Библиографический список

1. Вайсберг Л.А., Картавый А.Н., Коровников А.Н. Просеивающие поверхности грохотов. Конструкции, материалы, опыт применения / Под ред. Л.А. Вайсберга. СПб.: Изд-во ВСЕГЕИ. 2005. – 252 с.
2. Патент на полезную модель №144326 Российская Федерация. В 07В 1/40. Вибрационный грохот / Огурцов В.А., Мизонов В.Е., Огурцов А.В., Алешина А.П.; заявитель и патентообладатель ИГЭУ; опубл. 20.08.2014. Бюл.№33. – 2 с.
3. Мизонов, В.Е. Процессы сепарации частиц в виброожиженном слое: моделирование, оптимизация, расчет / В.Е. Мизонов, В.А. Огурцов, С.В. Федосов, А.В. Огурцов // ГОУ ВПО ИГЭУ, ИГАСУ. - Иваново, 2010. – 192 с.

*М.А. Корнилова, А.Л. Крылова, студ.;
рук. В.И. Шапин, к.т.н, проф.; С.В. Вихрев, инж.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ СТУПЕНЧАТОГО СОСТАВНОГО БРУСА

Под устойчивостью понимается свойство системы сохранять свое состояние равновесия при внешних воздействиях.

В реальных условиях всегда существуют причины, по которым может произойти отклонение от исходного равновесного состояния. В этом случае говорят, что произошла потеря устойчивости. При потере устойчивости происходит переход к некоторому новому положению равновесия, что в большинстве случаев сопровождается большими перемещениями, возникновением пластических деформаций или полным разрушением. Одной из мер повышения запаса устойчивости системы является увеличение ее жесткости.

Примером расчета устойчивости упругих систем может служить простейшая задача о равновесии прямолинейного стержня, сжатого силой, линия действия которой совпадает с продольной осью стержня [1].

Решением задачи является обобщенное выражение для критической силы $P_{кр}$ [1]. Ее превышение приводит к переходу от устойчивого равновесия к неустойчивому:

$$P_{кр} = \frac{\pi^2 n^2 E J_{min}}{(\mu l)^2}.$$

Это, как известно, формула Эйлера для центрально сжатого стержня. Здесь: J – минимальный момент инерции поперечного сечения стержня; E – модуль продольной упругости материала стержня; l – длина стержня; n – коэффициент формы потери устойчивости; μ – коэффициент приведения длины, зависящий от граничных условий закрепления бруса.

В настоящей работе рассматривалась следующая постановка задачи: экспериментальное исследование устойчивости ступенчатого составного бруса прямоугольного сечения с двумя участками жёсткости. Первый участок моделировался стальным стержнем прямоугольного сечения. Второй участок рассматривался в виде биметаллической конфигурации, составленный из двух симметричных дюралюминиевых накладок на стальной стержень.

Экспериментальный стенд представлен на рис. 1 (а, б) [2] и включает следующие элементы: основание с регулируемыми опорами, цилиндрическую стойку, испытуемый образец, опорные узлы, рычаг, подвес с гирями, стрелочный индикатор, упор и две симметричные накладки из дюралюминия.

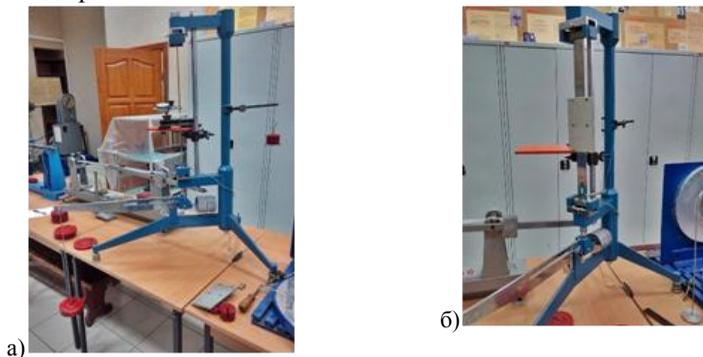


Рис. 1. Экспериментальный стенд: а) без накладок; б) с накладками из дюралюминия

В лабораторных условиях проводилось измерение критической силы, действующей на испытуемый образец стержня без накладок и с накладками при различных граничных условиях.

Результаты измерений представлены в таблице 1.

Таблица 1. Значения критической силы при различных граничных условиях и положениях накладок на продольной оси бруса ($P_{кр.Н}$)

	Жёсткая опора/шарнир	Шарнир/шарнир	Жёсткая опора/жёсткая опора
Без накладок	4	2,5	8
Накладки на расстоянии 150 мм от нижней опоры	5	3	10
Накладки на расстоянии 250 мм от нижней опоры	7	5	15,5

Как и следовало ожидать, максимальной грузоподъемностью без потери устойчивости по первой форме обладает расчетная схема с двумя жесткими связями для всех трех рассмотренных режимов исследования: без накладок, накладки на расстоянии 150 мм от нижней опоры и накладки на расстоянии 250 мм от нижней опоры.

Характерно и закономерно также увеличение грузоподъемности расчетной схемы при перемещении накладок в пучность упругой линии прогиба при прогнозируемой потере устойчивости по первой форме для всех трех рассмотренных видов граничных условий.

Библиографический список

1. **Феодосьев, В.И.** Сопротивление материалов/ В.И. Феодосьев./Изд. 10-е, перераб. и доп.—М.: Изд. МГТУ, 1999.—592 с:
2. **Филатов, Ю.Е.** Руководство к лабораторным работам по сопротивлению материалов/ Ю.Е. Филатов, Л.Н. Крайнова // ФГБОУВПО ИГЭУ.– Иваново, 2007. – 72 с.

*Д. В. Коренов, студ.; рук. И.А. Белов, ст. преп.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ШЕСТИКОМПОНЕНТНЫЙ ТЕНЗОРЕЗИСТОРНЫЙ ДАТЧИК СИЛ И МОМЕНТОВ

Для определения реальных эксплуатационных нагрузок используются датчики – устройства, преобразующие измеряемую величину в электрический сигнал для последующей передачи, регистрации и обработки, в том числе датчики усилий (сил и

моментов). По принципу действия датчики усилий классифицируют на механические, тензорезисторные, пьезоэлектрические [1].

Особую актуальность проблемы создания датчиков приобретают в связи с широким размахом научных исследований (в энергетике, машиностроении, космонавтике) и растущими потребностями материального производства, внедрением автоматизированных систем управления в различных отраслях техники [2].

Цель работы создание проекта шестикомпонентного тензорезисторного датчика сил и моментов (6-axis force/moment sensor). Такие датчики позволяют измерять 3 компоненты силы по 3 ортогональным осям и 3 компоненты момента вокруг этих трех осей. Многокомпонентный датчик сил/моментов может применяться в очувствленных звеньях роботов (манипуляторов, роботов-гуманоидов) [3], в сборочной и технологической оснастке машиностроительного комплекса и т.п.

Принцип действия тензорезисторного датчика усилий (рис. 1) основан на измерении изменения сопротивления тензорезисторов 2, наклеенных на упругое тело 1, которое под действием силы и/или момента деформируется и деформирует размещенные на нем тензорезисторы. Измерительная цепь 3 преобразует изменение сопротивления ΔR в выходной электрический сигнал $U_{вых}$. Датчики, построенные на тензорезисторах, имеют высокую надежность, малые габариты и вес.



Рис. 1. Структурная схема датчика усилий: 1 – упругий элемент; 2 – тензорезистор; 3 – измерительная цепь

Конструкция упругого элемента (УЭ) датчика усилий может быть выполнена в виде кольца, мембраны, балки, консоли. Широкое распространение получили конструкции в виде стержня (или нескольких стержней). В зависимости от исполнения, датчики усилия можно подразделить на датчики со стержневым, кольцевым, мембранным, балочным упругим элементом.

В тензорезисторных датчиках силы получили распространение две измерительные цепи: неравновесный мост (мост Уитстона) и делитель

напряжения. Мост Уитстона представляет собой 4 тензорезистора, соединенных в электрический мост.

Важную роль играет выбор тензорезистора. Для выбора тензорезистора, необходимо учитывать не только электрические характеристики, но и материал проводника, подложки, способ аппликации.

В ходе работы определены этапы проектирования: выбор типа УЭ, выбор рабочих параметров датчика, разработка и оптимизация УЭ с использованием КЭ анализа в ANSYS Workbench, подбор тензорезисторов и клея для их аппликации.

Разработан проект шестикомпонентного тензорезисторного датчика сил и моментов. Построена геометрическая модель и проведен эксперимент по приложению усилий к упругому телу датчика. Возникающие деформации и напряжения не превышают допустимых. С целью оптимизации конструкции, допустимо уменьшение толщины ламелей и изменение материала упругого тела датчика. Проанализирована схема включения тензорезисторов в общую измерительную цепь и определены места аппликации тензорезисторов. Обеспечена поперечная независимость измерительных каналов друг на друга. Выбран тип тензорезисторов для аппликации.

Библиографический список

1. **Экспериментальная** механика: В 2-х книгах: Книга 1. Пер. с англ./ Под ред. А. Кобаяси. М.: Мир, 1990. 616 с.
2. **Проектирование** датчиков для измерения механических величин / Под ред. Е.П. Осадчего. – М.: Машиностроение, 1979. – 480 с., ил.
3. **G.S. Kim**, Design of a six-axis wrist force/moment sensor using FEM and its fabrication for an intelligent robot, *Sensors and Actuators A:Physical*, 133 (1), 27-34.

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

РАСЧЕТ ВИБРАЦИИ НА БЛОК УПРАВЛЕНИЯ ПРИВОДОМ РАКЕТЫ

Блок управления является электронной системой и предназначен для управления приводами закрылок ракеты. Во время полета ракеты возникает турбуленция, которая вызывает вибрацию ракеты, губительную для электроники.

Целью работы является расчет прочности аппаратного блока. Для этого необходимо оценить расчетные инерционные нагрузки (перегрузки) при воздействии на блок случайной вибрации, возникающей при натурной эксплуатации. В качестве модели блока, показанной на рис.1, принимается масса, прикрепленная к основанию пружиной. Случайная нагрузка на блок может действовать в двух вариантах[1]: непосредственно на блок (рис.1, а) и через узлы крепления на основании (рис.1, б).

Для расчетов принимаются исходные данные: $f_0=40$ Гц – собственная частота установки; $T = 200$ ч – время работы; $\delta = 0,3$ – логарифмический декремент колебаний (физическая величина, описывающая уменьшение амплитуды колебательного процесса); m – масса блока; k – жесткость установки блока, Н/мм; c – коэффициент демпфирования, Нс/мм; $S_{\xi}(\omega) = 2 \dots 2000$ Гц – спектральная плотность вибрации.

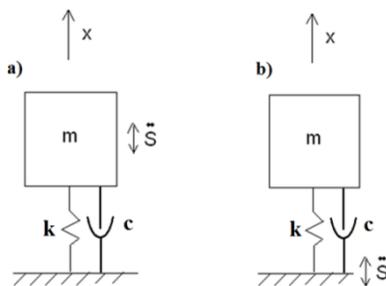


Рис.1. Модель блока управления: а) вибрация, действующая на блок; б) вибрация, действующая на основание

Записывается уравнение движения груза для двух случаев. Во-первых, когда вибрация действует на блок (рис. 1, а), уравнение выглядит следующим образом

$$m\ddot{x} + c\dot{x} + kx = -m\ddot{s},$$

во-вторых, когда вибрация действует на основание (рис. 1, б)

$$m\ddot{x} + c(\dot{x} - \dot{s}) + k(x - s) = 0,$$

где m – масса блока, k – жесткость крепления, c – коэффициент демпфирования.

Берется единичное возмущение в комплексном виде

$$\ddot{s} = e^{i\omega t} = \sin(\omega t) + i\cos(\omega t),$$

где i – мнимая единица.

Передаточная функция показывает связь колебаний основания с блоком [2]. Для двух случаев она принимает вид:

$$\Phi_{\ddot{x}}(\omega) = \frac{\omega^2}{(-\omega^2 + \frac{k}{m})^2 + i\frac{c\omega}{m}},$$

$$\Phi_{\ddot{x}}(\omega) = \frac{1}{(-\omega^2 + \frac{k}{m})^2 + i\frac{c\omega}{m}}.$$

Спектральную плотность ускорения массы определяется из выше приведенных уравнений

$$S_{\ddot{x}}(\omega) = (|\Phi_{\ddot{x}}(\omega)|)^2 \cdot S_{\xi}(\omega).$$

Среднеквадратичное значение суммарного ускорения массы блока:

$$\sigma_{\ddot{x}} = \sqrt{\int_2^{2000} S_{\ddot{x}}(f) df}.$$

Эксплуатационная перегрузка определяется из выражения:

$$n_p = 1 + \sigma_{\ddot{x}} \sqrt{2 \ln(f_0 T)}.$$

Расчетная нагрузка определяется по формуле

$$n_p = n_p \eta,$$

где η – коэффициент безопасности (запаса), для наземных условий $\eta = 2$.

Подставив исходные данные, получим расчетную нагрузку для двух случаев, когда вибрация действует на блок и на основание:

$$n_p = 105,373 \text{ мм/с}^2,$$

$$n_p = 68,907 \text{ мм/с}^2.$$

Из этих значений видно, что при действии вибрации на блок, нагрузка получается больше, чем при действии через основание.

В ходе работы проведено исследование влияния места приложения вибрации на блок управления приводом и проведены расчеты нагрузки на блок при каждом из возможных случаев.

Библиографический список

1. Кренделл, С. Случайные колебания. – М.: Мир, 1967. – 356 с.
2. Тимошенко, С.П. Колебания в инженерном деле. – М.: Физматгиз, 1959.

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

РАСЧЕТ ЧАСТОТНЫХ ДИАГНОСТИЧЕСКИХ ПРИЗНАКОВ ДЕФЕКТОВ ЗУБЧАТЫХ ПЕРЕДАЧ

В качестве объекта принят двухступенчатый цилиндрический косозубый редуктор общепромышленного назначения приводимый трехфазным асинхронным (АЭД) электродвигателем.

Проведен статистико-вероятностный расчет контактной и изгибной прочности ступеней зубчатой передачи при условиях нормального распределения действующих в передаче напряжений и пределов выносливости под рекомендуемые коэффициенты запаса. Оценено изменение вероятности работоспособного состояния в зависимости от дисперсии нагрузочных характеристик и предела выносливости. Установлены предельные границы изменения случайных величин для обеспечения требуемого уровня надежности.

Сделан вывод о том, что вероятность работоспособного состояния отражает основные качественные особенности оценки прочностной надежности. Для повышения надежности необходимо увеличивать предельные напряжения, а также уменьшать СКО действующих s_1 и предельных s_2 напряжений, но большее внимание следует уделять материалу из которого будет изготовлена передача.

Системным недостатком проектно-конструкторских работ является отсутствие рекомендованных к использованию виброанализирующих технических средств. В работе выбор приборных средств произведен исходя из разрешающей способности прямого спектрального анализа при выполнении условия выделения максимального числа информативных частот дефектов.

Для этого произведен расчет частот дефектов редуктора и электродвигателя. После анализа рассчитанных частот появления дефектов можно отметить, что общий диапазон изменения частот от 5,46 до 8667 Гц. Весь частотный диапазон можно условно разделить на 3 полосы: низкочастотный (НЧ) - до 100 Гц, среднечастотный (СЧ) от 100 до 2000 Гц и высокочастотный (ВЧ) - более 2000 Гц. Распределение вероятностей появления признаков дефектов в диапазонах приведены на рис. 1.

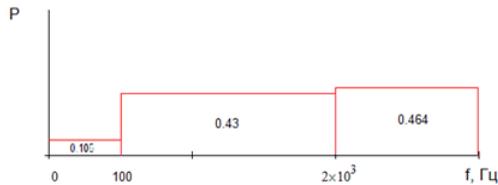


Рис. 1. Вероятности появления признаков дефектов в частотных диапазонах

Из полученных данных видно, что большее количество частот дефектов зубчатой передачи находится в среднем и высоком диапазоне частот. Приведена гистограмма частот для всех расчетных дефектов с шириной спектральной линии 5 Гц для СЧ диапазона (рис. 2).

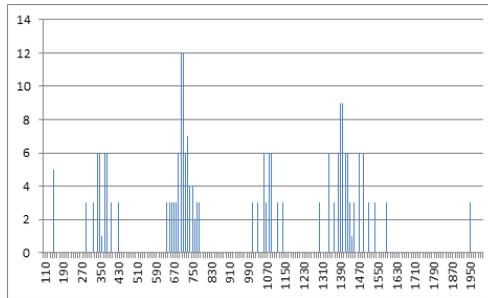


Рис. 2. Распределение информативных частот в СЧ диапазоне зубчатой передачи с шириной спектральной линии 10 Гц

Из анализа гистограммы видно, в каждой из групп в одну полосу частот шириной 10 Гц могут попадать от 1 до 12 частот, что затрудняет диагностику. Поэтому ширина спектральной линии виброанализатора должна быть не более 10 Гц.

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ ДИАГНОСТИРОВАНИЯ ОСНОВНЫХ ДЕФЕКТОВ РОТОРНЫХ МАШИН

Основными задачами вибродиагностики являются контроль работоспособности и определение вида дефекта. Контроль работоспособности предполагает проверку соответствия измеренных

значений вибрации требованиям ГОСТ 10816, а диагностирование дефектов производится, если запас работоспособности снизился или объект имеет ограниченную работоспособность. При этом производится:

- определение вида дефекта или совокупности дефектов, приведших к недопустимому снижению запаса работоспособности, и оценка глубины развития дефекта;
- назначение, при необходимости, дополнительных вибродиагностических процедур или испытаний при разных режимах работы объекта для уточнения диагноза.

Целью данной работы является разработка алгоритмов диагностирования дефектов центробежного вентилятора с консольным ротором. Алгоритм контроля и оценки работоспособности объекта по величине СКЗ виброскорости представлен на рис. 1.

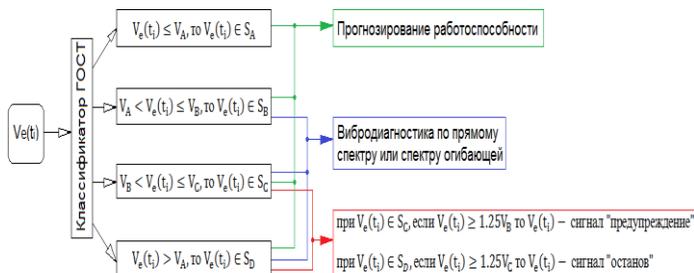


Рис. 1. Алгоритм оценки технического состояния оборудования по величине СКЗ виброскорости

Для вибродиагностики в качестве исходной информации используется временной дамп вибросигнала, прямой спектр виброскорости и спектр огибающей. Измерение проводится на подшипниковом узле электродвигателя, ближайшем к рабочему колесу по трем ортогональным направлениям (В, Г, О) и в тангенциальном направлении на корпусе электродвигателя привода.

Если после измерения уровня вибрации сделано заключение о нахождении объекта в состоянии В, С или D (ГОСТ 10816), то необходимо проводить анализ измеренного временного сигнала и частотного спектра с целью выявления дефектов. Разработаны алгоритмы диагностирования основных дефектов центробежного механизма.

Для примера на рис. 2 представлен алгоритм диагностирования дисбаланса рабочего колеса вентилятора.

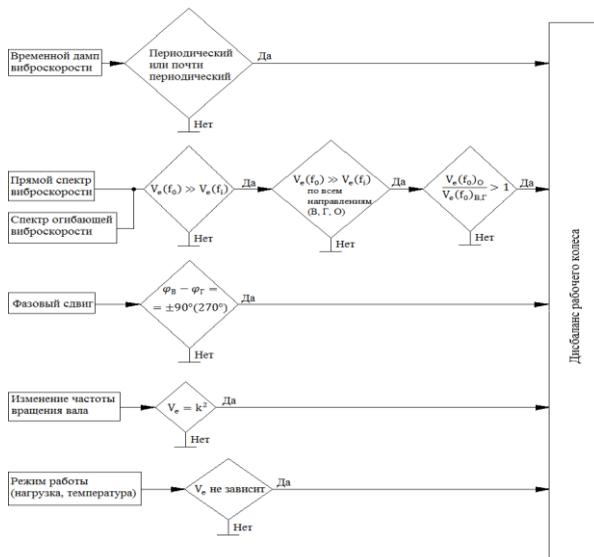


Рис. 2. Алгоритм идентификации дефекта «Дисбаланс рабочего колеса»

Предложенные алгоритмы сопровождались расчетом частотных диагностических признаков дефектов и подтверждены практическим измерением и частотным анализом вибрации объекта.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ ПНЕВМОЦИЛИНДРИЧЕСКОГО КЛАПАНА В УСЛОВИЯХ НИЗКИХ ТЕМПЕРАТУР

Известно, что клапаны с пневмоуправлением устанавливаются на трубопроводы в качестве отсечных запорных клапанов. Работа клапана основана на действии пневматического цилиндра. Поршень цилиндра, при подаче в его полость, выдвигается или задвигается, обеспечивая открытие или закрытие потока рабочей среды. Пневмоцилиндрический седельный клапан VZXF(VZXF-L-M22C-M-A-G2-CS), разработанный немецкой компанией FESTO, предназначен для регулирования газообразных или жидких сред в открытых или замкнутых контурах. Клапан состоит из корпуса, штока, плунжера, уплотнения, привода и поршня (рис.1).

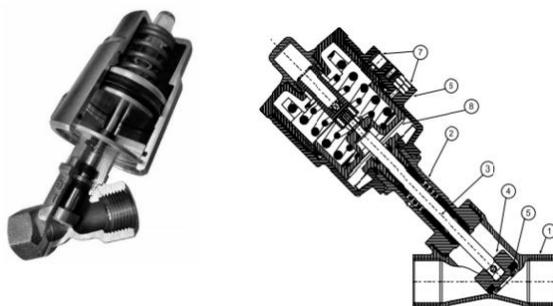


Рис. 1. Клапан: 1,2 – корпус, 3 – шток, 4 – плунжер, 5 – уплотнение, 6 – привод, 7 – присоединение привода, 8 – поршень.

Целью испытания, проводимая на предприятии, является проверка работоспособности изделия при комнатной температуре ($+20\pm 3^\circ\text{C}$). Исследования определяют утечку воздуха по методу отсеченного объема и по показаниям приборов;

Изделие устанавливается в криогенную камеру, температура понижается до $-30\pm 1^\circ\text{C}$, изделие выдерживается при данной температуре 30 минут, проводится срабатывание изделия 5 раз, проверяется его работоспособность. Температура понижается до -40°C , -50°C , -60°C , выдерживается 30 минут и проводятся аналогичные замеры.

Проведенный эксперимент показывает, что изделие при температуре $+20^\circ\text{C}$, сохранило работоспособность, срабатывало без сбоев, но с задержкой 2 секунды, утечки зафиксированы не были. При температурном диапазоне от -30°C до -50°C клапан сохранил работоспособность, но задержка срабатывания сохранилась на уровне 2 секунд, утечка при этом составляла 0,03-0,035 л/мин. При температуре -60°C клапан сохранил работоспособность, но задержка срабатывания сохранилась на уровне 2 секунд, утечка при этом составляла 0,07 л/мин (табл. 1).

Таблица 1. Результаты испытания

п/п	Температура(°С)	Время срабатывания клапана (с)	Утечка(л/мин)
1	-30	3	0,03
2	-40	2,7	0,035
3	-50	2,3	0,035
4	-60	2	0,07

По результатам испытания можно сделать вывод, что данное изделие признано исправным и прошедшим низкотемпературные испытания до -60 градусов, так как утечка 0,07 л/мин является незначительно и входит в поле допусков на утечку. Задержка в 2 секунды признана не существенной, так не влияет на технические процессы в установке в целом.

Библиографический список

1. ГОСТ 28198-89 . Методика низкотемпературных испытаний. - Введ. 2007-01-01.- М.: Стандартинформ, 2006.-20 с.

А.В. Калачева, К.П. Бондарев, студ.; рук. А.В. Круглов., асс. (ИГЭУ, г.Иваново)

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ПОКАЗАТЕЛЕЙ МЕХАНИЧЕСКИХ ИСПЫТАНИЙ АРМАТУРНОГО ПРОКАТА

Арматура (арматурный прокат или металлопрокат) представляет собой металлический пруток определенного диаметра и длины, произведенный из стали различных марок в соответствии с требованиями стандарта. Производство железобетона по европейским технологиям предполагает использование арматурного проката, обладающего новыми качественными параметрами.

В работе рассматривается арматурный прокат периодического профиля класса В500С, произведенный с помощью волочильного стана из катанки с номинальным диаметром 9,0 мм. Волочильный стан - машина для обработки металлов волочением, состоящий из двух элементов: волоки и тянущего элемента.

Целью работы является проверка механических параметров арматурного проката на соответствие значениям, указанным в ГОСТ 52544.

На универсальной испытательной машине Zwick/Roell Z 150 (рис.1) проводятся испытания механического нагружения, создаваемого электромеханическим или гидравлическим приводом, с плавным, статическим, нарастающим или сменным нагружением. В процессе испытаний определяются механические параметры образцов. Форма образца – стержень. При нагружении образца основными параметрами являются усилие, момент, деформация, время и частота. В зависимости от величины основных параметров испытания образец может быть разрушен или нет.



Рис. 1. Испытательная машина Zwick/Roell Z 150

К механическим параметрам относятся:

- 1) относительное удлинение δ_p , % – представляет собой отношение приращения длины образца после его разрыва к первоначальной расчетной длине;
- 2) временное сопротивление σ_b , МПа – максимальное механическое напряжение, выше которого происходит разрушение металла, подвергаемого деформации;
- 3) предел текучести $\sigma_{0,2}$, МПа – напряжение, при котором остаточная деформация образца достигает определенного значения, установленного техническими условиями;
- 4) отношение $\sigma_b / \sigma_{0,2}$, не менее 1,05%.

В качестве примера приведем результаты механических испытаний образца арматурного проката (табл. 1), произведенного на волочильном стане при скоростных настройках 0,2 м/с.

Таблица 1. Результаты механических испытаний

№ образца	σ_B МПа	$\sigma_{0,2}$ МПа	$\sigma_B / \sigma_{0,2}$	δ_p %
1	613	556	1,10	1,1
2	614	561	1,09	0,9
3	619	564	1,10	1,1
Среднее	620	569	1,09	1,1
Мин.	613	556	1,08	0,9
Макс.	640	589	1,10	1,2
Норма	≥ 550	≥ 500	$\geq 1,05$	$\geq 2,0$
Оценка	ok	ok	ok	-

Поскольку механические параметры арматурного проката в случае получившихся в результате механических испытаний не соответствуют номинальным значениям ГОСТ 52544, принято решение не использовать катанку номинальным диаметром 9,0 мм для изготовления арматуры класса В500С. Однако при увеличении скоростных настроек волочильной линии до 4 м/с, при производстве арматурного проката, дают нам изменение геометрических свойств. В этом случае механические параметры будут соответствовать требованиям ГОСТа [1].

Библиографический список

1. ГОСТ 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. – Введ. 2007–01–01. – М.: Стандартинформ, 2006. – 20 с.

*Д.С. Будаев, студ.; рук. Л.Н. Крайнова, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ПОВЕРХНОСТНАЯ ЗАКАЛКА ВАЛА РЕДУКТОРА ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ

Закалка – распространенный процесс термической обработки стальных деталей. Из современных методов поверхностной закалки наибольшее распространение в машиностроении находят следующие: закалка при нагреве токами высокой частоты (рис. 1); пламенная закалка и закалка в электролите.

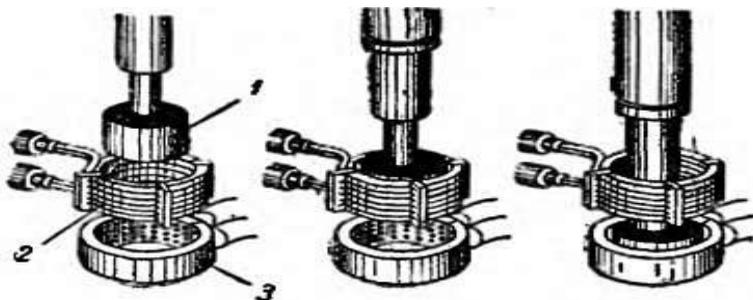


Рис.1. Закалка токами высокой частоты: 1 – деталь; 2 – многovitковый индуктор; 3 – охлаждающее устройство

Нагрев изделий токами высокой частоты вызывает разогрев поверхностного слоя изделия. Это объясняется тем, что токи высокой частоты распространяются с неравномерной плотностью по сечению. Благодаря этому возникает большая плотность тока у поверхности изделия, вызывающая весьма быстрый разогрев поверхностных слоев металла. Применяемый для этой цели электрический ток получают от специальных генераторов, дающих переменный ток с частотой до 10 млн. гц (т.е. перемен направления тока в секунду) [1].

В данной работе была выбрана сталь марки 40ХН2МА, с характеристиками: удельный вес: 7850 кг/м³, температураковки, °С: начала 1220, конца 800, твердость материала 270НВ. Готовая деталь помещается в индуктор, по которому проходят токи высокой частоты и большой силы. В следствии этого деталь быстро нагревается до температуры 1200-1300 °С. Охлаждение нагретой детали осуществляется чаще всего либо дополнительным дождевым устройством, либо водой, циркулирующей внутри индуктора.

При нагреве и охлаждении температура в стержне распределяется неравномерно (рис. 2).

После поверхностной закалки токами высокой частоты (ТВЧ) на 1,6 мм твердость поверхностного слоя увеличилась до 305...320 НВ. Центр вала остался прежним. Шлифование валов выполняют круглым или бесцентровым способами, причем подача может быть продольной или поперечной. Продольную подачу применяют для шлифования длинных валов.

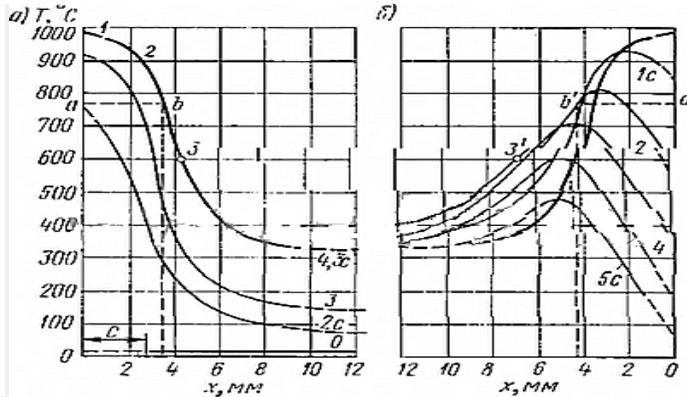


Рис. 2. Распределение температуры

В ходе работы изготовлен вал редуктора и произведена закалка поверхностного слоя, токами высокой частоты. В результате закалки твердость поверхностного слоя была увеличена.

Библиографический список

1. **Дмитриев, А.В.** . Промышленное применение токов высокой частот/ А. В. Дмитриев / Машиностроение. Том 13. 1973. – 264 с.
2. Основы технологии машиностроения: учебник для вузов / Под ред. В. С. Корсакова // изд. 3-е, доп. и перераб. Машиностроение, 1977. – 416 с.

*К.И. Евграфова, студ.; рук. А.В. Круглов, асс.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

АНАЛИЗ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АРМАТУРНОГО ПРОКАТА

Современное производство железобетона по европейским технологиям предполагает использование арматурного проката класса В500С, обладающего новыми качественными характеристиками в сравнении с традиционными видами арматуры. Это позволяет придать железобетонным конструкциям новые механические свойства, отвечающие повышенным требованиям к безопасности строительных зданий и сооружений.

В работе рассматривается арматурный прокат периодического профиля класса В500С, произведенный из катанки (форма вязкого материала в виде прутка) с номинальным диаметром 9,0 мм (рис.1).

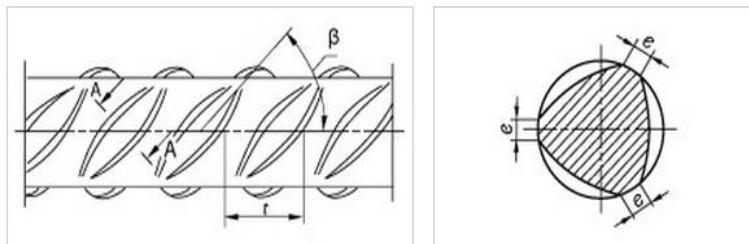


Рис.1. Периодический профиль холоднодеформированного арматурного проката, где t , мм – шаг поперечного ребра; β – угол наклона поперечного ребра; e , мм – расстояние между концами поперечных ребер

Арматурный прокат периодического профиля (арматура) представляет собой стержни с равномерно расположенными на их поверхности под углом к продольной оси поперечными ребрами для улучшения сцепления с бетоном. Рассматриваемый арматурный прокат произведен на территории ГК "Дипос" ООО "Верхневолжский сервисный металло-центр".

Целью работы является проверка соответствия геометрических параметров полученного арматурного проката номинальным значениям, указанным в ГОСТ 52544[1], при шести разных настройках волочильной линии. Волочильная линия (волочильный стан) – машина для обработки металлов волочением. Волочильный стан состоит из двух основных элементов: рабочего инструмента – волоки и тянущего устройства, сообщающего обрабатываемому металлу движение через волоку. Волока – инструмент волочильных станков, в котором осуществляется обжатие металла при его обработке волочением.

К геометрическим параметрам арматурного проката относятся: 1) Высота ребра h , мм – расстояние от верхней точки поперечного ребра поверхности тела проката, измеренное перпендикулярно к его оси. 2) Шаг поперечного ребра t , мм – расстояние между двумя соседними поперечными ребрами, измеренное вдоль оси проката. 3) Угол наклона поперечного ребра β – угол, между осью поперечного ребра и продольной осью проката. 4) Суммарное расстояние между концами поперечных ребер $\sum_{i=1}^3 e_i$, мм – сумма расстояний между концами поперечных ребер, измеренных в плоскости, перпендикулярной к оси проката. 5) Ширина поперечных ребер b – размер по верху

трапецевидного поперечного сечения ребра в его сечении, перпендикулярном к оси ребра. 6) Относительный шаг поперечных ребер t/b – результат от деления расстояния между двумя соседними поперечными ребрами на ширину поперечных ребер. 7) Относительная площадь смятия поперечных ребер периодического профиля f_R – площадь проекции поперечных ребер на плоскость, перпендикулярную к оси проката, отнесенная к произведению длины окружности номинального диаметра на фактический средний шаг этих ребер.

Проверка полученного арматурного проката производилась с помощью индикатора часового типа ИЧ-10. Индикатор часового типа ИЧ-10 предназначен для точного измерения линейных размеров, а также определения величины отклонения от взаимного расположения поверхностей и заданной геометрической величины. В работе использовался ИЧ с параллельным перемещением измерительного стержня по шкале.

В результате измерений высота ребер, относительный шаг, угол наклона поперечных ребер и другие параметры оказались меньше значений номинальных параметров, указанных в ГОСТ.

На основании проведенной исследовательской работы принято решение не использовать катанку номинальным диаметром 9,0 мм для изготовления арматурного проката В500С номинальным диаметром 8,0 мм. Используя слишком малый диаметр проката невозможно получить аттестованную по ГОСТ арматуру.

Библиографический список

ГОСТ 52544-2006. Прокат арматурный свариваемый периодического профиля классов А500С и В500С для армирования железобетонных конструкций. - Введ. 2007-01-01.- М.: Стандартинформ, 2006.-20 с.

*А.Л. Гришин, студ.; А.С. Шмелев, студ.;
рук. Т.В. Шмелева, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, ИГХТУ, ИВГПУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТ НА ПРОЧНОСТЬ И ЖЕСТКОСТЬ СЪЕМНОГО ВАЛИКА УСТРОЙСТВА РЕГЕНЕРАЦИИ ШЛЯПОЧНОГО ОЧЕСА

В кардной и гребенной системах прядения хлопкового волокна, как в чистом виде, так и в смеси с химическими волокнами чесание волокнистого материала производится на чесальных машинах со шляпками [1].

Устройство регенерации предназначено для переработки шляпочного очеса в процессе его выделения на чесальной машине. Устанавливается в месте съема шляпочного очеса со шляпочного полотна чесальной машины.

В процессе непрерывной регенерации происходит расчесывание и дискретизация волокна шляпочного очеса, очистка его от сорных примесей и возврат регенерируемого волокна в основной технологический процесс. Устройство приведено на рис.1.

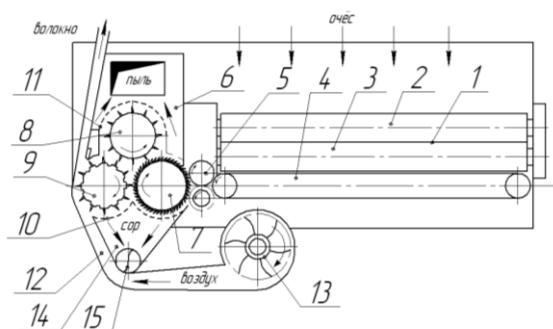


Рис.1. Устройство регенерации шляпочного очеса

Устройство содержит приемно-передающий механизм 1, состоящий из двух пар валков: верхней 2 и нижней 3, продольно смонтированных над горизонтальным подающим транспортером 4; узел питания 5; механизм сепарации 6, который состоит из разрабатывающего валика 7, имеющего пильчатую поверхность, передающего валика 8, имеющего игльчатую поверхность, и съемного валика 9, имеющего между рядами игл профильные канавки. Под барабанчиками 7 и 9 установлены колосниковые решетки 10, а над барабанчиком 8 – перфорированное ограждение 11. Барабанчик 9 углублен в пневмоканал 12, сообщающийся с вентилятором 13. В сороприемной камере 14 смонтирован шнек 15 [2].

В данной работе выполнен расчет плоскоременной передачи привода валков, а также расчет на прочность и жесткость съемного валика. Схема съемного валика приведена на рис. 2.

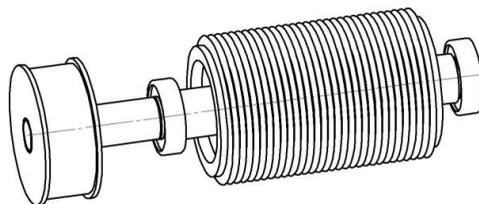


Рис. 2. Схема съемного валика

Полученные данные линейных перемещений сравнивали с фактическими разводками между валиками и колосниковыми решетками. Прогиб не должен превышать значений разводок. По полученным расчетам прогиб значительно меньше значения минимальной разводки 0,125...0,18 мм.

Библиографический список

1. **Борзунов И.Г.**, Бадалов К.И., Гончаров В.Г., Дугинова Т.А., Черников А.Н., Шилова Н.И. Прядение хлопка и химических волокон (проектирование смесей, приготовление холстов, чесальной и гребенной ленты): Учебник для вузов. М: Легкая и пищевая пром-сть, 1982. 376 с.
2. **Зарубин В.М.**, Шмелева Т.В., Полякова Е.В., Коврыгина С.В. и др. Устройство непрерывной регенерации шляпочного очеса на шляпочной чесальной машине. Пат. 140560 Российская Федерация, МПК D01G 15/72. Опубл.10.05.2014. Бюл. №13.

*Полякова А. М. курсант;
рук. Е. В. Зарубина, к.т.н, доц.; И. А. Краснов ст. преп.
(ИПСА ГПС МЧС России)*

РАСЧЕТ НАДЕЖНОСТИ НАСОСНЫХ УСТАНОВОК

Системы пожарного водоснабжения играют важную роль в решении задач противопожарной защиты современных объектов. Опыт строительства и эксплуатации противопожарного водоснабжения на объектах показывает, что существующие системы не всегда обеспечивают бесперебойную подачу достаточного расхода воды на пожаротушение, имеют недостаточную надежность, неудобны в эксплуатации [1]. Нами разработана компьютерная программа для определения показателей надежности элементов противопожарных насосных станций.

При комплектовании новых и реконструкции действующих противопожарных насосных станций необходимо принимать во внимание следующее.

Центробежные и осевые насосы обеспечивают плавную и непрерывную подачу перекачиваемой жидкости при высоких значениях КПД. Относительно несложное устройство этих насосов обеспечивает их высокую надежность и достаточную долговечность. Конструкция проточной части лопастных насосов и поверхностей трения допускает возможность перекачивания загрязненных жидкостей. Простота соединения с высокооборотными приводными двигателями способствует компактности насосного агрегата и повышению его КПД [1]. Именно лопастные и, в первую очередь центробежные, насосы получили наибольшее распространение в противопожарном водоснабжении. К недостаткам центробежных насосов следует отнести ограниченность их применения в области малых подач и высоких напоров, что объясняется снижением КПД при увеличении количества ступеней. Определенные сложности в эксплуатации насосных установок с центробежными насосами возникают также из-за необходимости их заполнения перекачиваемой жидкостью перед включением в работу [3].

В процессе эксплуатации насосы подвергаются воздействию большого количества факторов, которые можно подразделить на три основные группы. Это факторы конструктивные, технологические и эксплуатационные. При работе насосных станций информации об условиях эксплуатации, как правило, бывает не достаточно и в силу субъективных или объективных причин она имеет высокую степень неопределённости. При оценке надёжности систем с ограниченной информационной базой рекомендуется использовать статический метод прогнозирования надёжности [3].

При эксплуатации возможны следующие случаи состояния элементов систем: исправное состояние, работоспособное состояние, неработоспособное состояние, предельное состояние. Теоретически описать различные состояния технических систем можно, используя модель теории надёжности [2], рис. 1.



Рис. 1. Схема основных состояний элементов систем

В насосных станциях в системах водоснабжения основными элементами являются насосы, трубопроводы внутри станции, задвижки, обратные клапаны; электродвигатели насосов, пусковые и распределительные устройства, элементы автоматики и трансформаторы. Соответственно, и отказы могут делиться на отказы механической части и отказы электрической части. Главную задачу, которую выполняют насосы это обеспечение требуемого напора для водопотребителя. Они с определенной вероятностью не должны допускать перерывов в подаче воды либо эти перерывы должны быть не более одних суток.

Нами предлагается программа для расчета оценки надежности насосной станции упрощенным методом вычисления параметров надежности насосных станций.

Программа, написанная на языке Delphi, позволяет определить соответствие нормативной документации категорий надежности различных насосных станций.

Библиографический список

1. Кармазинов Ф. В., Курганов Ю. А., Кинебас А. К. и др. Изменение технологических показателей надежности работы насосов в процессе эксплуатации // Водоснабжение и сан. техника. 2005. № 11.
2. Найманов А.Я., Гостева Ю.В. УДК 628.1/192; 62/192; 628/16. Надежность насосных станций. Донбасская национальная академия строительства и архитектуры.
3. Ильин Ю. А. Расчет надежности подачи воды. — М.: Стройиздат, 1987. — 320 с.

Секция 24
МАТЕМАТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ
В ТЕХНИКЕ И ТЕХНОЛОГИЯХ

Председатель – д.т.н., профессор **В.Е. Мизонов**
Секретарь – к.т.н., доц. **А.В. Митрофанов**

К. В. Данилин, студ.; Р. И. Саубанов, студ;
рук. Р. Г. Хузяшев, к. ф.-м.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ
ЗАВИСИМОСТИ
РЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ АСИНХРОННОГО
ДВИГАТЕЛЯ
ОТ ИЗМЕНЯЮЩЕГОСЯ НАПРЯЖЕНИЯ

Изменение реактивной мощности потребляемой асинхронным двигателем из сети в зависимости от напряжения, которое в свою очередь, зависит от величины скольжения двигателя, является основой определения статической устойчивости асинхронных двигателей. Статическая устойчивость элементов электроэнергетических систем является одним из основообразующих понятий дисциплины «электромеханические переходные переходные процессы». При изучении этой дисциплины обычно используют учебник под авторством Веникова В. А. «Переходные электромеханические процессы в электрических системах». Стоит сказать, что первоначально, для неподготовленного заранее студента, материалы достаточно сложны к пониманию, так как используются сложные математические функции, моделирующие рассматриваемые критерии. Поэтому актуальна проблема упрощения таких задач, с целью легкого понимания упомянутой дисциплины студентами при первоначальном её изучении.

В соответствии с этим предложено аналитическое исследование зависимости реактивной мощности асинхронного двигателя на его зажимах от напряжения, при изменяющемся значении скольжения. Качественно подтверждена полученная зависимость путем построения кривой, связывающей требуемые параметры.

Рассматриваемая задача формулируется на основе модели электроэнергетической системы, включающей в себя источник энергии, сопутствующие элементы системы (генераторы, трансформаторы, линии), параметры которых не влияют на рассматриваемые величины и непосредственно сам асинхронный двигатель (далее АД).

Посредством закона Ома, зная электродвижущую силу источника энергии и комплексное сопротивление цепи, получим реальное значение напряжения в зависимости от скольжения. Аналитически получив и задав значения напряжения, мы можем качественно задаться зависимостью реактивной мощности АД от напряжения на его зажимах. А именно, с помощью токов рассеивания и намагничивания.

Так как реактивная мощность это мнимая величина, то и ее составляющие должны быть мнимые. Ток намагничивания тоже носит полностью мнимый характер, за счет реактивного сопротивления в его ветви.

Исходя из всего этого зададим выражение для реактивной мощности, потребляемой двигателем при разном напряжении.

В результате мы можем построить качественную кривую, которая будет состоять из двух простых составляющих и их результирующей (рис. 1).

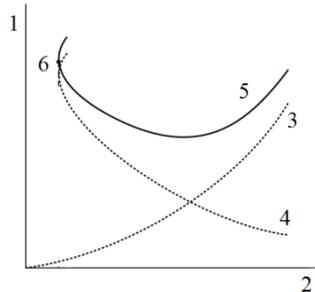


Рис. 1. График зависимости реактивной мощности асинхронного двигателя от изменяющегося напряжения: 1- значение реактивной мощности, потребляемое АД; 2- значение напряжения на зажиме АД, от напряжения на зажиме АД; 3-зависимость реактивной мощности АД, затрачиваемое на намагничивание, от напряжения на зажиме АД; 4- зависимость реактивной мощности АД, затрачиваемое на рассеяние; 5- зависимость реактивной мощности, потребляемое АД, от напряжения на зажиме АД; 6- точка, соответствующая напряжению, при напряжении ниже которого АД останавливается.

Итогом исследования стали, качественно построенные кривые, для параметров АД. Стоит сказать, что эти кривые взаимозависимы и при

наложении друг на друга образуют трехмерный график. Однако нам удалось упростить его и разделить на две простейшие функции, построенные в декартовой системе координат. Это еще раз подтверждает, что любую сложную задачу, можно решить с помощью правильного моделирования и упрощения, вследствие чего, можно решить ее с помощью знаний базовой математики и электротехники в частности.

Непосредственные выводы заключаются в следующем:

1. Нам удалось задать функцию описывающую поведение напряжения на зажимах двигателя при изменении его скольжения.

2. Мы смогли качественно построить кривую, описывающую функцию, о которой говорилось в предыдущем пункте, так как мы смогли легко определить вид функции.

3. С помощью найденной зависимости напряжения от скольжения, смогли упростить аналитический вывод и построение графика зависимости реактивной мощности асинхронного двигателя от напряжения.

4. Благодаря математически вычисленной функции реактивной мощности АД по напряжению, смогли построить качественную кривую описывающую эту зависимость.

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

ЯЧЕЕЧНАЯ МОДЕЛЬ ПРОТЕКАНИЯ ХИМИЧЕСКОЙ РЕАКЦИИ В ПСЕВДООЖИЖЕННОМ СЛОЕ

Проведение химических реакций в кипящем слое газ-твердое является типичным процессом химической технологии. Благодаря интенсивному стохастическому движению твердой фазы существенно повышается интенсивность тепло- и массообмена между частицами и газом, а, следовательно, и скорость химической реакции. Однако достоверное прогнозирование кинетики процесса и выбор его рациональных режимных и конструктивных параметров только на основе обобщения прямых экспериментальных исследований крайне трудоемок и продолжителен. Адекватное математическое моделирование процесса может значительно упростить и ускорить

решение этой задачи. Ниже рассматривается задача о кинетике процесса в периодическом кипящем слое, когда в нем происходит химическая реакция термического разложения $A \rightarrow B$ с тепловым эффектом q_m [дж/кг]. Решение ищется на основе ячеечной модели, в которой слой представлен совокупностью ячеек идеального перемешивания, а его текущее состояние – векторами столбцами концентрации частиц C , теплоты Q , температуры T и концентрации компонента A в частицах C_A . Для определенности будем считать, что реакция является эндотермической и имеет первый порядок с постоянной скоростью, зависящей от температуры по закону Аррениуса. Эволюция теплового состояния процесса описывается системой рекуррентных матричных равенств

$$T_g^{k+1} = M_g * [T_g^k - a_g(T_g^k - T_s^k) + \Delta T_{gf}], \quad (1)$$

$$T_s^{k+1} = M_s * [T_s^k + a_g(T_g^k - T_s^k) - \Delta T_q^k], \quad (2)$$

где a_g – вектор приведенных коэффициентов теплоотдачи от газа к частицам, ΔT_{gf} – вектор источников температуры (подача газа в первую ячейку цепи и его выход и последней ячейки), ΔT_q^k – вектор изменения температуры, вызванного поглощением теплоты на реакцию, индекс относится к газовой, а индекс к твердой фазе, k – номер временного перехода системы из одного состояния в другое продолжительностью Δt , M_g и M_s – переходные матрицы для газовой и твердой фазы, правила построения которых подробно описаны в работе [1].

Для того, чтобы описать вектор ΔT_q^k на достаточно универсальной и удобной для расчетов основе, воспользуемся следующими преобразованиями в уравнении кинетики реакции, которое имеет вид

$$dC_A/dt = -k_A C_A, \quad (3)$$

где C_A – концентрация вещества A , k_A – постоянная скорости реакции, которая зависит от температуры процесса. Пусть эта зависимость носит пороговый характер, то есть до некоторой температуры T_0 реакция не идет вообще ($k_A=0$), а при более высокой температуре (начиная с пороговой) справедлив закон Аррениуса. Тогда при $T > T_0$ она имеет вид

$$k_A = z_A \exp\left(-\frac{E_A}{R(T - T_0)}\right) = z_A \exp\left(-\frac{E_A}{R(T_g - T_0)} \frac{(T_g - T_0)}{(T - T_0)}\right) = z_A \beta^{\frac{(T_g - T_0)}{(T - T_0)}}, \quad (4)$$

где E_A – энергия активации.

Если использовать в качестве масштаба величину постоянной скорости при температуре газа

$$k_A(T_g) = z_A \exp\left(-\frac{E_A}{R(T_g - T_0)}\right), \quad (5)$$

то температурная зависимость для постоянной скорости при $T > T_0$ примет вид

$$k_A(T) = k_A(T_g) \beta^{\frac{(T_g - T_0)}{(T - T_0)} - 1}. \quad (6)$$

Используя разностную схему для уравнения (3) можно записать расчетное выражение для изменения концентрации после k -го перехода

$$C_A^{k+1} = C_A^k (1 - k_A(T_g) \beta^{\frac{(T_g - T_0)}{(T - T_0)} - 1} \Delta t), \quad (7)$$

которое позволяет рассчитать изменение массы вещества, поглощенную (эндотермическая реакция, $q_m > 0$) и связанное с ней изменение температуры ячеек

$$\Delta T_q^k = \frac{\Delta Q_q^k}{cm} = -q_{mr} C_A^k \beta^{\frac{(T_g - T_0)}{(T - T_0)} - 1}, \quad (8)$$

где $q_{mr} = q_m k_A(T_g) \Delta t / c$ – приведенный тепловой эффект реакции, c – теплоемкость ячейки.

Выражения (7), (8) могут быть записаны в векторной форме и объединены с равенствами (1), (2), что даст полную модель теплообмена и химической реакции в кипящем слое, которая позволяет на основе численных экспериментов выбирать рациональные параметры организации процесса.

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*, 2014, 32 (2) pp. 171 - 178

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

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЦЕПИ МАРКОВА НА ЗАТУХАНИЕ ПРОХОДЯЩЕГО ЧЕРЕЗ НЕЕ СИГНАЛА

Рассматривается задача о затухании проходящего через однородную цепь Маркова синусоидального сигнала, приложение которой имеет важное значение при исследовании подавления пульсаций подачи ключевого компонента в смеситель непрерывного действия. Цепь характеризуется числом ячеек m , симметричными вероятностями чисто стохастического (диффузионного) переноса d и вероятностями несимметричного (конвективного) переноса v , направленного в сторону возрастания номера ячеек цепи. Все операторы и параметры состояния цепи подробно описаны в работе [1]. Эволюция состояния цепи описывается рекуррентным матричным равенством

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

где \mathbf{S}^k – вектор вероятностей состояния в k -ом временном состоянии (k – номер временного перехода), \mathbf{S}_{in}^k – вектор порождения вероятности, содержащий ненулевой элемент только для первой ячейки, меняющийся по синусоидальному закону, \mathbf{S}_{out}^k – вектор гибели частиц в последней ячейке (расход выхода компонента из смесителя), являющийся объектом исследования, \mathbf{P} – матрица переходных вероятностей, являющаяся математическим образом смесителя.

На рис.1 показана эволюция состояния цепи при ее длине в 5 (а) и 10 (б) ячеек

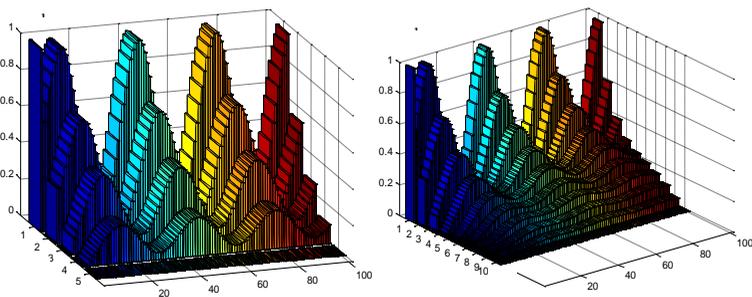


Рис.1. Эволюция состояния цепи при ее длине в 5 (а) и 10) ячеек

Как видно из рис.1, при увеличении количества ячеек цепи синусоида затухает сильнее и появляется постоянная составляющая. Кроме того, выходной сигнал сохраняет частоту, но изменяется фаза и увеличивается время переходного процесса.

На рис.2,3 показано влияние числа ячеек цепи на амплитуду выходного сигнала при различных параметрах диффузионного и конвективного переноса.

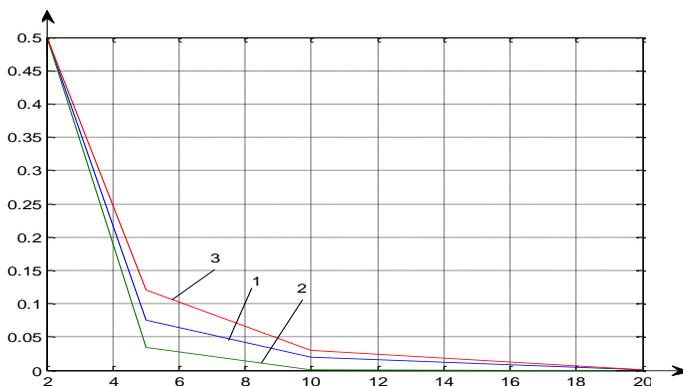


Рис.2. Зависимость амплитуды выходного сигнала цепи от числа ячеек:

Из рис.2 видно, что при увеличении коэффициента d затухание амплитуды выходного сигнала происходит несколько медленнее, а при уменьшении d – быстрее. Но при большом количестве звеньев в цепи этот эффект выражается слабее. Результат не противоречит физическому смыслу – при большом коэффициенте диффузии материал больше рассеивается по длине цепи и его выход становится более равномерным.

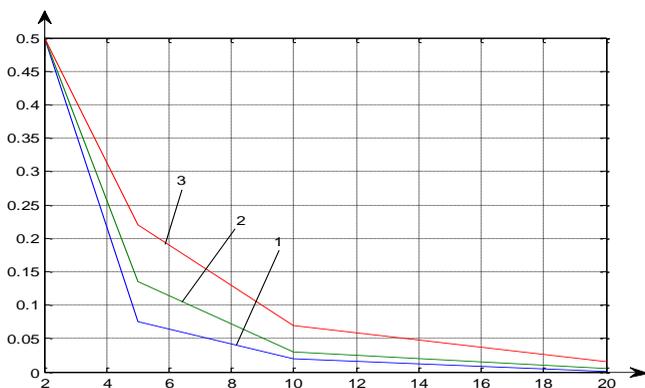


Рис.3. Зависимость амплитуды выходного сигнала цепи от числа ячеек:
1- $\nu = 0$; 2 - $\nu = 0,1$; 3 - $\nu = 0,3$

Как видно из рис.3, при наличии процесса конвекции, скорость которого сонаправлена с движением вещества, амплитуда затухает медленнее, т. к. большее количество вещества доходит до края цепи. Если уменьшить скорость или направить ее в противоположную сторону, то затухание увеличится, т.к. до края будет доходить меньшее количество вещества.

Выполненные расчетные оценки позволят обобщить модель на более подробное описание процесса и поиск путей подавления пульсаций.

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.

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

ПОСЛОЙНАЯ ЗАГРУЗКА КОМПОНЕНТОВ СМЕСИ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ В СМЕСИТЕЛЬ

Смешивание сыпучих материалов широко распространено в машиностроительной, фармацевтической, пищевой и других отраслях

народного хозяйства. Качество получаемых смесей влияет на характеристики и свойства конечного продукта. Проблемы, связанные с получением смесей высокой однородности, являются одними из самых ключевых в этой области научных исследований.

В производственных процессах с участием перемешивания часто применяют смесители периодического действия. В этом виде смесителя загрузка компонентов осуществляется однократно, объем компонентов фиксирован и ограничен размерами смесительной камеры. Загрузка компонентов обычно производится либо последовательно, один за другим, либо одновременно. При втором способе компоненты имеют возможность частично перемешаться, что положительно сказывается на продолжительности работы оборудования.

Настоящее исследование направлено на изучение иных способов загрузки компонентов в смеситель периодического действия (в частности, в вибросмеситель с вертикальным направлением возбуждения колебаний). Для построения математических моделей кинетики смешивания разнородных компонентов используется математический аппарат теории цепей Маркова, а для их верификации применяется разработанное на кафедре прикладной математики лабораторное оборудование.

Одним из способов создания однородной смеси сегрегирующих компонентов является их структурированная загрузка. Самым эффективным и производительным, на наш взгляд, является послонная загрузка компонентов. Схема одного из вариантов смесителя, осуществляющего такую загрузку, приведена в [1], а описание обобщенной математической модели кинетики формирования многокомпонентных смесей представлено в работе [2]. На их основе были получены результаты, представленные на рис.1, где приведена кинетика перемешивания (среднеквадратичное отклонение распределения ключевого компонента) при различном начальном распределении компонентов. Очевидно, что чем больше компоненты перемешаны при загрузке, тем быстрее и качественнее получается готовая смесь.

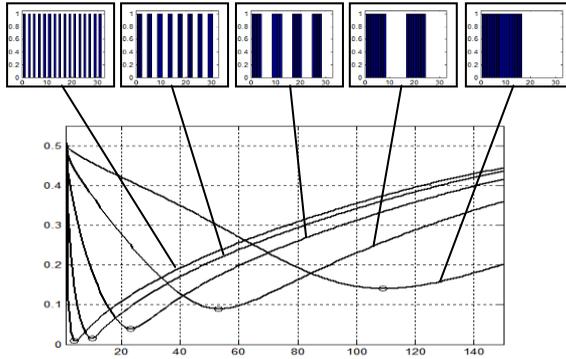


Рис.1. Кинетика перемешивания при различных начальных распределениях ключевого компонента ($d=0,1;v=0,2$)

На рис.2 показана схема лабораторного смесителя с послойной загрузкой и состояние смеси после окончания загрузки.

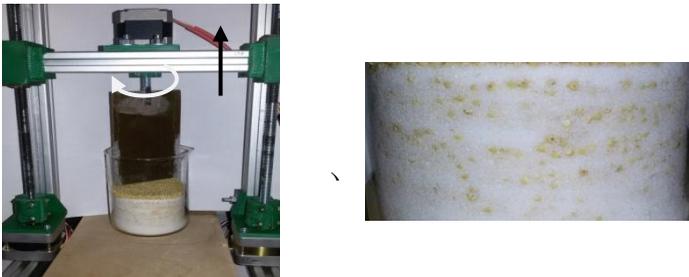


Рис.2. Лабораторный управляемый винтовой питатель:
а) схема установки; б) смесь пшено / соль после загрузки

На основании полученных данных можно утверждать, что структурированная загрузка позволяет получать смеси более высокой степени однородности. Однако осуществление этого способа загрузки частично увеличивает время рабочего полного цикла перемешивания.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684.

Библиографический список

1. 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

2.И.А. Балагуров, В.Е. Мизонов, Н. Berthiaux, С. Gatumel. Моделирование кинетики смешивания разнородных сыпучих материалов.// Вестник ИГЭУ. № 6, 2014, с.67-70

*А.В. Плаксин, студ.; рук. А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ТРАНСПОРТА ЧАСТИЦ ГАЗОВЫМ ПОТОКОМ

Ситуация, при которой осуществляется взаимодействие движущегося газового потока со слоем дисперсного материала, широко распространена при сжигании, пиролизе и газификации различных видов дисперсного топлива. При этом дисперсный материал может образовывать по мере увеличения расхода газа различные системы: неподвижный, псевдооживленный, пульсирующий слой [1,2].

Переход слоя из одного состояния в другое зависит от значений коэффициента сопротивления частиц λ , который в свою очередь зависит от режима обтекания частиц потоком, традиционно определяемого через число Рейнольдса Re [2]. Идентификации зависимости $\lambda=f(Re)$ посвящено значительное число научных работ, однако, материалы, для которых проводились исследования, характерны для использования в химической промышленности, число же задействованных в исследованиях видов твердого сыпучего топлива невелико [1,2]. По этой причине экспериментальное исследование взаимодействия газового потока с частицами различных видов дисперсного топлива с целью идентификации зависимости $\lambda=f(Re)$ представляется актуальным.

Экспериментальное исследование выполнялось с использованием стандартных методик, детально описанных в работе [2]. Реактор кипящего слоя был выполнен в виде цилиндрической акриловой колонны диаметром $D=0,92$ м. В аппарат загружалась смесь песка и эвкалипта массой 0,8 кг. Массовая доля частиц эвкалипта варьировалась от 0 до 15 % с шагом 2,5 %. Эквивалентный диаметр частиц песка составлял $d_1=0,332$ мм, эквивалентный диаметр частиц эвкалипта – $d_2=0,986$ мм. Для каждой смеси фиксировалась высота слоя $H_{\text{г}}$ при различных скоростях оживающего агента. Для

установленной высоты слоя $H_{\text{г}}$ рассчитывалось значение объемной концентрации частиц всех фракций C . Затем рассчитывались фактические значения числа Рейнольдса для j -ой фракции $Re_j(j=1,2)$.

$$Re_j = \frac{(1-C) \cdot U \cdot d_j}{\nu}, \quad (1)$$

где U – расходная скорость воздуха; d_j – диаметр частиц j -ой фракции; ν – кинематическая вязкость оживающего агента.

Скорость витания для частиц j -ой фракции может быть выражена через коэффициент межфазного трения между газом и частицами [2]:

$$\lambda_j Re_j^2 = \frac{4}{3} Ar_j, \quad (2)$$

где Ar_j – число Архимеда для частиц j -ой фракции.

Значение коэффициентов сопротивления для частиц песка, установленные из соотношения (2), приведены на рис. 1.

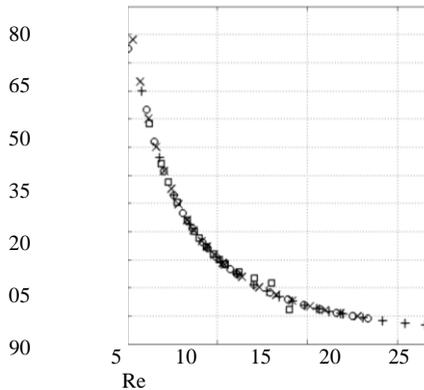


Рис. 1. Коэффициенты сопротивления частиц песка: x – чистый песок; o – смесь песка и эвкалипта (5 % частиц эвкалипта по массе); \square – смесь песка и эвкалипта (10 % частиц эвкалипта по массе); $+$ – смесь песка и эвкалипта (15 % частиц эвкалипта по массе)

Как видно из рис.1, экспериментальные точки не имеют значительного разброса, дальнейшая работа будет направлена на поиск аппроксимирующей зависимости $\lambda=f(Re)$.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684

Библиографический список

1. Бокун, И. А. Газификация низкосортных топлив в пульсирующем слое / И. А. Бокун, В. И. Чернышев // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика: международный научно-технический журнал. - 2011. - №4. - С. 40-45.
2. Митрофанов, А. В. Экспериментальное исследование гидродинамики частиц биотоплива в топке с кипящим слоем / А.В. Митрофанов, К. Таппоус, В.Е. Мизонов // Вестник ИГЭУ.– 2014.– № 3.– С. 65-67.

*Я.С. Рыжакова, студ.; рук. А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ВЕРИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЯЧЕЕЧНОЙ МОДЕЛИ МЕЖФАЗНОГО ТЕПЛООБМЕНА В КИПЯЩЕМ СЛОЕ

Теплообмен между движущимся потоком воздуха и слоем сыпучего материала имеет широкое распространение при реализации различных технологических процессов переработки дисперсного твердого топлива, что делает актуальной задачу поиска эффективных инструментов для описания параметров работы этих установок [1,2].

Одним из таких инструментов, на наш взгляд, является теория цепей Маркова, модели, построенные на основе которой, хорошо зарекомендовали себя при моделировании смежных процессов [2]. Разработанная модель позволяет рассчитывать расширение псевдооживленного слоя и распределение частиц по его объему, а также качественно непротиворечиво описывает межфазный теплообмен между газом и частицами.

Феноменологически теплообмен между оживающим газом и частицами твердого материала описывается уравнением [2]:

$$q = \alpha \cdot F \cdot \Delta T, \quad (1)$$

где α - коэффициент теплоотдачи от оживающего агента к твердой частице (или наоборот); F - поверхность теплообмена (поверхность твердых частиц); ΔT - разность температур оживающего агента и твердых частиц; q - количество теплоты, переданного в

единицу времени от оживающего агента к твердым частицам (или наоборот).

Однако количественная достоверность прогноза будет, с одной стороны, зависеть от выбора эмпирической зависимости $\alpha=f(\text{Re})$. С другой же стороны, из-за недостаточной изученности гидромеханических параметров псевдооживаения, при инженерных расчетах делается далеко идущее допущение, что по высоте слоя объемная концентрация твердой фазы постоянна, а значит, постоянна и интенсивность теплоотдачи. В то же время, результаты численного и натурального эксперимента показали неравномерность распределения концентраций и скоростей частиц по высоте аппарата в установившемся режиме работы [2]. Учет этой неравномерности необходим и при выборе наиболее достоверной зависимости $\alpha=f(\text{Re})$.

В данной работе проводится расчетно-экспериментальное исследование теплообмена в кипящем слое, направленное на проверку адекватности работы ячеечной модели [2] с использованием эмпирической зависимости А.В. Четкина [3] для расчета коэффициента теплоотдачи:

$$\text{Nu}=0,123 \cdot \text{Re}^{0,83}, \quad (2)$$

Nu – критерия Нуссельта ($\text{Nu} = \alpha \cdot d/\lambda$; d – средний диаметр оживаемой фракции; λ – коэффициент теплопроводности материала частицы).

Результаты расчетного и экспериментального исследований переходного процесса прогрева слоя показаны на рис. 1.

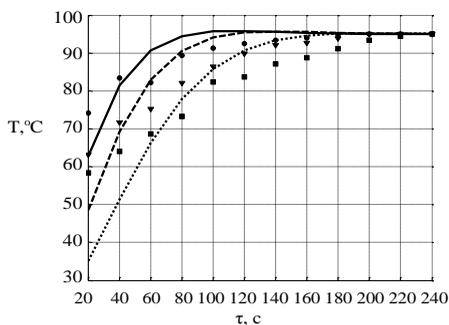


Рис. 1. Изменение температуры оживающего воздуха в различных по высоте сечениях слоя: 1 – 10 мм, 2 – 50 мм, 3 – 75 мм.

Таким образом, предложенные ранее математическая модель [2] и эмпирическая зависимость для расчета коэффициента теплоотдачи [3], являясь независимыми, обеспечивают хорошее соответствие расчетных и экспериментальных данных, а поэтому могут быть рассмотрены как достоверная научная основа компьютерного метода расчета псевдооживленного слоя.

Работа выполнена при поддержке грантом РФФИ №15-08-01684

Библиографический список

1. Бокун, И. А. Газификация низкосортных топлив в пульсирующем слое / И. А. Бокун, В. И. Чернышев // Известия высших учебных заведений и энергетических объединений СНГ - Энергетика: международный научно-технический журнал. - 2011. - №4. - С. 40-45.
2. 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.
3. Чечеткин А. В. Высокотемпературные теплоносители. – М.: ГЭИ, 1957. 168 с.

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

КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ВОДЫ И ВОДЯНОГО ПАРА

Для описания теплофизических свойств воды и водяного пара наряду с традиционными бумажными вариантами таблиц [1] все чаще используются их электронные, компьютерные версии.

Целью исследования является компьютерное моделирование теплофизических свойств воды и водяного пара на основе методов интерполяции табличных данных. Для достижения поставленной цели последовательно решены следующие задачи:

1. Разработка интерфейса пользователя для ввода исходных данных, позволяющего организовать ввод двух из четырех возможных параметров состояния.

2. Разработка для каждого варианта ввода исходных параметров математического описание решения задачи интерполяции, алгоритма реализации этого решения и его программной реализации.

3. Разработка интерфейса пользователя для организации наглядного вывода результатов решения задачи.

В работе представлено решение задачи интерполяции табличных данных [1] для области влажного насыщенного пара.

Вид диалогового окна для организации ввода исходных данных и пример организации вывода результатов расчета представлен на рис.1. Для выполнения расчета необходимо в поле ввода ввести значения двух выбранных параметров состояния из четырех возможных: давление, энтропия, энтальпия, степень сухости. Значение температуры в состоянии насыщения однозначно определяется давлением, и поэтому температура не используется в качестве входного параметра.

Если величина вводимого давления не совпадает с табличным значением, то расчет остальных параметров выполняется методом линейной интерполяции согласно выражению:

$$y(p) = y_i + \frac{y_{i+1} - y_i}{p_{i+1} - p_i} (p - p_i), \quad (1)$$

где p – давление, для которого определяется значение искомого параметра y , индексы $i, i+1$ – номера двух соседних узловых значений параметров ($p \in [p_i; p_{i+1}]$).

При вводе давления и степени сухости (x) все остальные параметры рассчитываются по алгоритму с использованием известных зависимостей вида

$$y = y' + x(y'' - y'), \quad (2)$$

где x – степень сухости ($x \in [0; 1]$); y' и y'' – параметры воды в состоянии насыщения и сухого насыщенного пара соответственно; y – анализируемый параметр влажного насыщенного пара.

Наиболее сложным и интересным случаем комбинации входных параметров является ввод энтальпии и энтропии. В данном случае сначала методом перебора согласно разработанному алгоритму определяется степень сухости для рассматриваемого состояния пароводяной смеси. Для этого перебирая значения давления, подбирается такое, при котором совпадают значения степеней сухости, найденных по значению энтальпии и по значению энтропии. По найденному таким образом значению давления согласно (2) находятся значения остальных параметров.

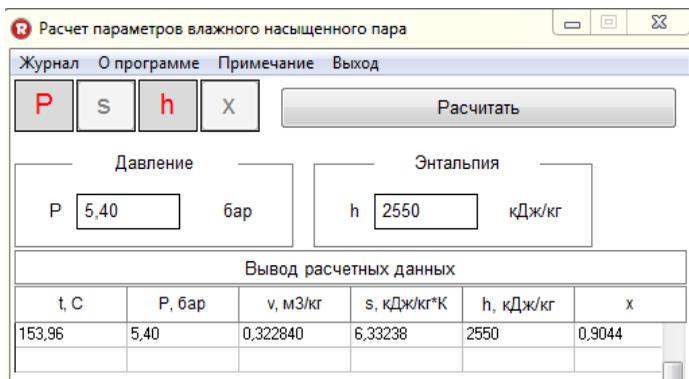


Рис. 1. Диалоговое окно программы

Разработанный алгоритм реализован в программный продукт. Результаты расчета, выполненного согласно разработанному алгоритму, показали приемлемую для инженерных расчетов точность определения параметров состояния воды и водяного пара.

Библиографический список

1. Ривкин С.Л., Александров А.А. Теплофизические свойства воды и водяного пара- М.: Энергия, 1980. - 424 с.

*Осипов Д.А., асп.; Тюленев А.С., студ.; Уланов Д.А., асп.
рук. проф. Жуков В.П.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ОПТИМИЗАЦИЯ ПЕРЕДАЧИ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ И ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЯХ

При решении транспортной задачи [1] выбираются оптимальные грузовые потоки из пунктов отправления в пункты потребления, которым соответствует минимум затрат на перевозки. Цель данного исследования состоит в том, чтобы оптимизировать потоки энергии от поставщиков к потребителям с минимальными затратами энергии или топлива при заданных электрической и тепловой нагрузках потребителей.

Предполагается, что тепловая и электрическая энергия вырабатывается n производителями (поставщиками), в качестве которых рассматриваются котельные или тепловые электрические станции. Сети заданной структуры обеспечивают передачу тепловой и электрической энергии m промышленным или бытовым потребителям. Поток электрической энергии от i -го производителя к j -му потребителю обозначим через $N_{i,j}$, поток тепловой энергии $-Q_{i,j}$. Суммарные нагрузки потребителей N_j, Q_j считаются заданными по условию задачи, при этом $\sum_i N_{i,j} = N_j, \sum_i Q_{i,j} = Q_j$.

В качестве целевой функции оптимизации выбирается минимальное значение суммарных затрат энергии (или топлива), которое обеспечивает заданные нагрузки всех потребителей. В качестве параметров оптимизации выбираются искомые транспортные потоки тепловой $Q_{i,j}$ и электрической $N_{i,j}$ энергии. Удельные затраты на генерацию и доставку электрической $c_{i,j}^N$ и тепловой $c_{i,j}^Q$ энергии от i -го производителя j -му потребителю определяются суммой затрат на выработку и передачу единицы энергии между этими элементами системы. Верхний индекс соответствует потокам электрической (N) и тепловой (Q) энергии. Для указания связей между элементами системы вводятся матрицы коммутации по тепловой ($K_{i,j}^Q$) и электрической ($K_{i,j}^N$) энергии размером $n \times m$, где n – количество источников, m – количество потребителей энергии. В рассматриваемой задаче все потребители и производители соединены между собой, то есть $K_{i,j}^Q = 1, K_{i,j}^N = 1$.

Сформулированная оптимизационная задача записывается в виде:

$$F = \sum_{i,j} (c_{ij}^N \cdot N_{ij} + c_{ij}^Q \cdot Q_{ij}) \rightarrow \min_{N_{ij}, Q_{ij}}, \quad (1)$$

$$\sum_i N_{ij} = N_j, \quad \sum_i Q_{ij} = Q_j.$$

Задача (1) с заданными ограничениями по суммарному потреблению энергии относится к задачам нелинейного программирования. Для ее решения в работе используются два метода: аналитическое решение ищется методом неопределенных множителей Лагранжа, а численное решение – методом статистического программирования.

Для решения задачи методом неопределенных множителей Лагранжа целевая функция (1) с учетом ограничений переписывается в виде:

$$\begin{aligned}
 F^* = & \sum_{i,j} ((a_{1ij}^N + a_{2ij}^N N_{ij}) k_{ij}^N N_{ij} + (a_{1ij}^Q + a_{2ij}^Q Q_{ij}) k_{ij}^Q Q_{ij}) + \\
 & + \sum_i I_i^N (\sum_j k_{ij}^N N_{ij} - N_i^{inp}) + \sum_i I_i^Q (\sum_j k_{ij}^Q Q_{ij} - Q_i^{inp}) + \\
 & + \sum_j m_j^N (\sum_i k_{ij}^N N_{ij} - N_j^{out}) + \sum_j m_j^Q (\sum_i k_{ij}^Q Q_{ij} - Q_j^{out}) \rightarrow \min_{N_{ij}, Q_{ij}}
 \end{aligned} \quad (2)$$

где a_1, a_2 –коэффициенты, характеризующие затраты на генерацию и транспорт энергии соответственно, $\lambda_i^N, \lambda_i^Q, \mu_j^N, \mu_j^Q$ – неопределенные множители Лагранжа. Решение задачи записывается следующим образом

$$\begin{cases} N_{i,j} = - \frac{\lambda_i^N + \mu_j^N + a_{1i,j}^N}{2 * a_{2i,j}^N} \\ Q_{i,j} = - \frac{\lambda_i^Q + \mu_j^Q + a_{1i,j}^Q}{2 * a_{2i,j}^Q} \end{cases}$$

где

$$\lambda_i^N = \frac{-N_i^{inp} - \sum_j \frac{k_{ij}^N * a_{1i,j}^N}{2 * a_{2i,j}^N} - \sum_j \frac{k_{ij}^N * \mu_j^N}{2 * a_{2i,j}^N}}{\sum_j \frac{k_{ij}^N}{2 * a_{2i,j}^N}}, \lambda_i^Q = \frac{-Q_i^{inp} - \sum_j \frac{k_{ij}^Q * a_{1i,j}^Q}{2 * a_{2i,j}^Q} - \sum_j \frac{k_{ij}^Q * \mu_j^Q}{2 * a_{2i,j}^Q}}{\sum_j \frac{k_{ij}^Q}{2 * a_{2i,j}^Q}} \quad (3)$$

$$\mu_j^N = \frac{-N_j^{out} - \sum_i \frac{k_{ij}^N * a_{1i,j}^N}{2 * a_{2i,j}^N} - \sum_i \frac{k_{ij}^N * \lambda_i^N}{2 * a_{2i,j}^N}}{\sum_i \frac{k_{ij}^N}{2 * a_{2i,j}^N}}, \mu_j^Q = \frac{-Q_j^{out} - \sum_i \frac{k_{ij}^Q * a_{1i,j}^Q}{2 * a_{2i,j}^Q} - \sum_i \frac{k_{ij}^Q * \lambda_i^Q}{2 * a_{2i,j}^Q}}{\sum_i \frac{k_{ij}^Q}{2 * a_{2i,j}^Q}}. \quad (4)$$

Неопределенные множители Лагранжа находятся из решения системы (3) и (4).

Численное решение оптимизационной задачи получено методом статистического программирования (метод случайного поиска), который является весьма эффективным применительно к задачам большой размерности. Преимущество такого метода заключается в простоте реализации алгоритма, а его недостаток – в отсутствие уверенности, что найденное решение является глобальным экстремумом целевой функции.

Пример решения задачи получен для следующих исходных данных. Общее количество производителей тепловой и электрической энергии

равно пяти ($n = 5$), а потребителей – семи ($m = 7$). Оптимальные потоки электрической и тепловой энергии, найденные в ходе решения задачи, представлены на рис.1. Значение целевой функции при численном и аналитическом решениях практически совпали.

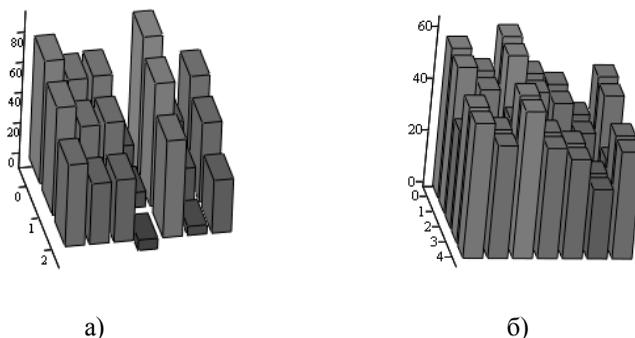


Рис. 1. Диаграммы оптимальных потоков энергии в электрических (а) и тепловых (б) сетях

Решение сформулированной оптимизационной задачи обеспечивает как комплексное повышение эффективности проектируемых энергетических систем, так и реализацию существенных резервов тепловой экономичности при эксплуатации уже существующих систем.

Библиографический список

1. **Вильсон А.Дж.** Энтропийные методы моделирования сложных систем. М.: Наука, 1978.

Д.Ю. Макаров, студ.;
рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.; *А.Е. Барочкин, к.т.н., доц*
(ИГЭУ, г. Иваново)

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МНОГОПОТОЧНЫХ ТЕПЛООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

Известна модель теплообмена в многопоточных теплообменных аппаратах [1], представленная в виде системы дифференциальных

уравнений для описания изменения температуры вдоль поверхности теплообмена для каждого теплоносителя. В предлагаемой работе сделана попытка получить для этой системы аналитическое и численное решения для их сравнения при разных направлениях движения теплоносителей. Дальнейший анализ без снижения общности описания проводится применительно к многоточным пластинчатым теплообменным аппаратам.

Рассматривается процесс теплопередачи для трех теплоносителей в ступени пластинчатого теплообменника. Анализ показал, что для трех теплоносителей возможны четыре схемы их относительного движения, структуры которых приведены в табл.1: прямоток-прямоток ($kod = 00$), прямоток-противоток ($kod = 01$), противоток-прямоток ($kod = 10$) и противоток-противоток ($kod = 11$). Первая цифра кода соответствует направлению относительного движения второго теплоносителя, а вторая цифра – третьего теплоносителя, цифра «0» кода соответствует прямотоку, а цифра «1» – противотоку. В качестве определяющей координаты процесса выбирается площадь поверхности теплообмена между теплоносителями F . Уравнения теплового баланса, составленные для трех теплоносителей на отрезке $[F, F + dF]$, позволяют записать систему трех дифференциальных уравнений относительно трех искомых температур теплоносителей t . В частности, для схемы движения потоков прямоток-прямоток ($kod = 00$) система дифференциальных уравнений принимает вид:

$$\begin{cases} dt_1/dF = -a_1(t_1 - t_2), \\ dt_2/dF = a_2(t_1 - 2t_2 + t_3), \\ dt_3/dF = a_3(t_1 - t_2). \end{cases} \quad (1)$$

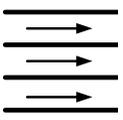
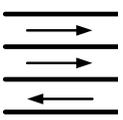
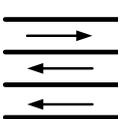
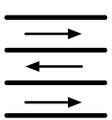
где $a_1 = k/(c_1G_1)$, $a_2 = k/(c_2G_2)$, $a_3 = k/(c_2G_2)$, c – удельная теплоемкость; k – коэффициент теплопередачи; G – расход теплоносителя.

Система (1) записана для случая совпадения направления движения каждого теплоносителя с направлением оси F . Для описания теплопередачи для других схем движения теплоносителей система уравнений (1) может быть переписана следующим образом. Если теплоноситель с номером i движется в противоположном направлении по отношению направления оси F , то правая часть i -го уравнения системы (1) умножается на минус единицу.

Для системы линейных однородных дифференциальных уравнений (1) найдены аналитические решения. Для четырех рассмотренных

ранее схем движения теплоносителей. В табл. 1 приводятся аналитические решения для случая $a_1=a_2=a_3$. При этом постоянные интегрирования C_1, C_2, C_3 определяются из начальных условий.

Таблица 1. Схемы движения потоков трех теплоносителей, коды схем и аналитические решения для них системы дифференциальных уравнений (1)

Вариант движения теплоносителей	Схема движения теплоносителей	Аналитическое решение системы дифференциальных уравнений
прямоток-прямоток (kod = 00)		$\begin{cases} t_1 = c_1 \cdot e^{-F} + c_2 + c_3 \cdot e^{-3F} \\ t_2 = c_2 \cdot 1 - 2 \cdot c_3 \cdot e^{-3F} \\ t_3 = -c_1 \cdot e^{-F} + c_2 + c_3 \cdot e^{-3F} \end{cases}$
прямоток-противоток (kod = 01)		$\begin{cases} t_1 = c_1 + c_2 \cdot e^{(+\sqrt{2})F} + c_3 \cdot e^{(-\sqrt{2})F} \\ t_2 = c_1 + c_2 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{(-\sqrt{2})F} - c_3 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{(-\sqrt{2})F} \\ t_3 = c_1 + c_2 \cdot (\sqrt{2} + 1) \cdot e^{(+\sqrt{2})F} + c_3 \cdot (-\sqrt{2} + 1) \cdot e^{(+\sqrt{2})F} \end{cases}$
противоток-прямоток (kod = 10)		$\begin{cases} t_1 = c_1 + c_2 \cdot (-1) \cdot e^{(+\sqrt{2})F} + c_3 \cdot (1 + \sqrt{2}) \cdot e^{(+\sqrt{2})F} \\ t_2 = c_1 + c_2 \cdot (-\sqrt{2} - 2) \cdot e^{(+\sqrt{2})F} + c_3 \cdot \sqrt{2} \cdot e^{(+\sqrt{2})F} \\ t_3 = c_1 + c_2 \cdot (1 + \sqrt{2}) \cdot e^{(+\sqrt{2})F} + c_3 \cdot e^{(+\sqrt{2})F} \end{cases}$
противоток-противоток (kod = 11)		$\begin{cases} t_1 = c_1 \cdot e^{-F} + c_2 + c_3 \cdot e^F \\ t_2 = c_2 + 2 \cdot c_3 \cdot e^F \\ t_3 = -c_1 \cdot e^{-F} + c_2 + c_3 \cdot e^F \end{cases}$

Вид аналитических зависимостей температуры теплоносителя от определяющей координаты для заданных начальных условий:

$t_{10} = 100 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{20} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$, $t_{30} = 0 \text{ }^\circ\text{C}$; проиллюстрирован линиями на рис. 1. Точками на рис. 1 показаны численные решения для рассматриваемых схем движения потоков. Из анализа рисунков видно, что численные и аналитические решения практически совпадают.

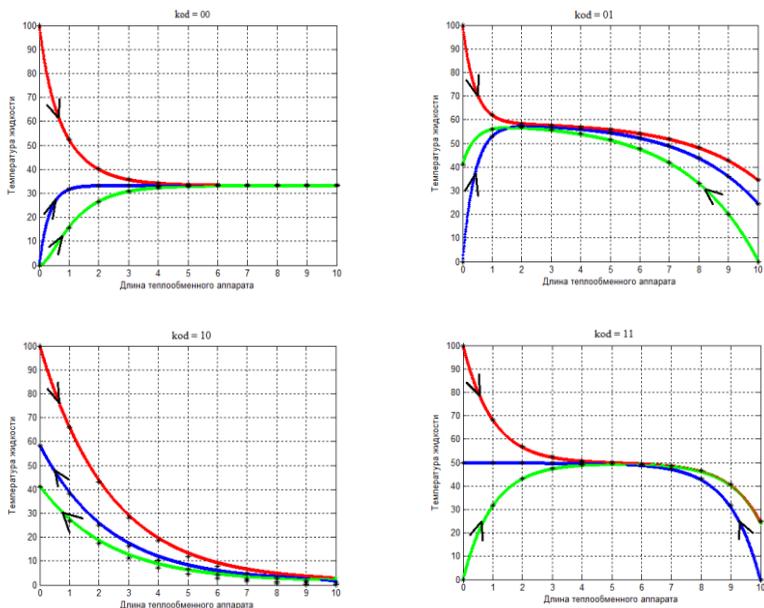


Рис. 1. Зависимости температуры теплоносителей от площади поверхности теплообмена (F) для различных схем движения потоков, приведенных в табл.1.

Наиболее эффективная схема движения потоков, обеспечивающая минимальную температуру горячего теплоносителя на выходе ступени, соответствует коду 10 из табл. 1, то есть варианту, при котором первый и второй теплоносители двигаются в противоположных направлениях (противоток), а второй и третий в одном направлении (прямоток).

Библиографический список

1. **Барочкин, А.Е.** Исследование процесса теплопередачи в многопоточных теплообменных аппаратах / А.Е. Барочкин, В.П. Жуков, А.Н. Беляков // Изв. вузов. Химия и химическая технология. –2011.- Т. 54.- Вып.11.- С.116-119.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ И РАСЧЕТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В МНОГОСЛОЙНОЙ СРЕДЕ С РАЗЛИЧНЫМИ ТЕПЛОВЫМИ СВОЙСТВАМИ

Расчёт температурного поля в многослойных средах является актуальной задачей. Необходимость её решения возникает во множестве технологических схем химической и смежных отраслей. Существует достаточно большое количество математических моделей, позволяющих построить поле температур для объекта, состоящего из тел с разными тепловыми свойствами. Рассмотрим модель, разработанную с помощью теории цепей Маркова.

Примем допущение: тепловые свойства равномерно распределены по объёму слоёв материала. Результирующее распределение температур строим в одном направлении – по высоте слоёв. Теплообмен в многослойной среде представим как марковский процесс с дискретным шагом по времени и по координате.

Для описания состояния выберем вектор-столбец, составленный из количества теплоты в каждой ячейке Q_k . Общее число ячеек многослойного материала – m . Через промежуток времени Δt , называемый временем перехода, вектор Q_k изменится и станет Q_{k+1} . Считая Δt постоянным, заменим непрерывное время его дискретными моментами $t_k = k\Delta t$ и будем рассматривать k как целочисленные моменты условного времени. Связь между векторами состояния до и после k -го перехода описывается следующей матричной формулой [1]

$$Q_{k+1} = P Q_k, \quad (1)$$

где P – матрица переходных вероятностей, элементы которой p_{ij} показывают вероятность перехода количества теплоты из j -ой ячейки вектора состояния в i -ю. i, j меняются от единицы до m .

Матрица P – трёхдиагональная. Вероятности $p_{i,j}$, стоящие на главной диагонали, определяют количество теплоты, остающееся в

наблюдаемой ячейке за один временной переход. Вероятности $P_{i+1,j}$, $P_{i-1,j}$, стоящие соответственно под и над главной диагональю, определяют вероятность перейти вверх и вниз и вычисляются по формулам

$$P_{j+1,j} = \frac{\lambda_j \Delta t}{c_j \rho_j \Delta x^2}. \quad (2)$$

$$P_{j-1,j} = \frac{\lambda_{j-1} \Delta t}{c_j \rho_j \Delta x^2}. \quad (3)$$

Указанные события образуют полную группу событий, суммарная вероятность которых равна единице

$$P_{j,j} + P_{j+1,j} + P_{j-1,j} = 1. \quad (4)$$

Следовательно, элементы главной диагонали матрицы переходных вероятностей P могут быть вычислены как разность

$$P_{j,j} = 1 - P_{j+1,j} - P_{j-1,j} \quad (5)$$

Рекуррентные матричные равенства позволяют проследить всю эволюцию распределения температуры и теплоты с начального до установившегося состояния, которое может быть стационарным и нестационарным[2].

Входными данными модели являются:

- число и размер ячеек каждого слоя ;
- коэффициенты теплопроводности и теплопередачи материалов каждого слоя;
- плотности и теплоёмкости материалов каждого слоя;
- параметры начального внешнего распределения температур;
- значение температуры внутри многослойного тела;
- число временных переходов.

Таким образом, на основе однородной марковской цепи построена модель расчета нестационарного теплообмена в многослойной среде, а сопоставление результатов расчетных и экспериментальных исследований показало возможность адекватного описания моделью экспериментальных данных

Библиографический список

1. Mizonov, V. Modeling of Particle Concentration Distribution in a Fluidized Bed by Means of the Theory of Markov Chains / V. Mizonov, A. Mitrofanov, A. Ogurtzov, K. Tannous// Particulate Science and Technology: An International Journal. Volume 32, Issue 2, 2014. pp 171-178.
2. Огурцов, А. В. Моделирование теплообмена в реакторах с полидисперстным кипящим слоем с кипящим слоем / А.В. Митрофанов, В.А. Магницкий, В.Е. Мизонов, Н. Berthiaux// Вестник ИГЭУ.– 2012 .– № 4.– С. 62-65.

*Лунина Е.В., студ.; Жуков П.Р., студ.;
рук. Огурцов А.В., к.т.н, доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЁТ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ В НЕОДНОРОДНОЙ СРЕДЕ ПРИ НАЛИЧИИ ВНУТРЕННИХ ИСТОЧНИКОВ ТЕПЛА.

Чаще всего тела при нагревании получают теплоту от источников, сделанных из другого материала, отличающегося по тепловым свойствам от самого нагреваемого тела. В ряде случаев, приняв соответствующие допущения, этой неоднородностью пренебрегают. Но часто возникает необходимость построения температурного распределения по всему объёму конструкции. Нагреваемое тело, также может иметь неоднородную структуру. Подобная постановка задачи часто встречается при расчёте строительных конструкций: фундаментов, перекрытий, железобетонных балок и т.п.

Предлагаемая математическая модель расчёта температурного поля построена с помощью теории цепей Маркова. Многослойная среда представлена совокупностью конечных изолированных ячеек, в каждой из которых содержится некоторое количество теплоты. Таким образом, распределение теплоты по высоте слоёв представлено в виде конечного вектора состояния, организованного в вектор-столбец, каждый элемент которого соответствует содержанию теплоты в текущей ячейке. Каждая ячейка характеризуется следующими свойствами:

- удельной теплоёмкостью,
- плотностью,
- коэффициентом теплопроводности.

Выбирается промежуток времени, называемый временем перехода, за который некоторое количество теплоты может быть передано в соседние ячейки, расположенные над и под текущей

ячейкой. Эти количества пропорциональны коэффициенту теплопроводности и обратно пропорциональны теплоёмкости, плотности материала и размеру ячейки.

Считается, что тепловые свойства равномерно распределены по объёму материала. Результирующее температурное поле строится в поперечном направлении, поэтому модель базируется на одномерной цепи.

Каждый последующий вектор состояния является произведением матрицы переходных вероятностей на предыдущий вектор. Параллельно рассчитывается вектор температур каждой ячейки. Матрица переходных вероятностей построена в соответствие с физическими обоснованиями данного процесса, её элементы зависят от теплоёмкости, коэффициента теплопроводности, плотности материала, а также от квадрата размера ячейки и времени перехода. Рекуррентные матричные равенства позволяют проследить всю эволюцию распределения температуры и теплоты с начального до установившегося состояния.

Кроме расчётов по основным рекуррентным матричным равенствам на каждом временном переходе необходимо учесть теплоотдачу от источников нагрева и теплоотвод во внешнюю среду.

Сопоставление экспериментальных данных и результатов расчёта показали удовлетворительную работоспособность предложенной модели.

Библиографический список

1. Mizonov, V. Modeling of Particle Concentration Distribution in a Fluidized Bed by Means of the Theory of Markov Chains / V. Mizonov, A. Mitrofanov, A.Ogurtzov, K. Tannous// Particulate Science and Technology: An International Journal. Volume 32, Issue 2, 2014.pp 171-178.
2. Мизонов, В. Е. Моделирование и оптимизация теплового состояния в секционированных объёмах с внутренними источниками теплоты / В.Е. Мизонов, Н.Н. Елин, Е.А. Баранцева// ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина».–Иваново, 2010.– 128 с.

*D.A. Osipov, PhD student;
Advisors: V.P. Zhukov, Dr.-Eng., prof.;
M. V. Filatova, Dr.-Phil., associate prof.
(ISPU, Ivanovo)*

OPTIMIZATION OF ENERGY TRANSFER IN THERMAL AND ELECTRICAL NETWORKS

In domestic and foreign scientific publications the optimal plan problem of shipping [1] from origin point to consumption points with minimal transportation costs are often considered. The purpose of this study is similar to these problems and is to optimize the energy transfer from suppliers to users with minimum costs of energy or fuel consumption at given thermal and electrical consumer load.

It is assumed that the thermal and electrical energy is produced n manufacturers (suppliers), which are considered as a boiler room or a thermal power station. The specified structure networks provide transfer of heat and electric energy m industrial or household consumers. The electrical energy flow from the i manufacturer to the j user is $N_{i,j}$, the heat energy flow is $Q_{i,j}$. Total load N_j , Q_j (consumers) are assumed to be given on the problem conditions, i.e., $\sum_i N_{i,j} = N_j$, $\sum_i Q_{i,j} = Q_j$, where the subscript i indicates the total load of the consumer.

In this problem consumers and producers are interconnected, i.e. $K_{i,j}^Q = 1$, $K_{i,j}^N = 1$. To specify the existing connections between system elements introduced the matrix commutation by thermal ($K_{i,j}^Q$) and power ($K_{i,j}^N$) energy size $n \times m$, is introduced where n - the number of sources, m - the number of consumers.

The optimization problem (1) can be written as:

$$F = \sum_{i,j} (c_{i,j}^N * N_{i,j} + c_{i,j}^Q * Q_{i,j}) \rightarrow \min N_{i,j} Q_{i,j} \quad (1)$$

$$\sum_i N_i = N_j, \sum_i Q_i = N_j$$

To solve the problem by Lagrange multipliers objective function (1) the given the constraints can be rewritten as:

$$\begin{aligned}
 F^* = & \sum_{i,j} \left[(a_{1i,j}^N + a_{2i,j}^N * N_{i,j}) * (k_{i,j}^N * N_{i,j}) \right. \\
 & \left. + (a_{1i,j}^Q + a_{2i,j}^Q * Q_{i,j}) * (k_{i,j}^Q * Q_{i,j}) \right] + \\
 & \sum_i \lambda_i^N * \left(\sum_j k_{i,j}^N * N_{i,j} - N_i^{inp} \right) + \sum_i \lambda_i^Q * \left(\sum_j k_{i,j}^Q * Q_{i,j} - Q_i^{inp} \right) + \\
 & \sum_j \mu_j^N * \left(\sum_i k_{i,j}^N * N_{i,j} - N_j^{out} \right) + \sum_j \mu_j^Q * \left(\sum_i k_{i,j}^Q * Q_{i,j} - Q_j^{out} \right) \\
 & \rightarrow \min N_{i,j} Q_{i,j}
 \end{aligned}$$

where $\lambda_i^N, \lambda_i^Q, \mu_j^N, \mu_j^Q$ - undetermined Lagrange multipliers. To get a solution to the problem, it is necessary to differentiate the objective function of the required parameters and equate the derivative to zero.

$$\begin{cases}
 N_{i,j} = - \frac{\lambda_i^N + \mu_j^N + a_{1i,j}^N}{2 * a_{2i,j}^N} \\
 Q_{i,j} = - \frac{\lambda_i^Q + \mu_j^Q + a_{1i,j}^Q}{2 * a_{2i,j}^Q}
 \end{cases}$$

It is assumed that the total number of heat and electricity producers is seven ($m = 7$).

The value of the objective function in the numerical and analytical solutions turned to be nearly equal.

The optimization problem was solved numerically by the statistical program, which is effective when applied to large-scale problems. The advantage of this method is easy to imply the algorithm, and its disadvantage is the lack of certainty that the solution found can be a global extremum of objective function.

References:

1. Wentzel E.S. Operations research: objectives, principles, methodology. M. : Drofa, 2004.

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

УЧЁТ ВЛИЯНИЯ СЕГРЕГАЦИИ В ПРОЦЕССАХ СМЕШИВАНИЯ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ.

В процессе смешивания нескольких материалов очень часто возникает задача перемешивания компонентов, склонных к сегрегации. Для описания кинетики процесса такого смешивания мы использовали ячеечную модель, основанную на теории цепей Маркова, включающую диффузионные переходы между ячейками, направленные вниз конвективные переходы, обусловленные сегрегацией и увеличивающиеся по мере загрузки пространство состояний. Суть модели состоит в следующем. Все пространство состояний представлено m ячейками, из которых n отведено под полную загрузку сегрегирующего компонента. Матрица переходных вероятностей \mathbf{P} записана для полного пространства состояний и имеет вид (пример для $n=6$ и $m=3$)

$$\mathbf{P} = \begin{bmatrix} p_s & d\alpha_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ v+d & p_s & d\alpha_2 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & v+d & p_s & d\alpha_3 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & v+d & p_s & d & 0 \\ 0 & 0 & 0 & v+d & p_s & d \\ 0 & 0 & 0 & 0 & v+d & p_s \end{bmatrix}, \quad (1)$$

где стоящие на главной диагонали элементы рассчитываются как единица минус сумма всех остальных элементов в столбце, α_j может принимать значения 0 (выход вверх из ячейки запрещен) или 1 (выход разрешен). Начальный вектор-столбец состояния \mathbf{S}^1 имеет единственный ненулевой элемент $S^1_{(n-1)}$, равный $1/n$, $\alpha_3=1$, а $\alpha_2=\alpha_1=0$. В течение k_1 переходов преобразование вектора состояния определяется рекуррентным матричным равенством

$$\mathbf{S}^{k+1} = \mathbf{P}\mathbf{S}^k, \quad k=1, \dots, k_1-1, \quad (2)$$

где k – номер временного перехода. Затем в векторе \mathbf{S}^{k_1} добавляется элемент $S^{k_1}_{(n-1)}$, равный $1/n$, принимается $\alpha_2=1$, и процедура (2)

повторяется для следующих k_1 переходов и так далее, пока все пространство состояний оказывается заполненным. После этого матрица не изменяется и описывает эволюцию процесса до произвольного значения k . В качестве меры неоднородности смеси мы использовали среднеквадратичное отклонение распределения содержания ключевого компонента по ячейкам.

Результаты численного моделирования показаны на рис.1, который иллюстрирует эволюцию качества смеси при различных вариантах загрузки ключевого компонента (расчет выполнен для $d=0.15$; $v=0.2$; $n/m=0,25$).

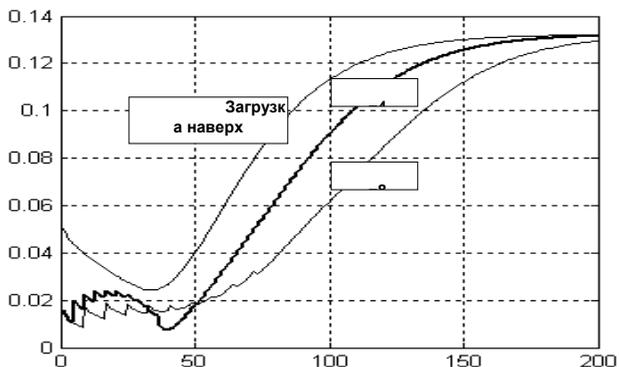


Рис.1. Кинетика формирования смеси при различных вариантах загрузки

Если ключевой компонент загружается сразу, то предельно достижимое (минимальное) значение σ составляет около 0,025 и достигается после 35 переходов. При загрузке с интервалом в 4 временных перехода достижимый минимум σ уменьшается почти в 3 раза, что является существенным улучшением качества смеси. При загрузке с интервалом в 8 переходов положительный эффект не только уменьшается, но вообще отсутствует. Таким образом, распределенная во времени оптимизированная подача дает значительный выигрыш в однородности смеси относительно нераспределенной подачи при всех остальных одинаковых параметрах модели.

Секция 19. Анализ и синтез систем электроприводов

<i>Х.Ш. Муродов, магистрант; рук. У.Р.Халиков</i> Обзорный анализ применения бесконтактного управления электроприводом карьерного экскаватора.....	3
<i>М.Р. Шмигель, М.Ю. Русяева, студ.; рук. И.И. Артюхов, д.т.н., проф.</i> Исследование пусковых режимов электропривода вентиляторов аппаратов воздушного охлаждения газа.....	5
<i>В.А. Замков, студ.; рук. С.К. Лебедев, к. т. н., доц.</i> Настройка астатических регуляторов положения электромехатронных модулей.....	7
<i>С.А. Мамин, студ.; рук. В.Ф. Глазунов, д. т. н., проф.</i> О деформации движущейся нити под действием сил трения.....	9
<i>Д.А. Замкова, В.А. Замков, студ.; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.</i> Влияние на характеристики систем позиционирования изменения параметров электромехатронных модулей.....	12
<i>А.В. Спичков, Д.А. Зайцев, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доцент</i> Выбор типа функций принадлежности в системах нечеткого управления натяжением гибкого материала.....	14
<i>Д.Д. Бонокин, студ.; рук. А.А. Репин, ст. преп.</i> Разработка иерархической системы управления мехатронным комплексом БПЛА вертолетного типа.....	15
<i>А.С. Короткевич, студ.; рук. С.К. Лебедев, к. т. н., доц.</i> Ограничение скорости в астатических системах электромехатронных модулей.....	17
<i>А.Д. Винокуров, студ.; рук. М.С. Куленко, к.т.н., доцент</i> Программно-аппаратное обеспечение экспериментальных исследований электромеханических систем.....	20
<i>П.В. Гаак, студ.; рук. А.В. Пруднов, к. т. н., доц.</i> Адаптивная система управления приводами металлорежущих станков.....	22
<i>А.М. Куканов, студ.; рук. С.К. Лебедев, к. т. н., доц.</i> Алгоритмы формирования траекторий позиционирования электромехатронных модулей.....	24
<i>Р.С. Ионов, студ.; рук. М.А. Захаров, асс.</i> Система частотного регулирования электропривода главного циркуляционного насоса первого контура атомного реактора калининской АЭС.....	27
<i>В.В. Павлухин, студ.; рук. М.А. Захаров, асс., А.М. Захаров, к. т. н., доц.</i> Моделирование скалярной системы управления транзисторными модулями многоуровневого высоковольтного преобразователя частоты.....	28
<i>А.Х. Хангулиев, студ.; Б.С. Курнышев, д. т. н., проф.</i> Электромагнитная совместимость в приводной технике.....	29

<i>Р.А. Серов, студ.; рук. М.А. Захаров, асс., А.М. Захаров, к. т. н., доц.</i> Моделирование векторной системы управления транзисторными модулями многоуровневого высоковольтного преобразователя частоты.....	31
<i>А.В. Якубенко, студ.; Б.С. Курнышев, д. т. н, проф.</i> Модели и программы для исследования электромагнитной совместимости асинхронных электроприводов.....	32
<i>М.А. Беляков, студ.; рук. А.В. Пруднов, к.т.н., доцент</i> Автоматизация процесса формирования ткацких навоев.....	33
<i>А.А. Репин, ст. преп.; А.В. Введенский, студ. рук. П.В. Вилков, к. т. н., доц.</i> Концепция построения современных мехатронных модулей.....	35
<i>М.А. Анисимов, А.А. Доброхотов, студ.; рук. А.Н. Ширяев, к. т. н., доц.</i> Устройство вычисления показателей качества переходного процесса.....	37
<i>А.П. Романов, студ.; Ю.П. Спичков, к. т. н., доц.</i> Особенности применения асинхронного электропривода в механизмах подачи станков.....	39
<i>А.А. Власов, студ.; рук. В.Т. Филичев, к.т.н., проф.</i> Анализ динамики электропривода двухмашинного агрегата с червячным редуктором с самоторможением.....	44

Секция 20. Электромеханика и магнитожидкостные устройства

<i>М.Н. Волков, магистрант; рук. В.Н. Караулов (к.т.н., доц.)</i> Исследование синхронного реактивного двигателя с анизотропной магнитной проводимостью ротора.....	43
<i>К. А. Коростелев, магистрант; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.</i> Подсистема оптимизации сапр распределительных трансформаторов.....	44
<i>А.Б.Котов, магистрант; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.</i> Методика анализа виброшумовых характеристик частотно-регулируемых асинхронных двигателей.....	46
<i>А. А. Легков, магистрант; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.</i> Разработка универсального параметрического генератора конечной-элементной модели электрических машин для подсистем оптимизации.....	47
<i>Д.Ю. Макаров, студент; рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц.</i> Влияние магнитного наполнителя на проводимость воздушного зазора.....	49

<i>А.П. Океанский, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.</i> Анализ работы асинхронного двигателя при питании его от частотного преобразователя.....	51
<i>А.П. Океанский, студ.; рук. Н.А. Морозов, к.т.н., доц.</i> Индукционный датчик угла поворота.....	52
<i>А. В. Подобный, магистрант; А.И. Тихонов, д.т.н., проф.</i> Разработка scada-системы на основе виртуального лабораторного стенда.....	54
<i>М. В. Профьев, студ.; рук. А. К. Громов, к. т. н., доц.</i> Моделирование электромеханических процессов в синхронной машине с постоянными магнитами.....	56
<i>С.Е. Рассолов, магистр; рук. Ю.И. Страдомский к.т.н. доцент</i> Методы очистки сточных вод от нефтепродуктов.....	58
<i>Полякова А. М. курсант; рук. Е. В. Зарубина, к.т.н, доц.; И. А. Краснов ст. преп.</i> Расчет надежности насосных установок.....	60
<i>Р.М. Рогозин, студ.; рук. А.Н. Лапин к.т.н, доцент</i> Разработка подсистемы расчёта магнитного поля трансформатора методом конечных разностей в 2-х мерной постановке.....	63
<i>М.В. Сахаров, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц.</i> Анализ влияния конструкции многослойного массивного ротора на механическую характеристику асинхронного двигателя.....	65
<i>А. А. Царева, студ.; В.П. Шишкин, к.т.н., проф.</i> Вопросы расчета асинхронного двигателя с экранированными полюсами.....	67
 Секция 21 Микроэлектронные и микропроцессорные информационно управляющие системы	
<i>Р.Ш. Гафутдинов, Р.Р. Гаязов; Л.В. Ахметвалеева (к.п.н. доц.)</i> Моделирование и исследование характеристик биполярных транзисторов в программной среде <i>Multisim</i>	69
<i>А.Н. Покровский, студ.; рук. Л.Л. Лямец, к.т.н., доц.</i> Датчик линейных перемещений на основе манипулятора «компьютерная мышь».....	71
<i>И.В. Соловьев, студент; рук. А.И. Терехов</i> Датчик линейной плотности нити	73
<i>А. В. Маколдин, студент; рук. В.Г. Терехов, к.т.н., доцент</i> Разработка интерактивной системы управления поливом для тепличных и частных хозяйств.....	76
<i>А.О. Адаменко, студ.</i> Система автоматического управления газовыми котлами.....	78

<i>П. Э. Восканян, студ.; рук. А. П. Карандашев, к.т.н., доц.</i> Интернет вещей. Протокол MQTT	79
<i>А.С. Игнатов, студ.; рук. А.П. Карандашев, к.т.н., с.н.с., зам. ген. дир.,</i> Система контроля качества потребляемой электроэнергии	81
<i>И. О. Белянин, студ.; рук. В. Н. Егоров, к.т.н., доцент.</i> Система автоматизации электропривода подъемно-транспортного оборудования.....	83
<i>А.В. Лядов, студ.; рук. А.П. Бурков, к.т.н.</i> Компенсация колебаний в токовых контурах сервоприводов	87
<i>И.А. Мошкин, студ.</i> Телекамеры космических аппаратов: от начала освоения космоса и до наших дней.....	89
<i>М.В. Жуков, студент; рук. Л.Г. Копылова</i> Датчик движения охранной сигнализации	92
<i>Гамидов Парвиз Илгар-оглы, студ.</i> Применение двунаправленных преобразователей в современной технике	93
<i>И.Н. Куварзин, студ.; рук. А.М. Аббясов, ст.препод.</i> Обзор сверлильно-фрезерных станков для изготовления печатных плат	96
<i>О. А. Кузнецова, студ.; рук. Л.Г. Копылова, доц., к. т. н.</i> Датчики движения и присутствия	98
<i>А. А. Масловский, студ.; рук. А. А. Анисимов, д. т. н., доц.</i> Искусственные нейронные сети. Свойства и способы применения ...	100
<i>А.Г. Кунчев, студ.;рук. А.М. Аббясов, ст. преп.</i> Обработка сигнала с фотоэлектрического преобразователя углового положения на базе Arduino Uno.....	103
<i>Е.И. Некрасова, студ.; рук. В.В. Лапин.</i> Коррекция экспериментальной частотной характеристики.....	105
<i>Щляцкая Е.М., студ; рук. к.т.н., проф. Терехов А.И.</i> Сравнение систем управления стабилизированными преобразователями напряжения постоянного тока.....	106
<i>Д. Ю. Ануфриев, студ. Консорциума EU4M</i> рук. P. Mallecot, N. Piat Разработка электромеханической модели галеры.....	108
<i>М. Н. Горячев.</i> О проблематике построения квантового оптико-микроволнового интерфейса	110
<i>А.В. Кудрявцев.</i> Эмуляция физических систем на микроконтроллере... 112	
<i>Г.А. Чапурин, студ. Мехатр. и Микро-мехатр.; рук. Ж. Минтенбек</i>	

Разработка и реализация индуктивной зарядной станции для работа Microman.....	113
<i>А. А. Вороненкова, маг., рук. д.т.н., проф. В. В. Тютиков</i> Разработка и исследование систем модального управления низкой параметрической чувствительности.....	116

Секция 22. Технология машиностроения

<i>А.А. Подолян ст.преп.; рук. Г.С. Тымчик д.т.н., проф.</i> Исследования формирования бегущей волны эма преобразователем	119
<i>А.М.А. Аль-Шахейти, асп.; рук. Ю.К. Евдокимов, д.т.н, проф,</i> Электромагнитный подшипник, активный магнитный подвес.....	121
<i>А. А. Голяс, аспирант; рук. В. А. Полетаев, д.т.н, проф.</i> Совершенствование процессов механической обработки в энергетическом машиностроении за счёт внедрения процесса алмазного выглаживания.....	122
<i>К.Н. Архангельский, курсант; рук. В.В. Киселев, к.т.н, доц., Н.А. Кропотова, к.х.н.</i> Влияние высоких температур при пожаре на прочность металлоконструкций.....	124
<i>О.В. Крестьянинова, студ.; рук. А.М. Власов, асс.; В.А. Полетаев, д.т.н., проф.</i> Исследование моментов трения в рабочем зазоре магнитожидкостного герметизатора	126
<i>Ю.А. Веденина, курсант; рук. А.В. Топоров, к.т.н.</i> Модульная система транспортировки пожарно-технического оборудования	128
<i>Ю.И. Савиных, студ.;рук. А.М. Власов, асс., В.А. Полетаев, д.т.н., проф.</i> Влияние температуры на изменение моментов трения в магнитожидкостных уплотнениях	130
<i>И.А. Калинин, курсант; рук. В.В. Киселев, к.т.н, доц.</i> Повышение триботехнических свойств трансмиссионных масел ...	132
<i>Е.В. Шпенькова. студ.; рук. А.М. Власов, асс.; В.А. Полетаев, д.т.н., проф.</i> Влияние температуры на изменение момента трения в магнитожидкостных уплотнениях при использовании разных типов магнитной жидкости	134
<i>А. Н. Мальцев, соискатель.</i> Внедрение автоматических систем пожаротушения в торговых комплексах	136
<i>Д.С. Силантьев, студ.; Е.С. Уваров, студ.; рук. В.Н. Копосов, к.т.н., доц.</i> Триз и маркетинг в машиностроении	138
<i>Д.В. Шалчус, курсант; рук. А.А. Покровский, к.т.н.</i> Влияние механического воздействия на кинетику конвективной сушки	140

<i>Ю.М. Тютюнников, студ.; рук. А.С. Орлов, к.т.н.</i> Электроэрозионная обработка и ее возможности	142
<i>Е.С. Румянцева, студ.; рук. А.М. Шурыгин, к.т.н., доц.</i> Моделирование импульсного силового преобразователя	144
<i>А.М. Филатов, студ., рук. Н.В. Третьякова, к.т.н., доцент</i>	
Современные методы азотирования в энергомашиностроении.....	146
<i>Е.В. Шпенькова., студ.; рук. А.В. Никоноров, к.т.н., доц.</i> Определение механизма изнашивания режущего инструмента	148
<i>Карев Н.С., студ.; Зарубин В.П., к.т.н., доц.</i> Проблемы трения и смазки в узлах машин и механизмов.....	150
<i>В.И. Ханов, студ., рук. Н.В. Третьякова, к.т.н., доцент</i> Применение композиционных материалов в энергомашиностроении.....	152
<i>Е.М. Воронцова, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.</i> Применение анодного оксидирования.....	154
<i>Р.Р.Кадыров, студ.; рук. И.И. Ведерникова, к.т.н., доц.</i> Микродуговое оксидирование.....	156

Секция 23. Динамика, прочность, вибродиагностика

<i>М.Ф. Низамиев, асп.; рук. И.В. Ившин, д. т. н., проф.</i> Измерительно-диагностический комплекс для контроля технического состояния газового двигателя КАМАЗ	158
<i>Н.А. Сабанеев, ст. преп.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.</i> Исследование процесса перестройки костной ткани в зоне перелома.....	160
<i>Л.С. Найденова, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д. ф.-м. н., доц.</i> Конечно-элементный расчёт модели регенерации костной ткани.....	162
<i>В.М. Седов, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д. ф.-м. н., доц.</i> Параметрический и модальный анализ системы «кость–имплантат».....	165
<i>Н.Н. Мечтаева, студ.; рук. В.И. Шапин, к.т.н., проф.</i> Вопросы использования аппарата Илизарова в травматологии и ортопедии	167
<i>Е.Э. Ильина, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.</i> Создание физической модели с эффектом памяти формы.....	169
<i>А.В. Швед, студ.; рук. И.А. Белов, ст. преп.</i> Анализ вибросостояния технологического трубопровода.....	171
<i>А.В. Карпова, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.</i> Моделирование прочности полимерного изолятора.....	173
<i>А.К. Колотиллов, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.</i> Расчеты прочности элемента закрылка самолета.....	174

<i>П.В. Лебедев, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.</i> Моделирование формы для прессования бетонных блоков.....	175
<i>С.А. Навдаев, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.</i> Расчет напряженно-деформированного состояния составной оболочки.....	177
<i>И.А. Гуралюк, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц., В.И. Шапин, к.т.н., проф.</i> Прочностной расчет опоры ЛЭП	178
<i>В.А. Чувашов, студ.; рук. М.А. Ноздрин, к.т.н., доц.</i> Исследование конструкции рамы велосипеда	179
<i>А.П. Алешина, асс. (ИВГПУ, г. Иваново), Е.Э. Ильина, магистр.; рук. В.А. Огурцов, проф.</i> Повышение эффективности вибровоздействия сита на сыпучий материал в новой конструкции грохота	180
<i>М.А. Корнилова, А.Л. Крылова, студ.; рук. В.И. Шапин, к.т.н, проф.; С.В. Вихрев, инж.</i> Экспериментальное исследование устойчивости ступенчатого составного бруса.....	182
<i>Д. В. Корепов, студ.; рук. И.А. Белов, ст. преп.</i> Шестикомпонентный тензорезисторный датчик сил и моментов.....	184
<i>А.С. Шахов, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.</i> Расчет вибрации на блок управления приводом ракеты.....	186
<i>В.В. Иванова, студ., А.Б. Колобов, к.т.н., доц.</i> Расчет частотных диагностических признаков дефектов зубчатых передач.....	189
<i>М.А. Воробьев, студ.; рук. А.Б. Колобов, к.т.н., доц.</i> Разработка алгоритмов диагностирования основных дефектов роторных машин...190	
<i>Ш.М. Газимагомедов, студ.; рук. Л.Б. Маслов, д.ф.-м.н., доц.</i> Исследование пневмоцилиндрического клапана в условиях низких температур.....	192
<i>А.В. Калачева, К.П. Бондарев, студ.; рук. А.В. Круглов, асс.</i> Исследование характеристик показателей механических испытаний арматурного проката	194
<i>Д.С. Будаев, студ.; рук. Л.Н. Крайнова, к.т.н., доц.</i> Поверхностная закалка вала редуктора токами высокой частоты.....	196
<i>К.И. Евграфова, студ.; рук. А.В. Круглов, асс.</i> Анализ геометрических параметров арматурного проката	198
<i>А.Л. Гришин, студ.; А.С. Шмелев, студ.; рук. Т.В. Шмелева, к.т.н., доц.</i> Расчет на прочность и жесткость съемного валика устройства регенерации шляпочного очеса.....	200
<i>Полякова А. М. курсант; рук. Е. В. Зарубина, к.т.н, доц.; И. А. Краснов ст. преп.</i> Расчет надежности насосных установок.....	202

Секция 25 Математические методы в технике и технологиях

<i>К. В. Данилин, студ.; Р. И. Саубанов, студ.; рук. Р. Г. Хузяшев, к. ф.-м.н., доц.</i> Аналитическое исследование зависимости реактивной мощности асинхронного двигателя от изменяющегося напряжения.....	205
<i>А. Camelo, асп.; рук. к.т.н., доц. А.В. Митрофанов,</i> Ячеечная модель протекания химической реакции в псевдооживленном слое.....	207
<i>И.В. Куприн, студ.; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.</i> Влияние параметров цепи маркова на затухание проходящего через нее сигнала.....	210
<i>И.А. Балагуров, асп.; рук. В.Е. Мизонов, д.т.н., проф.</i> Послойная загрузка компонентов смеси сыпучих материалов в смеситель.....	212
<i>А.В. Плаксин, студ.; рук. А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.</i> Идентификация параметров модели транспорта частиц газовым потоком.....	215
<i>Я.С. Рыжакова, студ.; рук. А.В. Митрофанов, к.т.н., доц.</i> Верификация параметров ячеечной модели межфазного теплообмена в кипящем слое.....	217
<i>А.М. Потапов, студ.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.</i> Компьютерное моделирование теплофизических свойств воды и водяного пара	219
<i>Осипов Д.А., асп.; Тюленев А.С., студ.; Уланов Д.А., асп.; рук. проф. Жуков В.П.</i> Оптимизация передачи энергии в тепловых и электрических сетях	221
<i>Д.Ю. Макаров, студ.; рук. В.П. Жуков, д.т.н., проф.; А.Е. Барочкин, к.т.н., доц.</i> Анализ эффективности многопоточных теплообменных аппаратов.....	224
<i>Голубкина М.И., студ.; рук. Огурцов А.В., к.т.н, доц.</i> Моделирование и расчет температурного поля в многослойной среде с различными тепловыми свойствами	228
<i>Лунина Е.В., студ.; Жуков П.Р., студ.; рук. Огурцов А.В., к.т.н, доц.</i> Расчёт температурного поля в неоднородной среде при наличии внутренних источников тепла.....	230
<i>D.A. Osipov, PhD student; Advisors: V.P. Zhukov, Dr.-Eng., prof.; M. V. Filatova, Dr.-Phil., associate prof.</i> Optimization of energy transfer in thermal and electrical networks.....	232
<i>Бабич Е.С., студ.; рук. Шуина Е.А., д.т.н., проф.</i> Учёт влияния сегрегации в процессах смешивания сыпучих материалов.....	234

ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОНИКА И УПРАВЛЕНИЕ

ОДИННАДЦАТАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ СТУДЕНТОВ, АСПИРАНТОВ И МОЛОДЫХ УЧЁНЫХ «ЭНЕРГИЯ-2016»

МАТЕРИАЛЫ КОНФЕРЕНЦИИ ТОМ 4

Печатается в авторской редакции

Составитель – Ведерникова И.И.

Компьютерная верстка – Ведерников А.С.

Подписано в печать Формат 60x84 1/16.

Печать офсетная. Усл. печ. л. Уч.-изд. л.

Тираж 50 экз. Заказ №

ФГБОУ ВО «Ивановский государственный энергетический
университет им. В.И. Ленина»

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Отпечатано в УИУНЛ ИГЭУ.