

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
МОСКОВСКИЙ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
АКАДЕМИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИХ НАУК
АССОЦИАЦИЯ МЕЖДУНАРОДНЫХ ОТДЕЛОВ
ТЕХНИЧЕСКИХ УНИВЕРСИТЕТОВ СТРАН
ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЫ (АМО)

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА

ДВАДЦАТЬ ПЕРВАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
СТУДЕНТОВ И АСПИРАНТОВ

26-27 февраля 2015 г.
МОСКВА

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

ТОМ
2



МОСКВА

Издательский дом МЭИ

2015

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА И ЭНЕРГЕТИКА: Двадцать первая Междунар. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. В 4 т. Т. 2. М.: Издательский дом МЭИ, 2015. — 290 с.

ISBN 978-5-383-00921-5

ISBN 978-5-383-00923-9 (Том 2)

Помещенные во втором томе сборника тезисы докладов студентов и аспирантов российских и зарубежных вузов освещают основные направления информационных технологий, электротехники, электромеханики, электротехнологий, инженерной экологии.

Сборник предназначен для студентов, аспирантов, преподавателей вузов и инженеров, интересующихся указанными выше направлениями науки и техники.

Тезисы печатаются с авторских оригиналов методом прямого репродуцирования. В отдельных случаях в авторские оригиналы внесены изменения технического характера. Как правило, сохранена авторская редакция.

ОРГАНИЗАЦИОННЫЙ КОМИТЕТ

Н.Д. Рогалев — ректор МЭИ, председатель Оргкомитета

В.К. Драгунов — проректор по научной работе, сопредседатель

Т.А. Степанова — проректор по учебной работе, сопредседатель

Е.В. Бычкова — научный сотрудник кафедры АЭП, ответственный секретарь

С.А. Цырук — пом. проректора по научной работе

А.Е. Тарасов — начальник УМС

С.А. Грузков — директор ИЭТ

И.Н. Мирошникова — директор ИРЭ

А.В. Дедов — директор ИТАЭ

П.А. Бутырин — директор ИЭЭ

В.П. Лунин — директор АВТИ

С.А. Серков — директор ЭнМИ

С.В. Захаров — директор ИПЭЭф

А.Ю. Невский — и.о. директора ИнЭИ

А.С. Федулов — директор филиала в г. Смоленске

П.В. Шамигулов — директор филиала в г. Волжском

С.А. Абдулкеримов — директор филиала в г. Душанбе

Н.И. Файрушин — директор Энергетического колледжа (филиал МЭИ)

в г. Конаково

Сакал Петер — профессор Института организации производства, менеджмента и качества (г. Трнава, Словакия)

ISBN 978-5-383-00921-5

ISBN 978-5-383-00923-9 (Том 2)

© Авторы, 2015

© ЗАО «Издательский дом МЭИ», 2015

Направление
ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Научный руководитель направления —

директор АВТИ, д.т.н.,
профессор В.П. Лунин

Секция 15

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

Председатель секции — к.т.н., доцент В.С. Зубов
Секретарь секции — к.ф.-м.н., доцент А.Е. Вестфальский

Е.М. Белякова, студ.; рук. В.С. Зубов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СХЕМЫ ТУРНИРА С ВЫБИВАНИЕМ ПРИ СЛИЯНИИ УПОРЯДОЧЕННЫХ ЧАСТЕЙ МАССИВА

Схема турнира явилась прообразом широко используемой пирамидальной сортировки [1], предлагаем применять ее также для рациональной организации слияния t частей массива (t -арное слияние). Здесь главной проблемой является минимизация числа M сравнений при выборе каждой записи в результат слияния, теоретический минимум $\approx \log_2 t$, а всего за слияние $\approx n \log_2 t$, где n – общее число записей (ключей), участвующих в слиянии.

Пусть части массива упорядочены по возрастанию ключей. В схему выбора, являющуюся бинарным деревом, сначала загружаются t ссылок на первые записи частей. Это листья дерева. В результате сравнений по принципу турнира с выбыванием в корень дерева поднимается ссылка на минимальную запись, передаваемую в результат. Эта ссылка увеличивается на 1, что означает переход к следующей записи той части, из которой извлекли минимальную запись. «Турнир» повторяется, в корень поднимается ссылка на вторую по величине запись и т.д.

Если выбранная запись последняя в своей части, ссылка на нее в дереве заменяется ссылкой на ∞ , тем самым блокируется выбор в опустевшей части. После рассмотрения всех n записей все узлы дерева станут ссылками на ∞ . Примечательно, что даже в случае исчерпания всех частей, кроме одной, выбор записи по-прежнему требует прохождения трассы от листа до корня дерева. При больших частях это не приводит к заметным издержкам времени, зато упрощает алгоритм и оценку среднего числа M сравнений.

Значение M , очевидно, равно $\log_2 t$ при $t = 2^k$. При других k схема турнира отличается от «классической». Дерево ссылок размещается в памяти наподобие дерева в пирамидальной сортировке и является полным деревом [2]. Для него значение M может быть найдено по методике получения длины внешнего пути, изложенной в [2].

Применение схемы турнира в t -арном слиянии минимизирует общее число сравнений и выдвигает метод t -арного слияния в лидеры при сортировке больших массивов данных.

Литература

1. **Кнут Д.Э.** Искусство программирования. Т. 3. Сортировка и поиск: пер. с англ. – 2-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2000.
2. **Кнут Д.Э.** Искусство программирования. Т. 1. Основные алгоритмы: пер. с англ. – 3-е изд. М.: Издательский дом «Вильямс», 2001.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ

Электрическая сеть представляет собой комплекс устройств электроустановок, которые предназначены для передачи и распределения электрической энергии. Современные электрические сети по своей структуре, организации эксплуатации и принципам управления относятся к сложным техническим комплексам (системам) [1, 2]. При принятии решений на управление такой системой важными являются оценки качества ее функционирования и способности выполнять требуемые функции в заданных режимах и условиях применения.

Для большинства районов Республики Татарстан, в том числе для Муслимовского района, характерным является наличие электрических сетей (ЭС), в которых используются изношенное оборудование. Расширение условий эксплуатации, повышение ответственности выполняемых техническими устройствами функций, их усложнение приводит к повышению требований к надежности изделий.

Целью работы является моделирование надежности электрических сетей и определение количественных показателей их надежности в реальных условиях для принятия решений, направленных на повышение эффективности эксплуатации.

Для реализации поставленной цели в ходе исследовательской работы была разработана программа для ЭВМ, которая позволяет моделировать разные режимы функционирования ЭС и рассчитывать для них фактические значения количественных показателей надежности, такие как аварийные коэффициенты простоя, частота кратковременных отключений и т.д. Эти показатели необходимы для оценки ущерба в результате нарушений работы энергосистемы.

Объектом исследования являются подстанции Муслимовских электрических сетей, на которых была протестирована разработанная программа. В качестве исходных материалов были использованы схемы подстанций МРЭС, при обработке которых использовалась программа для создания электрических схем «sPlan».

Литература

1. **Половко А.М., Гуров С.В.** Основы теории надежности. СПб.: БХВ-Петербург, 2008.

2. **Гук Ю.Г.** Теория надежности в электроэнергетике Л.: Энергоатомиздат. Ленинград. Отд-ние, 1990.

ОПЛАТА ТРУДА КАК СОСТАВЛЯЮЩАЯ ФУНКЦИИ СТИМУЛИРОВАНИЯ РАБОТНИКОВ

Авторами разработана математическая функция стимулирования работников на основе совместного использования экономических подходов с основной составляющей – оплата труда – следующего вида:

$$f_{ст} = (f_{о.т}^{бу}; f_M^M; f_{о.р}^{ССП}; f_{аг}^{ИТ}; f_{т.к}^{ТИ}), \quad (1)$$

где $f_{ст}$ – затраты на стимулирование труда; $f_{о.т}^{бу}$ – затраты на оплату труда (с применением бухгалтерского учета); f_M^M – затраты на мотивацию (с применением теории менеджмента); $f_{о.р}^{ССП}$ – затраты на обучение и рост (с использованием сбалансированной системы показателей); $f_{аг}^{ИТ}$ – агентские затраты (с использованием институциональных подходов); $f_{т.к}^{ТИ}$ – затраты на анализ трудовых конфликтов (с применением теории игр).

Оплата труда имеет непосредственное отношение к затратам принципала или собственника предприятия. Агентские отношения – это отношения двух субъектов, один из которых (принципал) передает другому субъекту (агенту) свои функции.

Предлагается модель агентских затрат как составляющая модели стимулирования трудовых ресурсов:

$$f_{аг}^{ИТ} = (f_{п.з}^{ИТ}; f_{к.з}^{ИТ}), \quad (2)$$

где $f_{п.з}^{ИТ}$ – это прямые затраты, которые включают затраты по мониторингу агента и на демонстрацию агентом исполнения своих обязательств; $f_{к.з}^{ИТ}$ – это косвенные затраты, которые подразумевают упущенную выгоду, которую получили бы собственник и организация в целом, включая различных стейкхолдеров.

Разработана математическая модель трудовых конфликтов на основе применения теории игр, включающая расчет затрат по их анализу, позволяющая повысить эффективность трудовой деятельности работников.

*К.К. Мартынова, студ.; рук. М.Ф. Черепова, д.ф.-м.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

ГЛАДКОСТЬ РЕШЕНИЙ КРАЕВЫХ ЗАДАЧ ДЛЯ ПАРАБОЛИЧЕСКОГО УРАВНЕНИЯ В ПРОСТРАНСТВЕ ДИНИ

В полуограниченной области

$$D = \{(x, t) : x > g(t), 0 < t < T\}, 0 < T < +\infty$$

с негладкой, вообще говоря, боковой границей рассматриваются первая и вторая краевые задачи для одномерного (по x) равномерно-параболического уравнения с переменными коэффициентами:

$$\begin{cases} Lu \equiv \partial_t u - a(x, t)\partial_x^2 u + b(x, t)\partial_x u + c(x, t)u = 0 \text{ в } D, \\ u(x, 0) = 0, x \geq g(0), \\ u(g(t), t) = \psi_1(t) \text{ или } \partial_x u(g(t), t) = \psi_2(t), 0 \leq t \leq T. \end{cases}$$

Функция g , задающая боковую границу области, удовлетворяет условию

$$|g(t + \Delta t) - g(t)| \leq \gamma |\Delta t|^{1/2} \omega(|\Delta t|^{1/2}), \quad t, t + \Delta t \in [0, T], \quad \gamma > 0,$$

где ω – функция типа модуля непрерывности, удовлетворяющая условию Дини.

Предполагается, что граничные функции принадлежат соответствующим пространствам функций типа модуля непрерывности. Доказаны оценки в пространстве Дини-Гельдера для старших производных решений этих задач. Полученные оценки показывают, в частности, характер возможного роста к бесконечности указанных производных при приближении к боковой границе области. В частном случае пространства Гельдера полученный результат следует из работы [1]. Для доказательства используется метод работы [2].

Работа выполнена за счет гранта Российского научного фонда (соглашение №14-11-00306) и при частичной финансовой поддержке Совета по грантам при Президенте РФ (проект НШ-2081.2014.1).

Литература

1. **Черепова М.Ф.** Об оценках пространственных производных второго порядка для параболического потенциала простого слоя // Дифференциальные уравнения. 1996. Т. 32. № 4. С. 545–549.
2. **Камынин Л.И.** О решении методом потенциалов основных краевых задач для одномерного параболического уравнения второго порядка // Сибирский математический журнал. 1974. Т. 15. № 4. С. 806–834.

АППРОКСИМАЦИИ СТАЦИОНАРНОЙ ЗАДАЧИ РАДИАЦИОННО-КОНДУКТИВНОГО ТЕПЛООБМЕНА В СИСТЕМЕ ДВУМЕРНЫХ ПЛАСТИН

Непосредственное численное решение задач радиационно-кондуктивного теплообмена для двумерных структур связано со значительными вычислительными затратами. Поэтому актуальным является построение эффективных приближенных методов решения данных задач.

С помощью метода осреднения, приведенного в [1], для краевой задачи

$$-\left(\frac{\partial w(x, y)}{\partial x} + \lambda \frac{\partial^2 u(x, y)}{\partial y^2} \right) = f(x, y), \quad (x, y) \in G_i = (x_{i-1}, x_i) \times (0, Y), \quad i = \overline{1, n},$$

$$w(x, y) = \lambda \frac{\partial u(x, y)}{\partial x},$$

$$w|_{x=x_i} = h(u)|_{x=x_i+0} - h(u)|_{x=x_i-0}, \quad i = \overline{1, n-1}, \quad y \in (0, Y), \quad (1)$$

$$w|_{x=x_0} = h(u)|_{x=x_0} - h(u_\ell), \quad w|_{x=x_n} = h(u_r) - h(u)|_{x=x_n}, \quad y \in (0, Y),$$

$$u|_{y=0} = u_d, \quad u|_{y=Y} = u_{up}, \quad x \in \bigcup_{i=1}^n (x_{i-1}, x_i),$$

где $h(u) = \sigma_0 |u|^3$, $\sigma_0 > 0$ – постоянная Стефана–Больцмана, построены специальные полудискретные и асимптотические аппроксимации.

Проведен ряд вычислительных экспериментов. Из графиков, построенных на рис. 1 для одного из рассмотренных примеров, видно, что относительная погрешность не превышает 0,1 % для всех материалов, что говорит о хорошем качестве построенных аппроксимаций.

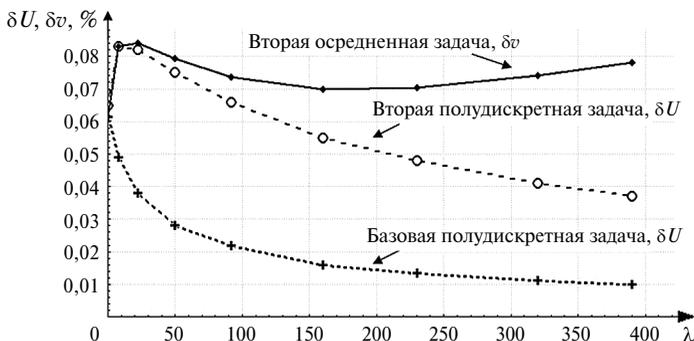


Рис. 1. Графики зависимости относительной погрешности от коэффициента теплопроводности

Исследование выполнено при финансовой поддержке РФФИ (проект №13-01-00201-а) и Совета по грантам при Президенте РФ (грант НШ-2081.2014.1).

Литература

1. **Амосов А.А., Гулин В.В.** Полудискретные и асимптотические аппроксимации задачи переноса тепла в системе серых экранов при наличии излучения // Вестник МЭИ. 2008. № 6. С. 5–15.

И.В. Никитин, асп.; рук. Д.Г. Мещанинов, к.ф.-м.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОСТАВ И СВОЙСТВА ЗАМКНУТЫХ КЛАССОВ ПОЛИНОМОВ, СОХРАНЯЮЩИХ ОБОБЩЕННЫЕ ТОЧЕЧНЫЕ РАЗБИЕНИЯ

Ранее [1] нами был определен состав классов, сохраняющих семейство разбиений J_m на $A = N_0, Z, Q, R, C$, задающееся следующим образом:

$$A = \{m\} \cup \{x \in A, x \neq m\}.$$

В настоящей работе мы продолжаем изучение функциональной системы $P(A)$ полиномов с коэффициентами из фиксированного множества A и их замкнутых классов, уделяя отдельное внимание ее подсистеме $L(A)$ полиномов только первой степени. Для $A = Z, Q, R$ мы вводим обобщенное семейство разбиений J :

$$A = J_1 \cup \dots \cup J_r \cup J_\infty,$$

где $J_1 \cup \dots \cup J_r = \{m_1, \dots, m_k\}$, $J_\infty = A \setminus \{m_1, \dots, m_k\}$.

Для случая $L(Z)$ установлен состав класса, сохраняющего это разбиение (обозначается $L(Z) \cap U(J)$). Доказано, что в функциональной системе $P(Z)$ проблема распознавания принадлежности произвольного полинома из $P(Z)$ классу $U(J)$ алгоритмически неразрешима. Установлено достаточное условие принадлежности произвольного полинома из $P(Z)$ классу $U(J)$.

Для случая $L(A)$ при $A = Q, R$ установлен состав класса, сохраняющего это разбиение.

Полученные результаты имеют общий вид и распространяются на все значения параметров r, k, m_1, \dots, m_k . При подстановке конкретных значений этих параметров можно получить более явные условия принадлежности функции классу $L(Z) \cap U(J)$. Так, нами уточнен состав этого класса при $r = k$ и при $r = 1, k = 2, 3$.

Литература

1. Мещанинов Д.Г., Никитин И.В. Функционально замкнутые классы полиномов, сохраняющих некоторые эквивалентности на числовых множествах // Вестник МЭИ. 2011. № 6.

ИМИТАЦИОННАЯ МОДЕЛЬ ДЛЯ ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ИЗГОТОВЛЕНИЯ РЕКЛАМНЫХ СТЕНДОВ

Применение информационных технологий на предприятиях актуально не только с точки зрения автоматизации бизнес-процессов, но и предоставления возможности оптимизации их структуры и параметров. В последнем случае часто применяется метод имитационного моделирования, позволяющий «проигрывать» процесс не только при различных влияющих факторах, но и при различной структуре построения исследуемого процесса.

Данный метод впервые применялся для оптимизации производственного процесса изготовления рекламных стендов на ООО «Marketing drive», занимающийся изготовлением рекламных конструкций, в частности стендов. Процесс изготовления рекламных стендов является многоэтапным, содержащим как последовательные участки, так и распараллеленные, причем их комбинация может изменяться. Рассмотрение различных вариантов на основном предприятии практически невозможно, так как это привело бы к частичной остановке производства, а непредсказуемость результата даже к появлению убытков. Такая ситуация обосновывает целесообразность применения имитационного моделирования для выбора наилучшего варианта построения технологического процесса.

Автором было проведено исследование процесса изготовления рекламных стендов, которое включало в себя хронометрию временных интервалов выполнения технологических операций, разработку концептуальной модели исследуемого процесса, программную реализацию модели процесса на языке GPSS, построение плана оптимизационного эксперимента и его проведение. Параметрами оптимизации являлись следующие переменные факторного пространства: количество рабочих, занятых параллельно на операции фотокопирования; длительность контроля каждой операции; продолжительность и количество смен. Некоторые операции не подлежали изменению длительности, так как были строго регламентированы рамками технологического процесса.

В результате многократных прогонов модели в соответствии с планом эксперимента была получена оптимальная конфигурация производственного процесса, обеспечивающая его минимальную длительность. Предложенный подход может быть применен в дальнейшем не только для основного бизнес-процесса, но и для оптимизации вспомогательных процессов.

*Е.А. Чернобровкин, студ.; рук. И.К. Будникова, к.т.н., доц.
(КГЭУ, г. Казань)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ОГРАНИЧЕНИЙ ПРИ ПЕРЕДАЧЕ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ПО ВОЗДУШНЫМ ЛИНИЯМ

Мощность, передаваемую по воздушной линии, можно увеличить до значения, при котором температура провода повышается до предельно допустимого значения. Необходимо ограничить мощность величинами, при которых механическая прочность проводов сохранятся в допустимых пределах.

В зависимости от свойств окружающей среды (например, температуры воздуха и скорости ветра) температура проводника при одной и той же передаваемой мощности оказывается различной. В зависимости от природных условий передаваемая по проводам мощность может быть увеличена до большего или до меньшего предела [1].

Математическая модель позволяет изучить характер изменения контролируемого показателя при изменении действующих на систему факторов, оценить степень их влияния на конкретные показатели и характеристики, определить оптимальные уровни факторов для обозначения желаемых или требуемых значений показателей состояния системы [2].

Автором был разработан алгоритм, который реализован в программе, моделирующей возможность эксплуатации линии на полную мощность в различных условиях. Были проведены компьютерные исследования ограничений мощности и тока для конкретных высоковольтных линий электропередачи.

Итогом исследования, проведенного в ходе создания математической модели по данной системе, является выработка рекомендаций по рациональному использованию воздушных линий при тех или иных конкретных условиях (температура окружающей среды, загрязненность проводов, сопротивление материалов).

Литература

1. **Гулд Ч., Тобочник Я.** Компьютерное моделирование в физике. В 2 ч. Ч. 1. М.: Мир, 1990. – 400 с.
2. **Трусов П.В.** Введение в математическое моделирование: учеб. пособие. – М.: Логос-М, 2007. – 150 с.

А.Е. Чирков, асп.; рук. А.Г. Салов, д.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

БЫСТРЫЙ РАСЧЕТ ТЕРМОДЕФОРМАЦИОННЫХ НАПРЯЖЕНИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ МЕТОДОВ ПАРАЛЛЕЛЬНЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Задачи расчета термодеформационных напряжений в классическом виде решаются путем составления системы из трех групп уравнений: статических, геометрических и физических с последующим ее решением [1]. Эти уравнения сложны для расчетов, поэтому такие задачи считаются сложными и требуют большого количества времени для их решения.

Данную задачу возможно значительно упростить, редуцировав трехмерный расчет до одномерного, используя сферическую симметрию процесса в случае точечного источника тепла [2]. В случае более сложных источников тепла их необходимо разбить на элементарные точечные источники с последующим интегрированием результатов расчета.

Полученные по такой методике уравнения возможно не только быстро решить, они также поддаются распараллеливанию, что позволяет провести расчет с использованием видеокарты компьютера, применив технологию CUDA. На рис. 1 показана схема реализации данной технологии: исходные данные загружаются в видеопамять, проводятся параллельный расчет и сбор результатов.

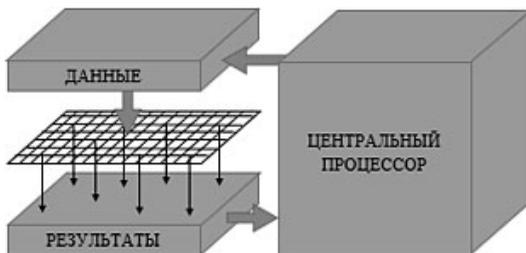


Рис. 1. Схема взаимодействия центрального процессора с видеокартой для выполнения задач математических расчетов

Благодаря этому возможно достичь очень высоких скоростей расчета. Приемлемая точность достигается чуть более чем за 1 с.

Литература

1. Щербо А.Г. Основы теории упругости и пластичности: учеб.-метод. Комплекс для студентов спец. 1-70 02 01 «Промышленное и гражданское строительство». Новополюцк : ПГУ, 2008. – 240 с.
2. Чирков А.Е., Салов А.Г. Методика повышения эффективности расчета термодеформационных напряжений // XX Межд. науч.-тех. конф. асп. и студ. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика», М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

Я.Э. Юссеф, асп.; рук. А.А. Амосов, д.ф.-м.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ПРОЕКЦИОННОГО ТИПА ЧИСЛЕННОГО РЕШЕНИЯ ОДНОГО КЛАССА СЛАБО СИНГУЛЯРНЫХ ИНТЕГРАЛЬНЫХ УРАВНЕНИЙ

Изучаются методы численного решения слабо сингулярного интегрального уравнения Фредгольма второго рода

$$\varphi(\tau) = \bar{\omega}_0 \int_0^{\tau_0} \varepsilon(|\tau - \tau'|) \varphi(\tau') d\tau' + f(\tau), \quad \tau \in (0, \tau_0),$$

использующие пространство кусочно линейных функций. Частным случаем рассматриваемого уравнения является широко используемое в астрофизике [1] интегральное уравнение переноса излучения.

Рассматриваются методы галеркинских типа и их модификации – итерированный метод Галеркина, метод Канторовича и итерированный метод Канторовича. В качестве оператора проектирования выступают оператор $\hat{\pi}^h$ ортогонального проектирования в L_2 , усредняющий оператор σ^h , операторы кусочно линейного интерполирования l^h и \hat{l}^h (последние можно трактовать как операторы ортогонального проектирования в W_2^1).

Проведены вычислительные эксперименты применения рассматриваемых методов, а также аналогичных методов [2], основанных на использовании проектирования на пространство кусочно-постоянных функций, к решению интегрального уравнения переноса излучения. Для численной реализации методов используются варианты циркулянтно предобусловленного метода сопряженных градиентов, предложенные в [3–5].

Для рассматриваемых методов выведены оценки погрешности.

Литература

1. **Sobolev V.V.** A treatise on radiative transfer. Princeton: D. Van Nostrand, 1963.
2. **Amosov A., Ahues M., Largillier A.** Superconvergence of some projection approximations for weakly singular integral equations using general grids // *SIAM J. Numer. Anal.* 2009. Vol. 47. No 1. P. 646–674.
3. **Амосов А.А., Дмитриев В.В.** Применение циркулянтно предобусловленного метода сопряженных градиентов для численного решения интегрального уравнения переноса излучения // *Вестник МЭИ.* 2005. № 6. С. 5–24.
4. **Амосов А.А., Юссеф Я.Э.** Численная реализация метода Галеркина с кусочно-линейными базисными функциями, используемого для решения интегрального уравнения переноса излучения // *Вестник МЭИ.* 2013. № 6. С. 110–124.
5. **Юссеф Я.Э.** Об одном проекционном методе решения интегрального уравнения переноса излучения и его численной реализации // *Труды Международной научно-технической конференции «Информационные средства и технологии».* М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

Секция 16

ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

*Председатель секции — зав. каф. ПМ, д.т.н.,
профессор А.П. Еремеев
Секретарь секции — к.т.н., доцент П.Р. Варшавский*

Р.В. Алехин, асп.; рук. П.Р. Варшавский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РЕАЛИЗАЦИЯ ПРЕЦЕДЕНТНОГО МОДУЛЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МЕХАНИЗМА СТРУКТУРНОГО ОТОБРАЖЕНИЯ

Прецедентный подход основывается на накоплении опыта и последующей адаптации решения известной задачи к решению новой [1]. Методы поиска решения на основе прецедентов (CBR – Case-Based Reasoning) успешно используются в различных областях человеческой деятельности (медицина, техника, юриспруденция и др.), а также в системах экспертного диагностирования, машинного обучения и интеллектуальных системах поддержки принятия решений. Этот подход позволяет упростить процесс принятия решений при наличии разного рода неопределенности в исходной информации и экспертных знаниях.

Существует целый ряд методов поиска решений на основе прецедентов (извлечения прецедентов) и их модификаций [2], например: метод ближайшего соседа, метод извлечения прецедентов на основе деревьев решений, метод извлечения прецедентов на основе знаний, метод извлечения с учетом применимости прецедента.

В работе предлагается осуществлять извлечение и определение сходства прецедента и текущей ситуации в два этапа [3]: определение структурного сходства и формирование парных соответствий с помощью алгоритма на базе теории структурного отображения (SMT); определение сходства по методу ближайшего соседа с учетом полученных парных соответствий. В результате применения данного метода получим множество прецедентов, каждому из которых сопоставлены две оценки сходства с текущей ситуацией: оценка структурного сходства; оценка близости значений параметров по методу ближайшего соседа.

Программная реализация прецедентного модуля и соответствующих алгоритмов проведена в среде MS Visual Studio 2010 на языке C#.

Литература

1. **Варшавский П.Р., Еремеев А.П.** Поиск решения на основе структурной аналогии для интеллектуальных систем поддержки принятия решений // Известия РАН. Теория и системы управления. 2005. № 1. С. 97–109.
2. **Варшавский П.Р., Алехин Р.В.** Метод поиска решений в интеллектуальных системах поддержки принятия решений на основе прецедентов // International Journal «Information models and analyses». 2013. Vol. 2. № 4. С. 385–392.
3. **Варшавский П.Р., Алехин Р.В.** Реализация прецедентного модуля для интеллектуальной системы поддержки принятия решений // Четырнадцатая национальная конференция по искусственному интеллекту с международным участием КИИ-2014 (24–27 сентября 2014. г. Казань, Россия): Труды конференции. Т. 2. Казань: Изд-во РИЦ «Школа», 2014. – С. 5–13.

А.А. Бублик, студ.; рук. А.М. Чернецов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОЕ РЕШЕНИЕ ЛИНЕЙНЫХ СИСТЕМ С ТРЕХДИАГОНАЛЬНОЙ МАТРИЦЕЙ СРЕДСТВАМИ ГРАФИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОРОВ

Задача численного решения системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) большой размерности – одна из наиболее распространенных задач в математическом моделировании, экономике, статистике и многих других (преимущественно технических) областях. Для ее эффективного решения необходимо использовать параллельные вычисления на высокопроизводительных системах [1].

Часто необходимо найти решение СЛАУ, матрица коэффициентов которой имеет определенную структуру и/или обладает определенными свойствами [2]. Зная особенности матрицы коэффициентов, можно разработать метод, решающий задачу наиболее эффективно.

В данной работе реализован и исследован алгоритм решения СЛАУ, заключающийся в разделении больших систем на подсистемы для помещения их в разделяемую память графического ускорителя (GPU). Ранее большие трехдиагональные СЛАУ не могли быть эффективно решены с использованием GPU в связи с малым объемом разделяемой памяти. Алгоритм разработан на основе методов циклической редукции и метода прогонки [3]. Разделение систем проводится с помощью метода параллельной циклической редукции, а решение получившихся подсистем – с помощью метода прогонки. Предложенный алгоритм учитывает размер разделяемой памяти на GPU, что позволяет сократить время решения задачи. Специфика алгоритма заключается в том, что степень разбиения исходной системы на подсистемы зависит от размеров разделяемой памяти GPU. Среда реализации – Visual Studio 2008 с использованием NVIDIA CUDA.

Выполнено исследование характеристик эффективности параллельного решения в зависимости от размерности задачи, степени разбиения и количества систем уравнений.

Литература

1. **Гергель В.П.** Теория и практика параллельных вычислений. М.: Бином, 2007.
2. **Ильин В.П., Кузнецов Ю.И.** Трехдиагональные матрицы и их приложения. М.: Наука, 1985.
3. **Ярмушкин С.В.** Исследование параллельных алгоритмов решения трехдиагональных СЛАУ. Сам.: Гос. тех. ун-т., 2004.

С.А. Буренков, асп.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ЭКРАНИРОВАНИЯ АВИАЦИОННОГО ШУМА

Важным критерием качества авиационных двигателей являются его аэроакустические характеристики. Поэтому актуальным представляется исследование причин возникновения шума в ходе работы двигателя, проблем, связанных с его акустическим распространением и экранированием. Выполнение оценки экранирования авиационного шума биротативных винтов сводится к решению системы линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) в комплексных числах.

Размерность систем, возникающих в ходе оценки шума на практике, составляет $8 \cdot 10^4$ и выше. Хранение матриц таких размерностей требует свыше 100 Гб оперативной памяти, причем объем требуемой памяти растет пропорционально квадрату размерности систем, а высокая трудоемкость метода Гаусса [1], выбранного для решения возникающей системы – $O(n^3)$ – приводит к чрезмерно большим временным затратам на ее решение. В силу указанных особенностей задача относится к классу вычислительно трудоемких, для решения которых целесообразно применять высокопроизводительные вычислительные системы (ВС) [2, 3].

В рамках данной работы предложена, реализована и исследована параллельная модификация метода Гаусса для высокопроизводительных ВС с распределенной памятью средствами языка C++ с использованием библиотеки передачи сообщений (MPI). Предложенная модификация не требует хранения матрицы коэффициентов целиком в памяти одного узла, что позволяет значительно увеличить максимальную размерность систем, решение которых не приведет к переполнению памяти. Кроме того, одновременное выполнение независимых операций позволяет существенно уменьшить время решения СЛАУ.

Дальнейшее исследование предполагает расширение разработанной модификации для гибридных ВС с общей и распределенной памятью. Ожидается, что такое расширение позволит более эффективно использовать доступные ресурсы ВС и, как следствие, уменьшит временные затраты на решение.

Литература

1. Амосов А.А., Дубинский Ю.А., Копченова Н.В. Вычислительные методы. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.
2. Гергель В.П. Теория и практика параллельных вычислений. М.: Бином, 2007.
3. Воеводин В.В., Воеводин Вл.В. Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.

В.В. Витальев, студ.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ОБОБЩЕННЫХ ПОНЯТИЙ В «ЗАШУМЛЕННЫХ» БАЗАХ ДАННЫХ

Целью современных систем поддержки принятия решений, в частности интеллектуальных и экспертных систем, является моделирование явлений реального мира. Очевидно, что вся информация, охватывающая такие явления, и имеющаяся у исследователей, обычно не является полной или точной. Поэтому целью работы стала необходимость реализации одного из алгоритмов индуктивного формирования понятий с учетом шума.

В рамках этой задачи можно выделить несколько подзадач: изучение алгоритмов индуктивного формирования понятий, рассмотрение моделей шума, разработка программной среды, реализация алгоритма и методов внесения шума, проведение тестов, а также сбор статистики.

Во время выполнения работы было рассмотрено несколько алгоритмов и выбран для реализации алгоритм Куинлана ID3 [1], так как он работает с качественными признаками, что может быть полезно при поиске логических закономерностей между признаками.

Упомянутые алгоритмы работают только с чистыми, непротиворечивыми, полными, небольшими по объему данными, в то время как реальные базы данных имеют неточности, большой объем, недоступность некоторых данных. Чтобы справиться с этой проблемой, предлагается восстановить отсутствующие значения. Для этого рассматриваются два метода: метод «максимального повторения» и метод «ближайших соседей».

Был реализован программный комплекс в среде Visual Studio 2012 с использованием языка C#, основными задачами которого являются: построение дерева решения с помощью алгоритма ID3 с использованием обучающей выборки; классификация тестовой выборки; обработка шумов, которые могут появляться как в рамках решения первой задачи, так и второй; учет классифицированных и неклассифицированных данных.

Использованные в работе тестовые данные взяты из репозитория Калифорнийского университета [2].

Литература

1. **Quinlan J.R.** Induction of Decision Trees // Machine Learning. 1986. Vol. 1. P. 81–106.
2. **Репозиторий** калифорнийского университета // [Электронный ресурс]: <http://archive.ics.uci.edu/ml/>

СИСТЕМА 3D-ВИЗУАЛИЗАЦИИ

Системы визуализации воспроизводят графические данные, подготовленные с помощью графического приложения, например, 3ds Max или Maya. Известные системы визуализации, например Twilight Render или Blender, постоянно совершенствуются. Кроме того, создаются новые решения, например корпорация Disney разрабатывает свою систему визуализации Huregion. В каждом новом решении или версии решаются задачи расширения и улучшения функционала приложения, повышения качества результата и ускорения вычислений.

Важной задачей системы визуализации является эффективное использование возможностей многопроцессорных архитектур и современных видеоадаптеров [1]. В частности, в созданной системе визуализации решается проблема «задержки» – вынужденного простоя видеоадаптера из-за недостаточной производительности процессора. Для решения этой проблемы использовано расширение графического API OpenGL, дающее низкоуровневый доступ к видеокарте. Кроме того, воспроизведение текстуры выполняется средствами видеоадаптера [2], что также дает существенный рост производительности приложения. Используемые алгоритмы обеспечивают хорошее соотношение качество/производительность.

Разработанная система визуализации является «каркасом» целевого приложения и может быть легко адаптирована для решения различных задач.

В будущем планируется оптимизировать подсистемы приложения, улучшить графическую составляющую и улучшить инструменты взаимодействия «художник-приложение».

Литература

1. **NVIDIA Corporation.** GPU Gems 3. NVidia, 2007.
2. **NVIDIA Corporation.** Programming with NV_path_rendering An Annex to the SIGGRAPH paper GPU-accelerated Path Rendering. NVidia, 2009.

В.А. Ганишев, студ.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛИЗА ВРЕМЕННЫХ РЯДОВ В СИСТЕМАХ ГОЛОСОВОЙ ИДЕНТИФИКАЦИИ

В настоящее время системы голосой идентификации вызывают все больший интерес среди исследователей. Помимо того, что данные системы могут использоваться для определения личности пользователя, они позволяют решать более широкий круг задач:

- выделение речи определенного человека среди шума, разговора других людей (задачи *noise reduction*, *overlapping speech*);
- выделение временных фрагментов активности каждого говорящего (*speaker diarization*) [1] и многие другие.

Данная работа предлагает применение методов интеллектуального анализа временных рядов для решения данных задач. В работе приводятся описание и сравнение регрессионных, авторегрессионных и нейросетевых моделей.

Задача усложняется сильной зависимостью от технических средств и обстоятельств записи (удаленность от говорящего, акустика помещения), что приводит к необходимости нормализации временных рядов [2]. В статье выполнено сравнение различных методов нормализации временных рядов перед обработкой (*дискретное преобразование Фурье, Dynamic Time Warping*).

В рамках исследования рассматривается выделение индивидуальных голосовых особенностей, так как очевидные характеристики могут меняться у одного и того же человека в зависимости от окружающей среды, состояния или языка, на котором он говорит. В статье используется метод нейросетевого сжатия данных (*informational bottleneck method*) [3] для сокращения набора характеристик, а также нахождения неочевидных закономерностей.

Результаты данного исследования могут быть применены для решения широкого круга задач, таких как навигация, поиск и высокоуровневый вывод на наборах звуковых данных.

Литература

1. **Wei-Ho Tsai, Shih-Jie Liao.** Speaker Identification in Overlapping Speech // Journal of Information Science and Engineering. 2010. 26(5). P. 1891–1903.

2. **Xavier Anguera, Simon Bozonnet.** Speaker diarization: A review of recent research // IEEE Transactions On Acoustics Speech and Language Processing (TASLP), special issue on «New Frontiers in Rich Transcription», 2011.

3. **Naftali Tishby, Fernando Pereira, and William Bialek.** The Information Bottleneck Method // The 37th annual Allerton Conference on Communication, Control, and Computing, 1999. – P. 368–379.

А.В. Деревянко, студ.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АБСТРАКТНОЙ АРГУМЕНТАЦИИ С ВЕРОЯТНОСТНЫМИ СТЕПЕНЯМИ ОБОСНОВАНИЯ

Любая современная интеллектуальная система поддержки принятия решений содержит базу знаний. Данные базы знаний формируются, как правило, на основе экспертных знаний. Однако такие базы знаний часто содержат противоречивую и неточную информацию. Причины возникновения противоречий могут быть различными: ошибки формализации знаний, неверная интерпретация, противоречивость мнений нескольких экспертов. Таким образом, обработка противоречивых данных, т.е. выявление конфликтов и нахождение наиболее достоверных предположений, является актуальной задачей. Одним из подходов к проблеме является применение теории аргументации с вероятностными степенями обоснования [1].

В данной работе рассматривается возможность назначения вероятностей аргументам, являющимся элементами аргументационной системы. Вероятности аргументам присваиваются тогда, когда невозможно определить, является ли аргумент истинным или ложным, но имеются некоторые предположения относительно этого [2]. С такой ситуацией, например, сталкивается полицейский, когда получает показания о преступлении от различных лиц, к каждому из которых он располагает различными степенями доверия.

В рамках работы было реализовано программное средство, позволяющее решать две задачи. Во-первых, с помощью него можно строить аргументационную систему с вероятностными степенями обоснованиями (т.е. систему, в которой каждому аргументу соответствует некоторое значение вероятности $p \in [0, 1]$). Во-вторых, применение данного программного средства позволяет эффективно решать задачу поиска предпочтительной совокупности аргументов (так называемого расширения), т.е. такого подмножества аргументов, степень доверия к которому наивысшая. Для лица, принимающего решение, это важно тем, что позволяет определить аргументы, на которые стоит обратить внимание, и аргументы, влияние которых несущественно.

Литература

1. **Hunter A.** Some foundations for probabilistic argumentation, in: Proceedings of the International Conference on Computational Models of Argument (COMMA'12), 2012.
2. **Amgoud L., Cayrol C.** A reasoning model based on the production of acceptable arguments // Annals of Mathematics and Artificial Intelligence. 2002. 34 (1–3). P. 197–215.

Г.К. Джамалов, асп.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ТЕСТИРОВАНИЯ ДЛЯ КОРПОРАТИВНОЙ СИСТЕМНОЙ ШИНЫ ОАО «СБЕРБАНК РОССИИ»

В настоящее время существует огромное количество программного обеспечения (ПО), используемое в различных компаниях во всевозможных областях индустрии. Любая ошибка в работе этого программного обеспечения может принести большие неудобства пользователям и финансовые затраты этой компании. Контроль качества ПО можно обеспечить с использованием процесса тестирования ПО [1]. Тестирование ПО – это проверка соответствия между реальным и ожидаемым поведением программы.

В крупных компаниях программное обеспечение разрабатывается по принципам сервис-ориентированной архитектуры (СОА) – модульного подхода к разработке программного обеспечения [1, 2], основанного на использовании распределенных, слабо связанных, заменяемых компонентов.

В рамках работы была проведена разработка и реализация системы автоматизированного тестирования (САТ) программного комплекса, разработанного в соответствии с СОА, проведено промышленное тестирование корпоративной системной шины (КСШ) ОАО «Сбербанк России». В результате было охвачено более 700 бизнес-операций 78 систем (компонентов системы) и выявлены различные ошибки ПО, которые могли бы привести к непредсказуемым последствиям.

На реализацию данной системы было потрачено около трех месяцев командой разработчиков из трех человек, что дало возможность проводить автоматизированное тестирование КСШ в сроки не более трех дней, что в случае ручного тестирования с привлечением тестировщиков представляется невыполнимой работой с учетом масштабов. На данный момент разработанная САТ запускается перед каждым выходом новой версии ПО в промышленное использование.

Литература

- 1. Куриленко И.Е.** Разработка программного обеспечения с помощью CASE-технологий. М.: Издательство МЭИ, 2013. – 72 с.
- 2. Куриленко И.Е., Варшавский П.Р.** Модульное тестирование: учебное пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2011. – 48 с.

МНОГОПОТОЧНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЛЕНТОЧНЫХ СЛАУ В МОДЕЛИ ОБЩЕЙ ПАМЯТИ

Задача решения систем линейных алгебраических уравнений (СЛАУ) является одной из наиболее часто встречающихся задач вычислительной математики. Она находит свое применение в дискретизации краевых задач, аппроксимации функций, статистической обработки данных и т.д. Отдельное место среди подобных задач занимает решение СЛАУ ленточного вида больших размерностей [1]. В связи со спецификой формы матрицы коэффициентов для решения таких систем требуются модификации классических методов, учитывающие эту специфику. Однако даже использование модификаций для СЛАУ достаточно больших размерностей не позволяет получать решение за удовлетворительное время. Поэтому основным подходом к решению такого класса задач является разработка эффективных параллельных методов и алгоритмов, а также использование технологий, ориентированных на параллельные архитектуры [2].

В представленной работе предложено и реализовано многопоточное приложение на языке C++ для решения класса ленточных СЛАУ размерностью до 10^7 . Многопоточность реализована посредством технологии OpenMP 2.0, которая является наиболее эффективной и удобной для разработки параллельных приложений в модели общей памяти [3]. В качестве основного метода решения трехдиагональных СЛАУ в работе предложена модификация метода встречной прогонки, основными преимуществами которого являются возможность распараллеливания и хранения только элементов, расположенных на ленте матрицы, а не всей исходной матрицы.

В рамках работы также выполнена реализация алгоритма средствами автоматического распараллеливания и проведено сравнение с созданной вручную реализацией. На основании сравнения сделан вывод, что для данной задачи средства автоматического распараллеливания программ не позволяют максимально распараллелить код программы, но все же дают достаточно хороший результат по сравнению с последовательным алгоритмом решения.

Литература

1. **Ильин В.П., Кузнецов Ю.И.** Трехдиагональные матрицы и их приложения. М.: Наука, 1985.
2. **Воеводин В.В.** Параллельные вычисления. СПб: БХВ-Петербург, 2002.
3. **Баркалов К.А.** Методы параллельных вычислений: методическое пособие. Нижний Новгород, 2011.

РАЗРАБОТКА МОДИФИКАЦИИ АЛГОРИТМА RETE ДЛЯ НЕЧЕТКИХ ЭКСПЕРТНЫХ СИСТЕМ

В основе функционирования экспертных систем лежит модель знаний. Она содержит набор принципов, которые описывают состояние и поведение объекта исследования. Наиболее широко применяемой моделью знаний в экспертных системах является продукционная модель в силу своей понятности конечному пользователю и простоты механизмов вывода [1]. Однако в последнее время большое распространение приобретают нечеткие экспертные системы. Данный тип экспертных систем базируется на наборе правил, в которых используются лингвистические переменные и нечеткие отношения для описания состояния и поведения исследуемого объекта. Правила, представленные в таком виде, наиболее приближены к естественному языку, поэтому нет необходимости использования отдельного специалиста (инженера по знаниям) для создания и редактирования правил. Они могут быть отредактированы самим экспертом практически без специальной подготовки [2].

В рамках данной работы была поставлена задача разработать и реализовать модификацию алгоритма Rete для нечеткой продукционной базы правил. Также необходимо разработать нечеткую продукционную экспертную систему, механизм вывода которой будет функционировать на основе созданной модификации алгоритма Rete. Необходимо разработать формальную модель дерева решений модифицированного алгоритма Rete.

При работе решателя нечеткой продукционной экспертной системы все правила из базы правил применяются последовательно. При этом заново анализируются все условия, которые содержатся в данных правилах. Разработанный алгоритм позволит проверять каждое условие только один раз. Таким образом, будет обеспечено ускорение работы решателя нечеткой ЭС и, следовательно, решение будет найдено быстрее.

Литература

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Изв. РАН. ТиСУ. 2001. № 6. С. 114–123.
2. **Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем. СПб: Питер, 2001. – 384 с.

РАЗРАБОТКА БЛОКА ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ДЛЯ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ

На сегодняшний день блок прогнозирования является неотъемлемой частью современных интеллектуальных (экспертных) систем (ИС) и, в частности, интеллектуальных систем поддержки принятия решений (ИСППР), ориентированных на решение целого ряда задач в различных проблемных областях с использованием средств интеллектуального анализа данных и прогнозирования развития ситуаций на объекте управления. Как правило, ИСППР применяются в условиях неопределенности в исходной информации и наличия противоречивых, недоверенных, а иногда и заведомо ложных данных, что может приводить к получению низкокачественных (ошибочных) результатов. По этой причине задача разработки для ИСППР развитых средств прогнозирования с привлечением экспертных методов для получения достоверных результатов и прогнозов в сложных ситуациях, когда ощутим недостаток имеющейся информации и отсутствует возможность математической формализации процесса решения, является очень актуальной.

Целью работы являлось исследование различных моделей и методов прогнозирования, используемых в ИС (ИСППР) и основанных как на прямых, так и на косвенных данных, с использованием статистических данных, методов теории вероятности, анализа временных рядов и методов на основе экспертных оценок. В работе были исследованы различные методы прогнозирования [1] и, в частности, методы на основе экспертных оценок [2] и предложен комбинированный метод прогнозирования, а также разработаны соответствующие алгоритмы. Предложена архитектура блока прогнозирования для ИСППР и выполнена его программная реализация в среде Microsoft Visual Studio 2010 с использованием средств MS SQL Server для обеспечения хранения информации (статистики) в БД системы.

На примере задачи прогнозирования результатов футбольных матчей и задачи экспертного диагностирования технического объекта было выполнено тестирование разработанного блока. В результате проведенного тестирования были сделаны выводы о корректности полученных результатов.

Литература

1. **Афанасьев В.Н., Юзбашев М.М.** Анализ временных рядов и прогнозирование: учебник. М.: Финансы и статистика, 2001.
2. **Мартемьянов Ю.Ф., Лазарева Т.Я.** Экспертные методы принятия решений: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамб. гос. техн. ун-та, 2010.

ПРОДУКЦИОННЫЙ ЯЗЫК ДЛЯ СИСТЕМЫ «БИНАРНАЯ МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ»

В работе рассмотрена задача разработки продукционного языка для исполнения предложений языка логической спецификации (ЯЛС) системы «Бинарная модель знаний» (БМЗ) [1].

Система БМЗ была разработана Г.С. Плесневичем и предназначена для спецификации онтологий [2], которые определяются как ключевая технология для развития Семантического Веба [3]. БМЗ включает концептуально-ориентированные языки, в том числе язык логической спецификации, предложения которого специфицируют экстенсионалы понятий моделируемой предметной области. Для определения операционной семантики языка ЯЛС необходимо задавать продукционные правила логического вывода из базы фактических данных (фактов). Отсюда вытекает актуальность данной работы.

Продукции представляют собой предложения типа *ЕСЛИ* «условие» *ТО* «действие» [4]. Под «условием» понимается некоторое предложение-образец, по которому осуществляется поиск в базе знаний, а под «действием» – действия, выполняемые при успешном исходе поиска. Продукции действуют на базах фактов для онтологий, составленных из примитивных предложений. С каждым типом примитивного предложения ассоциируется набор продукций.

Продукции могут быть применены во многих системах обработки знаний для логического вывода. В данной работе разработанные продукционные правила были реализованы в среде CLIPS для решения известной задачи Steamroller (Паровой каток) [5]. Перспективой дальнейшего развития работы является разработка продукционного языка для исполнения предложений, содержащих атрибуты.

Литература

1. **Plesniewicz G.S.** Binary Data and Knowledge Model // In: V. Stefanuk & Kenjiri (eds.) Knowledge-based Software Engineering. IOS Press, 2004.
2. **Лапшин В.А.** Онтологии в компьютерных системах. М.: Научный мир, 2010. – 224 с.
3. **Berners-Lee T., Hendler J. and Lassila O.** The Semantic Web // Scientific American. May. 17. 2001.
4. **Гаврилова Т.А., Хорошевский В.Ф.** Базы знаний интеллектуальных систем СПб: Питер, 2000. – 384 с.
5. **M.E. Stickel.** Schubert's Steamroller Problem: Formulations and Solutions // Journal of Automated Reasoning. 2 (1986). 89–101.

Д.А. Новикова, студ.; рук. П.В. Гречкина, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ И ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТА ПРОХОЖДЕНИЯ ТЕСТИРОВАНИЯ

Компьютерные системы обучения (КСО) играют неоспоримо важную роль в современной системе образования. В комплекс КСО, помимо обучающих материалов также должны входить автоматизированные системы проверки знаний по темам, разделам и курсам. Одним из способов автоматизированной проверки знаний студента являются учебно-тренировочные задания (УТЗ), а одним из видов УТЗ – тестирование [1, 2]. Исследование методов и алгоритмов оценки прохождения УТЗ учащимся является актуальной задачей нашего времени.

Предлагаем адаптировать выбор и порядок подачи вопросов под каждого отдельного испытуемого. Для этого все вопросы теста необходимо разделить на четыре категории:

- Q_{basic} – основные вопросы, не вызывающие затруднений у хорошо подготовленных студентов;
- Q_{add} – наводящие вопросы, составленные либо сгенерированные для каждого вопроса из категории Q_{basic} , которые будут заданы студенту в случае неуспешного ответа на соответствующие основные вопросы и засчитываемые за основной вопрос в случае верного ответа;
- Q_{med} – вопросы средней сложности, которые будут предложены студенту при удовлетворительном ответе на основные и наводящие вопросы;
- Q_{hard} – сложный вопрос, который будет задан в исключительных ситуациях.

Основной смысл предлагаемого подхода заключается в том, что студент будет набирать баллы во время прохождения заданий. Ответив на некоторое количество легких вопросов и набрав достаточное количество баллов для продолжения теста, он получит доступ к более серьезной категории.

Адаптация набора вопросов для конкретного испытуемого поможет быстрее выявить уровень знаний студента, оценить в полной мере их глубину и поставить заслуженную оценку. Прохождение теста происходит в он-лайн режиме. Метод реализуется с помощью серверного языка PHP с использованием технологии Ajax.

Литература

1. Башмаков А.И., Башмаков И.А. Разработка компьютерных учебников и обучающих систем. М.: Информационно-издательский дом «Филинь», 2003. – 616 с.
2. Аванесов В.С. Научные основы тестового контроля знаний. М.: Исследовательский центр, 1994. – 135 с.

Д.Е. Панков, студ.; рук. В.Н. Вагин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ ОБОБЩЕНИЯ, ОСНОВАННЫХ НА ЛОГИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЗНАНИЙ

В современном мире большие объемы информации часто содержат скрытые закономерности. Поиск такого рода закономерностей экспертом является сложной задачей, однако такие скрытые зависимости можно эффективно и быстро извлечь, используя интеллектуальные системы.

Для извлечения скрытых закономерностей в интеллектуальных системах используются методы и алгоритмы обобщения [1]. Задача обобщения состоит в построении некоторого общего правила, закона на основании конечного числа наблюдаемых фактов (обучающее множество). Интеллектуальные системы, решающие такие задачи, находят практическое применение во множестве областей. К ним относятся медицина и здравоохранение, менеджмент, бизнес, маркетинг и многие другие.

Существуют различные алгоритмы обобщения [2, 3]; в данной работе был детально исследован алгоритм FOIL. Этот алгоритм формирует на основе примеров, входящих в обучающую выборку, систему хорновских дизъюнктов. Алгоритм FOIL способен эффективно и точно формировать решающие правила, используя обучающее множество. При этом обучающее множество должно содержать полные и непротиворечивые данные.

Была поставлена задача – изучить влияние шума на работу данного алгоритма обобщения. Под шумом мы понимаем несистематические ошибки в описании объектов. Для исследования использовались модели шума «искажение» и «отсутствие значений». Также были рассмотрены различные варианты внесения шума в обучающее множество.

Исследование показало, что предложенные методы борьбы с шумом, такие как восстановление неизвестных значений, позволяют существенно снизить влияние шума «отсутствие значений» на результаты обобщения для выбранного алгоритма.

Литература

1. **Достоверный** и правдоподобный вывод в интеллектуальных системах / В.Н. Вагин и др. М.: Физматлит, 2008.
2. **Quinlan J.R. Learning**. Logical Definitions from Relations // Machine Learning. 1990. Vol. 5. P. 239–266.
3. **Quinlan J.R.** Discovering rules by induction from large collections of examples. Edinburgh University Press, 1979.

Д.М. Петруша, студ.; рук. О.Ю. Шамаева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МНОГОПОТОЧНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ДИРИХЛЕ ДЛЯ УРАВНЕНИЯ ПУАССОНА

Одной из популярных задач вычислительной математики является задача решения дифференциальных уравнений в частных производных. С данным кругом задач часто приходится сталкиваться при моделировании процессов теплопередачи с внутренними источниками тепла, деформации упругих пластин и др. Явное решение таких задач в аналитическом виде оказывается возможным только в некоторых частных случаях. Наиболее приемлемым путем их решения является применение приближенных численных методов, которые обычно порождают значительный объем вычислений, что не позволяет получить ответ за удовлетворительное время, если не использовать высокопроизводительные архитектуры и параллельные технологии.

Одним из наиболее популярных подходов к численному решению дифференциальных уравнений является метод конечных разностей (метод сеток) [1, 3], который ориентирован на последовательные схемы вычислений. Для эффективного применения метода на высокопроизводительных системах необходима его параллельная модификация с использованием блочно-волновой схемы обработки данных [1]. При данном подходе порядок вычислений сохраняется как при последовательной обработке, что гарантирует получение верных результатов решения, а для эффективного использования кэш-памяти данные подаются на обработку блоками.

В представленной работе реализовано многопоточное приложение на языке C# для решения задачи Дирихле для уравнения Пуассона на основе сеточного метода с использованием блочно-волновой схемы обработки данных. Для организации многопоточности приложения используется технология OpenMP, широко применяемая для организации параллельных вычислений в модели общей памяти [2]. Реализованное приложение протестировано и исследовано с целью определения оптимального размера блока данных для разных размерностей системы. Полученные результаты позволили сделать выводы об эффективности данного подхода для решения подобного круга задач.

Литература

1. **Гергель В.П.** Теория и практика параллельных вычислений. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2007.
2. **Воеводин В.В., Воеводин Вл.В.** Параллельные вычисления. СПб.: БХВ-Петербург, 2002.
3. **Бахвалов Н.С., Жидков Н.П., Кобельков Г.М.** Численные методы. М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2003.

ВЕБ-СЕРВИС ДЛЯ ОРГАНИЗАЦИИ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Разрабатывается программный комплекс для предоставления пользователю удобного интерфейса к возможностям удаленной вычислительной системы. Он специализирован на запуске процесса с предварительной передачей входных параметров и последующей обработкой результата. С его помощью можно добавлять реализованный программный код в список исполняемых программ и запускать его на удаленном сервере в дальнейшем.

В настоящее время системы подобной клиент-серверной архитектуры имеют большое распространение. Сложными вычислениями занимаются специализированные вычислительные машины, а компактные устройства лишь отправляют запрос и отображают результат. Разрабатываемая система эффективно использует преимущества такой архитектуры и решает актуальные задачи.

Во время разработки данного сервиса были решены следующие задачи.

1. Обеспечение защиты и отказоустойчивости системы.
2. Обеспечение контроля над запущенными процессами [1].
3. Эффективность запуска исполняемых программ.
4. Эффективность передачи данных [3].
5. Обеспечение масштабируемости и расширяемости системы [1], [3].

Разрабатываемая система имеет специализированное назначение и не имеет прямых аналогов. Это дает ей следующие преимущества относительно систем общего назначения (например, RemoteApp): ограниченный доступ к удаленным ресурсам; наличие системы прав доступа и аутентификации пользователя по логину/пароллю; простоту добавления новых пользователей и исполняемых программ; структурированное хранение исполняемых программ; удобство просмотра результата выполненной программы с помощью клиентского приложения [2].

Литература

1. **Джеффри Рихтер.** CLR via C#. СПб: Питер, 2013.
2. **Мэтью Макдональд.** WPF: Windows Presentation Foundation в .NET 4.5 с примерами на C# 5.0 для профессионалов. М.: Вильямс, 2013.
3. **WCF 4:** Windows Communication Foundation и .NET 4 для профессионалов / П. Сиббаро, К. Клайс, Ф. Косолино, Й. Грабнер. М.: Вильямс, 2011.

Д.А. Шорникова, студ.; рук. И.Е. Куриленко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПОСТРОЕНИЕ ТЕМПОРАЛЬНЫХ ПРЕЦЕДЕНТОВ С ПОМОЩЬЮ ТОЧЕЧНО-ИНТЕРВАЛЬНОЙ ТЕМПОРАЛЬНОЙ ЛОГИКИ

Важной задачей в области создания интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени (ИСППР РВ) является задача моделирования правдоподобных рассуждений [1]. В настоящее время активно применяются методы рассуждений на основе прецедентов (CBR-методы), позволяющие принимать решения в неизвестных ситуациях, используя решение, принятое ранее [2]. Классические методы рассуждений на основе прецедентов позволяют извлекать прецеденты на основе значений параметров контролируемой системы в текущий момент времени и не учитывают динамику развития процессов, протекающих в системе. С учетом истории изменения состояний наблюдаемого процесса или объекта можно найти более качественные решения [3].

В работе предлагается использовать точно-интервальную темпоральную логику для построения темпоральных прецедентов, что позволит не только отслеживать историю изменения параметров процесса, но и оперировать такими понятиями, как «рост значения», «постоянство», «спад», «резкий скачок» и др. В точно-интервальной темпоральной логике временная информация может быть представлена в виде временных ограничений, а алгоритмы вывода основываются на решении задачи проверки согласованности этих ограничений. Как правило, эти алгоритмы имеют большую сложность, чем алгоритмы запроса согласованного ограничения. Поэтому хранение временной информации предлагается в форме готовых согласованных ограничений, что позволит повысить эффективность алгоритмов извлечения прецедентов из базы знаний.

Использование темпоральных прецедентов и соответствующие алгоритмы вывода могут повысить эффективность современных ИСППР РВ и упростить процесс принятия решений.

Литература

1. **Вагин В.Н., Еремеев А.П.** Некоторые базовые принципы построения интеллектуальных систем поддержки принятия решений реального времени // Известия РАН. Теория и системы управления. 2001. № 6. С. 114–123.
2. **Варшавский П.Р., Еремеев А.П.** Моделирование рассуждений на основе прецедентов в интеллектуальных системах поддержки принятия решений. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2009. № 2. С. 45–57.
3. **Еремеев А.П., Куриленко И.Е.** Расширение возможностей моделирования временных зависимостей в интеллектуальных системах на основе применения темпоральных прецедентов // Интеллектуальные системы. Коллективная монография. Вып. 6. 2013. С. 89–118.

Секция 17

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНАЯ ТЕХНИКА И САПР

Председатель секции — зав. каф. ВТ, д.т.н., профессор

В.В. Топорков

Секретарь секции — к.т.н., доцент И.Е. Лешихина

И.П. Ковтун, студ.; рук. И.Н. Андреева, доц. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МЕХАНИЗМА РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ТРАНЗАКЦИЙ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ НАДЕЖНОСТИ РАБОТЫ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ БАНКОВСКОЙ СИСТЕМЫ

Эффективность и финансовая выгода от деятельности банка в настоящее время во многом определяется его способностью функционировать в постоянно меняющейся конкурентной среде. Увеличение числа клиентов влечет за собой возрастающую нагрузку на вычислительные системы, сетевые устройства, хранилища данных и другие узлы, обеспечивающие функционирование среды. Для крупных банков важным фактором является минимизация репутационных рисков и высокое качество обслуживания, которое зависит от надежности систем обработки операций.

Чтобы оставаться конкурентоспособным, банк должен постоянно расширять спектр предлагаемых им услуг. Анализ действующего подхода к разработке автоматизированной системы показал, что масштабирование функционала требует значительных усилий на разработку, внедрение и сопровождение программного продукта. Это дополняется возрастающим числом отказов из-за нехватки аппаратных ресурсов, обеспечивающих работоспособность системы.

Решением проблемы стало разделение всего спектра операций на функциональные подсистемы. Таким образом, для каждой подсистемы создается своя «зона ответственности», тем самым упрощая распределение задач и выявление ошибок ценою более длительного времени выполнения операций. Совершение какой-либо финансовой операции подразумевает слаженное взаимодействие всех вовлеченных в нее систем. В данной работе предлагается использовать преимущества технологии распределенных транзакций. Она позволит отслеживать выполнение требуемых от каждой подсистемы операций и гарантировать либо успешное завершение всей операции, либо откат всех узлов к состоянию на начало транзакции [1]. Это позволит исключить несогласованное состояние системы, которое может привести к отказу в обслуживании и неправильной обработке фи-

нансовых операций. Кроме того, разрабатываются интерфейсы, предоставляемые для вызова внешними сервисами, а также алгоритмы внутренней логики выполнения, диктуемой бизнес-правилами.

Литература

1. **Building WebServices with JAX-RPC**[©]. Oracle, inc.docs.oracle.com javaee/1.4/tutorial/doc/JAXRPC.html.

Г.В. Колобаев, асп.; рук. В.В. Топорков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ НОВОСТНЫХ ЗАПРОСОВ К ПОИСКОВОЙ СИСТЕМЕ

Эффективность поисковой системы определяется полнотой и качеством поиска. Качество поиска определяется релевантностью поисковой выдачи, а также эмпирической удовлетворенностью пользователя результатами поиска.

Среди совокупности различных методов, предназначенных повысить качество поисковой выдачи, можно выделить так называемый вертикальный поиск. Данный подход заключается в поиске запроса по разным коллекциям с последующим блэндингом. Блэндинг осуществляется на основе алгоритмов, построенных с помощью машинного обучения. Одним из параметров таких алгоритмов является фактор принадлежности запроса к той или иной коллекции.

Одной из задач блэндинга является показ пользователю текущих новостей в случае введения новостного запроса.

Решение данной задачи основывается на анализе статистики запросов пользователей за определенное время. Статистика запросов высчитывается путем непрерывного анализа лог-сообщений поисковой системы, при этом каждый час происходит сохранение накопленной информации о количестве уникальных запросов от пользователей. Набор часовых статистик используется для вычисления относительных частот каждого запроса за различные промежутки времени. Обладая подобными данными, можно вычислить фактор «новизны» запроса за некоторый промежуток времени относительно другого промежутка [1]. Используя различные промежутки времени, например, можно получить набор факторов для каждого запроса, после чего применить машинное обучение с целью построения модели, определяющей степень принадлежности запроса к новостной коллекции.

Литература

Maslov M., Golovko A., Segalovich I., Braslavski P. Extracting News-Related Queries from Web Query Log. WWW 2006, May 23–26, 2006, Edinburgh, UK.

Д.Г. Медакин, студ.; рук. И.Н. Андреева, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫХ СРЕДСТВ ДЛЯ ВИЗУАЛИЗАЦИИ 3D-ИЗОБРАЖЕНИЯ НА РЕГУЛЯРНОЙ СЕТКЕ

В современном мире во многих областях науки – математике, физике, медицине – требуется визуализация 3D-объекта. Параллельно с развитием трехмерного моделирования стали появляться различные методы и компьютерные приложения для визуализации построенных трехмерных объектов. Чаще всего такая информация приходит с различных сканирующих устройств (например, в медицине) или в результате численного эксперимента (например, в динамике жидких сред). Существует несколько способов представления объектов в 3D-пространстве. Все их можно разделить на три группы:

- 1) каркасное, определяющее тело путем задания его вершин и соединений между ними;
- 2) поверхностное, определяющее тело путем задания ограничивающей его поверхности;
- 3) объемное, содержащее всю информацию о внутренних точках объекта в пространстве.

В настоящее время поверхностное представление является распространенным способом задания геометрии расчетной области. Однако в приложениях, где рассматриваются структуры сложной формы (например, моделирование в биомеханике, механике композиционных материалов) и когда возникает необходимость создания модели с внутренней структурой, использование объемного представления данных является более предпочтительным. Одним из методов представления объемной модели является представление модели в виде набора вокселей [1], рассмотренных в данной работе.

Целью данной работы стала реализация алгоритмов для визуализации объемных данных на регулярной сетке. В работе реализованы различные алгоритмы для визуализации объемных данных, позволяющие триангулировать поверхность внутри каждой ячейки модели в зависимости от выбранного уровня отображения и значений в соседних ячейках, представляющие собой как «классические» методы [2, 3] построения, так и двойственные методы.

Литература

1. **Hubert Nguyen.** GPU Gems 3 // Addison Wesley, 2003.
2. **Doi A., Koide A.** An Efficient Method of Triangulating Equivalently Surfaces by Using Tetrahedral Cells. 1991.
3. **Lopes A., Brodlie K.** // IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics. 2002. P. 16–29.

ВИРТУАЛЬНАЯ МАШИНА ДЛЯ САПР «АЛГОРИТМИРОВАНИЕ»

Постоянная обратная связь с обучаемым через компьютер, объективная и лишённая эмоций, – это инструментарий индивидуального и развивающего обучения [1]. В процессе занятий студентам необходимо достичь такого уровня понимания инструкций языка программирования, чтобы работа программы воспринималась ими в динамике. Обучающимся необходимо научиться «видеть» эту работу, динамику изменения значений переменных в процессе работы программы. Так закладывается фундамент алгоритмического и структурного мышления.

В качестве решения проблемы авторами предлагается создание САПР «Алгоритмирование», которая должна будет оказать в этом неоценимую помощь, предоставляя, с одной стороны, для студентов удобные средства отладки программ, а также автоматического составления схемы алгоритма по написанному коду, или же, наоборот, кода по схеме программы; с другой стороны, для преподавателя – мощный набор для составления интерактивных обучающих тестов на ручной прогон алгоритмов.

Созданная на данный момент виртуальная машина для выполнения кода – это первый этап разработки системы «Алгоритмирование». Необходимость написания собственной исполняющей среды, в то время как уже существуют другие, была обусловлена возможностью ее простой и оперативной модификации и усовершенствования в дальнейшем под нужды всех связанных с ней модулей САПР.

Основные блоки виртуальной машины: транслятор, совмещенный с анализатором лексических и синтаксических ошибок, переводящий текст исходной программы на Pascal (либо модель схемы алгоритма) в промежуточный язык; интерпретатор промежуточного языка [2].

Промежуточный язык представляет собой ассемблероподобный набор двузначных инструкций, соответствующих ключевым словам языка программирования, для интерпретатора, реализованного как стековая машина, записываемых при трансляции в инфиксной форме. Все это сделано для оптимизации и упрощения работы интерпретатора.

Литература

1. **Окулов С.М.** Основы программирования. М.: БИНОМ, 2010.
2. **Ахо А.В., Лам М.С., Сети Р., Ульман Д.Д.** Компиляторы: принципы, технологии и инструментарий. М.: Вильямс, 2008.

А.В. Суровцев, студ.; рук. М.В. Фомина, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ ФОРМИРОВАНИЯ ИНДУКТИВНЫХ ПОНЯТИЙ ПРИ НАЛИЧИИ НЕТОЧНОСТЕЙ И ПРОТИВОРЕЧИЙ В ДАННЫХ

Предметом исследований является раздел машинного обучения – классификация данных посредством обучения индуктивных классификаторов «с учителем». Реальные базы данных содержат неточности и противоречия, влияющие на точность классификации.

Для повышения точности классификации при работе в таких условиях предпринимаются дополнительные меры по обработке данных, направленные на уменьшение шума и восполнение отсутствующей информации, а также вносятся модификации в алгоритмы обучения.

Построение системы формирования индуктивных понятий, способной работать в реальных условиях, и стало целью данной работы.

В качестве алгоритмов обучения были выбраны CN4.5 и CN2. Этот выбор обусловлен тем, что данные алгоритмы могут работать с количественными атрибутами, что расширяет область применения получаемых классификаторов.

Для работы с неточностями и противоречиями были применены методы восстановления неизвестных значений и методы аргументации.

Результатом работы является программное обеспечение, реализующее построение классификаторов с использованием алгоритмов CN4.5 и CN2 с обработкой шума в исходных данных. Для проведения тестов были использованы базы данных из репозитория UCI [1, 2].

Средством реализации алгоритмов является язык Python 3.

Литература

1. **Quinlan J.R.** Induction of Decision Trees // Machine Learning. 1986. Vol. 1. P. 81–106.
2. **Репозиторий** калифорнийского университета. [Электронный ресурс] – <http://archive.ics.uci.edu/ml/> (дата обращения 21.10.2014).

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО МОДУЛЯ ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЕКТИРОВАНИЯ УЧАСТКОВ ЛЭП В СРЕДЕ САПР AUTOCAD

В связи с необходимостью транспортировки значительных объемов нефтегазовых ресурсов на большие расстояния существует потребность в программных средствах, автоматизирующих прокладку трубопровода и необходимой для его функционирования инфраструктуры, в частности линий электропередачи (далее ЛЭП).

Задачу разработки таких объектов можно упростить за счет разработки комплексных программных средств. Такой принцип используется в системе проектирования линейного инженерного транспорта «СПЛИТ» компании «Неолант». Эта система функционирует в среде САПР AutoCAD и состоит из модулей, предназначенных для проектирования отдельных частей системы «Трубопровод». Так, модуль «ЛЭП» автоматизирует процесс прокладки ЛЭП вдоль трассы трубопровода [1]. При этом исходные данные, в частности модели местности (планы и профили участков, прочие изыскательские данные), на которых происходит проектирование, общие для всех модулей.

Модуль «ЛЭП» позволяет поэтапно проектировать ЛЭП. В рамках данной работы разработаны программные средства, автоматизирующие этап механического расчета провода в соответствии с «Правилами устройства электроустановок». В результате проектировщик получает расстановочный шаблон, по которому проводится размещение опор ЛЭП вдоль трубопровода.

В данной работе использовались технологии ObjectARX [2], предназначенные для адаптации и расширения возможностей AutoCAD; были созданы интерактивные карты России в виде DWG-чертежа, зонированные по климатическим нагрузкам, XML-структуры данных с параметрами проводов, определенными в ГОСТ, и две DLL-программы, работающие в среде САПР AutoCAD 2010. Одна из них использовалась для разработки климатических карт и не входит в состав модуля «ЛЭП». Назначение другой – автоматизация механического расчета провода. В настоящее время проводится работа по ее интеграции в состав модуля «ЛЭП» системы «СПЛИТ».

Литература

1. **Крюков К.П., Новгородцев Н.Б.** Конструкции и механический расчет линий электропередачи. Л.: Энергия, 1979. – С. 312.
2. **Nelson T.** InstantAutodeskAutoCAD 2014 Customization with .NET. Packt Publishing Ltd 2013. – P. 83.

Секция 18

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫЕ МАШИНЫ, СЕТИ И СИСТЕМЫ

*Председатель секции — д.т.н., профессор Л.И. Абросимов
Секретарь секции — аспирант П.А. Ледовский*

И.В. Абрамов, асп.; И.И. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СРЕДСТВ КОНТЕЙНЕРНОЙ ВИРТУАЛИЗАЦИИ В LINUX ДЛЯ СОЗДАНИЯ ИНФРАСТРУКТУРЫ РАСПРЕДЕЛЕННЫХ ВЫЧИСЛЕНИЙ

Контейнерная виртуализация – метод виртуализации, при котором ядро операционной системы поддерживает несколько изолированных экземпляров пространства пользователя вместо одного [1]. Экземпляры пространства пользователя называют контейнерами. Ядро операционной системы обеспечивает изолированность контейнеров, поэтому по умолчанию контейнеры не могут взаимодействовать друг с другом. Контейнеры обеспечивают «легковесную» виртуализацию, которая позволяет изолировать процессы и ресурсы без необходимости использования полной виртуализации – в контейнерной виртуализации не существует отдельного слоя гипервизора. Контейнеры отправляют процессорам сервера инструкции напрямую, как это делают процессы сервера, без каких-либо специальных механизмов интерпретации, как это происходит в случае виртуализации с гипервизором. С точки зрения пользователя, контейнеры идентичны реальному серверу.

Средства контейнерной виртуализации существуют в течение длительного времени. Solaris Zones и BSD jails – примеры средства контейнерной виртуализации. Также было разработано много технологий контейнерной виртуализации для Linux – Linux-VServer, OpenVZ, FreeVPS. Но эти решения не дали успехов в деле их интеграции в ядро Linux. В отличие от этих решений средство контейнерной виртуализации LXC (Linux Containers) основано на технологии cgroups, входящей в ядро Linux, начиная с версии 2.6.29 [2].

В данной работе проводится исследование LXC для создания инфраструктуры распределенных вычислений. Приводятся результаты сравнения данного метода виртуализации с другими методами виртуализации.

Литература

1. **Сообщество** разработчиков компании IBM. Электронный ресурс URL: <http://www.ibm.com/developerworks/>.
2. **Портал** проекта LXC. Электронный ресурс URL: <https://linuxcontainers.org/>.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНЫХ ШАБЛОНОВ ПРИ СОЗДАНИИ ЭЛЕКТРОННЫХ УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИХ КОМПЛЕКСОВ

В настоящее время информационные технологии приобретают все большее значение в жизни человека. Образовательный процесс также не стал исключением. На сегодняшний день актуальной проблемой является создание средств обучения, которые, применяя компьютерные технологии, позволяют студенту эффективнее использовать самостоятельное обучение. Широко стоит вопрос о создании компьютерных средств обучения (КСО) в виде электронных учебно-методических комплексов (ЭУМК), позволяющих учащемуся самостоятельно достигать заданного уровня знаний [1].

При разработке ЭУМК обычно решаются следующие основные задачи:

1. Составление лекционного материала на основе существующих литературных источников, а также научных и практических работ автора курса. Данный материал должен включать основные понятия, определения и иллюстрации, а также примеры решения задач и контрольные вопросы по каждому разделу.

2. Представление полученных материалов в формате HTML.

3. Создание программы проверки знаний студентов по изученным темам, которая предполагает последовательный опрос обучаемого с помощью тестовых вопросов. Каждый из тестовых вопросов проверяет усвоение одного или нескольких положений учебного курса, а также умение решать простые задачи.

4. Создание программы «Редактор тестов», которая используется для составления тестовых вопросов, их просмотра, сохранения и редактирования. Программа обеспечивает также защиту созданных тестов от доступа студентов путем шифрования файла с сохраненным тестом методом гаммирования. При этом студент может просмотреть тест, только открыв файл в программе тестирования, которая выполняет дешифровку файла.

Обе программы были реализованы в виде универсального шаблона для создания и распознавания тестов и применены для курса «Передача информации» в рамках определенной темы.

Разработан также простой, интуитивно понятный пользовательский интерфейс ЭУМК, с которым легко и удобно работать.

Литература

1. **Маслов С.И.** Информатизация инженерного образования: Электронные образовательные ресурсы МЭИ. М.: МЭИ, 2006.

*О.С. Гончаренко студ.; М.Д. Крамаренко, асп.;
рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИЗМЕРЕНИЯ ВЕРОЯТНОСТНО-ВРЕМЕННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРОКСИ-СЕРВЕРА

Лабораторная работа по направлению «Сети и системы передачи информации» кафедры «Вычислительные машины, сети и системы» АВТИ «НИУ «МЭИ» базируется на измерительном стенде, состоящем из двух ЭВМ, соединенных коммуникационными устройствами и каналами связи [1]. Первая ЭВМ генерирует пакеты и принимает ретранслированные, вторая соответственно принимает и ретранслирует принятые пакеты, выполняя тем самым функции прокси-сервера. Отправка и прием пакетов организованы по схеме «один за одним», таким образом, сначала осуществляется отправка пакета, а затем ожидание ответа [2].

В состав программного обеспечения входит дистрибутив Fedora Core на основе ядра Linux, комплекс измерительных средств, состоящий из программных зондов и программа-трассировщик SystemTap. Данная программа позволяет собирать и анализировать информацию о работающей Linux системе.

Для повышения качества обслуживания пользователей требуется решение задачи определения производительности серверов по обработке сетевого трафика реализуемых на базе персональных ЭВМ [3]. Поэтому целью данных лабораторных работ является проведение экспериментальных измерений характеристик сервера, работающего по протоколам UDP и TCP по заранее разработанным сценариям исследований. В результате выполнения этих сценариев студентами будут получены файлы трассировки, обработка которых позволит рассчитать вероятностно-временные характеристики прокси-сервера.

Также в ходе выполнения лабораторных работ студенты получают знания о работающей сетевой подсистеме ядра Linux и протоколах транспортного уровня, а также приобретут навыки работы с программой-трассировщиком и знания по установке зондов для фиксирования критических точек выполнения исследуемого процесса.

Литература

1. **Абросимов Л.И., Крамаренко М.Д.** Функциональная и математические модели для оценки вероятностно-временных характеристик прокси-сервера // Вестник МЭИ. 2013. № 3. С. 100–106.
2. **Абросимов Л.И.** Основные положения теории производительности вычислительных сетей // Вестник МЭИ. 2001. № 4. С. 70–75.
3. **Таненбаум Э., Уэзеролл Д.** Компьютерные сети. – 5-е изд. СПб.: Питер, 2012. – 960 с.: ил.

Д.Г. Данилин, асп.; рук. В.О. Рыбинцев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ СИСТЕМЫ СЕТЕВОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ COMNET III ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ ТЕРМИНАЛЬНОЙ СЕТИ

В настоящее время использование специальных средств моделирования, таких как OPNET, BONES, COMNET, получает все большее распространение для исследования компьютерных сетей вместо универсальных языков программирования (C, Delphi и т.п.).

Доклад посвящен исследованию параметров терминальной сети (ТС) кафедры ВМСС МЭИ с помощью системы сетевого моделирования COMNET III. Подход [1] к построению моделей в COMNET III может быть представлен в виде стандартной последовательности шагов:

- описание топологии и определение параметров оборудования;
- описание источников трафика, их поведение и загрузка сети;
- определение сценария моделирования.

Модель создается из объектов: сетевых устройств, рабочих станций, серверов. С системой COMNET поставляется большая библиотека таких объектов. Поскольку основные параметры ТС (время реакции, загрузка терминального сервера, загрузка сети) существенно зависят от режима работы пользователя [2], то для получения объективной картины были использованы пять режимов работы: движение мышью, работа в текстовом редакторе, работа с интерфейсом операционной системы, работа в сети Internet и работа с мультимедиа-информацией. Приведены результаты для всех пяти режимов работы с различным числом клиентов от 1 до 20. Установлено, что:

- ТС с выбранными характеристиками позволяет обслуживать 12 пользователей в любых режимах работы, при этом загрузка сети не превышает 16 %, а загрузка процессора терминального сервера – 83 % (при работе с мультимедиа-информацией);

- работа 20 пользователей с мультимедиа-информацией приводит к резкому увеличению нагрузки на терминальный сервер (до 100 %) и среднюю передачу данных (до 29 %), что ведет к резкому увеличению времени реакции терминальной сети (до нескольких секунд);

- узким местом ТС является терминальный сервер.

На основании результатов моделирования предложена стратегия модернизации существующей сети.

Литература

1. **CACI Product.** COMNET III. Planning for Network Manager, 1999.
2. **Олифер В.Г., Олифер Н.А.** Средства анализа и оптимизации локальных сетей. М.: Мир, 2001.

*Д.А. Лаврова, К.А. Василенкова, студенты;
рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц. (Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ МИГРАЦИИ ДАННЫХ В АИС

Миграция данных из имеющихся автоматизированных информационных систем (АИС) в новые является актуальной. Например, при автоматизации бухгалтерского учета от качества перенесенной информации зависит повышение производительности труда работников бухгалтерии, снижение влияния «человеческого фактора», увеличение скорости составления отчетов, а также предоставление возможности ведения учета в нескольких стандартах параллельно [1].

Российский рынок информационных продуктов предлагает большое количество автоматизированных систем как отечественного, так и иностранного производства. Однако все они сталкиваются с проблемой переноса данных. Как правило, на момент внедрения автоматизированной системы в организации уже имеются данные, отражающие хозяйственные операции за длительный промежуток времени. От качества переноса этих данных во многом зависит эффект от внедряемой системы. Только в случае высокоэффективной миграции АИС может сразу и в полной мере продемонстрировать свои возможности.

Поэтому при переносе данных, по нашему мнению, следует руководствоваться следующими рекомендациями:

1) необходимо определить те части данных, без которых запуск системы невозможен либо лишен смысла, а остальные следует перенести уже после ее запуска. Иными словами, нужно выполнить приоритизацию информации;

2) при переносе информации может потребоваться конвертация данных. В этом случае целесообразно провести промежуточный перенос, т. е. выгрузить данные в некоторое хранилище (файл в формате XML и т.п.) и, предварительно обработав их там комбинированным способом, выгрузить в новую базу данных;

3) нужно определить критерии завершения переноса данных, по которым можно будет судить, что информация перенесена корректно.

Таким образом, следуя вышеперечисленным рекомендациям, можно значительно повысить эффективность решения задачи миграции данных.

Литература

1. **Автоматизация учета.** Бухгалтерский учет. Бизнес эксперт [Электронный ресурс]. – Режим доступа URL: <http://www.bexpert.ru/services/avtomat/134/> (дата обращения 9.10.2014 г.)

А.А. Ларин, асп.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОГО РЕШЕНИЯ ЗАДАЧИ ПОСТРОЕНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЗДАНИЯМИ

«Умный дом» сейчас является перспективным направлением в сфере применения информационных технологий. Создание «умного дома» возможно без автоматизированной системы управления зданиями (АСУЗ).

Функционально АСУЗ должна поддерживать [1]: освещение и электропитание, безопасность и контроль доступа, управление климатом, связь, аудио-, видеосистемы, прочие инженерные системы (тотальный контроль всех систем, установленных в доме, и управление ими с одного или нескольких устройств). Техническое обеспечение функциональности требует комплексного многоуровневого решения, обеспечивающего гибкость, открытость, масштабируемость. Системные решения и оборудование для систем АСУЗ представлены многими производителями: Crestron, AMX, ABB, GIRA, SIEMENS, Schneider-Electric, MARMITEK и др. При проектировании АСУЗ целесообразно использовать открытые протоколы и применять известные и апробированные стандарты: EIB(KNX), LonTalk, BACnet, ModBus, а также решения на основе проприетарных протоколов, например, от таких фирм, как AMX, Creston, Beckhoff, BPT. Интересным представляется построение АСУЗ с использованием сенсорных сетей [2]. Так, например, используя протокол IEEE 802.15.4 на физическом и канальном уровне, а для сетевого и выше – ZigBee или даже 6LoWPAN, можно организовать необходимую автоматизацию с требуемой гибкостью и масштабируемостью системы. Среди всего обилия подходов можно выделить следующие виды построения АСУЗ: централизованный и децентрализованный, а также по способу организации взаимодействия в сети: беспроводные, проводные, через силовые кабели и комплексные решения.

Учитывая большое количество технических, функциональных и индивидуальных параметров, определяющих качество разрабатываемой АСУЗ, необходимо разработать новые модели и методы, позволяющие выбрать варьируемые параметры, обеспечивающие выбор эффективного построения АСУЗ.

Литература

1. **Соловьев М.М.** Интеллектуальное здание. Понятия и принципы // Строительная инженерия. 2005. № 3.
2. **Кучерявый А.Е.** Интернет вещей // Электросвязь. 2013. № 1.

К.Е. Лебедев, студ.; рук. И.И. Ладыгин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ УСКОРЕНИЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ГЕТЕРОГЕННЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ

Целью работы является разработка и сравнительное тестирование алгоритмов сжатия изображений, учитывающих архитектурные особенности современных гетерогенных вычислительных систем.

В рамках работы рассмотрены методы двумерного дискретного преобразования сигналов. Для модификации с учетом особенностей архитектуры вычислительных устройств выбраны следующие методы: дискретное косинусное преобразование [1] и дискретное вейвлет-преобразование (преобразование Хаара) [2]. Разработаны базовые алгоритмы (базовые версии), реализующие выбранные методы. Разработаны специализированные алгоритмы, использующие указанные методы для выполнения на графических процессорах (GPU версии) компании Nvidia, а также использующие возможности современных центральных процессоров, такие как наличие нескольких вычислительных ядер и векторные расширения набора команд (улучшенные CPU версии).

Разработана программа сжатия изображений, использующая указанные методы сжатия и архитектурные особенности вычислительных устройств.

В ходе проведенных экспериментов как GPU версии, так и улучшенные CPU версии показали свою эффективность в сравнении с базовыми аналогами. Исследованы случаи снижения эффективности GPU версий в сравнении с улучшенными CPU версиями рассмотренных методов.

Дальнейшее развитие работы может быть связано с исследованием статистического сжатия и использованием арифметики чисел с фиксированной точкой меньшей разрядности, что позволит уменьшить объем обрабатываемых данных.

Литература

1. **Salomon D.** Data compression: the complete reference. Fourth Edition. NY.: Springer-Verlag, 2007.
2. **Уэлстил С.** Фракталы и вейвлеты для сжатия изображений в действии: учебное пособие. М.: Издательство «Триумф», 2003.

Д.В. Макаров, асп.; рук. М.К. Чобану, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕНЗОРНОЙ АППРОКСИМАЦИИ ДЛЯ СЖАТИЯ ИЗОБРАЖЕНИЙ И ВИДЕО

В настоящее время в компьютерных сетях хранится, передается и обрабатывается огромное количество информации. Большая доля этой информации приходится на изображения и видео, например, в видеотелефонии и видео-конференцсвязи, телевидении повышенной четкости, при передаче потокового видео в Интернете и беспроводных сетях 3G.

Требования к качеству мультимедиа контента постоянно растут, а с ростом качества возрастает и объем изображений и видео [1]. Кроме того, с появлением новых типов контента (трехмерное телевидение, мультивидовое видео и т.д.) возникла проблема эффективного представления и сжатия многомерного сигнала [2].

Предлагается альтернативный метод сжатия изображений и видео на основе тензорной аппроксимации. Тензорный анализ и теория тензорных аппроксимаций играют все более важную роль в области вычислительной математики и численного анализа. Эффективное представление d -мерного тензора (массива с d индексами) небольшим числом параметров может дать возможность работать с данными размерности d , равной 10, 100 или даже 1000 (такие проблемы возникают в квантовой молекулярной динамике, финансовом моделировании, при решении стохастических уравнений в частных производных). В условиях экспоненциального роста объемов передачи, хранения и обработки визуальной информации [1] применение данной подхода является оправданным.

В работе рассмотрен метод Tensor-Train decomposition [3], используемый для аппроксимации тензоров. Показана эффективность применения данного метода и проведено сравнение с современными методами сжатия изображений JPEG и JPEG2000. Также предложено решение для повышения эффективности современных алгоритмов сжатия видео.

Литература

1. **Дворкович В., Чобану М.** Проблемы и перспективы развития систем кодирования динамических изображений // MediaVision. 2011. № 2. С. 55–64.
2. **Чобану М.** Многомерные многоскоростные системы обработки сигналов. М.: Техносфера, 2009. – 480 с.
3. **Oseledets I.V.** Tensor-train decomposition, Siam J. Sci.Comput. 2011. Vol. 33. No 5. P. 2295–2317.

*Е.А. Малинова, студ.; рук. М.Ю. Лебедева, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

АНАЛИЗ РЫНКА СОВРЕМЕННЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОННОГО ДОКУМЕНТООБОРОТА

Автоматизация процесса документооборота является эффективным инструментом при реализации управленческой деятельности организации. Системы электронного документооборота (СЭД) позволяют автоматизировать деловые процессы и оптимизировать работу с документами [1].

Сегодня рынок ИТ предлагает большой выбор различных СЭД, сравнительная характеристика наиболее известных представлена в табл. 1.

Таблица 1

Сравнение СЭД по выбранным критериям

Критерии для сравнения	Перечень популярных СЭД								
	БОСС-Референт	ДЕЛО	ЕВФРАТ	ЛЕТОГРАФ	МОТИВ	CompanyMedia	DIRECTUM	DocsVision	Globus
Переход на документ по ссылке	0	0	0	0	0	0	2	1	2
Ведение истории работы с документами	2	2	1	2	1	1	2	2	2
Поиск документов	1	1	2	1	1	1	2	1	1
Web-доступ	2	1	2	1	2	2	1	1	2
ЭЦП	2	1	2	0	2	2	2	2	2
Редактирование справочников	2	0	0	2	1	1	1	1	2
Ведение архивов документов	2	1	2	1	2	2	1	1	2
СУДБ дополнительно	IMB LND	SQL	Ника	Cache	FireBird	IMB	SQL	SQL	SQL
Стоимость пакета (тыс. руб.)	29	31	27	54	18	17	16	45	28

В табл. 1 приняты обозначения: 1 – функция реализована частично; 2 – функция есть; 0 – функция отсутствует.

Таким образом, оптимальными являются системы Globus, DIRECTUM и ЕВФРАТ. Данные СЭД можно успешно внедрять в деятельность организации для автоматизации процесса управления.

Литература

1. **Жеребенкова А.В.** Документооборот на предприятии. М.: Вершина, 2005.

О.А. Новожилов, студ.; рук. Л.И. Абросимов, проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЫБОР КОРНЕВОГО КОММУТАТОРА ДЛЯ СЕМЕЙСТВА ПРОТОКОЛОВ STP

Для повышения отказоустойчивости локальных вычислительных сетей (ЛВС) вводят резервные линии связи, что приводит к образованию зацикливающихся маршрутов прохождения трафика, т. е. логических петель. Согласно принятым стандартам построения современных ЛВС структура сети с наличием логических петель является недопустимой. Для устранения логических петель был разработан ряд протоколов семейства STP.

При функционировании протокола STP одно из устройств (в основном коммутатор, реже мост или специализированный маршрутизатор), вовлеченное в рабочий процесс, является ведущим, корневым. Оно координирует работу всех узлов сети, участвующих в работе данного протокола. Назначение корневого коммутатора происходит автоматически в соответствии с установленными приоритетами и MAC адресами.

Оставлять выбор корневого узла протоколу STP – не лучшая идея. В таком случае выбор падет на устройство с наименьшим идентификатором, что при настройках по умолчанию приведет к выбору коммутатора с наименьшим из имеющихся MAC адресом. Это может привести к неэффективному с точки зрения функционирования сети выбору.

Эффективный выбор корневого коммутатора, а именно установка соответствующего приоритета оборудования при конфигурации сети, позволяет равномерно распределить трафик, нагрузку на оборудование и, что особенно важно, уменьшить время сходимости динамических изменений структуры сети и среднюю дистанцию клиент-сервер[1].

Разработанный автором алгоритм (и реализующая его на условной модели сети программа) позволяет получить рекомендацию по выбору корневого узла сети. В работе алгоритма учтены такие факторы, как удаленность оборудования от условного центра сегмента сети, расстояние до источников трафика (серверов и граничных маршрутизаторов), пропускная способность линий связи.

Литература

1. **Cisco Systems, Inc.** Spanning Tree Protocol Problems and Related Design Considerations. 2005. URL <http://www.cisco.com/c/en/us/support/docs/lan-switching/spanning-tree-protocol/10556-16.html>

*А.Г. Орлов, И.Р. Галиев, Д.А. Андриевский, студенты;
рук. Кушелев И.Ю., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)*

ПРИМЕНЕНИЕ ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ МОБИЛЬНЫХ УСТРОЙСТВ В МЕТОДИКЕ ПРЕПОДАВАНИЯ

В современном мире смартфоны (smartphone) стали обычным предметом человеческого обихода. Они могут решать широкий круг задач и этим экономят время пользователей. Смартфоны имеют доступ к сети Internet и обладают различными интерфейсами для общения с этой сетью. Применение приложений для обучения, разработанные под мобильные устройства, могут как значительно увеличить эффективность преподавания, так и снизить временные затраты обучаемых на получение доступа к знаниям.

В докладе рассматриваются: способ организации методики преподавания с использованием вышеуказанных технологий; особенности реализации приложения для конкретных платформ, в частности iOS, Android и семейства ОС Windows; структура сервера и взаимодействие компонентов внутри него и обязательно-необходимые части клиентского приложения.

В итоге получается сложный комплекс с большим количеством частей, которые взаимодействуют между собой.

Рассмотрены способы сделать разработанный комплекс легко переносимым между различными аппаратными и программными средствами, а также реализация его на практике с минимальными затратами времени, оборудования и денежных ресурсов. Показаны перспективность и конкурентоспособность модели.

МОДЕЛИ ФОРМАЛИЗОВАННОГО ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ЗАДАЧ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СИСТЕМ ДЛЯ ПАРАЛЛЕЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Целью данной работы является изучение моделей формализованного представления задач [1] и вычислительных систем (ВС) для параллельной обработки.

Рассмотрены различные модели формализованного представления задач и ВС [2], проведено их сравнение. Выбраны следующие модели представления: векторная модель, матричная модель, комбинация матричной и векторной моделей.

В рамках работы разработана программная модель организации вычислительного процесса (ВП) в вычислительной системе, представляющей имитацию планирования и организации ВП в ВС. При этом планирование осуществлялось на основе формализованного представления модели ВС.

Был разработан интерфейс, позволяющий пользователям задавать характеристики ВС в соответствии с выбранной моделью и задачи в виде графов, что удобно для восприятия человеком. Разработан алгоритм назначения готовых вершин графов по свободным вычислителям в соответствии с заданной стратегией на основе формализованного представления задач и модели ВС.

Рассмотрение и оценка эффективности разработанного алгоритма проходили на примере решения потока задач разных типов.

Также был разработан алгоритм моделирования ВП, учитывающий все передачи данных и конфликты, возникающие при пересылках данных между вычислителями ВС.

В будущем планируется расширить работу, изучив новейшие существующие алгоритмы планирования ресурсов в распределенных системах, а также рассмотреть статистику эффективности применения этих алгоритмов в конкретных системах.

Литература

1. **Вознесенская М.Е.** Методы формализованного описания структур вычислительных систем. М.: МИЭМ (ТУ), 2003.
2. **Яньков С.Г.** Исследование и разработка методики отображения задач на кластерные системы с иерархически-неоднородной коммуникационной средой: дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2009.

Д.С. Панкрушин, А.А. Плешанов, студенты;
рук. Ю.Е. Мороховец, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

О БАЗОВОЙ МОДЕЛИ ОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ПЕРСПЕКТИВНЫХ КИБЕРТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ

Все существующие системы обработки данных (СОД) принято делить на три класса – персональные СОД, СОД коллективного пользования и встроенные СОД (ВСОД).

Персональные системы предусматривают непосредственное, единичное взаимодействие пользователей через эффективный человеко-ориентированный интерфейс. В подавляющем большинстве случаев они реализуются как мобильные или стационарные ПК. Системы коллективного пользования – высокопроизводительные сервисные СОД, с каждой из которой одновременно может взаимодействовать множество пользователей, использующих для этого свои ПК. СОД коллективного пользования предоставляют широкий спектр услуг, среди которых в первую очередь следует выделить вычислительные услуги и услуги хранения данных. СОД этого класса могут иметь совершенно разную реализацию – от однопроцессорных компьютеров до сложных кластерных установок и даже *Grid*-систем с неотчуждаемыми вычислительными ресурсами. Встроенные СОД – системы, входящие в состав и обеспечивающие необходимую функциональность других, более сложных физических систем. Это наиболее многочисленный класс СОД, включающий до 95 % существующих систем обработки данных и имеющий широкий спектр реализаций.

Физические метасистемы, инкорпорирующие встроенные СОД, могут быть техническими и/или биологическими системами, функционирующими, в свою очередь, в некой внешней среде. В докладе в качестве метасистем ВСОД рассматриваются кибертехнические системы (КТС), состоящие из структурно и функционально обособленных, пространственно рассредоточенных компонентов, имеющих общую информационную инфраструктуру. Ярким примером КТС может являться группировка автономных комбороботов, выполняющих общую боевую задачу.

ВСОД КТС являются распределенными системами обработки данных специального назначения. Масштаб применения и сложность подобных систем постоянно растут, поэтому существующие методы их создания, не основанные на применении адекватных моделей обработки данных, уже не могут обеспечить требуемых показателей качества в приемлемые сроки при разумных затратах сил и средств.

В докладе рассматривается один из возможных подходов к построению базовой модели для перспективных КТС, основанный на взаимодействии асинхронно работающих автоматов специального вида.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ БЕСПРОВОДНОГО КАНАЛА СТАНДАРТА 802.11 ОТ ПАРАМЕТРОВ НАСТРОЙКИ

Внутри корпоративной сети существует проблема оценки реальной производительности сети [1, 2]. Трудно определить, обеспечивается ли требуемая пропускная способность для приложений с различным трафиком, установленных на устройствах клиентов.

Различные производители (Ubiquiti, Cisco, Dlink) предлагают готовые средства для оценки производительности беспроводных сетей, к которым относятся: Wireless LAN Controller – централизованный Wi-Fi контроллер; Ubiquiti – отличный подход для отображения покрытия сети; Cisco – анализатор позволяет видеть и устанавливать параметры точек доступа через централизованный сервер с графическим интерфейсом. Однако каждое из известных средств работает только с точками доступа данного производителя и не отражает реальное состояние всей сети.

Исследовалась беспроводная корпоративная сеть, состоящая из оборудования различных производителей с целью определения влияния на производительность сети настраиваемых параметров и разработки контроллера беспроводной сети, учитывающего реальное состояние сети.

В результате исследований получены экспериментальные зависимости производительности беспроводного канала от параметров физического уровня, зависимость производительности от количества подключенных клиентов. Эксперименты позволили обеспечить прирост производительности до 40 % для каждого типа трафика.

Полученные экспериментальные данные будут использованы в разрабатываемом контроллере беспроводного доступа. В зависимости от определяемого в реальном времени состояния устройства доступа контроллер должен обеспечивать адаптацию канала к изменяющемуся трафику. Реализация контроллера беспроводной сети должно привести к развитию использования мобильных мест сотрудников внутри корпоративной сети.

Литература

1. **Зайцев Е.** Методы увеличения производительности в беспроводных сетях Wi-Fi / Проект iXBT.com— Электрон. дан. – М., [2005]. – Режим доступа: <http://www.ixbt.com/>, свободный.
2. **Вишневецкий В.М.** Широкополосные беспроводные сети передачи информации. Институт проблем передачи информации им. А.А. Харкевича Рос. акад. наук. М.: Техносфера, 2005. – 592 с.

*Н.А. Салов, Д.А. Лазарев, студенты; рук. Б.В. Окунев, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ВЫПОЛНЕНИЕ РЕСУРСОЕМКИХ ЗАДАЧ ПРИ ПРОЕКТИРОВАНИИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ

В настоящее очевидно тенденция к усложнению функциональных требований к веб-приложениям, что ведет к увеличению потребляемых ими ресурсов. В связи с этим актуальной становится задача эффективной организации выполнения ресурсоемких задач. Наиболее популярным языком программирования, используемым при проектировании веб-приложений, является PHP, и именно к нему авторами предлагается подход по эффективной реализации ресурсоемких задач [1].

При нехватке ресурсов приложение, реализованное на PHP, может неожиданно закончить свою работу, что может нарушить консистентность данных веб-приложения. Классическим выходом из данной ситуации является разбиение алгоритма на части, выполнение которых по отдельности не приводит к израсходованию выделенных ресурсов. Проблема данного подхода заключается в том, что выделение таких частей алгоритма часто затруднено – сложно соотнести затраты ресурсов на отдельные части программного кода. Возможным вариантом является подход, основанный на регистрации функции, которой выполняется при каждом тике (событии, которое случается каждые N низкоуровневых операций, выполняемых парсером внутри блока `declare`). Регистрация такой функции происходит с помощью конструкции `register_tick_function`. Таким образом, предлагается осуществлять проверку на время выполнения скрипта с помощью функции `microtime()`, а также на количество потребленной памяти с помощью функции `memory_get_usage()`. После определения данных показателей они сравниваются с пороговыми значениями, выделяемыми скрипту веб-сервером, получив настройки конфигурации, используя функцию `ini_get()`. При достижении заданного порога от выделенных ресурсов предлагается «заморозка» состояния скрипта с помощью функции `serialize()` с последующей записью в базу данных и остановка работы скрипта. При следующем запуске работа «замороженных» задач продолжается по описанной выше схеме.

Предложенный подход позволяет эффективно организовывать выполнение ресурсоемких задач, обеспечивая консистентность логики приложения.

Литература

1. **Usage Statistics and Market Share of Server-side Programming Languages for Websites**, October 2014. [Электронный ресурс]. URL: http://w3techs.com/technologies/overview/programming_language/all (дата обращения: 09.10.2014).

В.А. Суховерхий, студ.; рук. Л.И. Абросимов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОКОННАЯ СИСТЕМА НА ОСНОВЕ ВЕБ-ТЕХНОЛОГИЙ

В настоящее время в операционных системах, относящихся к unix-подобным, используется оконная система X Window System. Также существуют версии X Window System для ряда других операционных систем, таких как DOS или Windows.

X Window System [1] была разработана в 1987 году и в связи с ограниченными вычислительными мощностями компьютеров, существовавших на момент разработки [2], имеет следующие недостатки: вся отрисовка элементов окон производится X-сервером; данные, передаваемые по сети между X-сервером и удаленными X-клиентами, по умолчанию не шифруются; в X Window System отсутствует возможность отключить X-клиента или сеанс от одного сервера и подключить его к другому серверу без опционального программного рендера графики; графика состоит из линий и растровых шрифтов.

Для решения указанных проблем предлагается разработать оконную систему с клиент-серверной архитектурой, использующей веб-технологии. Серверная часть состоит из HTTP-сервера с установленной серверной частью оконной системы. Клиентской частью оконной системы является любое устройство, поддерживающее стандарт HTML5. Данное решение позволяет не использовать X Window System и тем самым устранить ряд проблем, перечисленных выше, которые связаны с использованием X Window System.

Приложение хранится на сервере. На клиентскую часть высылается HTML файл с информацией о графической части программы, после чего клиентская часть самостоятельно обрабатывает данные и выводит на дисплей окно для интерфейса с пользователем. Современные фреймворки для отображения веб-страниц могут распараллеливать вычисления между центральным процессором и видеокартой. Используя веб-технологии, можно решить проблему возможности отключения X-клиента от одного сервера и подключения его к другому X-серверу. Использование веб-технологий позволяет снизить объем передаваемых данных за счет кэширования, обеспечить возможность использование протокола https для шифрования передаваемых данных.

В дальнейшем планируется разработка дистрибутива операционной системы с использованием данного подхода в построении оконной системы, и интегрирование с системой виртуализации OpenStack.

Литература

1. **Капигула А.** X11 и все-все-все. Gentoo-doc TEAM, 2010.
2. **Garfinkel S.** The UNIX-HATERS Handbook, IDG, 1994.

Д.М. Холдоенко, студ.; рук. А.В. Иванов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ОРГАНИЗАЦИИ СЕТИ АСУ ЗДАНИЯ И ЕЕ РЕАЛИЗАЦИЯ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОТОКОЛА *BACNET*

Актуальность работы обусловлена необходимостью внедрения средств микропроцессорной техники в автоматизированные системы управления зданиями (АСУЗ).

В работе рассматриваются сравнение и анализ построения известных в настоящее время автоматизированных систем управления зданиями:

1. KNX – европейская автоматизированная система управления зданием.

2. BACnet – американская автоматизированная система управления зданием.

3. LonWorks – промышленный стандарт организации управляющих сетей.

Целью работы является демонстрация возможностей сети АСУЗ с использованием протокола *BACnet* [1]. Рассмотрена сеть, в состав которой входят управляющий компьютер, системный контроллер и микропроцессорная система. Объектом управления служит датчик температуры.

Для реализации данной задачи разработаны аппаратные и программные средства. Системный контроллер реализован на основе *Cubieboard* [2] и микропроцессорная система реализована на микроконтроллере фирмы *SiLabs* [3]. Программные средства разработаны на языке СИ для передачи пакетов протокола *BACnet* по *Ethernet* и *MS/TP*. Разработана математическая модель системы массового обслуживания М/М/1 для оценки максимального числа подключаемых устройств.

Функционирование сети проверено опытным путем.

Литература

1. ANSI/ASHRAE Standard 135-2001. STANDARD BACnet – A Data Communication Protocol for Building Automation and Control Networks.
2. Документация к Cubieboard. URL: <http://docs.cubieboard.org/resources>
3. Описание микроконтроллера C8051F34x.
URL: <http://www.silabs.com/Support%20Documents/TechnicalDocs/C8051F34x.pdf>

С.В. Юшанков, студ.; рук. А.Г. Гольцов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОБ ОДНОМ ПОДХОДЕ К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ПОИСКА ОПТИМАЛЬНЫХ МАРШРУТОВ НА ТРАНСПОРТНЫХ СХЕМАХ

В настоящее время в связи с ростом численности населения в Московском регионе заметно увеличивается пассажиропоток как в Московском метрополитене, так и в пригородном железнодорожном сообщении. Данное обстоятельство в свою очередь служит причиной для роста количества рейсов в сутки в обеих структурах, что приводит к увеличению объема расписаний и неудобству его восприятия человеком. Кроме того, многие пассажиры ежедневно используют и метрополитен, и пригородное железнодорожное сообщение. Чтобы вручную составить маршрут от точки отправления до точки назначения, а также учесть временные рамки, требуется достаточно много усилий, что приводит к желанию автоматизировать данный процесс.

В докладе рассматривается один из способов реализации алгоритма автоматизированного поиска описанных выше маршрутов, основанного на алгоритме поиска кратчайшего пути методом Дейкстры [1].

Предлагаемый метод включает следующие основные этапы.

1. Схема Московского метрополитена представляется в виде взвешенного графа, где каждая станция является узлом, а связи между узлами – перегонами.

2. На основании алгоритма Дейкстры проводится поиск наикратчайшего пути по данному графу с учетом времени ожидания.

3. Проводится синхронизация полученного маршрута с текущим временем и составляется расписание движения пригородных поездов. Появляется несколько альтернативных вариантов маршрутов.

4. Проводится выбор оптимального по времени прибытия в конечную точку маршрута.

Литература

1. **Алгоритм** Дейкстры. Поиск оптимальных маршрутов на графе. URL: <http://habrahabr.ru/post/111361/>

УПРАВЛЕНИЕ И ИНФОРМАТИКА В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Председатель секции — к.т.н., доцент Д.Н. Анисимов
Секретарь секции — аспирант В.Н. Новиков

Ж.Р. Алимбекова, В.В. Муралёва, студенты; Г.С. Седлецкий, асп.;
рук. В.А. Шихин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ ПРЕДОБРАБОТКИ ДАННЫХ ДЛЯ ОБУЧЕНИЯ НЕЙРОННОЙ СЕТИ В ЗАДАЧЕ ОЦЕНКИ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Рассмотрены методы повышения эффективности обучения нейронной сети (НС), построенной для оценки надежности электросетевого оборудования, включая маслонаполненные измерительные трансформаторы напряжением 35 кВ. Наибольший интерес представляет метод оптимизации за счет предобработки данных путем линеаризации и масштабирования. Предобработка выборки данных является важным шагом при применении обучаемых НС [1] и определяет скорость обучения, величины ошибок обучения и обобщения и иные свойства сети.

В [2, 3] предложено оценивать значение константы Липшица (КЛ) обучающей выборки. КЛ выборки $\{x^i, y^i\}, i = 1, \dots, N$ равна

$$L_{\{x^i, y^i\}} = \max_{i \neq j} \frac{\|y^i - y^j\|}{\|x^i - x^j\|}, \quad (1)$$

где $x^i \in R^n, y^i \in R^m$ – векторы входных сигналов и требуемых выходных сигналов НС.

Для минимизации КС была сформирована вычислительная процедура, обеспечивающая работу нейроэволюционного алгоритма. Была выявлена наилучшая архитектура связей нейронной сети с девятью нейронами скрытого слоя. В результате функционирования алгоритма выявлено, что построенная сеть подобной архитектуры обеспечивает высокий уровень оценивания, при этом включает в себя 77 связей между нейронами, что на 13 меньше, чем полносвязная сеть.

После обработки исходной выборки КЛ уменьшилась в 3,7 раза относительно КЛ исходной выборки без предобработки, а скорость обучения

увеличилась. Среднее значение ошибки обучения осталось прежним, т.е. точность обучения НС при увеличении скорости обучения не ухудшилась.

Литература

1. **Миркес Е.М.** Нейрокомпьютер: проект стандарта. Новосибирск: Наука, 1999.
2. **Царегородцев В.Г.** Предобработка обучающей выборки, выборочная константа Липшица и свойства обученных нейронных сетей // Материалы X Всеросс. семинара.
3. **Шихин В.А., Алимбекова Ж.Р.** Методы оптимизации процедуры обучения нейронной сети в задаче оценки надежности электрооборудования // Радиотехника, электротехника и энергетика: Тр. XX междунар. научно-техн. конф. студентов и аспирантов. М.: Издательский дом МЭИ, 2014.

ПОСТРОЕНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ НЕЙРОСЕТЕВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ МНОГОМЕРНЫМ ОБЪЕКТОМ

Рассматривается задача синтеза нейросетевой системы управления многомерным объектом и ее сравнения с системой на основе ПИД-регулятора. Исследования на эту тему слабо освещены в литературе. Объектом управления выступал реактор полимеризации, имеющий два входа и два выхода, система управления которым на основе ПИД-регулятора описана в [1].

Архитектура нейросетевого регулятора (НС-Р) представляет собой многослойный перцептрон, содержащий два скрытых слоя нейронов. На входы НС-Р подаются сигналы уставок и ошибки рассогласования. При обучении НС-Р использовался алгоритм обратного распространения ошибки. Обучающая выборка была получена при сигнале уставки, имевшем форму меандра с полупериодом $T_0 = 400$ и амплитудой $A_0 = 2$. Это обусловлено сильной инерционностью ОУ и его высоким порядком. При использовании стохастической уставки типа «цветной шум» не удалось добиться приемлемого качества обучения.

Проведен ряд экспериментов при подаче на входы системы сигналов различной формы. Переходные процессы в системе с настроенным НС-Р удовлетворительны, и НС-Р отрабатывает уставку. Замечено, что в системе с НС-регулятором переходной процесс является более плавным, чем в системе с ПИД, где график переходного процесса имеет колебательную составляющую и перерегулирование. Эта особенность наблюдается при подаче на входы системы скачкообразного воздействия, меандра, цветного шума низкой частоты. Проведен анализ взаимовлияния каналов ММО-системы, который показал: в системе с НС-Р возмущение на одном из каналов не вызывает большого ухудшения управления на другом. А в системе с ПИД-регулятором возмущения на одном из каналов приводят к колебательному процессу и значительному перерегулированию на другом. Время регулирования в системе с НС-Р в большинстве случаев меньше, чем в системе с ПИД. Однако НС-Р не обеспечивает нулевую ошибку управления даже по окончании переходного процесса. Но величина этой ошибки не превышает 2 % ширины диапазона амплитуд уставок.

Показана применимость использования методики синтеза НС-регулятора для ММО-объекта. Выявлено, что нейросетевой регулятор по ряду критериев лучше справляется с поставленной задачей управления рассматриваемым многомерным объектом.

Литература

1. Piccagli S., Visioli A. Minimum-time Feedforward Plus PID Control for MIMO Systems // Proceedings of the 17th IFAC World Congress, 2008.

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ВИБРОДИАГНОСТИКИ И УПРАВЛЕНИЯ НА БАЗЕ ПТК «КВИНТ СИ»

Непрерывная вибродиагностика технологического оборудования ТЭС и АЭС, принятие своевременных мер по обнаружению причин вибрации и их устранению без последствий представляют собой актуальную проблему для обслуживающего персонала [1]. Современные системы АСКВМ, такие как Bentley Nevada, Вибробит и пр. предоставляют огромные возможности по диагностике и защите оборудования, однако они являются самодостаточными системами, работающими независимо от АСУТП станции, поэтому их роль в управлении сводится только к экстренным защитным действиям. Их обслуживание требует от персонала довольно высокой квалификации.

Автором проведена попытка объединить концепции АСУТП и АСКВМ за счет использования технологии OPC в объеме одной сети АСУТП. Это позволяет получать более полную информацию о состоянии объекта управления, сократить издержки на внедрение системы и обучение персонала, а также повысить качество управления за счет применения новых алгоритмов [2].

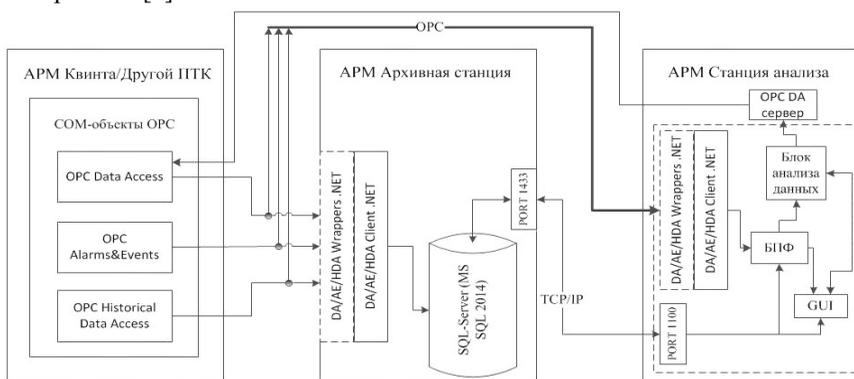


Рис. 1. Схема подсистемы вибродиагностики и управления

Литература

1. **Абрамов И.Л.** Вибродиагностика энергетического оборудования. Кемерово, 2011.
2. **Takács G., Rohal'-Plkiv B.** Model Predictive Vibration Control / Springer-Verlag London Limited, 2012.
3. **Программно-технический комплекс Квинт СИ.** Справочная система. ОАО «НИИТеплоприбор». М., 2012.

*Е.С. Горбикова, Е.И. Котова, А.В. Сахарова, студенты;
рук. О.С. Колосов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

ОЦЕНКА СВОЙСТВ ДИНАМИЧЕСКОГО ОБЪЕКТА ПРИ ФИКСИРОВАННОМ ЗНАЧЕНИИ ЧАСТОТЫ ИМПУЛЬСНОЙ ТЕСТИРУЮЩЕЙ ПОСЛЕДОВАТЕЛЬНОСТИ

Оценка частотных свойств динамического объекта с использованием импульсной последовательности используется для выявления дополнительных признаков в многоуровневых системах диагностики его текущего состояния [1]. Однако в ряде случаев, связанных с наличием шумовой составляющей, аддитивно приложенной к выходному сигналу объекта, а также невозможностью уменьшения частоты следования тестирующих импульсов, получающийся диапазон частотной характеристики исследуемого объекта оказывается ограниченным как в области высоких, так и низких частот [2]. Подобные затруднения встречаются, например, при оценке частотных свойств сетчатки глаза как динамического объекта сложной структуры. Ограниченность частотных характеристик в области высоких частот из-за наличия шумов практически преодолеть нельзя. Однако получить оценку низкочастотной части характеристики объекта, не уменьшая частот подачи тестирующих импульсов, оказывается возможным.

В докладе предлагается и обосновывается методика искусственного расширения периода реакции объекта при условном уменьшении частоты следования тестирующих импульсов. Методика иллюстрируется тестовыми примерами и результатами обработки реакции реального объекта (сетчатки глаза). Приводятся оценки достоинств и недостатков предлагаемой методики. В частности, для объекта параллельной структуры, какой представляется сетчатка глаза, удастся выявить свойства компонент структуры сетчатки с большими постоянными времени в области низких частот и их изменения в зависимости от различных видов патологий.

Доклад подготовлен при финансовой поддержке РФФИ (проект 13-01-00082а).

Литература

1. **Диагностика** текущего состояния динамических объектов и систем сложной структуры методами нечеткой логики с использованием имитационных моделей / Д.Н. Анисимов, Д.В. Вершинин и др. // Искусственный интеллект и принятие решений. 2012. № 3.
2. **Особенности** диагностики динамического объекта при импульсных тестирующих воздействиях / О.С. Колосов, Е.И. Котова и др. // Современные технологии в задачах управления, автоматизации и обработки информации: Сб. тр. XXIII Междунар. науч.-техн. семинара. 14–20 сентября 2014 г., Алушта. М.: ИКД «Зерцало-М», 2014.

РАЗРАБОТКА ДИНАМИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ ЭНЕРГБЛОКА 300 МВт СРЕДСТВАМИ ПТК «КВИНТ»

Обеспечение надежности, экономичности, маневренности действующего оборудования, а также качества вырабатываемой электроэнергии зависит от качества подготовки оперативного персонала электростанций. Повышение качества квалификации персонала связано с процессом их обучения на вычислительных средствах, которые могут адекватно отображать процессы, протекающие на объектах. Поэтому необходимо разработать модель, имитирующую динамическое поведение оборудования [1].

Широкое распространение на электростанциях России имеют энергоблоки на сверхкритические параметры пара, оснащенные турбинами ЛМЗ и ХТГЗ К-300-240. В связи с этим проведение экспериментов на динамической модели энергоблока в целях исследования режимов работы, повышения эффективности функционирования, а также подготовка оперативного и эксплуатационного персонала с помощью системы, в основе которой лежит данная модель, является актуальной научно-технической задачей.

Имитационная модель энергоблока 300 МВт реализована средствами расчетной станции «Мезон» ПТК «Квинт СИ» на основании фундаментальных физических законов с учетом конструктивных особенностей и режимных параметров оборудования. Информационная связь между имитационной моделью и контроллером осуществляется через виртуальные модули УСО. В качестве контроллера используется виртуальный контроллер, имитирующий работу Ремиконта Р-380 [3].

Таким образом, разработанная имитационная модель позволяет исследовать особенности работы энергоблока 300 МВт в различных режимах, проводить отработку сложных алгоритмов управления, а также предоставляет возможность выполнять подготовку и переподготовку персонала электростанций в лаборатории «Полигон АСУТП электростанций».

Литература

1. **Тверской Ю.С., Никоноров А.Н., Пронин Д.А.** Прикладное обеспечение полигонов АСУТП электростанций: под ред. Ю.С. Тверского. Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2012. – 174 с.
2. **Киселев А.И.** Динамическая модель паровой турбины для компьютерных тренажеров: дис.: канд. техн. наук: Иваново, 2004. – 160 с.
3. **Квинт СИ.** Программно-технический комплекс для автоматизации производственных процессов. Краткие сведения. М.: НИИТеплоприбор, 2006. – 52 с.

РАЗРАБОТКА МОДЕЛИ АСУТП БЛОКА 250 МВт

На энергообъектах должна проводиться постоянная работа с персоналом, направленная на обеспечение его готовности к выполнению профессиональных функций и поддержание соответствующего уровня его квалификации [1]. Для решения этой проблемы создаются тренажеры энергетического оборудования. В составе тренажера функционирует математическая модель, имитирующая работу основного технологического оборудования [2].

Однако одной из важных задач является реализация в составе тренажерного комплекса всех функций АСУТП, максимально приближенных к реальным [1]. Это позволяет использовать тренажер как для повышения квалификации операторов с отработкой моторных навыков, так и для подготовки специалистов по эксплуатации и сопровождению АСУТП.

В составе тренажерного комплекса разработана модель АСУТП, включающая две подсистемы: информационную и управляющую.

Разработан интерфейс оператора на основе информации базы данных, которая содержит перечень точек контроля, регулирующих и запорных исполнительных механизмов, двигателей механизмов собственных нужд. Дистанционное управление реализовано с помощью блочков отображения, которые привязаны к конкретному типу исполнительного механизма.

Реализованы функции технологической сигнализации, технологических защиты и защитных блокировок в соответствии с инструкциями по эксплуатации и картами уставок энергоблока.

Автоматические регуляторы сконфигурированы в тренажере на основе схем регулирования реальной АСУТП.

Разработанный тренажерный комплекс внедрен в учебно-научный процесс кафедры систем управления Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина и используется в ряде дисциплин подготовки бакалавров, инженеров и магистров.

Литература

1. **Тверской Ю.С.** Теория и технология систем управления. Многофункциональные АСУТП тепловых электростанций. В 3-х кн. Кн. 3. Моделирование / под общей ред. Ю.С. Тверского. Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2013.
2. **Рубашкин А.С., Рубашкин В.А.** Развитие технологии моделирования динамических процессов на тепловых электростанциях // Теплоэнергетика. 2004. № 10.

РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ МАССИВОВ ДАННЫХ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА И СЕРТИФИКАЦИИ КВАЛИФИКАЦИЙ В ОБЛАСТИ ИНФОРМАТИКИ И ВЫЧИСЛИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

В настоящее время происходит формирование системы независимой оценки и сертификации квалификаций, в том числе и в области информатики и вычислительной техники. В каждом ее сегменте ведутся свои информационные базы данных (ИБД). Выдвигаемое к системе требование информационной интеграции и прозрачности позволяет их представить как части единой информационной системы [1].

В рассмотренной концепции ИБД деятельности экспертно-методических центров (ЭМЦ) и центров оценки сертификации квалификаций (ЦОСК) существует задача организации информационных массивов данных по сегментам. Предлагается их уровневое распределение (табл. 1).

Таблица 1

Уровневое распределение информационных массивов данных системы

Уровень ЦОСК	Уровень ЭМЦ	Уровень ФСИБД
Сведения об экспертах ЦОСК по областям деятельности	Сведения об экспертах по оценке и сертификации, завершивших обучение в ЭМЦ	Банк профессионально-квалификационных требований
Сведения о направлениях деятельности ЦОСК	Программы подготовки экспертов по оценке и сертификации квалификаций	Реестр ЭМЦ
Сведения о сертифицированных лицах	Сертификационные измерительные материалы	БД отраслей и работодателей
Сведения о выданных сертификатах	Организационно-методические документы	
Апелляционные вопросы	Реестр ЦОСК	
Отчеты о работе ЦОСК	Отчеты о работе ЭМЦ	

Данное представление обладает достаточной полнотой и смысловой завершенностью и может быть использовано для разработки проектных решений на создание ИБД о деятельности ЭМЦ и ЦОСК в области информатики и вычислительной техники.

Литература

1. **Ершова М.Г.** Модель информационной базы данных деятельности экспертно-методического центра (ЭМЦ) и центра оценки и сертификации квалификаций (ЦОСК) в области информатики и вычислительной техники // Информационные технологии, энергетика и экономика (микроэлектроника и оптотехника, информационные технологии в управлении и производстве): Сб. трудов XI межд. науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. В 3 т. Т. 2. 2014. С. 261–264.

РАЗРАБОТКА ПОДСИСТЕМЫ ОБРАБОТКИ И АНАЛИЗА ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИХ ДАННЫХ

Существующая система хранения данных в настоящий момент представляет собой хранилище информации, в котором содержатся закодированные файлы с телеметрической информацией (ТМИ) в специальном формате.

Порции информации хранятся в файлах, размер которых может достигать нескольких десятков мегабайт, и содержат большое число кадров измерений набора параметров, выполняемых бортовой аппаратурой в соответствии с некоторой технологической картой измерений, индивидуальной для каждого космического аппарата (КА).

Анализ осуществляется следующим образом. Используя специальные программные средства, оператор выполняет раскодирование исходного файла в файл формата *.txt, который представляет собой таблицу, где строка – значения параметров в шестнадцатеричном коде в определенный момент времени. Затем полученная таблица просматривается вручную. Этот этап называют первичной обработкой.

Вторичная обработка предполагает проверку значений параметров на стабильность, вхождение значений в заданный диапазон, факты существенного изменения значений и др. Оператор в автоматизированном режиме получает отчет, отображающий лишь отклонения от нормы.

Проблема заключается в том, что результаты обработок никак не систематизируются и хранятся в виде отдельных файлов на рабочих местах операторов. В связи с этим часто возникают трудности при составлении месячных, квартальных или годовых отчетов.

В докладе рассматривается разработка подсистемы, использующая в качестве основы результаты «вторичной обработки», которая в автоматическом режиме заносит полученные результаты в базу данных. Это позволит многократно увеличить скорость поиска ненормативных значений параметров, зарегистрированных в течение всего срока эксплуатации КА, применять различные фильтры для отображения информационных срезов, визуализировать динамические процессы и др. В целом это существенно расширит функциональные возможности анализа данных.

Преимуществом использования данной системы является наглядность представления данных, автоматизированный выпуск отчетов, снижение количества рутинных операций оператором, а также исключение пропуска важной информации.

РАЗРАБОТКА ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА, РЕАЛИЗУЮЩЕГО НЕЧЕТКИЙ РЕГУЛЯТОР

В настоящее время широкое распространение получили регуляторы, использующие алгоритмы нечеткого логического вывода (нечеткие логические регуляторы, НЛР). Однако следует отметить, что связь между настройками НЛР и его динамическими свойствами изучены весьма слабо.

Поэтому представляется актуальной задача получения математической модели НЛР, пригодной для анализа системы с позиции классической теории автоматического управления.

Анализ работы нечетких систем автоматического управления позволил выявить следующие основные факторы, влияющие на качество управления [1]:

- количество термов входных и выходных переменных;
- вид функций принадлежности нечетких переменных, составляющих терм-множества лингвистических переменных;
- характер нечеткого соответствия между пространством предпосылок и пространством заключений (база правил) [2];
- способ дефаззификации;
- выбор логического базиса, который определяется треугольными нормами (T -нормами) и конормами (S -нормами);
- степени значимости подусловий в предпосылках при их агрегировании.

В докладе представлен разработанный программный комплекс, реализующий нечеткий логический регулятор и позволяющий варьировать перечисленные выше факторы. Данный комплекс дает возможность проводить всесторонние исследования статических и динамических свойств НЛР. В частности, проведены исследования влияния амплитуды входного сигнала на характер переходных процессов. Это влияние оказывается достаточно сильным, что свидетельствует о том, что НЛР является существенно нелинейным динамическим объектом. Построенные расширенные статические характеристики подтверждают этот тезис.

Дальнейшие исследования направлены на выявления основных факторов, влияющих на работу НЛР, и разработку алгоритмов настройки НЛР, обеспечивающих заданные показатели качества системы управления.

Литература

1. **Анисимов Д.Н.** Нечеткие алгоритмы управления: учебное пособие. М.: Издательство МЭИ, 2004.
2. **Анисимов Д.Н., Пискунова Ю.Ю.** Использование нефункциональных ответов при построении нечетких систем управления // Мехатроника, автоматизация, управление. 2007. № 3.

СОЗДАНИЕ ЛАБОРАТОРИИ ПО ИЗУЧЕНИЮ ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИХ СРЕДСТВ ДИАГНОСТИКИ СПЕЦИАЛЬНЫХ ПРОМЫШЛЕННЫХ АВТОМАТОВ НА ОСНОВЕ МИКРОПРОЦЕССОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Применение микропроцессорных систем практически во всех электрических устройствах – важнейшая черта технической инфраструктуры современного общества. Электроэнергетика, промышленность, транспорт, системы связи существенно зависят от компьютерных систем управления. Микропроцессорные системы встраиваются в измерительные приборы, электрические аппараты, осветительные установки и многое другое. За счет своевременного и эффективного диагностирования таких систем повышается их надежность функционирования.

Доклад посвящен созданию новой лаборатории для изучения студентами микропроцессорного оборудования, которое используется для построения систем автоматизированного управления парковкой и различных средств его диагностирования [1].

В ходе работы проведено исследование проблемы работоспособности программных и аппаратных средств [2], разработана необходимая конфигурация программных средств автоматического диагностирования, сконструирована аппаратура для проведения диагностики оборудования в автоматическом режиме, разработаны методики тестирования, позволяющие максимально выявлять ошибки срабатывания и неисправности. Также будут разработаны лабораторные работы, направленные на изучение студентами средств диагностики специальных промышленных автоматов и методические материалы для проведения индивидуальных и комплексных испытаний оборудования

В ближайшей перспективе предполагается создание лаборатории для студентов, разработка методического, программного и аппаратного комплекса для конструирования автоматических систем диагностирования промышленных автоматов в условиях реальной эксплуатации.

Литература

1. **Микропроцессорное** управление технологическим оборудованием микроэлектроники: учебное пособие / А.А. Сазонов, Р.В. Корнилов, Н.П. Кохан и др. М.: Радио и связь, 1998.
2. **Шишмарев В.Ю.** Надежность технических систем. М.: Академия, 2010.

А.А. Пономарёв, студ.; рук. Г.Ф. Филаретов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРЕДСКАЗАНИЕ УСТАНОВИВШЕГОСЯ ЗНАЧЕНИЯ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ НЕЙРОННОЙ СЕТИ

Объектом исследования является одномерная линейная динамическая система (ЛДС) порядка p . На вход системы подается скачкообразное воздействие величиной A . Требуется по начальному участку переходного процесса спрогнозировать его установившееся значение. Переходный процесс получен в дискретном виде с периодом дискретизации T . Длительность начального участка $T_{\text{нач}} = mT$.

Классическим подходом к решению этой задачи можно считать применение методов оценивания параметров ЛДС на основе известных методов идентификации дискретных ЛДС [1]. Если предположить, что на входе единичный скачок, то оценка коэффициента усиления ЛДС будет являться предсказанием установившегося значения переходного процесса.

В данной работе предлагается альтернативный метод. Для предсказания будет использоваться искусственная нейронная сеть (ИНС) типа многослойного персептрона с одним скрытым слоем и одним нейроном в выходном слое [2]. Число входных нейронов равно m . Функция активации нейронов скрытого слоя сигмоидальная, выходного нейрона – линейная.

На вход ИНС подается вектор длиной m , состоящий из значений начального участка переходного процесса. Сигнал проходит по сети, и на выходе получается предсказание установившегося значения. Для того чтобы получить ИНС с такими свойствами, нужно выстроить обучающую выборку следующим образом: входные шаблоны – множество переходных процессов длительностью m тактов, соответствующих разным ЛДС с единичным коэффициентом усиления и порядком p ; выходные шаблоны – это величины скачков, которые были поданы на вход ЛДС.

Очень важным является введение в обучающую выборку «зашумленных эталонов». Это означает, что на значения некоторых переходных процессов в обучающей выборке должен накладываться шум (выходной шаблон при этом остается неизменным). Эта мера необходима для повышения помехоустойчивости метода. В ходе множества машинных экспериментов было установлено, что по точности и помехоустойчивости нейросетевой метод превосходит классический метод идентификации ЛДС.

Литература

1. Толчеев В.О., Ягодкина Т.В. Методы идентификации одномерных линейных динамических систем: учебное пособие. – М.: Издательство МЭИ, 1997.
2. Хайкин С. Нейронные сети: полный курс. – 2-е изд., испр.: пер. с англ. М.: Вильямс, 2006.

ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОЙ МЕТОДОЛОГИИ УПРАВЛЕНИЯ ИТ-ПРОЕКТАМИ

Высокая неопределенность начальных требований к разрабатываемому продукту и их постоянное изменение в процессе разработки обуславливает актуальность проблемы повышения эффективности управления ИТ-проектами. С целью сокращения сроков выполнения проекта и минимизации рисков все больше компаний внедряют гибкие методологии (agile-методологии) управления проектами, к числу которых относятся RUP, экстремальное программирование, DSDM, Scrum, Kanban [1].

Автором был обоснован набор критериев для сравнения методологий управления проектами, проведен анализ с целью выбора оптимальной методологии управления ИТ-проектами и предложен новый интегрированный подход к управлению данными проектами.

В качестве основных критериев для сравнения были выбраны: степень адаптивности методологии (количество предписываемых методологией правил), длительность цикла обратной связи, количество элементов косвенного управления (ограничения по времени итерации, ограничения количества незавершенной работы), степень визуализации процесса управления, наличие возможности расстановки приоритетов задач, наличие возможности внесения изменений в ходе итерации.

В результате проведенного анализа было выявлено, что ни одна из проанализированных методологий не является совершенной и универсальной. Поэтому было предложено применить интегрированный подход к управлению ИТ-проектами путем объединения принципов нескольких методологий гибкого управления. Данный подход представляет собой сочетание основных принципов и практик двух наиболее адаптивных методологий Scrum и Kanban [2]. В рамках данного подхода непрерывное улучшение процесса управления может быть достигнуто путем постоянного изменения ограничений количества незавершенной работы (что характерно для Kanban) и длительности итерации (характерно для Scrum) с учетом результатов, полученных на предыдущей итерации разработки. Подобная эмпирическая оптимизация соответствует принципу Kaizen в концепции бережливого производства и позволяет адаптировать процесс управления к специфике работы каждой организации.

Литература

1. **Расмуссон Дж.** Гибкое управление ИТ-проектами. СПб.: Питер, 2012.
2. **Книберг Х., Скарин М.** Scrum и Kanban выжимаем максимум. М.: InfoQ.com, 2010.

МОДИФИЦИРОВАННЫЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКИЙ ИНДЕКС ФРАКТАЛЬНОСТИ ДИСКРЕТНЫХ ПРОЦЕССОВ

В работе [1] описан оригинальный метод оценки фрактальной размерности одномерных дискретных процессов $x(j), j = 1, 2, \dots$, основанный на определении, так называемой, суммарной кривизны $sk(i)$ траектории наблюдаемого временного ряда с последующим вычислением геометрического индекса фрактальности γ . Главным достоинством описанного метода является быстрая сходимость значения индекса γ к своему конечному значению. Однако этот метод обладает существенным недостатком: неинвариантностью относительно преобразований исходной реализации типа сжатия/растяжения амплитудных значений сигнала.

Для устранения указанного недостатка предлагается новая оценка фрактальной размерности. Эта оценка основана на анализе геометрических свойств ряда $Z = aX$, где a – коэффициент растяжения-сжатия: $a = (1/m, m)$,

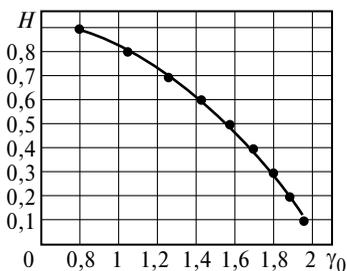


Рис. 1. Функция связи показателя Херста H и индекса γ_M

$m \geq 1, X$ – исходная реализация. В качестве первичной измеряемой величины, характеризующей ее геометрические свойства как ломаной, используется величина угла $\Delta\psi(j)$ в j -м узле ломаной $z(j)$. Далее вычисляются текущие суммы значений

углов $s\psi(i)$:
$$s\psi(i) = \sum_{j=1}^i \Delta\psi(j), i = 2, 3, \dots$$

с последующей ее линейной аппроксимацией $s\psi(i) = \gamma_M i$.

Установлена функциональная связь между параметром γ_M и показателем Херста H – наиболее распространенной характеристикой фрактальных свойств процессов [1]. Соответствующая функция связи представлена на рис. 1. С достаточно высокой точностью функция связи может быть аппроксимирована квадратичной моделью. Параметр γ_M назван *модифицированным геометрическим индексом фрактальности*.

Исследованы статистические свойства индекса γ_M как средства оценивания показателя Херста. Выявлено преимущество использования предложенного индекса фрактальности по сравнению с классическим способом оценивания показателя Херста по скорости сходимости к конечному результату.

Литература

1. Филаретов Г.Ф., Червова А.А. Геометрический индекс фрактальности одномерных процессов // Вестник МЭИ. 2013. № 5. С. 134–139.

Р.С. Чернухин, студ.; рук-ли Р.Г. Минуллин, д.ф.-м.н., проф.;
Т.К. Филимонова, к.ф.-м.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РЕЗУЛЬТАТОВ ЛОКАЦИОННОГО МОНИТОРИНГА ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Вопросы диагностики состояния воздушных линий электропередачи (ЛЭП) и предупредительные меры по предотвращению возможных аварий на линиях в настоящее время весьма актуальны. К предупредительным мерам по предотвращению возможных аварий относится процедура раннего обнаружения гололедных отложений на проводах линий электропередачи [1]. В Казанском государственном энергетическом университете (КГЭУ) разработан метод локационного зондирования высокочастотных трактов воздушных линий электропередачи, который позволяет по изменению параметров отраженного сигнала определять появление гололеда, а также место и время повреждений на линиях электропередачи.

Измерения на линии осуществляются с периодичностью в 30 мин. Полученные данные передаются на центральный сервер пункта управления (ПУ), который размещен на территории КГЭУ. На мониторах диспетчерского пункта отображаются графики зависимости измеренных значений амплитуды и задержки отраженных импульсов от времени с помощью устройства визуализации данных

При увеличении количества обслуживаемых подстанций, линий и при разбиении линий на отдельные локационные участки ранее используемое представление первичных результатов зондирования оказалось крайне неудобным.

Главное окно представляет собой графическую схему отображения состояния действующих ЛЭП одной подстанции. На экране монитора создается условное изображение подстанции в виде прямоугольника с отходящими от него линиями электропередачи с сохранением их длины и взаимного расположения. Каждая из линий разбита на определенное настраиваемое количество локационных участков (сегментов), зависящее от конфигурации линии, ее конструктивных особенностей и наличия неоднородностей на ней.

Разбиение линии на сегменты дает возможности определять местоположение критических гололедных скоплений по длине линии с целью своевременной их плавки во избежание аварии.

Литература

1. **Минуллин Р.Г., Фардиев И.Ш.** Локационная диагностика воздушных линий электропередачи. Казань: Казан. гос. энерг. ун-т, 2008. — 202 с.

СПОСОБ ИМИТАЦИИ ДАННЫХ ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЯЗЕЙ МЕЖДУ ФАКТОРАМИ, ЗАДАННЫМИ С ПОМОЩЬЮ РАЗЛИЧНЫХ ШКАЛ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ ДАННЫХ

Когнитивные модели находят все большее распространение во многих сферах человеческой деятельности. В связи с этим, их создание становится важной задачей при исследовании объектов управления. Имитация данных с помощью созданной модели является одним из способов проверки ее адекватности объекту, поэтому решение этой задачи имеет большое значение.

В процессе исследований был разработан способ создания имитационных данных по заданной когнитивной модели. Такое создание предложено реализовать в два этапа. На первом этапе создаются данные, представленные только с помощью количественных шкал факторов, включенных в когнитивную модель. На втором – шкалы факторов преобразуются к типам шкал, заданным при создании когнитивной модели.

Разработана программа, которая реализует предложенный способ создания имитационных данных по заданной когнитивной модели. В программе пользователем задаются следующие параметры – количество связей, свойства независимых факторов и количество наблюдений. Особенностью программы является возможность задания сил связи между входными факторами и выходным. Кроме того, в модели можно задавать шкалу представления значений факторов. Используются три возможных шкалы: количественная или качественная (номинальная или ординальная). Изначально значения всех факторов представляются с помощью стандартизированной количественной шкалы, но затем они преобразуются в другие шкалы с задаваемыми параметрами – количеством дискретных значений качественных шкал и вероятностями появления этих значений.

Тестирование программы проведено на выборках с числом наблюдений 10 000. Результаты тестирования подтвердили корректность воспроизведения заданных сил межфакторных связей как на первом, так и на втором этапах формирования имитационных данных.

Разработанные программные средства будут использоваться при создании когнитивных моделей реальных объектов управления, а также при проведении лабораторных занятий, направленных на создание автоматизированных систем управления.

Е.Б. Яшина, студ.; рук. В.М. Беседин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ И АНАЛИЗА СОСТОЯНИЯ АСТРОДАТЧИКА КОСМИЧЕСКОГО АППАРАТА

Одной из задач бортовой системы управления для космического аппарата (КА) является определение углового пространственного положения [1]. Одним из датчиков, который предназначен для определения параметров ориентации КА, является астродатчик.

В данной работе проводится разработка алгоритмов управления и анализа состояния астродатчика в соответствии с протоколом информационного взаимодействия с системой управления КА. Информационный обмен осуществляется согласно ГОСТ Р-52070–2003 [2] и обеспечивает взаимодействие в части синхронизации, команд управления и телеметрии прибора. Взаимодействие алгоритмов управления со смежными системами позволяет управлять подачей питания и командами включения прибора.

Управление и анализ состояния астродатчика включает в себя:

- организацию циклограмм включения и выключения;
- формирование запросов по магистрали;
- выдачу следующих команд управления:
 - запустить самопроверку,
 - перейти в режим угловых скоростей,
 - перейти в режим определения ориентации,
 - перейти в режим отслеживания ориентации,
 - перейти в автономный режим работы,
 - обновить параметры орбиты,
 - задать опорную оптическую голову (ОГ),
 - конфигурировать ОГ,
 - включить термостатирование,
 - считать данные из запоминающего устройства (ЗУ),
 - записать данные в ЗУ;
 - прием измерительных данных;
 - обработку отказов.

Отработка осуществляется на стендах математического и полунатурного моделирования.

Литература

1. **Бортовые** системы управления космическими аппаратами: учебное пособие / А.Г. Бровкин, Б.Г. Бурдыгов, С.В. Гордийко и др.; под ред. А.С. Сырова. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010. – 304 с.: ил.
2. **ГОСТ Р 52070–2003.** Интерфейс магистральный последовательный системы электронных модулей. Общие требования.

ВЫЧИСЛИТЕЛЬНО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ

Председатель секции — к.т.н., профессор Ю.А. Казанцев
Секретарь секции — к.т.н., зав. каф. ЭФИС,
доцент С.В. Вишняков

К.С. Аверьянова, А.В. Чипиров, студенты;
рук. Н.В. Безменова, к.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННОСТИ МАГНИТНОГО ПОЛЯ ОТ ПРОВОДНИКА С ТОКОМ ОГРАНИЧЕННОЙ ДЛИНЫ

В комплектных распределительных устройствах (КРУ) проводники с током промышленной частоты имеют ограниченную длину. С целью уточнения выражений, приведенных в [1], были проведены экспериментальные исследования, в результате которых получено, что при перемещении в окружающем пространстве контрольной точки (антенны измерителя напряженности магнитного поля ПЗ-50) вдоль проводника ограниченной длины L с током I напряженность магнитного поля промышленной частоты (МППЧ) H_d изменяется по окружностям с увеличением их радиуса при увеличении расстояния R от проводника до контрольной точки. Также получено, что изменение L круглого проводника с током при неизменном R от антенны до проводника, как показано на рис. 1, не приводит к изменению характера H_d в окружающем пространстве при перемещении контрольной точки вдоль проводника, а приводит только к уменьшению значений H_d . Из рис. 1 также видно, что наибольшее значение H_d в окружающем пространстве находится в точке напротив центра круглого проводника ограниченной длины. Следовательно, при последующих исследованиях напряженности МППЧ в окружающем пространстве от влияния проводников с током ограниченной длины целесообразно анализировать только максимальные значения H_d , определяемые напротив центральных точек проводника с током. Получено, что значения H_d в воздушном пространстве от одиночного проводника ограниченной длины с током могут быть определены по выражению

$$H_d = \frac{I \cdot 0,12(\ln L + 3,29)}{2\pi R^{1,4}}. \quad (1)$$

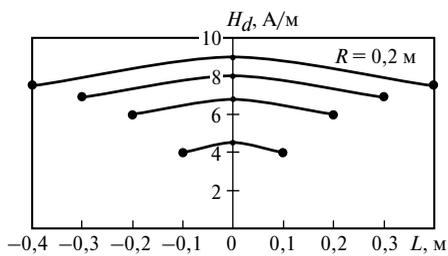


Рис. 1. Напряженность МППЧ в окружающем пространстве от круглого проводника с током $I = 16$ А на расстоянии $R = 0,2$ м

Литература

1. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. М.: Высшая школа, 1973.

КЛИЕНТ-СЕРВЕРНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ УЧЕБНОГО ПРОЦЕССА

Постоянное повышение качества образования – одна из основных задач высшего учебного заведения. Однако увеличивающееся количество информации, применяемой в образовательном процессе и увеличивающееся число студентов повышают объем работы преподавателя по учету посещаемости студентов, выкладыванию и сокрытию информации (например, во время контроля знаний) по лабораторным, семинарским и другим видам занятий.

В настоящем докладе рассматриваются вопросы создания системы автоматизации ряда задач в учебном процессе:

- автоматизированная генерация задач по различным дисциплинам;
- проведение тестов по различным типам ответов, включая оценку письменной работы преподавателем;
- учет даты, полученной студентом оценки по каждой попытке сдачи;
- раздача методического материала по указанной тематике/номеру работы, а также его оперативное скрытие при необходимости;
- автоматический учет посещаемости студентов;
- расчет рейтинга студентов на основании посещаемости, сдачи тестов и т.п.

Для реализации системы был выбран пакет *Wolfram Mathematica*, обладающий необходимым функционалом для создания подобной системы: передача данных по протоколу *TCP/IP*, работа с файлами, создание и запуск фоновых задач и др. Такой выбор обусловлен тем, что пакет *Wolfram Mathematica* обладает возможностями по созданию интерактивных динамических объектов, генерации тестовых заданий и функционалом для предоставления и оценки тестов студентами. Поэтому целесообразна разработка дополнительной функциональности на том же программном обеспечении.

Разработка такого проекта ставит и ряд проблем:

- организация клиент-серверной системы при отсутствии возможности реализации широкополосных запросов;
- проблемы безопасности и, в первую очередь, компрометации студенческой пары логин–пароль;
- разработка различных форматов для обмена сообщениями между сервером и клиентами в различных режимах работы;
- разработка форматов интерактивных методических пособий по лабораторным и семинарским занятиям.

ПРИМЕНЕНИЕ ЦИФРОВОЙ ОБРАБОТКИ СИГНАЛОВ ДЛЯ РЕШЕНИЯ ПРОБЛЕМЫ ПОСАДКИ МУЛЬТИКОПТЕРОВ

Настоящий бум переживают сегодня радиоуправляемые модели, в частности мультикоптеры. Они применяются в решении разных задач: журналистика [1], доставка грузов в районы, терпящие бедствие и т. д.

Основная проблема мультикоптеров – малое время автономного полета. Для ее решения разрабатываются различные системы подзарядки аккумуляторных батарей мультикоптеров без их возврата в точку вылета.

Для подзарядки аккумулятора от тока фазного провода может быть применен известный блок питания с отбором мощности от тока фазного провода [2]. При данном техническом решении организуется зарядная площадка для мультикоптера, расположенная на стороне высокого потенциала линии электропередачи.

Контроллеры управления полетом мультикоптера снабжены системами удержания горизонта и удержанием в точке. Они позволяют привести мультикоптер в необходимую точку в трехмерном пространстве с точностью до 5 м. Этого недостаточно для точной посадки на зарядочную площадку. Большие металлические конструкции опор ЛЭП, а также сильные электрические и магнитные поля, свойственные рабочей среде около фазного провода ЛЭП, тоже влияют на точность работы компаса и оборудования GPS мультикоптера. Решение проблемы можно найти в области цифровой обработки видеопоследовательностей.

Для осуществления визуальной посадки на мультикоптере необходимо:

- 1) обнаружить маркеры на посадочной площадке;
- 2) определить векторы смещения маркеров от референсных точек;
- 3) осуществить корректировку курса и высоты мультикоптера;
- 4) узнать изменение положения маркеров на посадочной площадке;
- 5) повторить п. 2 и 3 до приземления на посадочную площадку.

При этом проводится пересчет векторов смещения маркеров от референсных точек в команды движения мультикоптера.

Все это позволяет осуществить безопасную посадку мультикоптера и дозарядку его аккумуляторной батареи без возврата на точку вылета.

Литература

1. **Курбанова К.** Сочи 2014: чем Олимпиада удивляет весь мир. Режим доступа: http://www.dp.ru/a/2014/02/19/Sochi_2014_chem_Olimpiada/
2. **Наполов А.С., Сайфутдинов Р.М., Яшин И.А.** О возможности применения литий-ионных аккумуляторов в составе автономной модульной платформы // Материалы XV международной научно-технической конференции «ИКИ-2014». С. 239–242.

ИНТЕГРАЛЬНОЕ ВЫДЕЛЕНИЕ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ ИЗОБРАЖЕНИЙ

Предлагается подход к выделению структурных особенностей изображения, основанный на применении интегрального преобразования Радона. Актуальность обуславливается потребностью задач систем компьютерного зрения в эффективных методах получения информативных признаков изображения. Методика позволяет выделять области с особенностями границ представленных на изображении объектов. Повышенный интерес такие области представляют для задач формирования признаков объектов с целью их распознавания и идентификации для некоторого множества изображений. Новизна предлагаемой методики заключается в применении интегральных преобразований, позволяющих уйти от комбинаторного подхода в анализе, а также в использовании оптимизационных процедур в общей постановке задачи.

Базовой операцией метода является вычисление преобразования Радона, которое применяется к предварительно вычисленному векторному полю градиента f :

$$R\{f\}(s, \alpha) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(ta + sa^\perp) dt, \quad a = [\cos(\alpha), \sin(\alpha)]. \quad (1)$$

Существенным является вид операторов преобразования, сопряженных к группе ортогональных преобразований окрестностей изображения их параллельного переноса и масштабирования. Относительно простой вид указанных операторов позволяет построить оптимизационную процедуру вычисления точки, экстремально удаленной от некоторой конфигурации границ объектов для заданной окрестности. Множества таких точек определяют места пересечения участков границ, их изломы, участки экстремальной кривизны. Минимизируется следующий функционал:

$$R = \iint R(t, \alpha) t^2 dt d\alpha, \quad (2)$$

определяющий средний радиус окружностей, касающихся границ в некоторой окрестности центральной точки. Построение векторного поля направлений на экстремальные точки для нескольких разрешающих представлений дает возможность выделять характерные области путем анализа его потока в некоторой окрестности. Отличительной чертой подхода является его устойчивость к изменениям в выраженности границы, а также возможность формирования нечетких признаков, что важно для задач классификации и распознавания.

Р.М. Сайфутдинов, студ.; рук. И.А. Яшин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

О СПОСОБАХ ПОДЗАРЯДКИ АККУМУЛЯТОРОВ МУЛЬТИРОТОРНЫХ СИСТЕМ

В современном мире летательных аппаратов огромную популярность набирают так называемые беспилотные мультироторные системы (мультикоптеры). Они нашли свое применение в таких областях, как аэрофото- и киносъемки, доставка заказов интернет-магазинов, доставка грузов в труднодоступные места и зоны стихийных бедствий.

Но несмотря на достигнутые технические характеристики мультикоптеров, есть необходимость модернизировать некоторые из них. Главным недостатком мультикоптеров является малое время автономного полета.

Для решения этой проблемы в докладе рассмотрена идея подзарядки аккумуляторов мультироторных систем от воздушных линий электропередач [1]. Реализация этой идеи имеет несколько способов.

Подзарядка батарей от линий электропередачи (ЛЭП) осуществляется при помощи применения блока питания с отбором мощности от тока фазного провода. Этот метод заключается в физическом контакте мультикоптера с линиями электропередач путем «зацепки» магнитопроводом трансформатора блока питания за фазный провод. Выбор этого способа хорош тем, что от ЛЭП не требуется какой-либо специальной технической подготовки и мультикоптер может совершать подзарядку в любом участке линий электропередач.

Подзарядка батарей проводится с помощью специальной площадки. Площадки установлены на некоторых участках линий электропередач. При посадке мультикоптера на площадку осуществляется подзарядка аккумуляторов. Преимущество этого метода заключается в увеличении грузоподъемности мультикоптеров благодаря ненужности установки дополнительного зарядного оборудования на самом летательном аппарате, однако требуется решение дополнительной задачи точной посадки мультикоптера на посадочную площадку.

В докладе приведен обзор обоих способов обеспечения зарядки мультикоптера, их достоинства и недостатки.

Литература

1. **Геворкян В.М., Михалин С.Н., Яшин И.А.** О перспективном размещении датчиков различного назначения в электрических сетях высокого напряжения // Ползуновский вестник. 2013. № 2.

Д.И. Сиротин, асп.; рук. Г.А. Фомин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКС ПРОГРАММ ДЛЯ АНАЛИЗА МЕЖФАКТОРНЫХ СВЯЗЕЙ В УСЛОВИЯХ ДЕЙСТВИЯ СЛУЧАЙНЫХ ОШИБОК В ИЗМЕРЕНИИ ФАКТОРОВ

При исследовании объектов управления широкое распространение получил анализ межфакторных связей [1, 2]. В практических задачах для этого обычно используются данные наблюдений, в которых значения факторов определяются со случайными ошибками. Для выполнения такого анализа удобно пользоваться узкоспециализированным комплексом программ, позволяющим проводить различные манипуляции с обрабатываемыми данными в соответствии с целями исследования.

В докладе рассматривается такой комплекс программ, который позволяет проводить как генерацию исходных данных для исследования, так и загрузку исходных данных из файла, обработку данных, расчет различных параметров и коэффициентов, представление окончательных и промежуточных результатов в графическом и текстовом видах.

Цель разработки данного комплекса программ заключается в создании специализируемых инструментов для анализа и исследования одиночных факторов и транзитивных связей нескольких факторов при условии наличия случайных ошибок в факторах.

Достоверность и успешность любого исследования предполагают наличие правильных, адекватных исходных данных. Для этих целей в комплексе программ предусмотрена удобная и гибкая генерация исходных данных, предполагается самостоятельное задание различных параметров факторов и связи, в том числе статистические характеристики факторов, силы связи, типы шкал представления значений факторов. Данный программный комплекс также позволяет выгружать как самостоятельно сгенерированные исходные данные, так и результаты исследований в отдельные файлы, которые в дальнейшем могут быть использованы в данном или ином другом программном комплексе.

Разработанный комплекс программ представлен в виде инструмента, предназначенного для использования в моделировании реальных объектов управления и учебном процессе при подготовке специалистов в области автоматизации и управления.

Литература

1. **Грешиллов А.А., Стакун В.А., Стакун А.А.** Математические методы построения прогнозов. М.: Радио и связь, 1997. – 112 с.
2. **Лобанов В.Ю., Фомин Г.А.** Метод оценки связи между количественным и номинальным факторами в когнитивной модели объекта управления // Вестник МЭИ». 2014. № 1. С. 69–73.

ПРОБЛЕМА ПЛОХОЙ ОБУСЛОВЛЕННОСТИ МАТРИЦЫ ФАЗОМОДАЛЬНОГО ПРЕОБРАЗОВАНИЯ НЕСИММЕТРИЧНЫХ МНОГОПРОВОДНЫХ ЛИНИЙ

Фазомодальное преобразование используется при решении задачи волнового определения места повреждения на многопроводной линии. Такое преобразование для линий, имеющих какую-либо ось симметрии, рассмотрено в [1]. Его применение во временной области показывает адекватный результат. Эксперименты с линиями, не имеющими какой-либо оси симметрии, выявили непригодность полученного фазомодального преобразования для обозначенной задачи. Обнаружено явление появления «резонансных» частот. Исходя из физических соображений такого наблюдаться не должно. Была выдвинута гипотеза о плохой обусловленности полученного фазомодального преобразования в диапазонах, содержащих такие частоты. Эта гипотеза подтвердилась (рис. 1). Оказалось, что в таких диапазонах число обусловленности матрицы составляет от 2 до 8. Пиковое значение точно приходится на «резонансную» частоту. В остальном диапазоне число обусловленности близко к единице, т.е. имеется хорошая обусловленность. Симметричная линия во всем диапазоне частот также имеет хорошую обусловленность.

Данная работа посвящена отысканию пути решения математической проблемы определения фазомодального преобразования несимметричных линий с хорошей обусловленностью во всем диапазоне частот.

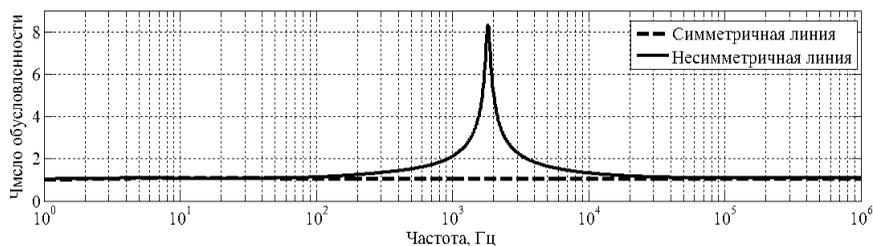


Рис. 1. Зависимость числа обусловленности фазомодального преобразования от частоты

Литература

1. Токарев С.Ю. Фазомодальное преобразование многопроводных линий // Вестник ИГЭУ. 2014. Вып. 2. С. 25–30.

Секция 21

НЕРАЗРУШАЮЩИЙ КОНТРОЛЬ И ДИАГНОСТИКА

Председатели секции — д.т.н., профессор В.П. Лунин;
к.т.н., доцент В.А. Барат
Секретарь секции — аспирант Д.В. Чернов

П.А. Барабанов, асп.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ПОКРЫТИЯ ПОВЕРХНОСТИ ТРУБЫ ОТЛОЖЕНИЕМ НА ВИХРЕТОКОВЫЙ СИГНАЛ

В настоящее время в рамках продолжения работы по изучению влияния проводящих и магнитных отложений на внешней поверхности теплообменных труб (ТОТ) парогенератора на вихретоковый сигнал [1] был проведен ряд новых модельных экспериментов с целью получения сигналов от отложений, покрывающих различную площадь поверхности ТОТ. Для получения сигналов была создана и оптимизирована трехмерная конечно-элементная модель процесса вихретокового контроля [2].

В качестве изменяющегося геометрического параметра отложения был выбран центральный угол дуги на поверхности трубы, покрытой слоем отложения. Соответственно были рассмотрены отложения, покрывающие дуги с центральными углами 45°, 90°, 180° и 360° (сигналы от отложений с дугой в 360° градусов были взяты из прошлых экспериментов с использованием 2D-модели).

В результате анализа полученных сигналов было установлено, что изменение площади покрытия поверхности отложения оказывает схожее с толщиной слоя отложения влияние на сигнал, а именно:

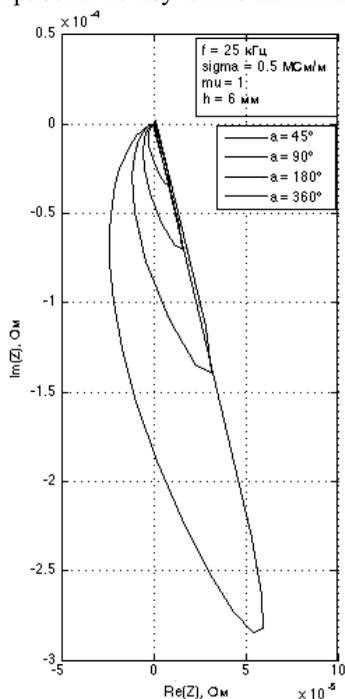


Рис. 1. Зависимость сигнала от величины центрального угла дуги на поверхности трубы, покрытой отложением

при увеличении площади покрытия увеличивается амплитуда сигнала при практически неизменной фазе (см. рис. 1). Следовательно, раздельное определение этих параметров является затруднительным.

Литература

1. **Барабанов П.А., Лунин В.П., Столяров А.А.** Моделирование и анализ сигналов от проводящих отложений на внешней поверхности теплообменных труб при контроле вихретоковым методом // 5-я МНТК «Современные методы и приборы контроля качества и диагностики состояния объектов», 24–25.09.2014 г., г. Могилев, Республика Беларусь.

2. **Лунин В.П.** Метод конечных элементов в задачах прикладной электротехники. М.: Изд-во МЭИ, 1996.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ В ПРОЦЕССЕ ТВЕРДЕНИЯ БЕТОНА

Данная работа посвящена исследованию процесса твердения бетона при помощи метода акустической эмиссии. Метод акустической эмиссии имеет огромный потенциал во многих отраслях, в том числе и в строительной. При строительстве, пожалуй, единственным материалом, прочность которого является не постоянной, а «набирается» после изготовления и зависит от многих факторов, является бетон [1].

Существует ряд методов определения прочности уже твердого бетона [2]. Однако особый интерес представляет контроль прочности бетона в процессе твердения, когда прочность еще не вышла на уровень, заданный нормативными документами, а также прогнозирование дальнейших прочностных свойств состава по первым нескольким дням после его заливки.

Для оценки эффективности метода акустической эмиссии в данном направлении был проведен эксперимент по твердению бетонного состава, сопровождающийся регистрацией сигналов акустической эмиссии. Целью экспериментальных исследований было выявление взаимосвязи между прочностью бетонного состава и параметрами акустической эмиссии, а также определение параметра, наиболее точно коррелирующего с кривой набора прочности.

Анализ полученных данных позволил выявить взаимосвязь между набором прочности бетонного состава и такими параметрами акустической эмиссии, как активность АЭ и суммарная энергия. При этом составы с более высокими классами прочности показывают наивысшие значения активности АЭ. Также наиболее существенные изменения исследуемых параметров можно наблюдать в первые 4–5 суток, далее характер распределения остается практически неизменным. Данное замечание свидетельствует о том, что первые несколько суток являются наиболее показательными и могут быть использованы для прогнозирования прочности на нормативный срок.

Литература

1. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под ред. В.В. Клюева. Т. 7. Книга 1. Метод акустической эмиссии. – М.: Машиностроение, 2005. – 828 с.
2. **Grosse, C.U., Ohtsu M.** Acoustic Emission Testing. Concrete. – Berlin: Springer, 2008. – 396 с.

КОНТРОЛЬ ДВИЖЕНИЯ ВНУТРИТРУБНОГО ДЕФЕКТΟΣКОПА ПРИ ПОМОЩИ МЕТОДА АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Данная работа посвящена наблюдению за движением внутритрубного дефектоскопа при помощи метода акустической эмиссии. Несмотря на то, что метод акустической эмиссии был разработан давно, он постоянно находит новые применения, многие из которых оказываются достаточно перспективными [1].

Одной из основных областей неразрушающего контроля на сегодняшний день является контроль трубных объектов. Большинство таких объектов имеют значительную протяженность в осевом направлении, из-за чего ручной контроль всего объекта является нецелесообразным как по временным, так и по финансовым затратам. Исходя из этого появляется необходимость в разработке дефектоскопов, которые могли бы проводить качественный автоматизированный контроль всего объекта за короткий промежуток времени. Одним из таких дефектоскопов является внутритрубный, который имеет множество плюсов. Одним из его недостатков является то, что в ходе контроля информация о нахождении дефектоскопа отсутствует, а в случае остановки дефектоскопа, которая может случиться по ряду причин, его местоположение будет неизвестно. Поэтому актуальной задачей при внутритрубном контроле является мониторинг движения дефектоскопа. Методом, способным справиться с данной задачей, является акустическая эмиссия.

Для оценки эффективности метода акустической эмиссии в данном направлении был проведен ряд экспериментов на реальных объектах, по наблюдению за путем перемещения дефектоскопа.

В результате было выявлено, что поставленная задача может быть выполнена с помощью метода акустической эмиссии. Более того, детальный анализ данных позволяет не только наблюдать за движением дефектоскопа в трубном объекте, но также определять его скорость на различных участках.

Литература

1. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под ред. В.В. Клюева. Т. 7. Книга 1. Метод акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 2005.

ИССЛЕДОВАНИЕ TOFD-МЕТОДА НА ПРИБОРЕ HARFANGVEO

Работа посвящена исследованиям в области современных методов и средств ультразвукового контроля [1, 2]. Целью являлось освоение TOFD-метода и сравнение точности измерений с другими методами ультразвукового контроля. В качестве объекта контроля для проведения испытаний были выбраны стальные пластины с дефектами типа «засверловка». Были проведены измерения фактических размеров (высоты) данного отражателя на трех УЗ дефектоскопах: HarfangVEO, реализующим дифракционно-временной метод (TOFD), A1550 IntroVisor с цифровой фокусировкой антенной решетки (SAFT) и HarfangX-32, работающем с фазированными антенными решетками (ФАР). Была экспериментально установлена минимально возможная измеряемая высота засверловки. Полученные значения высот отражателей на различных приборах сравнили и оценили погрешность, сделали вывод о коэффициенте корреляции. Также была сделана расчетная часть работы, которая представлена выводом уравнений регрессии для каждого метода, что позволяет оценить совместное влияние диаметра и высоты засверловок на относительную погрешность. Сделаны соответствующие выводы. Основной результат проделанной работы – показана возможность измерения реальных, не условных размеров несплошности ультразвуком тремя методами – TOFD (погрешность не более 10 %), SAFT (погрешность не более 15 %) и по S-скану, полученному с помощью ФАР (погрешность не более 20 %). В результате доказана возможность использования TOFD-метода для решения реальных задач неразрушающего контроля.

Литература

1. **Ермолов И.Н., Алешин Н.П., Потапов А.И.** Неразрушающий контроль. В 5 кн. Кн. 2. Акустические методы контроля: практическое пособие / под ред. В.В. Сухорукова. М.: Высшая школа, 1991.
2. **Кретов Е.Ф.** Ультразвуковая дефектоскопия в машиностроении. СПб., 1995.

М.А. Караваев, асп.; рук. И.В. Соколов, д.т.н., гл.н.с. (НИУ «МЭИ»)

УЛЬТРАЗВУКОВЫЕ НИЗКОЧАСТОТНЫЕ ПЬЕЗОЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ С ПОПЕРЕЧНЫМ ПЬЕЗОЭФФЕКТОМ

При ультразвуковом (УЗ) контроле ряда крупногабаритных изделий из сложноструктурных материалов необходимо использовать УЗ сигнал низкочастотного диапазона с частотами ниже 100 кГц для обеспечения требуемой чувствительности контроля.

Технологические ограничения максимальной величины резонансного размера продольно возбуждаемых пьезоэлементов не позволяют изготавливать низкочастотные широкополосные преобразователи для частотного диапазона ниже 80 кГц. Для снижения резонансной частоты пьезоэлементов до 40–70 кГц требуется увеличение их резонансной толщины до 25–35 мм, что приведет к значительному снижению эффективности их электроакустического преобразования [1].

В докладе приведены результаты исследований по развитию и совершенствованию мозаичной технологии создания сверхнизкочастотного пьезопреобразователя на рабочий диапазон частот до 40 кГц, обеспечивающей одновременно высокую эффективность и широкую полосу электроакустического преобразования (40–70 кГц). Мозаичный низкочастотный преобразователь на основе предложенной технологии состоит из пластинчатых пьезоэлементов с поперечным пьезоэффектом, в которых направление возбуждающего электрического поля ортогонально направлению излучения УЗ волны.

В докладе показано, что предложенные мозаичные УЗ низкочастотные преобразователи имеют более высокий коэффициент и более широкую полосу преобразования в сравнении с выпускаемыми в России низкочастотными преобразователями научно-производственной фирмы «АКС».

Недостатком предложенных преобразователей является относительно большая апертура, имеющая размер порядка 50 мм.

В докладе также приведены результаты использования в предложенной конструкции преобразователей мягких протекторов из различных материалов (силикон, полиуретан) с целью исключения жидких контактных веществ из процесса контроля.

Литература

1. **Синицын А.А.** Разработка и создание ультразвуковых низкочастотных широкополосных мозаичных раздельно-совмещенных пьезопреобразователей с ограниченной апертурой: Дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2013.

Д.А. Коваленко, асп.; рук. В.И. Завидей, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ КОРРЕЛЯЦИОННОГО АНАЛИЗА ПРИ АКТИВНО-ТЕПЛОВОЙ ДИАГНОСТИКЕ ВНУТРЕННЕГО СОСТОЯНИЯ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ

Основным методом диагностики электрического оборудования и электросетей является тепловизионный контроль [1], который позволяет обследовать оборудование и сети различного напряжения от 0,4 до 750 кВ.

Исследование распределения тепловой энергии поля силовых трансформаторов, находящихся под нагрузкой, показало, что наряду с анализом термограмм может быть использован метод свертки данных в «образ» [2]. Метод позволяет обнаружить тепловые аномалии и дефекты на действующем оборудовании и метод корреляционного анализа, который позволяет вычислить степень отклонения полученного «образа» термограммы от эталонного и характеризует меру развития дефекта [3]. Также в процессе исследований по полученным нормированным графикам свертки (гистограммам) были определены наиболее вероятное значение температуры поверхности объекта, максимальная температура поверхности объекта и средняя температура поверхности объекта.

Предложенный метод может быть использован при отработке конструкций новых типов трансформаторов и оптимизации их систем охлаждения и при проведении оперативной диагностики объектов с резко неоднородной излучательной способностью в процессе эксплуатации без их вывода из эксплуатации.

Литература

1. **Завидей В.И.** Возможности применения тепловизионного контроля для диагностики технического состояния силовых трансформаторов // Энергоэксперт. 2011. № 6(29). С. 64–67.
2. **Аксенов Ю.П.** Диагностика силовых трансформаторов, автотрансформаторов, шунтирующих реакторов и их вводов. М., 2006.
3. **Завидей В.И.** Оптические измерения температур по собственному излучению при контроле элементов электрических машин и устройств // Электро. 2008. № 2.

Р.В. Концов, стажер; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБНАРУЖЕНИЕ ДЕФЕКТОВ В БЕТОННОЙ СТРОИТЕЛЬНОЙ КОНСТРУКЦИИ ПРИ НАКЛОННОМ ВВОДЕ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

В докладе рассматривается ультразвуковой способ обнаружения дефектов в бетонной строительной конструкции, находящейся за пределами зоны размещения УЗ преобразователей. Такие бетонные строительные конструкций представляют собой, например, угловое соединение двух стен, при этом УЗ преобразователь возможно расположить только на одной из них, а дефект приходится искать в обеих стенах.

Так как для УЗ контроля бетонных конструкций в связи с высоким уровнем частотно-зависимого затухания ультразвука используется низкочастотный диапазон ультразвуковой колебаний, а скорость УЗ колебаний в бетоне в пределах одного бетонного изделия может существенно различаться, то наклонный ввод УЗ колебаний в бетонные изделия при помощи акустической призмы затруднен. Решение этой проблемы возможно с помощью УЗ фазированной антенной решетки [2].

В докладе проведен анализ оптимальной топологии антенной решетки для томографии указанной области строительных бетонных конструкций. Даны рекомендации по выбору типа электроакустических преобразователей в составе (по длине волны, полосе рабочих частот, диаграмме направленности) антенной решетки [1].

Кроме того, с целью точного определения расстояний до дефектов предложены способы определения скорости ультразвуковых колебаний в локальной области строительной конструкции. Сравняется метод определения скорости методом поверхностного прозвучивания и метод определения скорости при помощи фазированной антенной решетки (по амплитуде сигнала на томограмме от отражателей ультразвукового сигнала). При этом даны рекомендации по выбору алгоритма обработки сигналов для получения томограммы и вида отражателя: искомый дефект или донная поверхность.

Литература

1. **Синицын А.А.** Разработка и исследование низкочастотных широкополосных раздельно-совмещенных пьезопреобразователей с ограниченной апертурой: Дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2013.
2. **Шевалдыкин В.Г., Самокрутов А.А., Козлов В.Н.** Ультразвуковые низкочастотные пьезопреобразователи с сухим точечным контактом и их применение для неразрушающего контроля // Контроль. Диагностика. 2003. № 2.

*А.С. Крюков, асп.; рук-ли В.П. Лунин, д.т.н., доц.;
В.В. Чегодаев, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КООРДИНАТЫ И ОБЪЕМА ДЕФЕКТА ПРИ ВИХРЕТОКОВОМ КОНТРОЛЕ МНОГОЭЛЕМЕНТНЫМИ НАКЛАДНЫМИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯМИ

Многоэлементные накладные преобразователи (МНП) [1] широко применяются при вихретоковой диагностике различных электропроводящих изделий, позволяя повысить производительность контроля за счет увеличения площади сканирования. Бóльшее количество одноэлементных вихретоковых преобразователей (ВТП) позволяет охватить бóльшую площадь сканирования объекта контроля (ОК), но при этом усложняется система сбора данных. Поэтому при проектировании МНП желательно выбирать минимально необходимое количество входящих в него одиночных ВТП для данной площади сканирования. В этом случае возникает проблема определения объема и координат дефектов, расположенных между элементами МНП. Если дефект располагается непосредственно под одним из элементов, то его координата определяется координатой одиночного ВТП, а объем – по амплитуде его сигнала. Если же дефект располагается между элементами, то его координата не известна, а амплитуды сигналов от каждого из них будут заниженными, что может привести к пропуску опасного дефекта.

В работе представлено теоретическое описание взаимодействия МНП с плоским ОК, на основании которого выведены формулы для расчета оптимального количества элементов многоэлементного преобразователя и определения координаты дефекта, находящегося между элементами МНП. Полученные теоретические результаты подтверждены результатами компьютерного моделирования с помощью метода конечных элементов (МКЭ). Также с помощью МКЭ был разработан алгоритм определения объема и координаты дефектов при вихретоковом контроле цилиндрических изделий с применением многоэлементных ВТП [2].

Результаты исследования позволят использовать более простые и недорогие системы сбора вихретоковых данных в совокупности с МНП, а также повысить надежность и достоверность вихретокового контроля путем автоматизации и уменьшения человеческого фактора.

Литература

1. **Лунин В.П., Чегодаев В.В.** Многоэлементный вихретоковый преобразователь: Патент RU на полезную модель № 51748 U1 // Бюл. изобр. 2006. № 6.
2. **Обработка** сигналов многоэлементного преобразователя при вихретоковом контроле тепловыделяющих элементов реакторов АЭС / А.С. Крюков, В.В. Чегодаев, В.П. Лунин, А.Г. Жданов // Вестник МЭИ. 2013. № 4. С. 95–100.

ДИНАМИЧЕСКАЯ КЛАССИФИКАЦИЯ АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ

Неразрушающий контроль (НК) – это контроль надежности и основных рабочих свойств и параметров промышленных объектов, который проводится без выведения объекта контроля (ОК) из эксплуатации. При проведении НК регистрируются диагностические сигналы, которые являются откликом материала ОК на зондирующее воздействие и несут в себе информацию о его состоянии. Для оценки состояния ОК проводится анализ диагностических сигналов. Процедура анализа диагностических сигналов является сложной и нетривиальной, как правило, из-за большого количества помех и шумов, присутствующих во время проведения процедуры контроля.

Если помехи отличаются по своим свойствам от полезных диагностических сигналов, их можно удалить при помощи фильтрации. При схожести формы сигналов и шумов более эффективной является классификация – дискриминация сигналов и помех по разным классам.

Большинство традиционных методов классификации [1] требуют знания априорной информации о свойствах шумов и сигналов, кроме того, классификация проводится в отсроченном режиме, что не позволяет оперативно оценивать результаты.

В данной работе будет рассмотрен алгоритм, предназначенный для классификации сигналов акустической эмиссии в режиме реального времени. В основе алгоритма лежит метод динамической кластеризации сигналов [2], позволяющий объединять и разделять кластеры непосредственно в процессе регистрации сигналов.

Литература

1. **Кремер Н.Ш.** Теория вероятностей и математическая статистика. М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2007.
2. **Pomponi E., Vinogradov A.** Real-time acoustic emission classification: new evolutionary approach // 30th European Conference on Acoustic Testing & 7th International Conference on Acoustic Emission University of Granada, 2012.

МЕТОДИКА ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРИВОЙ ВЕРОЯТНОСТИ ОБНАРУЖЕНИЯ ДЕФЕКТОВ ПРИ УЛЬТРАЗВУКОВОМ КОНТРОЛЕ ПРЯМЫМ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕМ

Вероятность обнаружения дефекта – это вероятность того, что дефект определенного вида и размера может быть обнаружен при помощи определенного метода неразрушающего контроля с использованием определенной методики и оборудования. Общий вид кривой вероятности обнаружения представлен на рис. 1. Само по себе знание вероятности обнаружения не дает улучшения качества неразрушающего контроля, но она является важным его показателем [1]. Знание вероятности обнаружения дает возможность рассчитать уточненные надежность и прочность конструкций с учетом вероятности нахождения в них дефектов.

В данной работе был рассмотрен случай ультразвукового контроля объемных дефектов в основном металле деталей из алюминия при помощи эхо-метода и прямого пьезопреобразователя.

В ходе работы был подробно описан объект и методика контроля. Были выделены существенные мешающие факторы, влияние которых не компенсируется в процессе калибровки и настройки прибора: структурный шум, погрешность акустического контакта, форма и ориентация дефекта.

Была составлена математическая модель, симулирующая результаты контроля с учетом мешающих факторов, основанная на методе конечных элементов и методе Монте-Карло.

При помощи модели были получены данные контроля объемных дефектов различной формы размером от 0,1 до 5 мм в листе алюминия толщиной 10 мм, на основе которых рассчитана кривая вероятности обнаружения.

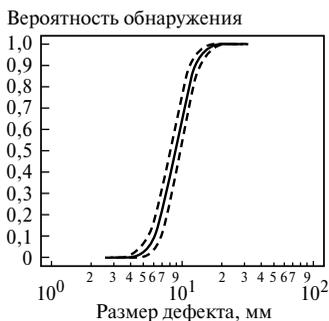


Рис. 1. Кривая вероятности обнаружения дефектов (кривая POD)

Литература

1. Berens A.P. NDE Reliability Data Analysis // ASM Metals Handbook. 1988 Volume 17, 9th Edition: Nondestructive Evaluation and Quality Control, ASM International, Materials Park, Ohio.

МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ВСТРОЕННОГО В КРИСТАЛЛИЗАТОР ВИХРЕТОКОВОГО ДАТЧИКА УРОВНЯ РАСПЛАВА

На сегодняшний день почти вся сталь производится в установках непрерывной разливки стали (УНРС). Качество слитка зависит от точности стабилизации уровня, поэтому к датчику уровня, входящему в АСУ УНРС, предъявляются высокие требования.

В металлургической отрасли на протяжении последних 15 лет наблюдается тенденция перехода от радиоизотопных датчиков к вихретоковым. Вихретоковые датчики более точные, экологичные и безопасные для персонала. В кристаллизаторах с большим сечением (блюзовые и слябовые) широко распространены штативные и бортовые вихретоковые датчики. Оба типа датчиков устанавливаются на срезе кристаллизатора, в связи с чем они подвержены переливу металла и помехам от электропроводных предметов. Вихретоковый датчик может сохранить преимущество установки радиоизотопного датчика и быть встроен в кристаллизатор – вихретоковый датчик встроенного типа. При этом измерение уровня проводится косвенно, по тепловому распределению в медной стенке кристаллизатора. Основным мешающим фактором при этом является инерционность тепловых процессов [1].

В данной работе приводятся результаты математического моделирования вихретокового датчика встроенного типа для различных типоразмеров кристаллизаторов. Отличительной особенностью моделирования является использование совместной электромагнитно-тепловой модели, выполненной в программном пакете ANSYSWorkbench 14.5. На основании результатов моделирования разработан алгоритм обработки сигнала, обеспечивающий требуемое быстродействие системы, и оптимизирована конструкция датчика и параметры возбуждения.

Работоспособность разработанного датчика подтверждена в ходе промышленных испытаний встроенного датчика для сортового кристаллизатора.

Полученные результаты в дальнейшем могут быть применены при разработке вихретоковых датчиков уровня различных типоразмеров кристаллизаторов.

Литература

1. **Терехин И.В.** Разработка вихретоковых средств контроля уровня жидкого металла в гильзовом кристаллизаторе при непрерывной разливке стали: Дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2008.

*Л.В. Савкин, асп.; рук. А.Е. Ширшаков, к.т.н.
(ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Химки,
Филиал ФГУП «НПО им. С.А. Лавочкина», г. Калуга)*

ИССЛЕДОВАНИЕ СПОСОБОВ ОРГАНИЗАЦИИ БОРТОВОГО ДИАГНОСТИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ КОСМИЧЕСКИХ АППАРАТОВ НА БАЗЕ ВСТРОЕННЫХ РЕКОНФИГУРИРУЕМЫХ ВЫЧИСЛИТЕЛЬНЫХ СТРУКТУР

В работе рассматриваются способы организации бортового диагностического обеспечения, реализуемого на базе встроенных реконфигурируемых вычислительных структур (РВС). Исследуются способы аппаратной реализации диагностических алгоритмов на базе реконфигурируемых вычислительных полей (РВП) с возможностью глубокого перестроения (реконфигурации) диагностических моделей бортовой радиоэлектронной аппаратуры космических аппаратов (КА).

Рассматривается возможность проведения диагностики дискретных элементов бортовой аппаратуры методом аппаратного дублирования непосредственно на борту КА, для чего в РВП предусматривается область, отведенная для формирования дублирующей (эталонной) аппаратуры, эквивалентной в алгоритмическом смысле диагностируемой.

Возможности формирования дублирующей аппаратуры в реконфигурируемых системах контроля и диагностики за счет свойств РВС предложено использовать для восстановления некоторых вышедших из строя диагностируемых элементов бортовой аппаратуры КА на низком аппаратном уровне.

Исследуются способы адаптации реконфигурируемых диагностических моделей под информационную структуру задач бортового диагностирования и контроля в процессе идентификации неисправных состояний бортовой аппаратуры, носящих сложный характер. Предложен ряд методов организации топологии связей в РВП между коммутируемыми логическими блоками при реализации РВС на ПЛИС типа FPGA.

Предложена структурная схема диагностической системы на базе РВС.

Литература

1. **Алексеев А.А., Кораблев Ю.А., Шестопапов М.Ю.** Идентификация и диагностика систем. М.: Издательский центр «Академия», 2009.
2. **Бортовые** системы управления космическими аппаратами / А.Г. Бровкин, Б.Г. Бурдыгов, С.В. Гордийко и др.; под ред. проф. А.С. Сырова. М.: Изд-во МАИ-ПРИНТ, 2010.
3. **Реконфигурируемые** мультиконвейерные вычислительные структуры / И.А. Каляев, И.И. Левин, Е.А. Семерников, В.И. Шмойлов; под общ. ред. И.А. Каляева. Изд. 2-е, перераб. и доп. Ростов-на-Дону: Изд-во ЮНЦ РАН, 2009.

АКУСТИЧЕСКАЯ ЭМИССИЯ. ТЕЧЕИСКАНИЕ

Метод акустической эмиссии (АЭ) основан на регистрации звуковых сигналов, излучающихся при пластической деформации твердых сред, развитии дефектов, трении, прохождении жидких и газообразных сред через узкие отверстия – сквозные дефекты.

Метод представляет собой совокупность научных моделей, специализированных технических средств, промышленных методик, технологий и подходов, применение которых позволяет предотвратить катастрофическое разрушение объекта [1].

В отличие от других методов неразрушающего контроля метод АЭ требует меньших усилий при проведении контроля процессов, требует доступа только в места установки датчиков, а также контролирует конструкцию за один цикл нагружения, что является одним из основных достоинств метода.

Среди прочих задач метода АЭ стоит выделить задачу проверки запорной арматуры на герметичность, которая по отношению к внешней среде обеспечивает защиту от попадания в атмосферу взрывоопасных, пожароопасных и токсичных веществ, а также гарантирует точное соблюдение технологического процесса и позволяет избежать потерь при транспортировке продукта потребителю [2].

Задача проверки герметичности включает в себя проблему классификации входных сигналов, необходимой для определения течей в запорной арматуре, посредством отделения акустического «течевого» сигнала от прочих шумов по определенному семейству признаков, равно как и проблеме определения соответствия параметров «течевого» сигнала величине расхода утечки.

В результате анализа сигналов, поступающих с акустико-эмиссионного оборудования при различных условиях, была разработана классификация входных сигналов, позволяющая отделить «течевой» сигнал от технологических шумов оборудования и от шумов, вызываемых осадками.

Литература

1. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под ред. В.В. Клюева. Т. 7. Метод акустической эмиссии. М.: Машиностроение, 2005.
2. **Поллок Д.А. (РАС).** Metals Handbook. – 9-е изд. Т. 17. ASM International, 1989.

А.А. Синицын, к.т.н., с.н.с.; рук. И.В. Соколов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПЬЕЗОПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ДЛЯ УЗ НИЗКОЧАСТОТНЫХ ФАЗИРОВАННЫХ АНТЕННЫХ РЕШЕТОК

Томография объектов из сложноструктурных материалов с высоким затуханием УЗ колебаний осуществляется в низкочастотном УЗ диапазоне (50 ~ 200 кГц). Параметры и характеристики пьезопреобразователей, используемых в качестве элементов низкочастотных фазированных антенных решеток, должны удовлетворять ряду требований. Высокое значение лучевой разрешающей способности УЗ низкочастотных томографов достигается благодаря широкой полосе электроакустического преобразования приемо-передающих элементов фазированной антенной решетки. Для достижения удовлетворительных значений фронтальной разрешающей способности и минимальной протяженности мертвой зоны необходимы пьезопреобразователи с широким углом раскрыва диаграммы направленности ($> 90^\circ$) и равномерным акустическим полем. При «сухом» контроле объектов с неровной шероховатой поверхностью необходима разработка специальных конструктивных решений, обеспечивающих преобразователям надежный и долговечный акустический контакт с поверхностью объекта. Для обеспечения эффективной работы антенной решетки в условиях высокого уровня структурной помехи величина шага между элементами выбирается не менее, чем радиус корреляции структурного шума, имеющего значение, например, для бетона 20–40 мм, что в свою очередь определяет ограничения на размер апертуры преобразователей. Создание пьезопреобразователей, удовлетворяющих перечисленным, во многом противоречивым требованиям, является важной задачей данной работы.

В докладе приведены результаты анализа литературы о существующих низкочастотных малоапертурных пьезопреобразователях, перечислены их сравнительные достоинства и недостатки.

Рассматриваются различные типы сухого акустического контакта, в том числе керамические и металлические концентраторы, силиконовые и полиуретановые протекторы, и определяются ограничения их применения.

Также в докладе описываются технологические особенности создания низкочастотных мозаичных пьезопреобразователей – элементов фазированных антенных решеток.

В качестве результатов представлены сравнительные импульсные, частотные и пространственные характеристики пьезопреобразователей различных конструкций.

Е.А. Славинская, студ.; рук. И.В. Терехин, к.т.н. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СИГНАЛОВ ВИХРЕТОКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПРИ ИМПУЛЬСНОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ

Вихретоковый метод неразрушающего контроля широко используется для контроля качества электропроводящих объектов. Контроль основан на анализе электромагнитного поля вихревых токов, наводимых в объекте контроля (ОК) и зависящих от электромагнитных свойств ОК, его геометрии и сплошности.

Существует несколько способов возбуждения вихревых токов. Наиболее трудная проблема проектирования вихретоковых приборов заключается в отстройке от влияния мешающих факторов и повышении информативности контроля. Одним из перспективных способов возбуждения вихревых токов, повышающих информативность контроля, является импульсный метод. При этом методе вихревой ток в ОК индуцируется кратковременно, а затем затухает, распространяясь по ОК [1]. Полезная информация от ОК поступает последовательно сначала от поверхностных слоев, а в конце переходного процесса – от самых глубокорасположенных. Поэтому стоит ожидать увеличения информативности контроля по сравнению с гармоническим возбуждением.

Цель работы состояла в получении универсальных зависимостей сигнала от основных информативных параметров для характерных типов дефектов. Такие зависимости в литературе отсутствуют, имеются лишь частные результаты [2], в то время как они являются основой при проектировании приборов. Работа включает в себя ряд численных экспериментов по исследованию выходного сигнала накладного ВТП от основных параметров дефектов: глубина, глубина залегания, ширина раскрытия и длина дефекта. В качестве инструмента исследования использовалась математическая 3D-модель. Верность расчетов проверялась по имеющимся теоретическим обобщенным зависимостям [3]. На основе полученных универсальных зависимостей вносимого дефектом сигнала от времени и параметров дефекта был разработан алгоритм оценки параметров трещины.

Литература

1. **Дорофеев А.Л.** Вихревые токи. М.: Энергия, 1977.
2. **Feilu Luo, Yunze He, Binfeng Yang.** Array Pulsed Eddy Current Imaging Technique for Nondestructive Testing of Aging Aircraft. 2008.
3. **В.Г. Герасимов, А.Д. Покровский, В.В. Сухоруков.** Неразрушающий контроль. В 5 кн. / под ред. В.В. Сухорукова. Кн. 3. Электромагнитный контроль. М.: Высшая школа, 1992.

А.А. Столяров, асп.; рук. В.П. Лунин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРОБЛЕМА СОХРАНЕНИЯ РЕСУРСА ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБ ПАРОГЕНЕРАТОРОВ АЭС

В связи с износом оборудования парогенераторов АЭС актуальной стала задача сохранения в работе теплообменных труб, предназначенных для вывода из эксплуатации из-за наличия отложений на внешней поверхности.

В настоящее время решение о глушении теплообменной трубки принимается на основе следующих данных: фазы индикации, соответствующей определенной глубине дефекта [1], наличия индикации от электропроводящего отложения. Стоит отметить, что нет точного критерия по выводу из строя труб с проводящим слоем, решение принимает аналитик.

Для разработки критериев глушения была создана аналитическая модель, в основе которой лежал метод конечных элементов.

Решение проблемы о продлении эксплуатации труб с дефектами стало возможным при использовании амплитуды сигнала от индикации в качестве информативного параметра в дополнении к фазе. В основе расчетов взяты данные гидромеханических испытаний.

При принятии решения о необходимости глушения теплообменной трубки с отложениями на внешней поверхности следует учитывать информацию об объеме и площади поперечного сечения проводящего слоя. Это стало возможным после построения градуировочных зависимостей, связывающих площадь поперечного сечения и энергетический коэффициент сигнала от индикации.

Представленные выше алгоритмы реализованы в программном продукте PIRATE, что существенно увеличило скорость обработки данных вихревого контроля.

В результате испытаний амплитудно-фазового критерия проконтролировано 6040 теплообменных труб, определено 967 индикаций. Представлено к глушению по фазовому критерию 260 труб, по амплитудно-фазовому – 171. В результате порядка 30 % труб можно сохранить в эксплуатации, что делает актуальной задачу внедрения амплитудно-фазового критерия при принятии решений о ремонте трубного пучка парогенератора.

Литература

1. РД ЭО 1.1.2.16.0157–2009. Нормы дефектов (критерии глушения) теплообменных труб парогенераторов реакторных установок с ВВЭР / Росатом, Росэнергоатом.

С.А. Федоренко, асп.; Р.В. Концов, стажер;
рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СКОРОСТИ АКУСТИЧЕСКИХ КОЛЕБАНИЙ В БЕТОНЕ МЕТОДАМИ СОБСТВЕННЫХ ЧАСТОТ

Для контроля крупногабаритных изделий из бетона применяют акустические методы, основанные на анализе собственных частот изделия. Они позволяют осуществлять контроль изделий из бетона, толщина которых превышает 1,5 м. Однако у методов собственных частот имеются ограничения: они позволяют контролировать только так называемые протяженные конструкции (у которых толщина либо во много раз меньше, либо во много раз больше остальных размеров) [1]. В МЭИ был предложен корреляционный импакт-эхометод определения скорости распространения акустической волны, который позволяет измерять скорость акустических колебаний «в объеме» компактного изделия и не зависит от состояния поверхности бетона [2]. Он заключается в сравнении экспериментальной спектральной характеристики компактного бетонного блока любой (но известной) формы со спектральной характеристикой, полученной с помощью моделирования методом конечных элементов.

Для измерения прочности бетонного блока размером 400×300×155 мм при его застывании в течение 30 суток нами был реализован модернизированный мультипликативно-корреляционный импакт-эхометод [2], заключающийся в измерении спектральных характеристик импакт-эхометодом в нескольких точках изделия с последующим вычислением функции взаимной корреляции $r(C)$ между парциальными экспериментальными спектральными характеристиками изделия. По максимуму $r(C)$ однозначно определялась скорость акустической волны, а совокупность измеренных значений $C_{пр}$ в различные дни в процессе затвердевания позволила определить прочность бетона. Одновременно скорость $C_{пр}$ определялась методом сквозного прозвучивания на частоте 100 кГц. Результаты обоих методов совпадают, что подтверждает правильность предложенного метода.

Литература

1. Carino N.J., Sansalone M., Hsu N.N. Flaw Detection in Concrete by Frequency Spectrum Analysis of Impact-Echo Waveforms, in International Advances in Nondestructive Testing, New York, 1986. – P. 117–146.
2. Качанов В.К., Соколов И.В., Авраменко С.Л. Способ определения скорости распространения акустической волны в крупногабаритных бетонных изделиях сложной формы: Патент РФ на изобретение № 2397487 от 10.04.09 // БИ 2010. № 23.

М.Б. Федоров, асп.; рук. В.К. Качанов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗЛИЧНЫЕ ВАРИАНТЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ЧАСТОТНО-МОДУЛИРОВАННЫХ СИГНАЛОВ В УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ДЕФЕКТΟΣКОПИИ КРУПНОГАБАРИТНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СЛОЖНОСТРУКТУРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

При УЗ неразрушающем контроле (НК) крупногабаритных изделий из сложноструктурных материалов для обеспечения высокой чувствительности приходится проводить НК на относительно низких частотах (100 кГц), что требует для повышения разрешающей способности использования коротких импульсов. Обеспечить одновременно высокую чувствительность и разрешающую способность позволяет применение линейно-частотно-модулированных (ЛЧМ) сигналов [1], применение которых обеспечивает высокую чувствительность и разрешающую способность, а также точность измерения.

При использовании ЛЧМ сигналов возможно устанавливать в процессе контроля оптимальные параметры зондирующего сигнала: среднюю частоту, ширину спектра сигнала, длительность сигнала, использовать различные радиотехнические обработки эхо-сигнала. Вариативность ЛЧМ сигнала позволяет адаптировать параметры сигнала под конкретное изделие.

Применение ЛЧМ сигналов позволяет измерять амплитудно-частотные характеристики (АЧХ) пьезоэлектрических преобразователей. Измерив АЧХ излучающего и приемного преобразователей, возможно скомпенсировать их искажающее влияние с помощью огибающей ЛЧМ. В итоге можно исключить влияние преобразователей, и снятая АЧХ электроакустического тракта будет представлять собой АЧХ контролируемого изделия, что актуально при структуроскопии сложноструктурных изделий.

Выбор и построение АЧХ ЛЧМ сигнала осуществляется с помощью разработанного на кафедре «Электронные приборы» МЭИ УЗ многофункционального адаптивного компьютерного измерительного комплекса, обеспечивающего программным образом требуемые параметры зондирующего сигнала и соответствующую обработку эхо-сигналов [2].

Литература

1. **Kachanov V.K., Sokolov I.V.** Application features of radio engineering signal processing methods for ultrasonic flow detection // *Nondestr.Test.Eval.* 2000. Vol. 15. P. 330–360.
2. **Качанов В.К., Соколов И.В., Залёткин А.В., Фёдоров М.Б.** Многофункциональная аппаратура ультразвукового контроля // Тезисы докладов 5-й Международной конференции «Неразрушающий контроль и техническая диагностика в промышленности», Москва, 16–19 мая 2006 г. М.: Машиностроение-1, 2006. – С. 33.

*Р.А. Хуснутдинов, асп.; Г.Д. Марданов, студ.;
рук. А.В. Голенищев-Кутузов, д.ф.-м.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)*

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ, ПРИВОДЯЩИЕ К ВОЗНИКНОВЕНИЮ ДЕФЕКТОВ В ДИЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЭЛЕМЕНТАХ

Известно, что в высоковольтных диэлектрических элементах, составляющих наиболее уязвимую часть электроэнергетического оборудования, изменение во времени его параметров и характеристик обусловлено электрофизическими процессами, происходящими под действием приложенного напряжения. В целом аварийность линий передач, мощных подстанций на 40–50 % связана с повреждениями изоляции, особенно это касается высоковольтных изоляторов. Механизмы нарушения работоспособности диэлектрических элементов определяются общими физическими процессами, приводящими к изменению структуры и возникновению дефектов на поверхности и в объеме данных элементов.

Конкретные механизмы нарушений работоспособности диэлектрических элементов определяются общими физическими процессами изменений структуры, свойств и параметров данных элементов. Причем закономерности, характеризующие эти процессы, могут являться основой для построения некоторых общих физических моделей дефектов и последующих электрических пробоев. К общим физическим моделям отказов и процессов их возникновения в диэлектрических элементах можно отнести следующие: электрическое разрушение; тепловое разрушение; электрохимическую коррозию; электротермическую эрозию. Закономерности протекания физических процессов, оказывающих влияние на работоспособность различных элементов, определяются, как правило, тем, что в этих процессах участвуют только те частицы вещества (молекулы, атомы, электроны), которые обладают энергией, необходимой для преодоления энергетического барьера, препятствующего течению процесса. Скорость рассматриваемых процессов зависит от той небольшой доли частиц, обладающих энергией, превышающей энергию активации. Доля этих частиц определяется законами статистической физики, носит вероятностный характер, что предопределяет вероятностно-статистическую форму описания моделей отказов. Поэтому изучение механизмов электрофизических процессов позволит установить их влияние не только на возникновение и рост дефектов в ходе эксплуатации, но и разработать комплексный способ контроля параметров дефектов и их влияние на электрические и прочностные свойства диэлектрических элементов.

*Д.В. Чернов, асп.; рук-ли В.А. Барат, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
И.Е. Васильев, к.т.н., с.н.с. (ИМАШ РАН)*

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ СТАДИЙ РАЗРУШЕНИЯ МНОГОСЛОЙНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ ПО ПАРАМЕТРАМ СИГНАЛОВ АКУСТИЧЕСКОЙ ЭМИССИИ

Метод акустической эмиссии (АЭ) основан на исследовании акустических волн, испускаемых объектом контроля (ОК). Основными достоинствами метода АЭ являются интегральность и дистанционность, что позволяет его использовать во многих областях промышленности [1]. Также метод АЭ позволяет контролировать объекты из композиционных материалов (КМ) [2], имеющих широкое распространение в наши дни. Композиционные материалы – многокомпонентные материалы, состоящие из пластичной основы, матрицы, армированной наполнителями. Многие КМ превосходят традиционные материалы и сплавы по своим механическим свойствам и в то же время они легче, что позволяет уменьшить вес конструкции. Благодаря своим свойствам КМ нашли широкое применение в авиационной промышленности.

Одной из основных задач при контроле элементов конструкций из КМ является оценка усталостной прочности. Существует несколько типов разрушения КМ: разрушение матрицы, разрушение волокон, расслоение. Применение метода АЭ для контроля оборудования из КМ имеет следующие достоинства: возможность проведения мониторинга состояния объекта, находящегося в эксплуатации, быстроедействие по сравнению со сканирующими методами неразрушающего контроля, способность метода АЭ фиксировать накопления повреждений объекта. В работе анализируются АЭ сигналы, полученные при деформации образца из КМ при различных видах нагружения. В процессе фильтрации данных по параметрам импульсов АЭ были выделены различные стадии разрушения КМ. Каждая стадия разрушения характеризуется определенным набором информативных признаков, таких как центр масс спектра, время нарастания импульса, длительность импульса и т.д. Разделение стадий деформации КМ позволит оценивать состояние конструкции в режиме реального времени и осуществлять эксплуатацию вне нормативных сроков по текущему состоянию.

Литература

1. **Иванов В.И., Власов И.Э.** Неразрушающий контроль: справочник в 7 т. / под общ. ред. В.В. Клюева. М.: Машиностроение, 2005.
2. **Gallego A., Martinez-Jequier J., Soares E. etc.** Real-time Algorithm to Classify AE Events of Lamb Waves in CFRP // 31st Conference of the European Working Group on Acoustic Emission (EWGAE), 2014.

Направление
ЭЛЕКТРОТЕХНИКА,
ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА
И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ

Научный руководитель направления —

директор ИЭТ, к.т.н.,
профессор С.А. Грузков

Секция 22

ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛИ ЭНЕРГИИ

*Председатель секции — зав. каф. ЭМ, д.т.н., профессор
В.Я. Геча*

Секретарь секции — ст. преп. В.И. Гончаров

П.А. Богатырёв, студ.; рук. С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭКВИВАЛЕНТНОЙ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ В СРЕДЕ MATLAB

Применение метода эквивалентных схем замещения магнитной цепи позволяет подробно анализировать состояние магнитной цепи электрической машины, оставаясь при этом в рамках цепных методов расчета, которые отличаются низкой размерностью и высокой скоростью расчета и могут применяться в задачах оптимизации. Эквивалентные схемы замещения применяются как в традиционных методиках расчета магнитной цепи, так и в разработанных в последнее время методах, обеспечивающих высокую степень адекватности модели. Конечной целью данной работы является получение инструмента для анализа эквивалентных схем замещения, построенных по методу зубцовых контуров (МЗК). Однако расчетное ядро является универсальным и может быть применено для анализа любых схем замещения с учетом насыщения стальных участков магнитопровода.

Расчет нелинейной схемы замещения проводится методом узловых потенциалов [2], пригодным для анализа непланарных цепей, характерных для МЗК. Практическая реализация метода выполнена в среде математических расчетов MatLab с использованием стандартной процедуры решения систем нелинейных уравнений `fsolve`. Для математического описания схемы замещения разработана универсальная спецификация на основе обобщенной ветви, содержащей источник МДС, источник потока и нелинейную магнитную проводимость участка цепи. В настоящий момент описание схемы замещения вводится из текстового файла, подготовленного по определенным правилам. Результатом анализа являются значения узловых потенциалов, а также магнитные потоки всех ветвей схемы замещения.

Отладка программы проводилась на примере магнитной цепи двигателя постоянного тока. Составленная упрощенная схема замещения позволя-

ет построить характеристику холостого хода ДПТ путем многократного анализа схемы замещения для разных значений тока возбуждения и расчета ЭДС якоря по величине потока в зазоре. Сравнение с эталонным расчетом из [1] подтвердило пригодность модели.

Литература

1. **Проектирование** электрических машин: учебник для вузов / И.П. Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев. – 3-е изд., испр. и доп. – М.: Высшая школа, 2002.
2. **Галкин А.К., Кузнецов В.А., Ширинский С.В.** Решение задач электромеханики на ЭВМ. М.: Издательство МЭИ, 1997.

*Ю.И. Бондаренко, студ.; рук. Ю.Б. Казаков, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

РАСЧЕТНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВИБРОШУМОВЫХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ ПРИ НЕСИНУСОИДАЛЬНОМ ИСТОЧНИКЕ ПИТАНИЯ

Преобразование энергии в электрических машинах сопровождается возникновением вибрации от электромагнитных сил, зависящей от характеристик напряжения источника питания [1]. Целью данной работы является проведение расчетных исследований виброшумовых характеристик асинхронных двигателей при работе от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией напряжения.

Для полного анализа виброшумовых характеристик были сделаны расчеты трех двигателей как при синусоидальном источнике питания, так и при работе от преобразователя частоты с широтно-импульсной модуляцией напряжения (появляется широкий спектр высших гармоник напряжения): асинхронного трехфазного двигателя с номинальной мощностью 3 кВт серии RA [1, 2], асинхронного трехфазного двигателя с номинальной мощностью 75 кВт и тягового асинхронного двигателя ТАД 250-260 У2 с номинальной мощностью 120 кВт.

Анализ пространственно-временных гармоник магнитного поля асинхронных двигателей, при наличии высших гармонических составляющих в напряжении источника питания показывает возникновение значительной вибрации. Частотный спектр вибрации в этих случаях смещается даже в сторону низких частот. Электрические машины малой и средней мощности на частоте 50 Гц имеют амплитуду вибрации, равную примерно 70 % соответствующей величины при частоте $5 \cdot 10^3$ Гц [3].

Сопоставив полученные результаты всех проведенных исследований, удалось выяснить, что при несинусоидальном источнике питания наблюдается среднее увеличение уровня шума на 10 %, а увеличение вибрации почти на 20 %.

Литература

1. **Бондаренко Ю.И.** Расчетные исследования виброшумовых характеристик асинхронного двигателя // «Энергия-2014»: Материалы конференции. В 7 т. Т. 4. Иваново: ФГБОУ ВПО Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина, 2014. – С. 99–103.
2. **Попов В.И., Тихонов С.И.** Магнитный шум трехфазных многополюсных асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором серии RA // *Электричество*. 2008. № 4. С. 66–73.
3. **Немцев А.Г., Фёдоров О.В., Шестакова Л.А.** О вибрации электродвигателей при наличии высших гармонических составляющих в напряжении источника питания // Труды VIII Международной конференции по автоматизированному электроприводе АЭП-2014. Т. 1. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та. – С. 330–331.

И.А Гуров, студ.; рук-ли А.С. Кобелев, к.т.н.; (НИПТИЭМ);
С.В. Ширинский, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ГИБРИДНАЯ ТРАНСМИССИЯ ДЛЯ ТРАКТОРА

Гибридизация автотранспорта, переход на электрическую трансмиссию весьма актуальны, поскольку приводят к уменьшению расхода топлива и снижению вредных выбросов. ДВС в последовательном гибриде не связан механически с колесной парой и может работать в зоне максимальной топливной эффективности, предоставляя регулирование частоты вращения электрической части трансмиссии. При гибридизации сельскохозяйственной техники следует учитывать особенности ее работы – необходимость получения высокого тягового момента на низких частотах вращения, большой диапазон рабочих скоростей и отсутствие частых режимов старта-торможения.

Проблема рационального выбора активной геометрии тяговых асинхронных машин (ТАМ) остается актуальной, поскольку обобщающие научные рекомендации в этой области окончательно не сформулированы. При многокритериальной оптимизации ТАМ удобен следующий комплексный критерий, объединяющий наиболее существенные частные критерии:

$$F_{\rightarrow \max}(\mathbf{X}) = \alpha_{\eta} \frac{\eta_i}{\eta_b} + \alpha_{K_{mI}} \frac{K_{mIi}}{K_{mIb}} + \alpha_{K_{mII}} \frac{K_{mIIi}}{K_{mIIb}} + \alpha_{I_n} \frac{I_{nb}}{I_{ni}} + \\ + \alpha_{Q_a} \frac{Q_{a_b}}{Q_{a_i}} + \alpha_{M_g} \frac{M_{g_i}}{M_{g_b}} + \alpha_{\Theta_{cu}} \frac{\Theta_{cu_b}}{\Theta_{cu_i}} + \alpha_{C_a} \frac{C_{a_b}}{C_{a_i}}.$$

В качестве частных критериев отобраны: КПД; кратность максимального момента K_{mI} в точке перехода от зоны $M = \text{const}$ к зоне $P = \text{const}$ (I); K_{mII} в конце зоны $P = \text{const}$ (II); активный объем; номинальный ток I_n ; отношение момента (I) к массе активных материалов; превышение средней температуры обмотки статора; относительная стоимость активных материалов. Ток I_n минимизируется из-за необходимости уменьшения стоимости силовой электроники ПЧ. В зависимости от ездовых циклов значимости $\alpha_{K_{mI}}$, $\alpha_{K_{mII}}$, α_{M_g} для ТАД в разных проектах разнятся, что определяется предварительными кинематическими расчетами. Типовая область моментов, реализуемых в ТАГ, исключает из функционала $\alpha_{K_{mII}}$; параметр $\alpha_{K_{mI}}$ сохраняется для точки P_{\max} ; параметр α_{M_g} заменяется отношением мощности к массе активных материалов.

Описанная методика опробована на примере расчета активных частей тяговых АД и АГ электротрансмиссии колесного трактора мощностью 180 л.с.

С.В. Жуков, студ.; рук. В.Н. Караулов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)

ПОВЕРОЧНЫЙ РАСЧЕТ ГИБРИДНОГО ШАГОВОГО ДВИГАТЕЛЯ МЕТОДОМ КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ В ANSYS MAXWELL

Гибридный шаговый двигатель (ГШД) – наиболее распространенный в настоящее время тип шаговых двигателей (ШД). Он сочетает в себе свойства реактивных ШД и ШД с постоянными магнитами. За счет использования намагничивающей силы постоянного магнита (ПМ) повышается устойчивость к перегрузкам и повышается постоянная Арнольда. Ротор такого двигателя имеет два зубчатых венца, надетых на намагниченный вдоль оси вращения ПМ. Венцы смещены друг относительно друга на половину зубцового деления. Это позволяет уменьшить величину шага в два раза и повысить точность позиционирования привода, использующего ГШД.

Данная конструкция приводит к особой конфигурации магнитного поля в двигателе. Когда под одним венцом ротора и полюсом статора зазор минимален, поля, созданные обмоткой статора и ПМ, усиливают друг друга. В это же время под второй половиной полюса статора и вторым венцом ротора зазор максимален, и поля обмотки и ПМ направлены встречно, уменьшая результирующее поле и паразитный момент [1].

Расчет электромагнитных процессов в ГШД аналитическим путем очень сложен. Для решения этой проблемы был использован программный пакет ANSYS Maxwell, позволяющий осуществить расчет модели ГШД методом конечных элементов. Сложная конфигурация магнитного поля позволяет рассчитывать модель ГШД только в трехмерной постановке.

Достоинствами расчета ГШД в ANSYS Maxwell являются: простота работы с интерфейсом при создании модели, возможность задания нелинейности, шихтовки, плотности, сопротивлений и прочих свойств материалов, учета различных явлений: поверхностных эффектов, вихревых токов и т.п., что повышает точность расчета.

Недостатками являются: повышенные требования к вычислительным ресурсам и большое время расчета при мелкой сетке конечных элементов [2]. Цель расчета ГШД методом конечных элементов заключается в определении необходимых свойств материалов и геометрии зубцовой зоны машины, которые обеспечат наибольшую устойчивость двигателя к перегрузкам при оптимальной материалоемкости и простоте конструкции.

Литература

1. **Карпенко Б.К., Ларченко В.И., Прокофьев Ю.А.** Шаговые электродвигатели. Киев: Техника, 1972.
2. **Вебинары ANSYS** на русском языке. Электромеханика. Электронный ресурс. URL: <http://www.cae-club.ru/forum/elektromagnetizm/elektromekhanika>

КОМБИНИРОВАННЫЙ ГЕНЕТИЧЕСКИЙ АЛГОРИТМ ОПТИМИЗАЦИИ ТРАНСФОРМАТОРА

Одним из наиболее важных компонентов САПР трансформаторов является подсистема поиска оптимального решения. Главное требование, предъявляемое к ней, – способность быстро решать задачи поиска оптимального решения в условиях многоэкстремальности, резко выраженной овражности и дискретности целевой функции.

Для решения многоэкстремальной задачи дискретной минимизации овражной целевой функции предлагается применение алгоритма, сочетающего достоинства самонастраивающихся эволюционных алгоритмов (параллельные модели) и симплекс-методов (в данном случае метода Нелдера-Мида).

Основой комбинированного алгоритма является двухстрочная модель генетического алгоритма (ГА). Данная модель относится к самонастраиваемым моделям, не требующим подбора параметров для решения требующейся задачи. Достоинством ГА перед другими моделями является способность решать многоэкстремальные задачи с дискретными аргументами целевой функции. Однако поиск экстремума овражных функций существенно увеличивает время вычислительного процесса, что может оказаться неприемлемым в ряде случаев. Для ускорения процесса оптимизации овражных многоэкстремальных функций с дискретными аргументами предполагается организация обучения лучшей особи одной из подпопуляции генетического алгоритма (ГА) методом Нелдера–Мида (комбинированный ГА).

Алгоритм реализован в среде MatLab и интегрирован в качестве подсистемы в единую САПР. По результатам работы подсистемы получены рекомендации по снижению себестоимости трансформаторов ТМГ и ТСЛ 25–2500 кВА. На рис. 1 и 2 приведены тренды поиска решения.

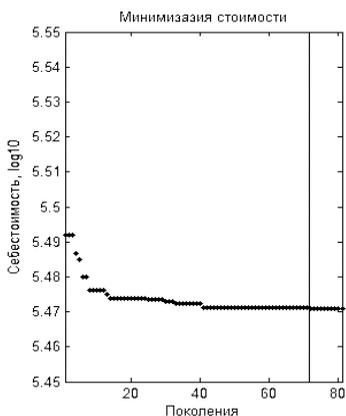


Рис. 1. Процесс минимизации целевой функции с помощью ГА

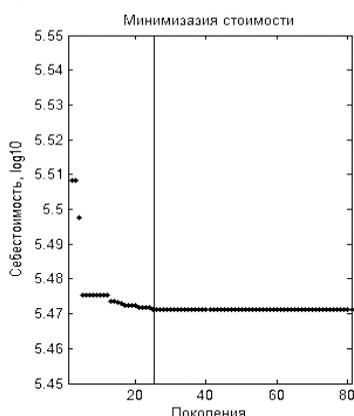


Рис. 2. Процесс минимизации целевой функции с помощью комбинированного ГА

А.А. Казанцев, асп.; рук-ли В.Г. Гольдштейн, д.т.н., проф.;
Л.М. Инаходова, к.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

ПРИМЕНЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ СИЛОВЫХ ТРАНСФОРМАТОРОВ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНОЙ СЕТИ

Использование в отечественных электрических сетях и системах электроснабжения (ЭССЭ) устаревших конструкций трансформаторной техники не отвечает уровню теоретических научно-технических решений и практических технологических принципов современной электротехники, что, несомненно, тормозит технический прогресс в электроэнергетике. Это непосредственным образом отражается на реализации широко декларируемых положений об энергосбережении и энергоэффективности как в потреблении, так и в процессах передачи и распределения электроэнергии [1].

В современных условиях потери электроэнергии и мощности можно существенно снизить применением в конструкциях СТ следующих инновационных решений.

1. Использование эффекта сверхпроводимости (СП), низко и высокотемпературной (НТСП, ВТСП), для кардинального уменьшения потерь в обмотках СТ.

2. Применение новых эффективных способов формирования основного магнитного потока СТ с помощью аморфных ферромагнитных материалов (АФМ) и перспективных бессердечниковых конструкций СТ (также в сочетании с использованием НТСП, ВТСП).

Авторами были выполнены компьютерные эксперименты для сравнения эксплуатационных характеристик трансформаторов различного исполнения: ТСТ, АМТ, ВТСП и АВТСП. Эксперименты проводились для трансформаторов мощностью 100, 250, 400 и 1000 МВА. Расчет проводился при допущении равенства относительной загрузки всех трансформаторов. Был использован фрагмент сети 10 кВ ОАО «Самаранефтегаз», для которого была смоделирована замена традиционных СТ на всех трансформаторных подстанциях с учетом реальных нагрузок на АМТ и АВТСП.

Из результатов проведенных экспериментов стало видно, что энергоэффективность инновационных трансформаторов значительно выше, чем энергоэффективность трансформаторов с традиционным исполнением магнитопровода.

Литература

1. **Анализ** эксплуатационных свойств трансформаторов с сердечниками из аморфных материалов и защита их с помощью нелинейных ограничителей перенапряжений / В.Г. Гольдштейн, Л.М. Инаходова, А.А. Казанцев, Е.Н. Молочников // Вестник СамГТУ. Серия «Техн. науки». 2013. № 4 (40).

К.С. Карпунина, А.А. Дроздов, студенты;
рук. А.С. Иванов, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МИКРОМИНИАТЮРНЫЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛИ

Электромеханическое преобразование энергии осуществляется в магнитном, электрическом и одновременно в магнитном и электрическом полях. По этому признаку электромеханические преобразователи делятся на три класса: индуктивные, индуктивно-емкостные и емкостные. Емкостной принцип применяется в машинах с малыми размерами и мощностями. Это следует из того, что при практически достижимых сейчас интенсивностях магнитного и электрического полей количество энергии в единице объема среды, пропорциональное ее магнитным и электрическим свойствам, при магнитном поле в тысячи раз больше, чем при электрическом. При одинаковых внешних размерах и габаритах электродвигателей обоих классов, индуктивные электродвигатели будут развивать значительно большую мощность. Разработка и исследование микроминиатюрных двигателей на индуктивном принципе действия очень актуальны для достижения максимальных мощностей при минимальных размерах.

В работе проведен обзор существующих на данный момент электрических микроминиатюрных двигателей на индуктивном принципе действия. Рассмотрены двигатели с минимально возможным диаметром статора. Собрана и структурирована информация об их характеристиках, фирмах-производителях и областях применения (табл. 1).

Таблица 1

Характеристики микроминиатюрных двигателей

Тип электродвигателя	Фирма-производитель	Размеры, мм	Максимальный момент, мНм/м	Скорость вращения, об/мин
Пьезоэлектрический двигатель	<i>New Scale Technologies</i>	1,8×1,8×6	0,30	12 000
Бесщеточный ДПТ	<i>Faulhaber</i>	∅ 1,9, l = 5,5	0,150	37 800
Шаговый микродвигатель	<i>Nidec Copal</i>	∅ 2	0,010	6000
ДПТ с полым ротором	<i>Didel</i>	∅ 4	0,750	6800
Шаговый двигатель по СВ-технологии		∅ 2, l = 10	0,035	30 000

Подробно рассмотрен способ изготовления микродвигателей по стекловолоконной технологии (СВТ). Для таких двигателей построены картины поля и рассчитаны механические моменты на валу. Даны некоторые рекомендации по улучшению их характеристик.

РАСЧЕТ ИНДУКТИВНОСТИ ФОЛЬГОВОГО ТОКОГРАНИЧИВАЮЩЕГО РЕАКТОРА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ БИБЛИОТЕКИ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ЦЕПЕЙ

Токоограничивающие реакторы служат для повышения надежности энергосистем путем снижения токов короткого замыкания. В настоящее время наиболее технологичными можно считать реакторы из алюминиевой ленты (рис. 1). Проблема расчета индуктивности таких реакторов с учетом эффекта вытеснения тока в [1] решается путем условного разбиения фольговой обмотки на расчетные секции и формирования разветвленной многоконтурной электрической схемы замещения. При этом возникает проблема построения системы уравнений, описывающих динамику сложной электрической цепи, особенно при необходимости ее модификации. Для расчета матрицы индуктивностей используется библиотека конечно-элементного моделирования магнитного поля, что еще больше усложняет модель.

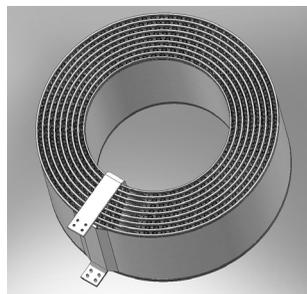


Рис. 1. 3D-модель фазной обмотки токоограничивающего реактора

Для устранения этих трудностей предлагается использовать метод расчета магнитного поля кругового контура, основанный на использовании полных нормальных эллиптических интегралов Лежандра 1-го и 2-го рода, описанный в [2].

Для упрощения формирования системы уравнений предлагается использовать библиотеку моделирования электрических цепей [3], позволяющую генерировать по заданной программе матрицы соединений для типовых электрических цепей и исследовать эти цепи в динамике.

Литература

1. **Тихонов А.И., Иванов А.В.** Использование библиотеки моделирования магнитного поля при расчете реактора из алюминиевой ленты // Вестник ИГЭУ. 2009. Вып. 3.
2. **Тихонов А.И., Шмелёв А.И., Розин Е.Г.** Разработка метода численного моделирования магнитного поля на основе классических положений электромагнетизма // Вестник ИГЭУ. 2014. Вып. 4.
3. **Тихонов А.И., Корнев И.А.** Библиотека для формирования и исследования моделей электрических цепей в динамических режимах / Свид. о гос. регистрации программы для ЭВМ. М.: Фед. служба по интел. собств., патентам и товарным знакам. № 2013610691. Зарегистрировано в Реестре программ для ЭВМ 9.01.2013.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ВЕНТИЛЬНОЙ МАШИНЫ С АКСИАЛЬНЫМ ПОТОКОМ ДЛЯ УСТРОЙСТВА БОРЬБЫ С ОБЛЕДЕНЕНИЕМ ПРОВОДОВ

Борьба с обледенением проводящих линий – актуальная задача. В районах Севера гололед и различные виды обледенения проводов ЛЭП нарушают нормальную их эксплуатацию.

Одним из предложенных методов борьбы является использование скручивающего устройства, которое крепится непосредственно на провод. Оно закручивает провод вдоль оси. При отключении питания провод раскручивается, сбрасывая наледь.

Использование для этой цели электрической машины классической конструкции связано с трудностью ее крепления. Чтобы избежать этого, предложено использовать машину с аксиальным потоком, имеющую форму диска. Некоторые конструктивные изменения, не влияющие существенно на характеристики машины, значительно упрощают крепление машины на провода.

В магистерской диссертации одного из авторов (2014 г.) была рассчитана вентильная машина с аксиальным потоком, предназначенная для описанного антиобледенительного устройства. Выбранная конструкция двигателя удовлетворяла основным требованиям технического задания:

1) внешний диаметр машины – не более 200 мм. Этот параметр введен с учетом максимально допустимой силы, возникающей при воздействии ветра на машину;

2) пусковой момент – более 10 Нм. Такой момент обеспечивает эффективную работу устройства, что было подтверждено экспериментально.

По результатам расчетов были получены семейства характеристик двигателя. Построен алгоритм оценки, первичной корректировки и расчета торцевой машины. Разработан принцип оптимизации этой машины для получения определенных рабочих характеристик еще на стадии первичной оценки двигателя.

РАЗРАБОТКА ПАРАМЕТРИЧЕСКИ ГЕНЕРИРУЕМОЙ ДВУХМЕРНОЙ ПОЛЕВОЙ ТЕПЛОВОЙ МОДЕЛИ СИЛОВОГО ТРАНСФОРМАТОРА

Точный расчет теплового состояния трансформатора требует трехмерной постановки полевой задачи. Однако время расчета трехмерного поля может составлять несколько часов, что недопустимо при оценке множества вариантов, например в задачах оптимизации. Поэтому актуальной является проблема разработки методики уточненного теплового расчета трансформатора с использованием двухмерных полевых моделей.

Для расчета теплового поля силового трансформатора использовалась библиотека конечно-элементного моделирования, разработанная в ИГЭУ и адаптированная к задачам расчета тепловых полей. Алгоритм библиотеки строится на идее изоморфизма уравнений физических полей различной природы. Уравнение Пуассона для двухмерного стационарного поля решается путем минимизации функционала, представленного суммой вкладов треугольных элементов, который с учетом граничных условий третьего рода имеет вид

$$Q \approx \frac{1}{2} \sum_{p=1}^{N_{\Delta}} \left(\frac{\lambda_p}{4S_p} \left[\sum_{s=k,l,m} \sum_{q=k,l,m} \left[(\lambda_{px} b_{ps} b_{pq} + \lambda_{py} c_{ps} c_{pq}) T_s T_q \right] \right] - \left[-2p_p S_p T_p + \sum_{\substack{q=k,l,m \\ s=l,m,k}} \left[(\alpha_{pqs} T_{pqs}^2) G_{pqs} \right] \right] \right), \quad (1)$$

где N_{Δ} – количество треугольных элементов; b, c – коэффициенты, зависящие от координат вершин элементов; k, l, m – номера узлов конечно-элементной сетки; λ_x, λ_y – удельные теплопроводности материала по осям координат; T – превышение температуры в узлах; p – удельные теплотеплотери; S_p – площадь p -го элемента; α – коэффициент теплоотдачи; G – элемент границы третьего рода.

Для расчета коэффициента теплоотдачи с учетом множества факторов обычно решается система дифференциальных уравнений, в которые входят, в частности, уравнение Фурье–Кирхгофа и уравнения Навье–Стокса. Для упрощения математического аппарата предлагается метод расчета коэффициентов теплоотдачи путем имитации охлаждающей среды молекулярно-кинетической моделью идеального газа.

Библиотека конечно-элементного моделирования физических полей может быть интегрирована в любое открытое приложение, поставляя в него функционал для параметрической генерации и программируемого расчета моделей электрического, магнитного и теплового полей. Это позволяет автоматизировать численный эксперимент.

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

ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТНОГО ПОЛЯ В ОДНОФАЗНОМ АСИНХРОННОМ ДВИГАТЕЛЕ С ПУСКОВЫМ КОНДЕНСАТОРОМ

Исследование магнитных полей в электромеханических преобразователях – довольно актуальная тема современных исследований в области электромеханики. Исследования эти направлены на решение задач, связанных с оптимизацией конструкции преобразователя (например, расширение напряженных и, наоборот, сужение или устранение менее используемых участков магнитопровода) и его рабочих показателей (КПД, ток холостого хода/короткого замыкания и проч.).

Целью данной работы является выработка метода численного расчета магнитного поля в однофазном асинхронном двигателе с пусковым конденсатором.

Предположительно разрабатываемый метод будет состоять из нескольких частей. Первая часть заключается в нахождении мгновенных значений токов в обмотках статора и стержнях ротора с учетом насыщения коронок зубцов при разных значениях скольжения. За основу расчета мгновенных значений токов взяты отдельные фрагменты расчета ОАД с пусковым конденсатором, выполненного по методике расчета данного типа машин [1]. Главной трудностью в создании методики расчета является формирование электрической схемы замещения с переменными параметрами, зависящими от величины токов в ветвях. В качестве алгоритма можно предложить пошаговую фиксацию мгновенных значений токов в ветвях схемы замещения и их подстановку в качестве аргументов в функции переменных параметров на следующем шаге, что даст мгновенные значения токов на следующем шаге.

Во второй части работы, зная мгновенные значения токов в любой момент времени, можно получить визуализацию магнитного поля в двигателе, напрямую зависящего от величины и направления этих токов. Это можно реализовать при помощи программы Elcut или любой другой, которая работает на методе конечных элементов, и выполняет полевые расчеты.

Литература

1. **Лопухина Е.М., Сомихина Г.С.** Расчет асинхронных микродвигателей однофазного и трехфазного тока. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1961.

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ЭЛЕКТРОМОБИЛЯ

Электромобиль появился раньше, чем двигатель внутреннего сгорания. Первый электромобиль в виде тележки с электромотором был создан в 1841 году.

Первоначально запас хода и скорость у электрических и бензиновых машин были примерно одинаковыми. Главным минусом электромобилей была сложная система подзарядки. Поскольку тогда еще не существовало усовершенствованных преобразователей переменного тока в постоянный, зарядка осуществлялась крайне сложным способом. Для подзарядки использовался электромотор, работавший от переменного тока. Он вращал вал генератора, к которому были подсоединены батареи электромобиля. В 1906 году был изобретен сравнительно простой в эксплуатации выпрямитель тока, но это существенно проблему подзарядки не решило.

В настоящее время в электромобилях в основном используются свинцово-кислотная батарея, которая имеет существенные недостатки: длительное время накопления энергии и количество циклов «заряда – разряда», а также Li-ion (литий-ионные) и NiMH (никель-металлгидридные) батареи, которые обладают небольшим весом, минимальным временем зарядки и большим циклом заряда – разряда.

Полная мощность батареи

$$P_3 = P_d / (\eta_m \eta_3) + P_{всп},$$

где η_3 – потери энергии на преобразование электрической энергии в механическую; η_m – потери механической энергии при передаче на тяговые колеса; $P_{всп}$ – мощность, затрачиваемая на вспомогательные нужды.

На основе этих исходных данных была создана математическая модель в среде «Simulink», которая в дальнейшем позволит моделировать и усовершенствовать двигатель для электромобиля.

Для определения основных параметров двигателя и трансмиссии транспортных средств, обеспечивающих ему требуемые тягово-скоростные свойства, и затрат энергии для движения в заданных условиях выполняются электромеханический расчет. Данный расчет проводят в два этапа. На первом этапе, задавшись определенными условиями движения, рассчитывают конструктивные параметры двигателя. На втором этапе с использованием этого параметра строят ряд графиков, по которым затем определяют показатели тягово-скоростных свойств, проходимости, энергоэффективности и подвижности.

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

МОДЕЛИРОВАНИЕ ДЕФЕКТОВ В ОБМОТКАХ ТРАНСФОРМАТОРА ПРИ КОРОТКОМ ЗАМЫКАНИИ

В условиях эксплуатации трансформатора может произойти внутреннее или внешнее короткое замыкание (КЗ), в результате которых обмотки могут быть повреждены. Величину токов КЗ можно определить согласно инженерной методике расчета, приведенной в ГОСТ 11677–85.

Расчет электродинамических усилий при коротких замыканиях в трансформаторе осуществляется с использованием библиотеки конечно-элементного моделирования EMLib. Ударные токи КЗ рассчитывались по методике, изложенной в [1] (на рис. 1 приведены кривые изменения тока ОВН трансформатора ТМ-1600/10 в режиме трехфазного КЗ). По результатам расчета магнитного поля для найденных значений ударных токов КЗ определяется распределение магнитной индукции по высоте обмотки трансформатора (рис. 2). По величине магнитной индукции по закону Ампера рассчитываются механические усилия, под действием которых проводники могут быть деформированы.

Для наглядного представления и определения последствий КЗ, а также определения величины деформации проводников был использован программный комплекс SolidWorks (рис. 3).

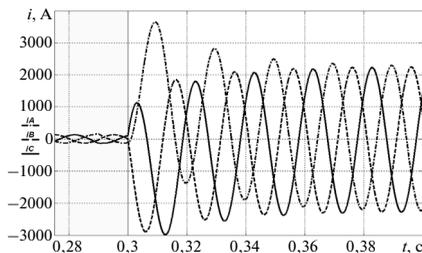


Рис. 1. Результаты расчета токов КЗ трансформатора с использованием конечно-элементной модели

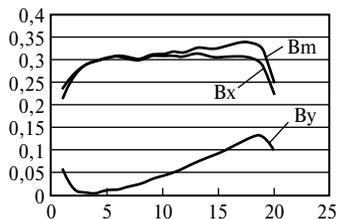


Рис. 2. Среднее значение индукции в обмотке ВН, распределенное по высоте

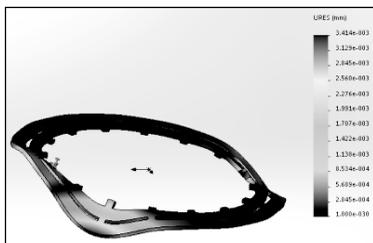


Рис. 3. Результаты моделирования усилий, действующих на проводники обмотки силового трансформатора

Литература

1. Пайков И.А., Тихонов А.И. Модель динамических режимов силовых трансформатора // Энергия – 2013: Материалы региональной науч.-техн. конф. студ., асп. и молодых ученых. Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т., 2013. Т. 4.

*К.М. Протченко, студ.; рук. Ю.Д. Кулик, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ШУМ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Повышение технического уровня производства электрических машин, уменьшение их массы и габаритных размеров требуют улучшения свойств изоляционных и магнитных материалов, совершенствования конструкции машин, интенсификации их охлаждения, оптимизации их с точки зрения виброшумовых показателей.

Преобразование энергии в электрических машинах сопровождается рядом явлений, к числу которых относятся шумы и вибрации, производимые электрическими машинами [1]. Следствием этого является их виброактивность – способность быть источником колебаний, которые возникают под действием переменных сил, вызывающих деформацию различных элементов электрической машины.

Повышенный шум и вибрация электрических машин оказывают неблагоприятное физиологическое воздействие на человека, вызывают нарушение технологического процесса или выход из строя оборудования, объектов или устройств, на которых эти машины установлены, и имеют важное значение при решении проблем охраны окружающей среды [2].

Для серийного асинхронного двигателя мощностью 15 кВт был проведен расчет общего уровня аэродинамического шума, структурного шума и общего уровня шума.

Для исследуемого двигателя были получены результаты, представленные в табл. 1.

Таблица 1

Результаты расчетов

Общий уровень аэродинамического шума, дБ	68,94
Уровень структурного шума, дБ	45,6
Общий уровень шума, дБ	68,96

Проведенный расчет показал, что преобладающим является аэродинамический шум, а структурный шум, возбуждаемый механическими факторами, преобразуется в аэродинамический и излучается в окружающую среду.

Литература

1. **Муркес Н.И., Городецкий Э.А., Каплин А.И.** Шум электрических машин // Борьба с шумом на производстве. М.: Машиностроение, 1985.
2. **Асинхронные** двигатели общего назначения / Е.П. Бойко, Ю.В. Гаинцев, Ю.М. Ковалев и др.; под ред. В.М. Петрова и А.Э. Кравчика. М.: Энергия, 1980.

А.П. Решетников, студ.; рук-ли Р.Р. Чураев, к.т.н., доц.; И.В. Ившин, д.т.н., проф. (КГЭУ, г. Казань)

ОПТИМИЗАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ ЛИНЕЙНОГО ОППОЗИТНОГО ГЕНЕРАТОРА ВОЗВРАТНО-ПОСТУПАТЕЛЬНОГО ДЕЙСТВИЯ

Данная работа затрагивает проблемы проектирования линейного генератора с постоянными неодимовыми магнитами [1]. Основная задача исследования – создание опытного образца с заданными характеристиками – выходной мощностью не менее 10 кВт, способностью варьирования частоты от 0 до 100 Гц при скорости движения транслятора до 15 м/с. Кроме того, необходимы результаты в снижении массогабаритных показателей в сравнении с ранее разработанными за рубежом экземплярами.

После выигранного тендера и создания рабочей группы было принято решение о выборе программного обеспечения для проведения исследований. Для решения полевых задач используется AnsysMaxwell, для исследования прочностных и температурных характеристик – AnsysMechanical, AutodeskInventor, AnsysFluent и т.п. После тщательного анализа патентной базы не осталось сомнений в актуальности и новизне проводимых работ.

Сам автор занимается оптимизацией электрической части данной машины и изучением зарубежных подобных работ. Поставлены задачи по выбору современных материалов для всей конструкции с особым упором на выбор материала постоянных магнитов. Отчетом по проделанной работе будет являться анализ нескольких форм транслятора и статора с дальнейшим выбором образца с наилучшими технико-экономическими и механическими показателями.

Данная машина может применяться в системах электроснабжения как резервный источник питания [2]. Вне сферы энергетики область применения генератора ограничена только человеческой фантазией.

Литература

1. **Investigation** of a high efficient Free Piston Linear Generator with variable Stroke and variable Compression Ratio / Dr. Markus Gräf, Dr. Peter Treffinger, Sven-Erik Pohl, Frank Rinderknecht.// WEVA Journal. 2007. Vol. 1.

2. **Хитереп М.Я., Овчинников И.Е.** Синхронные электрические машины возвратно-поступательного движения. СПб.: КОРОНА Принт, 2004.

В.А. Сёмин, студ.; рук. В.И. Гончаров, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

БЕСКОНТАКТНЫЕ СИНХРОННЫЕ МАШИНЫ МАЛОЙ МОЩНОСТИ С ГИБРИДНЫМ ВОЗБУЖДЕНИЕМ

Бесконтактные электрические машины с гибридным возбуждением, т.е. с возбуждением как от постоянных магнитов, так и от обмотки, подключенной к источнику питания, в последнее время привлекают внимание инженеров тем, что позволяют в определенной мере устранить недостаток магнитоэлектрических машин – невозможность непосредственно регулировать поток в машине. В частности, в технической литературе довольно часто рассматриваются электродвигатели, известные в зарубежной литературе как двигатели с магнитной памятью (В. Остович, 2001 г.: *Memory motors*). Действие их основано на том, что импульсное возбуждение специальных обмоток, расположенных на статоре, изменяет магнитное состояние части магнитов (обычно это магниты с малой коэрцитивной силой) [1].

В выполненной работе представлены результаты конечно-элементного моделирования временных процессов, характеризующих работу двигателей этого типа.

В работе рассмотрены также машины, в которых аксиальный поток создается кольцевой обмоткой, расположенной на статоре, а радиально ориентированные потоки в активных зонах создаются постоянными магнитами, расположенными на роторе. Такого рода конструкция может использоваться в высокоскоростных машинах при условии, что постоянные магниты ротора надежно закреплены бандажом. Оценивается возможность применения для бандажей так называемых бистабильных магнитомягких материалов.

Литература

1. **Design** and Analysis of a New Flux Memory Doubly Salient Motor Capable of Online Flux Control (Расчет и проектирование нового типа двигателей с изменяемой намагниченностью магнитов, с возможностью регулирования магнитного потока в процессе работы) / X. Zhu, L.Quan, D. Chen et al. // IEEE Transactions on magnetics. 2011. Vol. 47. No 10. P. 3220–3223.

А.О. Сидоров, студ.; рук. В.Я. Беспалов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРИНЦИПОВ СОЗДАНИЯ МАЛОШУМНЫХ СУДОВЫХ ЭЛЕКТРОМАШИН

В последнее время требования к эффективности и надежности морского электрооборудования постоянно возрастают.

К важнейшим показателям судового электрооборудования относятся параметры вибрации, характеризующие качество его проектирования, изготовления и эксплуатации [1].

В работе выполнен обзор методов снижения вибраций электрических машин, проанализированы причины возникновения вибраций (механические, электромагнитные, аэродинамические), приводятся общие рекомендации по проектированию малошумных электрических машин. Выполнено сравнение подшипников качения и скольжения по виброакустическим показателям. Рассмотрен один из методов расчета вибраций и шумов электрических машин, базирующийся на оценке амплитуды гармоник поля, виброускорения и уровня звукового давления. Для гармонического анализа поля использованы средства пакета MathCAD. Расчеты собственных частот проводятся для всех порядков колебаний от нулевого до максимального и осуществляются с помощью оценки жесткости элементов конструкции.

По указанной методике выполнен расчет трехфазного асинхронного двигателя с номинальной мощностью 37 кВт и частотой вращения 3000 об/мин. Параметры машины приведены в справочнике [2]. На основании расчета приводятся рекомендации по снижению вибраций указанной машины.

Литература

1. **Фесенко В.И.** Электрооборудование промысловых судов. М.: Судостроение, 1983.
2. **Кравчик А.Э., Шлаф М.М., Соболенькая Е.А.** Асинхронные двигатели серии 4А: Справочник. М.: Энергоиздат, 1982.

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

РАСЧЕТ УТОЧНЕННОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ МАСЛЯНОГО ТРАНСФОРМАТОРА С ОБМОТКАМИ ИЗ ЛЕНТЫ

Особенность трансформаторов, имеющих обмотки из ленты, заключается в том, что в таких обмотках имеет место эффект перераспределения части тока нагрузки к торцам обмоток [1].

Для учета этого эффекта разработаны модели на основе разветвленных схем замещения для расчета потерь и тепловых расчетов обмоток масляного трансформатора. Принцип работы модели заключается в разбиении обмотки из ленты по высоте на секции, причем в пределах каждой секции распределение плотности тока можно считать равномерным. Токи в секциях рассчитываются методом конечных элементов, по значениям токов рассчитываются потери в каждой секции. На основании расчета потерь находится распределение температуры в центрах тепловыделения, а также на внутренних и внешних поверхностях концентроров обмоток.

В математической модели учтены нелинейные процессы теплоотдачи конвекцией путем расчета параметров охлаждающей среды как функций температуры [3]. К таким параметрам относятся динамическая вязкость $\mu = \mu(T)$, плотность $\rho = \rho(T)$, теплопроводность $\lambda = \lambda(T)$, теплоемкость $c_p = c_p(T)$. Для автоматического построения схемы замещения разработаны методы параметрической генерации модели [2]. Результаты теплового расчета обмоток низшего (ОНН) и высшего напряжения (ОВН) и тестовых испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

	ОНН (расчет)	ОНН (тест)	ОВН (расчет)	ОВН (тест)
ТМГ-630/10	52,15	50,84	61,19	58,97
ТМГ-1000/20	56,31	53,92	63,53	61,71

Литература

1. **Лейтес Л.В.** Электромагнитные расчеты трансформаторов и реакторов. М.: Энергия, 1981.
2. **Стулов А.В., Корнев И.А., Тихонов А.И.** Параметрическая генерация и расчет электрической схемы замещения тепловых процессов в обмотках из ленты сухих трансформаторов и токоограничивающих реакторов в стационарных режимах // Вестник ИГЭУ. 2013. Вып. 6.
3. **Стулов А.В., Тихонов А.И., Корнев И.А.** Разработка многоуровневой подсистемы тепловых расчетов САПР активной части распределительных трансформаторов. Иваново: ФГБОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2014.

*Р.Я. Храмшин, студ.; С.В. Кретов, асп.;
рук. Р.Г. Мугалимов, д.т.н., проф. (МГТУ, г. Магнитогорск)*

ИДЕНТИФИКАЦИЯ ПАРАМЕТРОВ СХЕМЫ ЗАМЕЩЕНИЯ ПО ОСЦИЛЛОГРАММАМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ

Реактивные параметры схемы замещения асинхронного двигателя (АД) в динамических режимах являются переменными величинами. Эти величины не могут быть измерены традиционными измерительными приборами. Активные параметры схемы замещения, например активные сопротивления, могут быть измерены омметром. В справочниках по электрическим машинам задаются параметры схемы замещения для номинальных режимов АД. Рабочие и механические характеристики АД могут быть получены известными расчетными или экспериментальными методами. Экспериментальный метод снятия рабочих и механических характеристик АД является довольно трудоемким и дорогостоящим, поэтому вышеназванные характеристики при ремонте АД, как правило, не снимаются. При изготовлении новых АД эти характеристики снимаются для одного из большой партии двигателей. Поэтому производитель не дает индивидуальных характеристик для каждого двигателя, хотя для потребителей иметь такие характеристики было бы удобно.

В данной работе поставлена задача определения параметров схемы замещения АД по осциллограммам электромеханических параметров, снятым в динамических режимах пуска и реверсирования [1]. По оцифрованным динамическим параметрам тока, напряжения, частоты вращения ротора определяются мгновенные значения эквивалентного сопротивления АД (по модулю). С учетом этой величины и известных величин активных сопротивлений вычисляются значения реактивных параметров схемы замещения. По экспериментальным параметрам схемы замещения АД рассчитываются рабочие и механические характеристики двигателя. Разработанный метод реализуется специальным программным комплексом и позволяет без нагрузочного агрегата получить рабочие и механические характеристики для каждого изготовленного двигателя непосредственно в ходе технологического процесса.

Разработка рекомендуется для специалистов электромашиностроительных и электроремонтных предприятий.

Литература

1. **Мугалимов Р.Г.** Асинхронные двигатели с индивидуальной компенсацией реактивной мощности и электроприводы на их основе: монография. Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2011.

МОДЕЛИРОВАНИЕ РАБОТЫ АД В ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ПРИВОДЕ ЛИФТА

В настоящее время большое внимание уделяется задачам перевода привода лифтов на частотно-регулируемый электрический привод. Основными преимуществами такой системы являются: увеличение плавности хода, точности остановок, снижение уровня шума, значительное уменьшение веса и габаритов, снижение расходов на эксплуатацию и тех обслуживание, экономия электроэнергии, высокая надежность и повышенный ресурс.

Основная цель работы: создание легко адаптируемой модели системы электропривода для исследования характеристик привода лифта для различных типов преобразователей, электродвигателей и законов управления.

Для решения задачи создана модель электропривода в среде Mat-Lab/Simulink, которая позволяет исследовать различные режимы работы системы. На рис. 1 приведен результат моделирования плавного пуска, равномерного движения и плавного останова. Модель позволяет переключаться между различными типами преобразователей и подставлять параметры реальных двигателей в поиске наилучших характеристик системы. Пользователь имеет возможность устанавливать закон управления частотным преобразователем, а также формировать требуемый цикл движения лифта. Разработанная модель предназначена для применения в учебных целях.

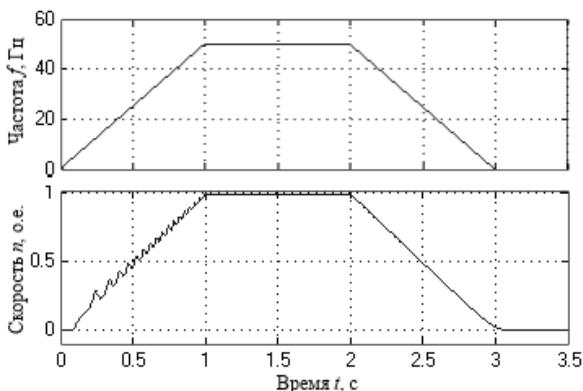


Рис. 1. Пример моделирования плавного пуска, равномерного движения и плавного останова системы частотно-регулируемого привода лифта

МОДЕЛЬ МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА ОСНОВЕ ИЗОМОРФИЗМА С УРАВНЕНИЕМ ДИФФУЗИИ

Модель магнитного поля на основе метода Монте-Карло может быть построена на основе изоморфизма уравнений, описывающих явление диффузии и магнитное поле. Так, в двухмерной постановке магнитное поле описывается уравнением Пуассона

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(v_x \frac{\partial A}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(v_y \frac{\partial A}{\partial y} \right) = -j, \quad (1)$$

а явление диффузии описывается уравнением

$$\frac{\partial}{\partial x} \left(D_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(D_y \frac{\partial C}{\partial y} \right) = -\dot{C}, \quad (2)$$

где A – векторный магнитный потенциал; v_x, v_y – составляющие тензора удельного магнитного сопротивления по главным осям (в случае, когда оси анизотропии совпадают с осями координат); j – плотность тока; C – концентрация частиц вещества; D_x, D_y – составляющие тензора коэффициента диффузии по осям координат; \dot{C} – скорость изменения концентрации частиц за счет притока или оттока.

По теории подобия после задания независимых масштабов подобия $m_j = \frac{\dot{C}}{j}, m_v = \frac{D}{v}$ при $m_L = 1$ можно вычислить зависимый масштаб:

$$m_A = m_B = m_j m_v = m_H m_v. \quad (3)$$

Так как уравнение диффузии не зависит от особенностей поведения частиц, можно имитировать диффузию разными способами, например потоком частиц, совершающих броуновское движение с одинаковой длиной свободного пробега (шага), одинаковой скоростью и с возможностью движения только по осям координат. При этом, если наложить на расчетную область квадратную сетку, диффузию частиц можно заменить растеканием «жидкости» по соседним ячейкам. Коэффициент диффузии в данном случае определяет «плотность среды».

Разработан алгоритм, позволяющий решать задачи расчета двухмерного квазистационарного магнитного поля в нелинейной постановке при возможности аппроксимации границ раздела сред квадратной сеткой. Главное достоинство этого алгоритма состоит в его простоте и легкости адаптации к технологии параллельных вычислений. При этом достигается скорость расчета, не уступающая скорости расчета методом конечных элементов при одинаковой точности.

Секция 23

ФИЗИКА И ТЕХНОЛОГИЯ МАТЕРИАЛОВ И КОМПОНЕНТОВ

Председатель секции — зав. каф. ФТЭМК, д.т.н., профессор

С.В. Серебрянников

Секретарь секции — к.т.н., доцент В.К. Шеметова

И.Е. Антипов, студ.; рук. И.Б. Рязанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ВЫСОКОВОЛЬТНЫЕ ИМПУЛЬСНЫЕ КАБЕЛИ

В радиоэлектронной аппаратуре высоковольтные импульсные кабели [1, 2] служат для передачи модулирующих импульсов в схемах радиолокационных установок и предназначены для передачи прямоугольных импульсов одной полярности в непрерывном или повторно-кратковременном режимах работы. В электрофизической аппаратуре кабели КПВМ, АКПВМ используются для передачи энергии от емкостных или индуктивных накопителей энергии к нагрузкам, а также для высоковольтной синхронизации разрядных устройств. Кабели рассчитаны на передачу ограниченного числа мощных апериодических или колебательных импульсов.

Величина передаваемого по кабелю импульсного тока ограничивается допустимой для изоляции температурой нагрева проводников кабеля и механическими усилиями, приводящими при значительных токах к разрушению обратного провода и оболочки кабеля. Нагрев кабеля при передаче импульсного тока определяется режимом работы импульсного устройства. Так, для кабеля КВИ (кабель высоковольтный импульсный) в диапазоне длительности импульса от 10^{-6} до 10^{-3} с допустимый ток резко уменьшается от 1400 до 200 кА.

В докладе приводятся основные характеристики и допустимые токовые нагрузки высоковольтных кабелей ИК-2, ИК-4 и кабелей КПВМ, АКПВМ.

Также приведены результаты испытания высоковольтного монтажного провода зажигания с изоляцией из фторопласта (ПВМФЭО). Образцы провода длиной 1,2 м испытывались в нормальных климатических условиях переменным напряжением частотой 50 Гц 9 кВ. Провода выдерживались под напряжением до пробоя. Испытания показали, что время до пробоя

при рабочем напряжении (2,5 кВ) и при вероятности пробоя 0,01 превышает заданное значение наработки (10 000 ч).

Литература

1. **Городецкая Н.И., Бибергаль Л.А.** Высоковольтные кабели и провода. М.: Информэлектро, 1990.
2. **Бибергаль Л.А., Наги Э.А.** Кабели и провода для электронной аппаратуры. М.: Энергия, 1964.

Зин Мин Латт, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕМПЕРАТУРНАЯ ЗАВИСИМОСТЬ ПЕРЕДАТОЧНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОПТИЧЕСКОГО КАБЕЛЯ, ПРЕДНАЗНАЧЕННОГО ДЛЯ ШПД

В настоящее время разработаны специальные оптические кабели [1, 2], предназначенные для систем широкополосного доступа (ШПД). В данной работе представлены результаты климатических испытаний одного из таких кабелей: внутриобъектового оптического кабеля марки ОВН для систем ШПД.

Исследовано влияние температуры на передаточные характеристики кабеля марки ОВН-1А-04 (LS-HF) FTTH. Этот кабель согласно технической документации должен быть стойким к воздействию пониженной рабочей температуры среды до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$ и повышенной рабочей температуры среды до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Кабель подвергался испытаниям в климатической камере типа СН1200С, при этом температура изменялась циклически от комнатной до $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$, а затем поднималась до $50\text{ }^{\circ}\text{C}$. Во время нагрева и охлаждения, а также выдержки при заданных условиях периодически с помощью рефлектометра MTS8000 с оптическим блоком 8115SRе проводились измерения коэффициента затухания сигнала в оптическом волокне на длине волны 1550 нм. Результаты климатических испытаний кабеля марки ОВН показали, что в рассматриваемом температурном диапазоне изменение затухания не повышается $0,015\text{ ДБ/км}$, что соответствует установленным допускам.

Литература

1. **Боев М.А., Зин Мин Латт.** Кабель для широкополосного доступа // 5-я Международная конференция «Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты (МКЭЭЭ-2014)», 21–27 сентября 2014. Крым, Алушта: Труды конф. М.: Издательский дом МЭИ. 2014.
2. **Боев М.А., Маунг Эй.** Изменение стрелы провиса оптических кабелей в процессе эксплуатации // XX междунар. НТК студ. и асп. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: Тез. докл. М.: Издательский дом МЭИ. 2014. Т. 2.

В.Ю. Коротков, студ.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СРАВНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК СТЕКЛОПРУТКОВ РАЗЛИЧНЫХ ИЗГОТОВИТЕЛЕЙ

Стеклопруток получил широкое применение в качестве армирующего и грузонесущего элемента конструкции оптических кабелей [1]. В последнее время все более широкое распространение находит новая технология изготовления стеклопруска на основе стеклоровинга и смол ультрафиолетового отверждения.

В данной работе представлены результаты испытаний по определению следующих механических характеристик стеклопруска: удлинение, прочность на разрыв и модуль упругости.

Указанные производителем значения предела прочности, удлинения и модуля упругости для стеклопруска приведены в табл. 1. Методы определения механических параметров стеклопруска регламентированы стандартом ISO 527-4.

Таблица 1

Технические требования к механическим характеристикам

Производитель стеклопруска	σ , МПа	Δl , %	M , МПа
ООО «Еврокабель 1» (Россия)	1400	2,4 ÷ 4,0	50 000
«Teracom Limited» (Индия)	1500	2,0 ÷ 4,0	50 000

Испытаниям подвергались образцы длиной 300 мм со специальной заделкой концов для крепления в зажимах разрывной машины. Для контроля относительного удлинения использовался экстензометр, длину рабочего участка задавали 100 мм.

Полученные при испытаниях значения предела прочности, удлинения и модуля упругости стеклопруска приведены в табл. 2.

Таблица 2

Фактические значения механических характеристик

Производитель стеклопруска	σ , МПа	Δl , %	M , МПа
ООО «Еврокабель 1» (Россия)	1466,5	2,9	58 956,9
«Teracom Limited» (Индия)	1511,2	2,5	59 671,2

Испытания стеклопруска показали соответствие требованиям ТУ 16.К71-426–2011 к грузонесущему элементу для оптического кабеля.

Литература

1. **Коротков В.Ю.** Исследование свойств стеклопруска на основе смол ультрафиолетового отверждения // XX междунар. НТК студ. и асп. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: тез. докл. в 4 т. М.: Издательский дом МЭИ. 2014. Т. 2.

Г.А. Кушин, студ.; рук. Ю.В. Зайцев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ДАТЧИК ЗАТОПЛЕНИЯ КАК ЭЛЕМЕНТ КОМПЛЕКСНОЙ СИСТЕМЫ ЭКСТРЕННОГО ОПОВЕЩЕНИЯ О ЧРЕЗВЫЧАЙНЫХ СИТУАЦИЯХ

После событий в Крымске и аварии на теплоходе «Булгария» правительством Российской Федерации было принято решение о создании комплексной системы экстренного оповещения о чрезвычайных ситуациях, связанных с затоплением отдельных местностей и районов, особенно тех, которые расположены вблизи плотин ГЭС, построенных еще в середине прошлого века.

Для этой системы был разработан датчик затопления. Принцип работы этого датчика основан на измерении электрического сопротивления между двумя электродами. Сам датчик представляет собой корпус, в который вмонтированы два металлических электрода; в нижней и верхней части корпуса расположены отверстия – в нижней части для того, чтобы поступала вода, в верхней части – чтобы выходил воздух. Электрическое сопротивление датчика меняется в зависимости от уровня воды. При определенном уровне воды сопротивление датчика принимает такое значение, что электрическая схема срабатывает и подает сигнал, свидетельствующий о затоплении.

Достоинства данной конструкции датчика: простота в изготовлении, доступность запчастей, из которых она изготавливается, низкая себестоимость.

Если рассматривать вариант размещения этого датчика на открытой местности, то он располагается в нижней части столба, в специальном отсеке, закрытом крышкой. К верхней части столба идут провода от датчика, там же располагается генератор сигналов и источник питания.

При поступлении воды датчик срабатывает и создается закодированный сигнал, который передается на расстояние до 10–15 км. Этот сигнал принимает антенна центрального распределительного устройства. Сигнал расшифровывается, после чего происходит включение громкоговорителей, оповещающих население о чрезвычайной ситуации.

Этот датчик может применяться не только на открытой местности, но и на кораблях, складах и в подвалах жилых зданий.

Маунг Эй, асп.; рук. М.А. Боев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ВЛИЯНИЕ РАСТЯГИВАЮЩИХ УСИЛИЙ НА СТРЕЛУ ПРОВИСА ОПТИЧЕСКИХ КАБЕЛЕЙ ДЛЯ ТРОПИЧЕСКОГО КЛИМАТА

При прокладке линий связи в тропическом климате широко используются подвесные оптические кабели типа ОСД. Эти кабели подвешивают на опорах на открытом воздухе.

В процессе установки к кабелю прикладывается растягивающее усилие для обеспечения необходимой величины стрелы провиса [1]. Как показали проведенные исследования, в процессе эксплуатации происходит изменение стрелы провиса. На рис. 1 показано изменение величины стрелы провиса оптического кабеля марки ОСД в процессе эксплуатации в течение года.



Рис. 1. Изменение величины стрелы провиса в процессе эксплуатации

Зависимость стрелы провиса от времени описывается уравнением: $\Delta l(\tau) = a \ln(\tau) + b$, где Δl — стрела провиса, м; a , b — эмпирические коэффициенты.

В работе показано, как изменяются коэффициенты уравнения в зависимости от величины начальной стрелы провиса и конструкции исследуемого кабеля.

Литература

1. Боев М.А., Маунг Эй. Изменение стрелы провиса оптических кабелей в процессе эксплуатации // XX междунар. НТК студ. и асп. «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика»: тез. докл. в 4 т. 27–28 февраля 2014 г. М.: Издательский дом МЭИ. 2014. Т. 2.

Н.Е. Молчанов, студ.; рук. И.Б. Рязанов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ СУДОВЫХ КАБЕЛЕЙ, СОХРАНЯЮЩИХ РАБОТОСПОСОБНОСТЬ В ЭКСТРЕМАЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ

Судовые кабельные системы постоянно находятся в жестких условиях эксплуатации. Актуальность вопроса разработки и исследования кабелей, сохраняющих работоспособность в экстремальных условиях, проявляется в необходимости обеспечить стабильность электрических параметров кабельных сетей и безопасности судна в целом.

В случае повреждения элементов кабеля по нему может распространяться вода внутри отсеков судна, поэтому вопрос герметизации кабелей является существенным при его разработке. Современные подводные суда имеют глубину погружения более 800 м, что обуславливает потребность в кабелях, выдерживающих давление свыше 8 МПа как в продольном, так и в радиальном направлениях.

В настоящее время разработаны и производятся конструкции кабелей, выдерживающих давление до 6 МПа (60 атм.) [1]. Известны несколько способов герметизации кабельных изделий с использованием элементов из водоблокирующих материалов и герметиков. К таким элементам относятся водоблокирующие нити и ленты (непроводящие или полупроводящие). В состав этих лент входит абсорбирующая смола и полиэфирный нетканый материал. При попадании воды абсорбент превращается в гель и нити (или ленты) значительно увеличиваются в объеме. Также для целей герметизации используются специальные кабельные герметики. Однако технология наложения герметика плохо отработана. Такие кабели могут содержать пустоты под оболочкой, вследствие чего герметичность кабеля нарушается.

Серьезное внимание уделяется пожаробезопасности данных кабелей, так как все водоблокирующие элементы являются горючими. Поэтому необходимо разработать конструкцию, в которой будут предусмотрены средства защиты от пожара. Этого можно добиться путем введения антипиренов в герметизирующие составы.

В работе исследуется реакция кабелей на основе витой пары на давление в 6 МПа. Отмечено, что при этом затухание кабеля возрастает на 9–12 %, а волновое сопротивление падает до 15 %. Также уделено внимание технологии производства герметизированных кабелей.

Литература

1. **Каталог** выпускаемой продукции ООО НПП «СпецКабель».

Е.Г. Огнев, А.В. Матасов, студенты; рук. Ю.В. Зайцев, д.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)

УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ДАТЧИК ВОЗГОРАНИЯ И ЗАТОПЛЕНИЯ

Настоящая работа посвящена датчику температуры и влажности (рис. 1), в основе которого лежит терморезистор, выполненный из полупроводниковых композиций на основе окислов меди и марганца [1].

Принцип работы датчика основан на зависимости сопротивления от температуры полупроводникового материала:

$$R_T = Ae^{B/T},$$

где R_T – величина сопротивления терморезистора; A – постоянная, определяемая свойствами материалов и пропорциональна удельному сопротивлению; B – величина, пропорциональная энергии активации носителей заряда; T – температура в градусах Кельвина.

Последовательно с датчиком включается обмотка реле. В случае локального возгорания или попадания воды в корпус датчика происходит резкое снижение сопротивления терморезистора. Напряжение подается на обмотку реле, и, соответственно, реле включает звуковой и световой сигналы.

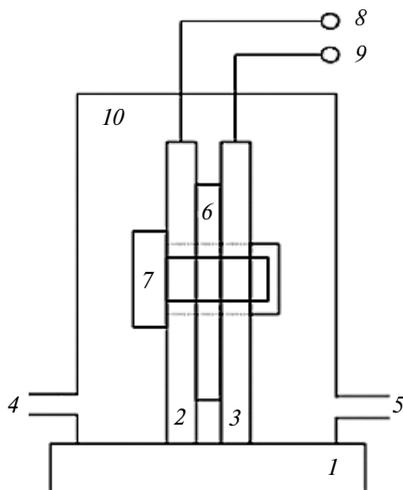


Рис. 1. Пример конструкции датчика возгорания и затопления:

1 – изоляционное основание; 2, 3 – электроды; 4, 5 – отверстия поступления воды; 6 – терморезистор; 7 – стягивающий болт; 8, 9 – контактные выводы; 10 – корпус прибора

Литература

1. Мэглин Э.Д. Терморезисторы. М.: Радио и связь, 1983.

ИНДИВИДУАЛЬНЫЙ СЕЙСМОГРАФ

Системы контроля колебаний земной поверхности имеют сложную конструкцию, состоящую из источника света, располагаемого на системе, стабилизированной упругими элементами, и системы фотоприемников, фиксирующих колебания земной поверхности по изменению положения падающего светового луча. Такие системы устанавливаются в лабораториях по изучению землетрясений [1].

В местах, где землетрясения происходят часто, система оповещения о землетрясении является жизненно необходимой.

Конструкция рабочей камеры системы оповещения с датчиками и блоком измерения (БИ) приведена на рис. 1.

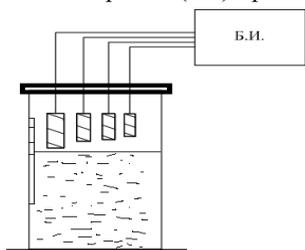


Рис. 1

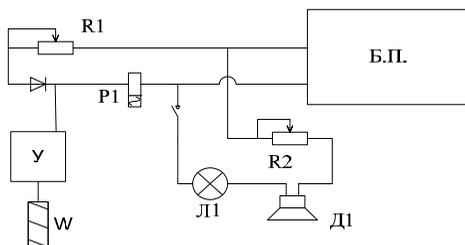


Рис. 2

Рабочая камера представляет собой резервуар с соленой водой. Над поверхностью воды расположены 4 датчика из фольгированного стеклотекстолита. Колебания поверхности земли приводят к возникновению волны, амплитуда которой определяется интенсивностью колебаний земной поверхности.

Расположение датчиков над поверхностью воды соответствует 2, 4, 6 и 8 баллам колебаний земной поверхности. При указанных магнитудах поверхность волны соприкасается с поверхностью соответствующего датчика, и система оповещения формирует световой и звуковой сигналы.

Система оповещения приведена на рис. 2. Она состоит из датчика W, при замыкании электродов которого на управляемый вентиль КУВ подается напряжение, при этом на обмотку реле Р1 подается напряжение; от блока питания БП включается сигнальная лампа Л1 и возникает звуковой сигнал. Система особенно эффективна в ночное время, она позволяет оперативно покинуть помещение при первых признаках землетрясения.

Литература

1. Хью Сьюзен. Землетрясения // New Scientist. Март 2012.

*Д.В. Суворов, А.Г. Чупрунов, студенты; рук. А.И. Тихонов, к.т.н., проф.
(НИУ «МЭИ»)*

АППЛЕТЫ – ПЛАТФОРМА ДЛЯ ОПЕРАТИВНОЙ ПУБЛИКАЦИИ ВЕБ-ПРИЛОЖЕНИЙ ДЛЯ ИНЖЕНЕРНЫХ РАСЧЕТОВ

На кафедре ФТЭМК НИУ МЭИ разработана платформа для оперативной публикации и визуализации для инженерных расчетов. Основной задачей являлось снижение трудоемкости разработки такого рода приложений за счет, во-первых, автоматизации построения пользовательских интерфейсов с помощью описания объектов интерфейсных переменных непосредственно в исходном тексте апплета, во-вторых, упрощения визуализации результатов расчетов. Платформа допускает использование целых, действительных, комплексных интерфейсных переменных, массивов, строк, пользовательских объектов. Последние позволяют создавать, например, индивидуальные задания для студентов.

С 2010 года были проведены несколько попыток реализации платформы апплетов. В докладе рассматривается связка Python + django. Это позволило создать три совместимые версии платформы: локальная (с использованием библиотеки formlayout для автоматизированного формирования пользовательских интерфейсов), Windows + IIS + fastcgi+django и, наконец, Linux с использованием веб-сервера NGNIX, wsgi-сервера gunicorn и django. Последнее представляется наиболее перспективным методом реализации, так как легко позволяет осуществлять масштабирование системы, запуская дополнительные виртуальные машины с wsgi-сервером и апплетами, используя NGNIX в качестве обратного прокси-сервера и балансировщика нагрузки. В платформу встроены средства для установки новых апплетов. Установка апплетов может быть выполнена только администратором системы из соображений безопасности. Использование Python в качестве платформы для создания апплетов связано с наличием большого числа качественных свободно распространяемых библиотек, в частности платформа апплетов широко использует библиотеки numpy, scipy для решения задач численного анализа, matplotlib для визуализации данных, pandas, Statsmodel для обработки данных.

В заключение в докладе рассматриваются примеры создания апплетов для моделирования процессов распространения тепла, технологических процессов производства полупроводниковых приборов. Еще раз отметим, что платформа апплетов позволяет оперативно создавать расчетные приложения, работать с расчетными приложениями как локально, так и через браузер, используя встроенный веб-сервер django, публиковать апплеты на производственных серверах под управлением Linux и Windows.

Секция 24

ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ И КОМПЛЕКСЫ

*Председатель секции — зав. каф. ЭКАО,
к.т.н., ст. н. сотр. М.Ю. Румянцев
Секретарь секции — к.т.н., доцент А.Н. Соломин*

*О.М. Аушев, В.Е. Машков, аспиранты; рук. А.В. Бериллов, ст. преп.
(НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКИХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ДЛЯ СИСТЕМ ГЕНЕРИРОВАНИЯ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

Бурный рост малой энергетики, современный уровень силовой электроники и систем управления во все более значительной степени обуславливают развитие систем генерирования переменного тока с использованием статических преобразователей. Первостепенными задачами, решаемыми при разработке подобных систем, являются выбор структуры статического преобразователя в соответствии с используемым электромеханическим преобразователем и обеспечение определенных значений нормируемых параметров генерируемой электроэнергии [1].

В настоящее время на кафедре «Электротехнические комплексы автономных объектов и электрического транспорта» НИУ «МЭИ» ведутся активные работы по созданию лабораторных стендов учебного и научного назначения, позволяющих исследовать системы электроснабжения на базе традиционных и высокоскоростных электрогенераторов.

В докладе представлены результаты работы по созданию двух макетных образцов различных типов статических преобразователей. Первый – непосредственный преобразователь частоты (НПЧ) с эквивалентной фазностью шесть, выполненный на шести трехцепевых ключах переменного тока. Он предназначен для лабораторной генераторной установки на базе асинхронной машины с фазным ротором. Подобные генераторные установки в настоящее время наиболее широкое применение нашли в ветроэнергетике. Второй статический преобразователь – трехфазный мостовой транзисторный инвертор, получающий питание от автономного генератора и обеспечивающий питание потребителей параллельно с промышленной сетью переменного тока. Данное решение позволяет экономить на потреблении электрической энергии от поставщика при наличии возможности

собственной генерации определенной части электроэнергии, что может быть актуально для электроснабжения предприятий или отдельных объектов инженерной инфраструктуры различного назначения. Разрабатываемый макетный образец инвертора, как и непосредственный преобразователь частоты, ориентирован на использование в лаборатории.

Литература

1. **Пронин М.В., Воронцов А.Г.** Силовые полностью управляемые полупроводниковые преобразователи (моделирование и расчет). СПб.: Электросила, 2003.

А.В. Банакин, асп.; рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН НА АВТОМОБИЛЕ

В настоящее время очень остро стоят вопросы повышения топливной экономичности и улучшения экологических показателей автотранспорта. Многие автопроизводители ведут работы по повышению КПД поршневых двигателей внутреннего сгорания (ДВС). Для этих целей применяются различные технические решения: повышение степени сжатия ДВС, применение систем непосредственного впрыска топлива высокого давления, системы регулирования фаз газораспределения и системы принудительного нагнетания воздуха во впускной коллектор с помощью турбокомпрессоров (ТК).

Как показывают результаты проведенного аналитического обзора, одним из эффективных решений является установка в систему турбонаддува турбоэлектрокомпрессора (ТЭК), сочетающего в себе ТК и высокоскоростную электрическую машину (ВЭМ). Данное решение не требует внесения серьезных изменений в конструкцию самого ДВС и наиболее перспективно при условии обеспечения работы ВЭМ как в двигательном, так и в генераторном режиме. Двигательный режим ВЭМ позволяет компенсировать недостаток ТК, называемый «турбоямой». Генераторный режим ВЭМ позволяет использовать энергию выхлопных газов для получения электрической энергии без дополнительного расхода топлива. Для обеспечения работы ВЭМ в двигательном и генераторном режимах необходимо применение обратимого преобразователя (ОП) и системы управления данным преобразователем (СУОП), которая должна взаимодействовать с системой управления ДВС.

В докладе рассматриваются проблемы разработки и реализации ОП и СУОП на компонентах отечественного производства с учетом специфики применения на автотранспорте (жесткие ограничения по массогабаритным показателям, повышенные вибрагрузки).

Работы по разработке турбоэлектрокомпрессора и электронного преобразователя, включающего в себя систему управления, могут считаться перспективными также ввиду последующей возможности масштабирования данных решений и их последующего применения при проектировании и производстве гибридного автомобиля по схеме последовательного привода [1].

Литература

1. **Богданов К.Л.** Тяговый электропривод автомобиля. М.: МАДИ, 2009.

СИСТЕМА УЧЕТА ВЫРАБОТКИ СВАРЩИКА

Данная работа посвящена созданию аппаратных и программных средств, используемых в сварочной электротехнической системе для учета выработки сварщика. Учет основан на интегрировании тока или мощности сварочной дуги, которые связаны с количеством расплавленного металла электрода, объемом металла шва и с выработкой. В работе рассматривается возможность получения статистических данных о выработке сварочных постов предприятия, автоматизации в составлении отчетов по данному виду работ. Эти отчеты можно наглядно увидеть в виде табличных данных или графика выработки за любой период работы данной системы. Большое внимание уделено интерфейсу программы в ПК, он позволяет увидеть показатели работы множества (в данной версии до 20) сварочных постов одновременно.

Упрощенная функциональная схема системы сбора данных показана на рис. 1. На каждом из рабочих постов устанавливаются микроконтроллер, шунт и делитель напряжения, которые преобразовывают сигнал в приемлемый для аналого-цифрового преобразователя, встроенного в микроконтроллер.

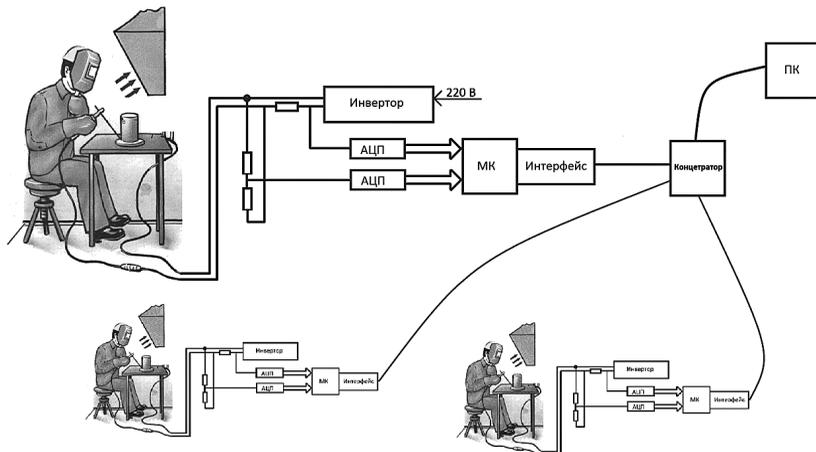


Рис. 1. Упрощенная функциональная схема системы сбора данных

Микроконтроллер определяет горение дуги, ориентируясь по напряжению. С периодичностью в несколько раз в секунду он посылает сигнал (результаты накопления интеграла тока и мощности) непосредственно на персональный компьютер (ПК) либо, при наличии большого количества постов, через концентратор. В персональном компьютере данные обрабатываются, записываются и визуализируются.

К.А. Воронцов, асп.; рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛИРУЕМЫЙ КОНВЕРТОР НАПРЯЖЕНИЯ С ДВУХКАНАЛЬНЫМ ПРЕОБРАЗУЮЩИМ ТРАКТОМ И ЭНЕРГОНЕРАССЕИВАЮЩИМ СНАББЕРНЫМ УЗЛОМ

Задачи, решавшиеся в работе, направлены на проведение глубокой модернизации выпускаемого ОАО «ГОКБ «Прожектор» трехфазного инвертора напряжения (ТИН), описанного в [1]. Объектом исследования являлся один из узлов модернизированного ТИН – высокочастотный (20–30 кГц) повышающий конвертор напряжения [2] с многоканальным преобразующим трактом, каждый канал которого состоит из высокочастотного двухтактного инвертора с согласующим трансформатором и выпрямителя.

Ранее были проведены исследования по уточнению методики параметрической оптимизации классических RCD-снабберов в инверторе по схеме с нулевым отводом первичной обмотки трансформатора [нулевая инверторная ячейка (НИЯ)] и исследование по созданию методики параметрической оптимизации НИЯ с энергонерассеивающим (рекуперирующим) снаббером.

Использование принципа многоканального преобразования позволяет улучшить массогабаритные показатели преобразователя за счет повышения частоты квантования выходного напряжения, приводящего к снижению размеров выходного фильтра конвертора, а также (в случае параллельного соединения каналов) повысить надежность статического преобразователя.

Автором на основе имитационного компьютерного моделирования проведено исследование работы двухканальных конверторов с последовательным и параллельным (в том числе через трансфильтр) соединением выходов каналов. Была усовершенствована в направлениях упрощения и обеспечения лучшей электромагнитной совместимости схема энергонерассеивающего снабберного узла, являющегося единым для всех каналов конвертора. Даны рекомендации по проектированию многоканальных конверторов с рекуперирующими снабберами и их параметрической оптимизации.

Литература

1. **Трехфазный** инвертор для системы резервного электропитания / В.В. Михеев, Г.С. Мыцык, Г.В. Анцайтис и др. // Практическая силовая электроника. 2005. № 17.
2. **Воронцов К.А., Мыцык Г.С.** Высокоэффективный регулируемый конвертор напряжения // Радиозлектроника, электротехника и энергетика: Двадцатая международная науч.-техн. конф. студентов и аспирантов: Тез. докл. в 4 т. М.: Издательский дом МЭИ, 2014. Т. 2.

АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНОГО ПРОЦЕССА В ЦЕПИ РАССЕИВАНИЯ КОММУТАЦИОННОЙ ЭНЕРГИИ ОДНОФАЗНОГО ВЭД

Одним из этапов проектирования однофазного вентиляльного электродвигателя (ВЭД) является выбор параметров элементов цепи рассеивания коммутационной энергии (ЦРКЭ), обеспечивающих длительность переходного процесса, не превышающую период коммутации ключа.

ЦРКЭ в однофазном ВЭД с однополярной коммутацией служит для сброса энергии, накопленной в обмотке якоря, при отключении ключа. В момент выключения быстродействующего транзистора ток в обмотке якоря не может скачком упасть до нуля из-за действия возникающей ЭДС самоиндукции:

$$e_c = -L \, di/dt,$$

пропорциональной индуктивности L и производной тока di/dt , которая при быстродействующем ключе значительна.

Анализ переходного процесса в ЦРКЭ выполняется с использованием программы PSpiceSchematics по схеме, приведенной на рис. 1. В результате исследований был выявлен большой скачок напряжения на обмотке якоря и на конденсаторов момент выключения транзистора, обусловленный тем, что ключ в расчете принимался идеальным и отключался мгновенно. В действительности же ключ запирается с некоторой задержкой во времени, поэтому фактический скачок напряжения существенно меньше, чем полученный в расчете. Тем не менее данный расчет позволил произвести подбор элементов ЦРКЭ и перейти к следующему этапу – изготовлению макетного образца преобразователя.

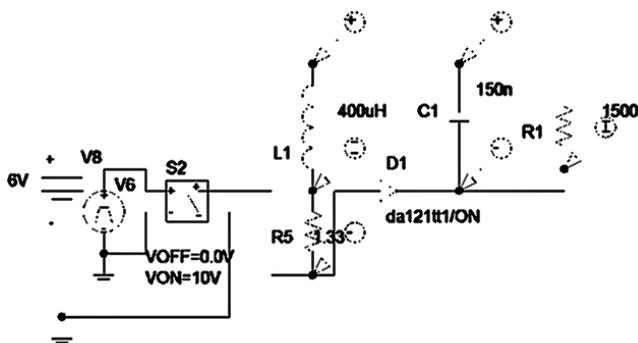


Рис. 1. Схема расчета ЦРКЭ в программе PSpiceSchematics

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ РАБОТЫ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ СИНХРОННОЙ МАШИНЫ В СОСТАВЕ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

В докладе рассматривается система электроснабжения автономного объекта на базе высокоскоростной электрической машины с возбуждением от постоянных магнитов.

В настоящее время распространение приобретают микротурбинные энергоустановки, использующие в качестве источника первичной энергии механическую энергию вращения вала высокоскоростной микротурбины. На одном валу с турбиной расположен вал синхронного генератора. В состав системы также входит преобразователь частоты, состоящий из выпрямителя и инвертора напряжения. Исследование режима работы электрической машины на выпрямительную нагрузку является важной технической задачей, а выбор структуры выпрямителя влияет как на качество выходного напряжения, так и на процессы, протекающие в машине.

Наиболее целесообразно решать представленную задачу с помощью применения имитационного компьютерного моделирования. На рис. 1 приведена структура имитационной модели исследуемой системы. В ее состав входит модель непосредственно электрической машины, модель выпрямительного устройства, нагрузка и блоки задания механических усилий на валу электрической машины. Результатом моделирования являются графические зависимости переменных машины от времени.

В результате моделирования удалось исследовать структуру системы и без изготовления дорогостоящего прототипа подобрать параметры ее элементов, в частности емкости конденсаторов и индуктивности выходного фильтра.

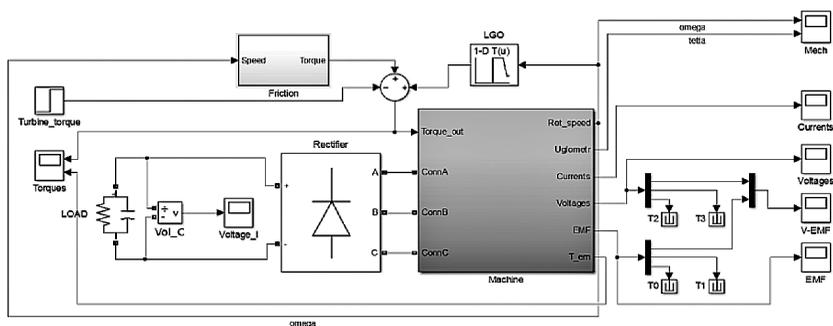


Рис. 1. Структура имитационной модели исследуемой системы

М.С. Зубарев, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ДЛЯ ИНЕРЦИОННОГО РАБОЧЕГО МЕХАНИЗМА ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по грантам 13-08-01457-а и 15-58-53072-ГФЕН-а.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена тем, что гистерезисный электропривод перспективен для применения в технологических, в частности формовочных, машинах для производства (формования) искусственных и синтетических волокон с дальнейшим получением из них искусственных и синтетических нитей для широкого ассортимента изделий. Это изделия, начиная от бронежилетов и наиболее нагруженных в механическом отношении элементов летательных аппаратов, например обтекателей ракет, с прочностью выше, чем у металлов, до корда и шелка.

Новизна проведенных исследований основана на данных патентного поиска и аналитического обзора литературных источников, подтвердивших основные тенденции развития гистерезисного электропривода [1].

Личный вклад автора состоит в следующем:

- анализ структуры и элементной базы электропривода;
- разработка предложений по совершенствованию математических моделей гистерезисного электропривода и его основных элементов;
- математическое и компьютерное моделирование электромагнитных процессов и полей в электроприводе и его базовых элементах;
- разработка предложений по совершенствованию методик проектирования основных элементов гистерезисного электропривода.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены реальностью их производственной и коммерческой реализации. Во-первых, эффективность предлагаемого варианта электропривода подтверждена при практическом применении в других технологических машинах с подобными структурами систем электропитания и электропривода. В частности, на опытном производстве Всероссийского научно-исследовательского института синтетических волокон (ВНИИСВ, г. Тверь). Во-вторых, предлагаемый электропривод может встраиваться в машины, находящиеся в эксплуатации. В-третьих, гистерезисный электропривод перспективен для использования в создаваемом новом поколении формовочных машин.

Литература

1. Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмельёва Г.А. Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: Издательство МЭИ, 1991.

А.Ю. Капустин, асп; рук. М.Ю. Румянцев, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ОСОБЕННОСТИ КОНСТРУКЦИИ РОТОРОВ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЭЛЕКТРОТУРБОГЕНЕРАТОРОВ

В настоящее время использование в качестве источников электроэнергии электротурбогенераторов (ЭТГ) с прямым приводом от турбин, частота вращения ротора которых составляет десятки-сотни тысяч об/мин является одним из перспективных направлений развития автономных систем малой (менее 1 МВт) энергетики. Такие системы также известны как микротурбинные электроустановки (МКТЭУ). Разработка подобных систем как специального, так и общепромышленного и бытового назначения ведется во всех индустриально-развитых странах мира.

В докладе рассматривается проблема выбора конструкции роторов высокоскоростных ЭТГ на базе синхронной машины с возбуждением от постоянных магнитов, как наиболее энергетически эффективный, надежный и технологичный вид бесконтактных электрических машин, используемых в конструкции ЭТГ.

Конструкции роторов генераторов с постоянными магнитами достаточно подробно рассмотрены в литературе [1, 2], однако из всего их многообразия в высокоскоростных ЭТГ может применяться лишь ограниченное число конструктивных решений. С ростом частоты перемагничивания растет мощность потерь в стали статора высокоскоростного ЭТГ. При частотах вращения роторов $n \geq 50$ тысяч об/мин мощность потерь возрастает настолько, что становится не целесообразно применять турбогенераторы с числом полюсов большим двух ($2p = 2$, где p – число пар полюсов).

Роторы высокоскоростных ЭТГ работают в условиях предельных механических и температурных нагрузок. Поэтому, несмотря на многообразие современных магнитных материалов, в индукторах высокоскоростных ЭТГ могут быть применены лишь некоторые из них.

Рассмотренные виды конструкций роторов позволяют выбрать наиболее рациональный вариант материалов постоянных магнитов, конструкции и компоновки ротора высокоскоростного ЭТГ в зависимости от конкретного технического задания на весь источник электроэнергии в целом.

Литература

1. **Ледовский А.Н.** Электрические машины с высококоэрцитивными постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1985.
2. **Балагуров В.А. Галтеев Ф.Ф.** Электрические генераторы с постоянными магнитами. М.: Энергоатомиздат, 1988.

*А.В. Кечин, асп.; рук-ли С.А. Грузков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
С.П. Халютин, д.т.н., проф. (ООО «ЭМ НаукаСофт»)*

РАСЧЕТ БОРТОВОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ СЕТИ САМОЛЕТА С ПОВЫШЕННОЙ ЭЛЕКТРИФИКАЦИЕЙ ОБОРУДОВАНИЯ С ФОРМИРОВАНИЕМ КРИТЕРИЯ ОПТИМАЛЬНОСТИ

В последние десятилетия произошел переход от выполнения поисковых НИОКР к прикладным, в области, касающейся концепции реализации ПЭС. К результатам данных работ можно в полной мере отнести летательные аппараты фирм Boeing (B-787) и Airbus (A-380) [1].

В связи с увеличением числа потребителей электроэнергии требуется не только увеличение мощностей основных источников электроэнергии (ЭЭ), построения новых структур систем электроснабжения (СЭС), но и значительного усложнения системы распределения ЭЭ.

При проектировании бортового оборудования (в том числе и СЭС) перед инженерами ставится сложная задача, связанная с минимизацией массы оборудования, соблюдением требований надежности и пр.

С учетом современных достижений в областях вычислительной техники и программирования, затраты на решение поставленных задач теоретически должны снижаться, однако для воплощения этого в реальность требуется со стороны разработчиков предоставление программно реализуемых алгоритмов расчета.

Классический метод расчета сетей по критерию минимума массы проводникового материала достаточно полно описан в [2, 3]. В результате анализа данного алгоритма был выявлен существенный недостаток, который заключается в итерационности расчета.

В работе была проведена оптимизация данного алгоритма расчета и был предложен оптимизированный, программируемый алгоритм расчета распределительных сетей, позволяющий, при наличии структуры СЭС и требуемых для расчета данных (номинальное напряжение, мощности потребителей и пр.), получить требуемое количество уравнений, позволяющих определить потери на участках распределительной сети, которые в последствии пересчитываются в сечения участков распределительной сети.

Литература

1. **Левин А.В., Мусин С.М.** Электрический самолет. Концепции и технологии. Уфа: Комплекс УГАТУ, 2014.
2. **Халютин С.П.** Системы электроснабжения летательных аппаратов: учебник. М.: ВВИА им. проф. Н.Е. Жуковского, 2010.
3. **Синдеев И.М., Савелов А.А.** Системы электроснабжения воздушных судов. М.: Транспорт, 1990.

Н.И. Насибулина, студ.; рук. А.В. Бериллов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

ТРАНЗИСТОРНЫЙ ВЫПРЯМИТЕЛЬ ДЛЯ МИКРОТУРБИННОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Отвечая современным потребностям развития децентрализованной электроэнергетики, и объединяя в себе различные передовые технологии, микротурбинные энергоустановки [1] все чаще применяются в качестве наиболее перспективного технического решения в различных проектах автономного электроснабжения отдельных зданий и сооружений, удаленных объектов нефтегазового комплекса, авиационных и космических объектов.

В настоящий момент на российском рынке готовые решения по микротурбинным энергоустановкам представлены в основном зарубежными торговыми марками, например: Capstone Turbine Corporation, Calnetix Power Solution, Turbec. Актуальной задачей является создание отечественных аналогов этих решений, не уступающих по качеству.

Электроэнергия, вырабатываемая высокоскоростным электрическим генератором микротурбиной энергоустановки, как правило, не может быть непосредственно использована для питания потребителей в силу нестабильности отличия напряжения и частоты от требуемых значений на потребителе. Отсюда возникает потребность в электронном преобразователе, структура которого зависит от типа потребителя, количества фаз генератора и соотношения значений фазного напряжения генератора и номинального напряжения на потребителе.

В рамках работы над магистерской диссертацией решаются задачи по разработке имитационной компьютерной модели и созданию макетного образца трехфазного транзисторного (активного) выпрямителя для микротурбинной энергоустановки с номинальной частотой вращения 100 000 об/мин мощностью 5 кВт. Основной функцией выпрямителя в данном случае является стабилизация значения постоянного напряжения на его выходе в условиях переменной частоты вращения вала генератора и изменения общей мощности подключенных потребителей.

В докладе рассматриваются варианты структур электронных преобразователей для микротурбинных энергоустановок с примерами их применения, отдельное внимание уделяется сравнительному анализу возможных схемотехнических решений активных выпрямителей и выбору оптимального варианта для реализации макетного образца, приводятся результаты исследований на основе компьютерного моделирования.

Литература

1. **Парфенова О.** Микротурбинная революция // Энергоэффективность и энергосбережение. 2011. № 11.

Нгуен Хыу Нам, асп.; рук. В.Г. Ерёменко, д.т.н., проф.;
конс. А.В. Бериллов, ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

АСИНХРОННАЯ МАШИНА С ФАЗНЫМ РОТОРОМ ПРИ ПОВЫШЕННОЙ ЧАСТОТЕ ВРАЩЕНИЯ

В известных работах по асинхронизированным синхронным машинам (АСМ) [1–3], исследуются режимы при переменной частоте вращения около синхронной скорости. В этих случаях габариты ротора АСМ увеличены по сравнению с классическим синхронным генератором из-за размещения многофазных обмоток возбуждения на роторе. Представляет интерес исследование режимов работы АСМ при увеличенной частоте вращения в 1,5–2 раза выше синхронной скорости, в частности исследование возможности отказа от возбудителя АСМ в виде дополнительной синхронной машины и перевод АСМ в режим самовозбуждения с силовыми конденсаторами, обеспечивающими реактивный намагничивающий ток АСМ.

Важным вопросом является разработка системы управления АСМ, обеспечивающей стабильную или управляемую частоту на выходе при переменной частоте вращения. Исследование АСМ в двигательном режиме с регулированием частоты вращения при постоянной частоте питания также актуально. Ожидается, что одновременное использование обмоток статора и ротора в генераторном или двигательном режимах позволит уменьшить габариты АСМ. Отсутствие режима синхронной скорости АСМ позволяет исключить реверс направления потока активной мощности через преобразователь частоты, что упрощает его структуру и снижает требования к полупроводниковой элементной базе.

Возможные области применения данной АСМ: ветроэлектростанции с параллельной работой с мощной сетью или автономным режимом работы, гибридные силовые установки с переключением режимов для различных транспортных средств.

Литература

1. **Шакарян Ю.Г.** Асинхронизированные синхронные машины. М.: Энергоатомиздат, 1984.
2. **Кацурин А.А.** Синтез систем управления ветроэнергетическими установками, построенными на основе асинхронизированных синхронных генераторов: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Владивосток: Дальневосточный государственный технический университет, 2001.
3. **Семенов В.В.** Автономная система электроснабжения на основе асинхронизированного синхронного генератора: Автореф. дис. ... канд. техн. наук. Уфа: Уфимский государственный авиационный технический университет, 2008.

Нян Линн Аунг, асп.; рук. В.Г. Еременко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СОЛНЕЧНАЯ БАТАРЕЯ И АККУМУЛЯТОР ДЛЯ СИСТЕМЫ АВТОНОМНОГО ЭЛЕКТРОПИТАНИЯ

В процессе работы над диссертацией автором была разработана автономная система электропитания для дома коттеджного типа мощностью 2 кВт, напряжением 220 В, частотой 50 Гц, с круглосуточным режимом работы и диапазоном изменения мощности нагрузки от 100 до 2000 Вт. Система предназначена для работы в условиях тропического климата, влажности $34 \div 85$ % и температурном диапазоне от 5 до 41 °С. В процессе работы было проанализировано 6 типов кремниевых кристаллических и тонкопленочных солнечных батарей (СБ), установленных на крыше с постоянной ориентацией. С учетом требования по обеспечению срока службы до 20 лет выбрана кремниевая кристаллическая (С-Si) СБ площадью 20 м². В ночное время и при перезагрузке система питается от аккумулятора (АБ). Проанализировано 5 типов АБ и выбрана малообслуживаемая герметичная гелиевая АБ с малым саморазрядом до 10 % месяц. При выборе емкости АБ учитывался зарядный ток, разрядный ток и энергобаланс. Разработана схема транзисторного инвертора со стабилизацией напряжения и нелинейным сердечником трансформатора. Автономная система электропитания адаптирована к использованию в бытовых условиях.

Автором проведено моделирование рабочих процессов с программой Matlab, в разделе SimPowerSystem создана упрощенная модель СБ. На основе известных математических уравнений создана идеальная модель СБ, адекватная упрощенной модели с вольт-амперной характеристикой, близкой к реальной. В результате расчетов получены: стабильность выходного напряжения ± 5 %, коэффициент нелинейных искажений выходного напряжения на уровне $3 \div 4$ % при изменении входного напряжения $10 \div 14$ В. Стоимость фотоэлектрической автономной системы электропитания оценивается в размере около 10 000 евро.

Преимущество разработанной схемы состоит в отсутствии дополнительного дросселя на выходе инвертора.

Литература

1. **Marcelo Gradella Villalva**, Jonas Rafael Gazoli, and Ernesto Ruppert Filho. Comprehensive Approach to Modeling and Simulation of Photovoltaic Arrays // Brazilian Journal of Power Electronics. 2009. Vol. 14. No. 1. P. 35–45.

М.В. Огладин, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

СОСТОЯНИЕ ТЕОРИИ И ПРАКТИЧЕСКОГО ПРИМЕНЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ АВТОНОМНЫХ СИСТЕМ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по грантам 13-08-01457-а и 15-08-99600-а.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена, в частности, тем, что в странах НАТО в широких масштабах развернуты научно-исследовательские (НИР) и опытно-конструкторские (ОКР) работы по созданию полностью электрифицированных мобильных объектов, превосходящих существующие аналоги по большинству основных тактико-технических характеристик. Такие работы проводятся применительно к основным типам мобильных объектов, предназначенных для использования всеми современными видами вооруженных сил. Работы по глубокой электрификации мобильных объектов вооружений и военной техники начаты прежде всего применительно к кораблям различных типов.

Новизна проведенных исследований состоит в следующем:

- научные предложения по реализации концепции построения систем электроснабжения постоянного тока повышенного напряжения;
- новая структура аппаратной части системы энергоснабжения;
- предложения по выполнению новых модулей системы управления;
- новые способы и средства повышения уровня электрификации.

Личный вклад автора заключается в следующем:

- обзор и анализ современных отечественных и зарубежных научно-технических решений в области энергообеспечения подвижных объектов специального назначения, в том числе лидеров среди мировых производителей мобильной энергетики на базе гибридных автомобильных технологий: Jenoptik AG, Magnet Motors, Protean Electric, ZF, Fischer Panda;
- анализ особенностей энергообеспечения автономных объектов;
- выработка требований к качеству электроэнергии таких объектов;
- программная реализация новых модулей системы управления.

Перспективы использования полученных результатов состоят в их применении в автономных системах электроснабжения подвижных объектов и другой техники специального назначения. Переход к более электрифицированным образцам наземной подвижной техники является одним из перспективных направлений их развития. Повышение установленной мощности позволит получить ряд тактико-технических преимуществ.

Е.Н. Павкин, асп.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРОЕКТИРОВАНИЕ И ИССЛЕДОВАНИЕ ГИСТЕРЕЗИСНЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ С ПОМОЩЬЮ ЦЕПНЫХ МОДЕЛЕЙ

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по грантам 13-08-01457-а и 15-58-53071-ГФЕН-а.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена тем, что при проектировании и исследовании гистерезисных электроприводов важен и сложен учет высших временных и пространственных гармоник магнитного поля, несимметричности и несинусоидальности электропитания [1]. Методы суперпозиции и симметричных составляющих из-за принципиальной нелинейности магнитных цепей гистерезисных электродвигателей в таких случаях неприменимы и необходимы специальные подходы.

Новизна проведенных исследований заключается в следующем:

- предложены в комплексе цепные модели трех базовых элементов гистерезисного электропривода: статического преобразователя частоты и (или) напряжения электропитания, приводного электродвигателя и блока управления возбуждением электродвигателя в составе электропривода;
- разработаны средства объединения цепных и полевых моделей приводного электродвигателя и взаимного обмена данными между ними;
- разработан алгоритм определения базовых параметров цепной модели приводного электродвигателя с учетом высших гармоник магнитного поля на основе модели электродвигателя для основных гармоник [1].

Личный вклад автора состоит в следующем:

- аналитические исследования динамических процессов при управлении гистерезисными электродвигателями в составе электропривода;
- разработка математических и компьютерных моделей системы управления новыми вариантами гистерезисных электроприводов;
- расчетный анализ рабочих показателей и характеристик гистерезисных электроприводов в основных режимах работы и управления.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены совершенствованием методов и средств проектирования и исследования гистерезисных электроприводов и их базовых элементов, строгим учетом возмущающих воздействий по электропитанию и нагрузке и управляющих воздействий, в том числе импульсных по электрическим цепям статора.

Литература

1. Орлов И.Н., Никаноров В.Б., Селезнёв А.П., Шмельёва Г.А. Проектирование гистерезисных двигателей на ЭВМ. М.: Издательство МЭИ, 1991.

ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ ИСТОЧНИКОВ ПИТАНИЯ ПОВЫШЕННОЙ НАДЕЖНОСТИ

Работа современных электронных устройств и комплексов зависит от качества электропитания их компонентов. Поэтому важным функциональным элементом подобных комплексов являются источники вторичного электропитания (ИПЭВ).

Среди требований к ИПЭВ выдвигается высокий КПД (не ниже 80 %), достаточное количество выходов для обеспечения нужд потребителей, а также наличие гальванической развязки.

Другим важным условием нормального функционирования электронной техники является бесперебойность электропитания. Выполнение этой задачи также возлагается на ИПЭВ.

Доклад посвящен рассмотрению основных принципов построения источников электропитания повышенной надежности, способных обеспечить бесперебойность электропитания. В докладе рассматриваются типовые примеры построения подобных источников питания, озвучиваются их преимущества и недостатки.

Основное внимание в докладе уделяется источникам питания, построенным на основе параллельной работы DC-DC-конвертеров. Были рассмотрены схемотехнические решения по созданию ИПЭВ мощностью до 3 кВт, переменным входным напряжением 220 В, 50 Гц, и постоянным выходным напряжением 27 В, изучены особенности работы указанных типов источников, проанализированы их преимущества и недостатки, предложены возможные пути улучшения ряда схемотехнических решений.

Отдельно в докладе рассказывается об особенностях и преимуществах построения источника питания, в котором происходит ротация DC-DC-конвертеров по мере работы источника питания, что позволяет уменьшить износ отдельно взятых конвертеров и увеличить показатели надежности ИПЭВ в целом [1].

В заключение доклада говорится о перспективах развития работ в данной области электроники путем построения более развитых структур ИПЭВ на основе DC-DC-конвертеров, работающих по принципу ротации преобразователей.

Литература

1. **Четин А.Н., Либенко Ю.Н.** Принципы построения источников электропитания повышенной надежности // Силовая электроника. 2012. № 6.

Д.А. Стифунин, студ.; рук. А.В. Сизякин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ СИСТЕМЫ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ АВТОНОМНОГО ОБЪЕКТА

В настоящее время актуальной проблемой является разработка автономных систем электроснабжения, примером может являться обеспечение стабильности и непрерывности питающего напряжения для электроприемников повышенной важности. В качестве первичного источника электроэнергии для таких систем могут выступать: топливные генераторы, газотурбинные и газопоршневые электростанции, солнечные панели, биогазовые установки, а также различные комбинированные электростанции. С недавнего времени начали приобретать популярность микротурбинные электростанции. Они отличаются высокими энергетическими показателями при отсутствии специальных требований к виду топлива. Микротурбинные энергоустановки используются в разных областях деятельности человека: электроснабжение удаленных домов, резервные источники питания, источники питания для транспорта и т.д.

Микротурбинные установки используют в качестве источника механической энергии вращения газовой турбины, которая соединена с валом электрического генератора. Как правило, преобразование происходит на частоте вращения 80–100 тыс. об/мин. При этом частота, формируемая генератором напряжения, превышает значения 1 кГц. В подавляющем большинстве случаев потребителей электрической энергии необходимо снабжать напряжением стабильной частоты 50 Гц. Для согласования качества напряжения, вырабатываемого системой электроснабжения, с требуемым используются преобразователи частоты, представляющие комбинацию выпрямительного устройства (которое может быть как управляемым, так и не управляемым) и инвертора напряжения. Современное развитие силовой и управляющей электроники позволяет применять новые алгоритмы управления полупроводниковыми приборами как в выпрямительном устройстве, так и в инверторе напряжения.

Наиболее эффективным способом исследования процессов в преобразователе частоты является имитационное компьютерное моделирование, которое позволяет получить временные зависимости процессов, протекающих в исследуемом объекте, без изготовления опытного образца.

Доклад посвящен исследованию алгоритмов и структур преобразователей частоты для микротурбинной установки с помощью моделирования.

*А.С. Фрейдлин, студ.; Хлаинг Мин У, докторант;
рук. Г.С. Мыцык, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ИНВЕРТОРНОГО ЗВЕНА СИСТЕМЫ ПСПЧ С МНОГОКАНАЛЬНЫМ ПРИНЦИПОМ ПРЕОБРАЗОВАНИЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ПОТОКА

Электротехнический комплекс, обеспечивающий преобразование механической энергии с изменяющейся частотой вращения вала в электрическую энергию со стабилизированными на заданном уровне и с заданной точностью напряжением и частотой, получил название «Переменная скорость – постоянная частота – ПСПЧ». Практическая потребность в системах с такой функциональной характеристикой возникает в малой энергетике (ветро- и гидроэнергетике), в дизель-генераторных установках, на различного рода подвижном транспорте (на летательных аппаратах, на авто- и железнодорожном транспорте, на судах и подводных лодках). В принципе, известны различные способы решения этой проблемы [1]. Одна из наиболее перспективных систем ПСПЧ представляет собой электрический генератор (ЭГ), распложенный на общем с приводным двигателем вала, и последовательно включенный с ЭГ статический преобразователь частоты (СПЧ), выполненный в виде силовых последовательно включенных выпрямительного и инверторного звеньев. Известно, что наилучшие результаты достигаются не при вынужденном, а при системном проектировании. В докладе рассматривается новый нетрадиционный вариант структурно-алгоритмической организации (САО) автономной системы ПСПЧ, реализующий перспективный принцип многоканального преобразования (МКП) энергетического потока, когда ЭГ проектируется совместно системно с выпрямительным звеном, образуя машинно-электронную генерирующую систему МЭГС-1 с напряжением постоянного тока, а ее выходные параметры рассчитываются на потребляемую трехфазным инверторным звеном (ТИЗ) мощность. МЭГС-1 совместно с ТИЗ образуют машинно-электронную генерирующую систему МЭГС-2 с 3-х фазным напряжением переменного тока с искажениями, не превышающими заданный уровень. Рассматриваются два варианта МЭГС-2 с канальностью всех звеньев $L = 2$ и $L = 3$. Формирование выходного напряжения ТИЗ осуществляется по программному алгоритму с ШИМ по синусоидальному закону.

Литература

1. **Электрооборудование** летательных аппаратов: учебник для вузов / под ред. С.А. Грузкова. В двух томах. М.: Издательство МЭИ, 2005. Т. 1. Системы электрооборудования летательных аппаратов.

ЭЛЕКТРОПРИВОД ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ СРЕДСТВ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ПОЛЬЗОВНИЯ

В настоящее время все большее распространение в передвижении по городу находят мотороллеры, велосипеды, самокаты. На волне этой популярности распространяется транспорт на электрической тяге.

Новые технологии позволили снизить габариты мотор-колес и аккумуляторов, сделав их более эффективными при использовании на средствах передвижения, увеличив дальность и скорость поездки.

Большое значение в этой области техники имеет режим рекуперации энергии, хотя собственно на велосипедах его практически не применяют в связи с дороговизной реализации и низкой эффективностью на расстояниях, проходимых на одном заряде аккумулятора.

Существуют различные способы реализации передачи механической энергии от электродвигателя к колесу. Это может быть шестереночная или ременная передача, а также непосредственно мотор-колесо как переднее, так и заднее. У каждого варианта есть свои достоинства и недостатки.

Среди применяемых приводов можно выделить безредукторный и редукторный привод. При этом безредукторный привод может быть выполнен только в виде мотор-колеса, где для создания необходимого крутящего момента используются мощные магниты. Отсутствие механической передачи делает данный тип электропривода одним из самых высокоэффективных по КПД. Следует, однако, отметить, что на низких частотах вращения КПД не так велико и температура электродвигателя может достигать больших значений. К достоинствам данной конструкции относится отсутствие ограничений по мощности, высокая надежность, а также возможность рекуперации (торможения двигателем с выработкой электроэнергии).

В состав редукторного электропривода входит механизм, с возможностью изменения передаточного отношения. Редукторным приводом может быть как мотор-колесо, так и внешний электродвигатель. Наличие редуктора позволяет получить больший крутящий момент и большую эффективность на малых оборотах. Однако механическая передача снижает КПД привода, а также накладывает определенные ограничения на его максимальную мощность. Кроме того, такой тип двигателей не имеет возможности рекуперации энергии.

На основании проведенного анализа достоинств и недостатков возможных вариантов реализации привода колес рассмотренных средств передвижения, был выбран наиболее эффективный вариант для электровелосипеда, который может быть использован в перспективной разработке.

Н.С. Шевырев, студ.; рук. С.Ю. Останин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СТАТИЧЕСКОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ЧАСТОТЫ ДЛЯ ПРИМЕНЕНИЯ В СОСТАВЕ ГИСТЕРЕЗИСНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Исследования, результаты которых излагаются в докладе, выполнены при финансовой поддержке Российского фонда фундаментальных исследований (РФФИ) по грантам 13-08-01457-а и 15-08-99600-а.

Актуальность рассматриваемой проблемы обусловлена необходимостью обеспечения высоких частот вращения технологических механизмов, приводимых во вращение гистерезисными электроприводами, а также сочетанием электропитания приводных электродвигателей с реализацией методов, способов и средств управления ими в составе электроприводов.

Новизна проведенных исследований заключается в следующем:

- выбрана и обоснована реализация инвертора на основе IPM PM10CSJ060, который базируется на IGBT-транзисторах, содержит комплексную систему драйверов и защиты, в одном корпусе, с осуществлением управления ключами инвертора посредством микроконтроллера;

- для обеспечения гальванической развязки предложена структура на базе оптрона с логическим выходом 6N137 в соответствии с основным критерием при выборе оптрона – временем включения/выключения;

- на основе анализа микроконтроллеров предложен вариант микроконтроллера, для тактирования которого в схему включены кварцевые резонаторы Q1 и Q2 с частотой 32 768 Гц и 16 МГц соответственно.

Личный вклад автора состоит в следующем:

- выбор структуры и элементной базы преобразователя частоты;
- расчетный анализ электронной подсистемы электропривода;
- анализ мостового трехфазного двухполупериодного выпрямителя;
- анализ инвертора на базе IGBT-транзисторов, системы драйверов и защиты, обеспечение требуемого температурного режима при работе.

Перспективы использования полученных результатов обусловлены их применением при разработке электроприводов двойного назначения для авиационной, космической, а также химической, текстильной отраслей промышленности, в частности, для приведения в движение рабочих механизмов – нитеводителей текстильных технологических машин [1].

Литература

1. **Тарасов В.Н., Останин С.Ю.** Разработка научных основ и технических решений для автоматизации и роботизации роторных и центрифужных технологий // Высокие технологии. Инновации. Инвестиции: Доклады IX Международной выставки-конгресса (Санкт-Петербург). СПб., 2004.

Секция 25

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ И ЭЛЕКТРОННЫЕ АППАРАТЫ

Председатель секции — д.т.н., профессор П.А. Курбатов

Секретарь секции — магистр А.А. Астапенко

Э.О. Анозие, студ.; рук. К.В. Крюков, асс. (НИУ «МЭИ»)

РЕГУЛЯТОР ПОТОКОВ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРИЛИВНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

В настоящее время неиспользованным источником энергии являются океанские волны. Устройства, которые превращают энергию волны в электричество, называются преобразователями энергии волны (ПЭВ). Наиболее привлекательным ПЭВ является Pelamis-преобразователь, хотя и другие технологии, такие как «Драконы волны», имеют хорошие шансы в будущем [1].

В данной работе представлен обзор технических решений для энергоустановок приливных электростанций, составлена классификация преобразователей энергии волны по принципу работы, местоположению и направленности, рассмотрены проблемы проектирования преобразователей энергии волны и их решения [1].

Изучена методика расчета силовой части активного выпрямителя для работы в системе с линейным генератором с высокой внутренней индуктивностью и приведен основной анализ электрической системы для расчета разных электрических параметров [2].

Разобрана микропроцессорная система управления активным выпрямителем, ее параметры, выборы и расчеты ее параметров и принцип работы [3].

Используя среду MatLab Simulink, создана компьютерная модель трехфазного диодного выпрямителя на IGBT транзисторах. Методы моделирования и результаты моделирования трехфазного диодного выпрямителя представлены в последней части этой работы.

Литература

1. **Czech B., Bauer P.** Wave Energy Converter Concepts : Design Challenges and Classification // Industrial Electronics Magazine, IEEE. June 2012. Vol. 6. No 2.
2. **Brooking P.R.M., Mueller M.A.** Power conditioning of the output from a linear vernier hybrid permanent magnet generator for use in direct drive wave energy converters, Generation, Transmission and Distribution // IEE Proceedings. 9 Sept. 2005. Vol. 152. No 5. P. 673, 681.
3. **Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

А.А. Астапенко, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОГО ФИЛЬТРА ДЛЯ СЕТЕЙ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

К настоящему времени в вопросах электросбережения Россия подошла к определенному качественному рубежу, связанному с изменением характера потребления электрической энергии в соответствии с современными тенденциями мировой практики. Одновременно происходит рост нелинейных потребителей ЭЭ из-за активного внедрения силового электронного оборудования и, как следствие, возникновения высших гармоник тока в сетях 0,4 кВ.

В начале 60-х годов началось активное внедрение силовой электроники: устройства частотного регулирования, импульсные источники питания, ЭВМ, сервера, офисное оборудование, бытовая техника, компактные люминесцентные лампы и т.д.

Произошло резкое увеличение высших гармоник в токе и напряжении, что привело к ухудшению качества электрической энергии и повышению уровня дополнительных потерь электроэнергии в распределительных сетях, включая силовые трансформаторы.

Отрицательные последствия наличия высших гармоник для сетей 0,4 кВ:

- перегрев и разрушение нулевых рабочих проводников кабельной линии;
- ошибки измерительных трансформаторов тока при несинусоидальной форме и соответственно неточность измерения энергии счетчиками;
- преждевременный выход из строя электродвигателей;
- снижение уровня допустимой мощности для источников бесперебойного питания и дизель-генераторных установок;
- ложное срабатывание предохранителей и автоматических выключателей.

В работе рассматриваются способы решения проблем энергоэффективности путем применения различных активных фильтров в зависимости от специфики электрических нагрузок. Рассмотренные способы учитывают как техническую эффективность, так и экономическую выгоду.

Е.Г. Бандорина, студ.; рук. В.Н. Шоффа, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

БИМЕДИЦИНСКИЕ МИКРОЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Биомедицинские микроэлектромеханические системы (биоМЭМС) – диагностические и лечебные устройства размером 20–1000 микрон с интегрированными микроэлектронными и микроэлектромеханическими компонентами, использующие явления взаимодействия молекул, а также процессы, происходящие в малых объемах и потоках жидкостей. Области их применения чрезвычайно разнообразны с каждым годом расширяются: молекулярная диагностика и лечение заболеваний, биопротезирование, мониторинг окружающей среды, биозащита и др. [1].

В сфере молекулярной диагностики и лечения заболеваний биоМЭМС отмечены в пяти основных областях применения: контроле состояния пациента, уходе за больными, диагностической визуализации, *in-vitro* диагностике и доставке лекарственных средств в организм посредством сети Internet. Применяются в эндоскопии, приборах рентгеновского просвечивания, имплантируемых системах контроля внутрисердечных сигналов, тонометрах. Их неоспоримым преимуществом является существенное сокращение времени проведения анализов (с нескольких часов до нескольких минут). Неоценимы исследования в области лечения рака: усовершенствован прибор захвата циркулирующих в крови раковых клеток.

Биопротезирование на основе биоМЭМС включает в себя глазные протезы, малогабаритные МЭМС-микрофоны для слуховых аппаратов и многое другое [2].

Чипы биоМЭМС имитируют органы чувств, а одни из самых распространенных МЭМС устройств – микроактюаторы – нашли применение не только в автомобилестроении, робототехнике, космической отрасли, экологии, но и в биомедицине.

В работе представлено многообразие существующих устройств, рассмотрены принципы их работы и возможности использования.

Литература

1. **Desai T., Bhatia S.** BioMEMS and Biomedical Nanotechnology // III: Therapeutic Micro/Nanotechnology. Springer, 2007.
2. **Шурыгина В.** Медицинские МЭМС. Доктор в кармане // Электроника. Наука, технология, бизнес. 2013. № 5.

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЙ РЕГУЛЯТОР КАЧЕСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

В настоящее время значительная часть используемого оборудования восприимчива к плохому качеству электроэнергии. Высокий уровень содержания гармоник отрицательно влияет на заводские распределительные сети и может приводить к перегреву оборудования и ухудшению качества изоляции [1].

Регулятор качества электроэнергии выполнен на основе трехфазного преобразователя напряжения (рис. 1). Устройство обеспечивает три основные функции улучшения качества электроэнергии: повышение $\cos \varphi$, активную фильтрацию токов, симметрирование токов. Алгоритмы управления основаны на использовании преобразования координат сигналов (abc/dq) и метода широтно-импульсной модуляции напряжения.

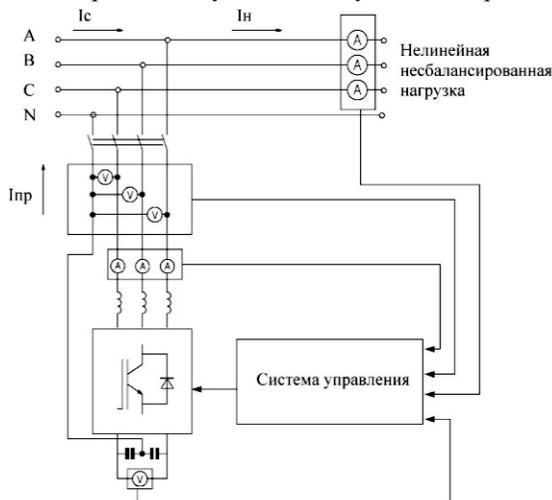


Рис. 1. Структурная схема регулятора

Результаты моделирования регулятора в программе MatLab/Simulink подтверждают высокую эффективность устройства. Используемые алгоритмы управления позволяют выполнять одновременно несколько функций повышения качества электроэнергии.

Литература

1. **Управление** качеством электроэнергии / И.И. Карташев и др. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

А.А. Горкун, студ.; рук. Е.А. Кузнецова, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ КОНТРОЛЯ МАГНИТОМЯГКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ПЕРЕМЕННОМ ТОКЕ

Магнитные свойства материалов определяют технические характеристики изделий, например эффективность.

Изучена отечественная и зарубежная литература о методах контроля. Рассматривались как общепринятые методы (метод вольтметра и амперметра, потенциометрический метод [1], мостовой [2] и резонансный методы измерений), так и современные разработки (например, прибор для измерения магнитных параметров электротехнической стали на основе преобразователя магнитного потока [3]). Указанные методы позволяют определить такие важные магнитные характеристики, как кривую намагничивания с ее основными параметрами, магнитную проницаемость. Приведено описание магнитных величин, получаемых при проведении измерений.

Освоен программный комплекс EasyMAG3D. Проведено моделирование кольцевого образца (с внешним диаметром $D_{\text{внеш}} = 50$ мм, внутренним диаметром $D_{\text{вн}} = 40$ мм и высотой $h = 5$ мм) и расчет основной кривой намагниченности на примере материала сталь10 на постоянном токе.

Рассмотрен принцип работы двух современных установок для контроля характеристик на переменном и постоянном токе REMACOMP® – COMBINATION C – 1200 и PERMAGRAPH® – REMAGRAPH® – COMBINATION C – 750; проведены измерения петли гистерезиса и кривой проницаемости на постоянном токе; проведены измерения петель гистерезиса при различных частотах на переменном токе.

Выполнен анализ достоинств и недостатков методов контроля магнитомягких материалов (погрешностей измерений, простоты выполнения метода, скорости испытаний). Выполненная работа может быть полезна для ознакомления с методами контроля магнитомягких материалов и выбора наиболее подходящего метода.

Литература

1. **Кифер И.И.** Испытания ферромагнитных материалов. М.: Энергия, 1969.
2. **Чечерников В.И.** Магнитные измерения. М.: Издательство Московского университета, 1969.
3. **Датчик** и прибор для измерения магнитных параметров листовой электротехнической стали слюях / Д.В. Шайхутдинов, Н.И. Горбатенко, Ш.В. Ахмедов, М.В. Шайхутдинова // Современные проблемы науки и образования. 2013. № 4.

СИСТЕМА ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПЕРЕМЕШИВАНИЯ РАСПЛАВА В УСЛОВИЯХ ВАКУУМА И КОСМИЧЕСКОЙ НЕВЕСОМОСТИ

В наши дни успешное освоение космоса приводит к широкому использованию достижений этой сферы в различных отраслях науки. Космическая невесомость является неповторимой средой для проведения различных технологических операций. Совсем недавно в промышленности предложили новый способ производства редких сплавов в условиях вакуума и космической невесомости. При таком методе создаются уникальные по своим свойствам полупроводниковые материалы. Для получения вещества однородной структуры, при кристаллизации на него воздействуют вращающимся электромагнитным полем.

Разрабатываемая установка состоит из высокотемпературной печи и перемешивателя расплавов. Последний представляет собой асинхронный двигатель, состоящий из статора – индуктора, место ротора занимает расплав, который подается в капсуле при помощи установки барабанного типа [1].

На индуктор подается синусоидальное напряжение от трехфазного источника питания, который подключен к бортовой сети. Перемешиватель выполняется из жаропрочной трубы, поверхность которой покрыта теплоизоляционными материалами от непосредственно силовой обмотки индуктора. Так как температура расплава может достигать значений порядка 1000 °С, выдвигаются определенные требования к нагреву обмоток электрической машины под нагрузкой. Также на устройство накладываются ограничения по массе и габаритам в связи с необходимостью его подъема на орбитальную высоту [1].

В работе проведен анализ литературы и имеющихся разработок в данной области, а также осуществлен выбор и оптимизация магнитной системы трехфазного индуктора в программе EasyMag 3D при соблюдении необходимых технических требований.

Литература

1. Курбатов П.А., Осипкин С.В. Применение линейных электромеханических преобразователей для возбуждения колебаний в массивных конструкциях // Вестник МЭИ. 2003. № 4.

РАЗРАБОТКА СТЕНДА ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТИ В НЕОДНОРОДНОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Стабильность свойств МЖ можно фиксировать по изменению ее намагниченности в неоднородном магнитном поле. Для этого предлагается использовать стенд (рис. 1), состоящий из однозубцового магнитожидкостного герметизатора (МЖГ) 1, магнитопроводного кольца 2, постоянного магнита 3, концентрически охватывающих вал 4.

Герметичность замкнутого объема 5 обеспечивает защитное МЖГ. Оно состоит из постоянного магнита 6, полюсных приставок 7, 8 и удерживает большой критический перепад давлений, чем однозубцовый уплотнитель.

После заправки МЖ в однозубцовый уплотнитель повышается давление в объеме 5 до величины критического, что приводит к пробоем единичного уплотнителя. Затем определяется величина намагниченности насыщения МЖ M_{so} :

$$M_{so} = \Delta P / (B_{\max} - B_{\min}),$$

где ΔP – критический перепад давлений МЖГ; B_{\max} и B_{\min} – максимальная и минимальная магнитная индукция в уплотнителе.

После повторной заправки однозубцового уплотнителя через большой промежуток времени осуществляется его пробой и определяется новое значение ΔP_1 . Намагниченность МЖ становится равной M_{s1} . По относительному изменению намагниченности определяют стабильность МЖ в неоднородном магнитном поле.

Изменение намагниченности МЖ в течение времени позволяет прогнозировать ее поведение в составе проектируемых МЖГ.

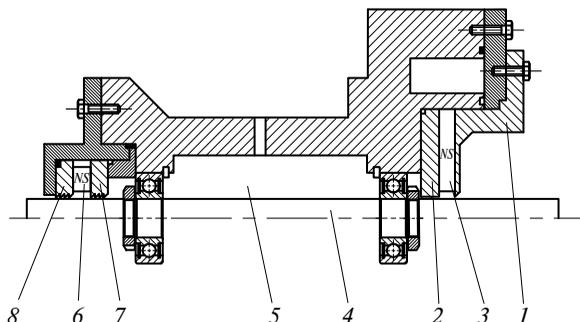


Рис. 1. Конструкция стенда магнитожидкостного герметизатора

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ДУГОВЫХ ПРОЦЕССОВ В АППАРАТАХ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Дуговые процессы в теории силовых электрических аппаратов играют определяющую роль в оценке надежности работы аппарата, долговечности и экономичности [1].

Контактно-дугогасительное устройство (КДУ) аппарата призвано осуществлять быстрое и эффективное гашение дуги. Существует большое разнообразие КДУ аппаратов переменного тока низкого напряжения и процессов в них, приводится классификация таких устройств и даются их сравнительные характеристики применительно к аппаратам управления [3].

Для оценки эффективности работы КДУ необходимо провести синтез и анализ процессов дугогашения трехфазных цепей переменного тока, подобрать математические модели, описывающие эти процессы [2].

Особую роль играет программное обеспечение процесса моделирования. В предстоящей работе в качестве программных средств будет использоваться программный комплекс MatLab Simulink версия R2012b. Процесс реализации условий дугогашения в цепи переменного тока показан на осциллограмме (рис. 1).

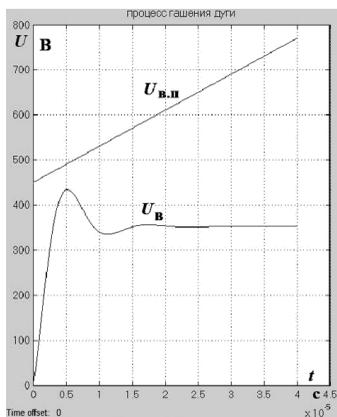


Рис. 1. Осциллограммы восстанавливающегося напряжения и восстанавливающейся прочности

Литература

1. **Электрические** и электронные аппараты. В 2 т. Т. 1. Электромеханические аппараты: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е.Г. Акимов и др.: под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. М.: Издательский центр «Академия», 2010.
2. **Акимов Е.Г., Попова Е.П.** САПР контакторов. М.: Изд-во МЭИ, 1993.
3. **Акимов Е.Г.** Проектирование дугогасительных устройств контакторов. М: МЭИ, 1982.

Г.Б. Зиборов, студ.; рук. А.Г. Годжелло, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ОСНОВНЫХ ПРАВИЛ ПРОЕКТИРОВАНИЯ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ШКАФОВ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ПОМОЩЬЮ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ

При проектировании распределительных шкафов низкого напряжения возникает ряд задач.

Для выбора силового электрооборудования требуется знать параметры электроустановки (способ заземления нейтрали, параметры и тип нагрузки и т.д.), после анализа которых проводится выбор трансформатора, кабелей, аппаратов защиты и управления, измерительных устройств [1].

После выбора электрооборудования требуется определить габаритные размеры оболочки, в которую будут помещены данные устройства. Сама оболочка тоже имеет свои характеристики (конструктивные особенности), которые необходимо учитывать при установке в нее электрооборудования.

При размещении аппаратов в щите необходимо соблюдать определенные расстояния между элементами друг от друга для предотвращения перегрева отдельных частей НКУ и сильных электродинамических воздействий, способных деформировать элементы НКУ [2].

Если мощность, отводимая от корпуса электрощита, меньше мощности, выделяемой элементами НКУ, требуется предусмотреть вентиляцию внутри НКУ [3].

При проектировании электроустановок и распределительных щитов используются специальные программные пакеты, позволяющие сэкономить время при расчетах и получить готовую спецификацию и графическое изображение изделий в удобном для проектанта виде. Пакеты программ, распространяемые зарубежными фирмами, даже локализованные для России, часто не согласуются с нормами ПУЭ. Поэтому необходимо тщательно исследовать такие пакеты на согласованность с руководящими документами, принятыми в России. Такое исследование проводится, в частности, для программных пакетов, предлагаемых фирмой АББ.

Литература

1. **Руководство** по устройству электроустановок (технические решения Schneider Electric).
2. **Справочник** по электрооборудованию (технические решения АБВ).
3. **Каталог** технических систем. Контроль микроклимата (технические решения Rittal).

К ВОПРОСУ ОБ ОГРАНИЧЕНИИ ТОКОВ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ

Развитие электроэнергетических систем характеризуется устойчивым ростом электрических нагрузок, соответствующим увеличению генерирующих мощностей и созданием крупных объединенных энергосистем. Неизбежным следствием такого развития является рост при авариях токов короткого замыкания (КЗ). Большое значение токов КЗ повышает риск повреждения коммутационного и силового электрооборудования, а также снижает его срок службы. Во избежание замены электрооборудования на новое, более мощное, а следовательно, на более дорогое, актуальным стало направление по ограничению токов КЗ.

На базе СамГТУ ведутся разработки по ограничению токов КЗ с применением жидкометаллического токоограничителя (ТО). В качестве жидкого металла был выбран сплав Ga (67%) – In (20,5 %) – Sn (12,5 %) [1].

Разрабатываемый жидкометаллический ТО – это компактное электротехническое устройство, служащее для ограничения токов КЗ. ТО состоит из двух твердометаллических электродов, которые совместно с шайбами, керамическими перегородками и медными проводящими пластинами образуют герметичную камеру, содержащую ряд полостей, соединенных капиллярным каналом. Жидкий металл полностью заполняет капиллярный канал и частично камеры большого сечения, оставляя свободный от жидкого металла объем. По бокам расположены демпфирующие сильфоны, обеспечивающие прокачку жидкого металла.

Жидкий металл выступает в роли проводящего канала, поэтому во время нормальной работы ТО действует как проводник и не оказывает существенного воздействия на распределительную систему. В токоограничивающем состоянии он фактически вставляет в цепь высокое сопротивление, а именно: большое сопротивление паров жидкого металла, ограничивающее величину тока КЗ, протекающего через него.

Результаты испытаний подтверждают работоспособность данной технологии. Были получены нагрузочные характеристики ТО в зависимости от размера капиллярного канала. Дальнейшие исследования будут связаны с испытанием ТО на коммутационную способность.

Литература

1. **Экспериментальное** исследование токоограничивающего аппарата с жидкометаллическими контактами / А.А. Воронин, И.Р. Ерофеев, П.А. Кулаков, М.Е. Серпуховитин // Материалы международной научно-практической конференции. Ульяновск: УлГТУ, 2012. Т. 2.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ РЕЛЕ ПЕРЕМЕННОГО ТОКА

В данной работе проводилась модификация реле Finder 40.52 переменного тока. Целью работой было повышение отключающей способности реле и снижение времени гашения электрической дуги, возникающей при коммутации цепи постоянного тока. Приведены технические данные реле, значение которых необходимо для оценки отключаемой способности реле на постоянном токе [1, 2, 3].

В основе работы использован принцип расположения постоянного магнита над контактами реле с целью получения аксиально-радиального направления магнитного поля.

На лабораторном стенде с помощью осциллографа были сняты графики отключения силовой цепи, необходимые для построения вольт-амперной характеристики.

Изучен программный комплекс численного моделирования электромагнитных полей EasyMAG3D. Задана упрощенная модель реле, состоящая из контактной системы, включающей токопроводящую часть и контакты, а также постоянный магнит. Получены графики распределения напряженности магнитного поля в контактном зазоре.

Проведенное исследование показало не совсем ожидаемый результат. Не получилось значительно повысить предел отключающей способности реле, но применение поля постоянного магнита аксиально-радиальной направленности оказало значительное влияние на время горения дуги, уменьшив его в несколько раз. Поэтому на основании результатов выполненной работы можно говорить об ограничении использования идеи применения магнитного поля аксиально-радиальной направленности в слаботочных коммутаторах.

Литература

1. **Буткевич Г.В.** Дуговые процессы при коммутации электрических цепей. М.: Энергия, 1973.
2. **Белкин Г.С.** Коммутационные процессы в электрических сетях. М.: Знак, 2003.
3. **Розанов Ю.К.** Электрические и электронные аппараты. М.: Информэлектро, 2001.

Р.Е. Квасков, студ.; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

КОМПЛЕКСНАЯ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТЬ В НЕФТЕГАЗОВОЙ ОТРАСЛИ

Одна из приоритетных целей большинства компаний на сегодняшний день – организация энергоэффективного производства. Среди компаний нефтегазовой отрасли достижение поставленной цели осуществляется с помощью замены узлов ЭЦН: асинхронные двигатели постепенно заменяются на вентильные, имеющие более высокий КПД. Помимо увеличения КПД составляющих системы (ЭЦН, трансформатор, СУ и т.д.), требуется проводить комплексную оптимизацию работы насоса в зависимости от параметров скважины и технического состояния оборудования. Для этого было предложено разработать аппаратно-программный комплекс АСУЭ с интеграцией технического учета электроэнергии для последующего применения в качестве кустовой телемеханики цехов добычи нефти и газа.

После анализа рынка промышленных НМИ-модулей было принято решение об использовании SCADA-системы НПО «Прорыв» и контроллера ТК16L. Выбор именно этой системы связан с относительной дешевизной на фоне аналогичных продуктов, а также гибкостью и обширными возможностями подключения в систему сторонних устройств по различным протоколам связи (RS-485, Ethernet и т.д.). Для обеспечения функций системы кустовой телемеханики на базе контроллера ТК16L реализуется логика работы и управления основного оборудования, задействованного в процессе добычи нефти и газа.

Благодаря использованию счетчиков электроэнергии для ЭЦН (электроцентробежного насоса) и в дополнении к ним динамограмм для ШГН (штангового глубинного насоса) в системе осуществляется анализ энергетической эффективности работы насосов путем расчета их удельного энергопотребления для последующего сравнения с получаемыми фактическими значениями. В результате анализа системы оператор АРМ и главный технолог получают информацию о работе насоса и состоянии скважины в графическом или табличном варианте, опираясь на которую принимают решение о внесении каких-либо корректировок в процесс добычи.

Таким образом, внедряемый на Покачевском нефтегазовом месторождении аппаратно-программный комплекс способствует снижению издержек при добыче нефти и газа путем снижения затрат на электроэнергию.

КОМПОНОВКА НКУ ПРОГРАММНЫМИ СРЕДСТВАМИ

Задачи по проектированию систем энергораспределения для промышленных предприятий, объектов и зданий постоянно усложняются. В процессе реализации НКУ требуется решать такие задачи, как расчет токов короткого замыкания, выбор кабелей и аппаратуры, согласование времятоковых характеристик защитных аппаратов, выбор корпуса, аксессуаров и дополнительных элементов. Применение программного обеспечения позволяет уменьшить время реализации проекта [1].

Крупные компании-производители электроаппаратуры создают специальные программы и комплексы по компоновке НКУ, например, Simaris Configuration (Siemens), Panel Design Configurator (ABB), Rapsodie (Schneider Electric), XL Pro (Legrand). Все эти программы позволяют сконфигурировать внешний вид НКУ, оценить различные варианты реализации и составить для выбранного варианта итоговый перечень необходимых элементов. Они способствуют сокращению расходов и продолжительности всего процесса проектирования системы распределения электроэнергии [1].

При всех преимуществах и удобствах программное обеспечение не лишено некоторых недостатков. Так, например, некоторые программы не русифицированы. Как правило, они имеют библиотеки оборудования только одного производителя и не позволяют добавлять в проекты аппаратуру других производителей. Некоторые программы опираются на стандарты МЭК, не действующие на территории РФ. Не во всех программах учитываются нормы ЕСКД при формировании итоговых результатов работы. Крайне редко предоставляется возможность трехмерного представления НКУ. А наличие 3D-просмотра позволяет на стадии компьютерного проектирования исключить наложение устройств [2].

Но для решения несложных задач, реализации часто встречающихся схем, комплектования типовых НКУ применение ПО вполне оправдано. Оно позволяет сократить сроки реализации, уменьшить время подготовки документации, что в конечном итоге приводит к сокращению продолжительности всего процесса проектирования и расходов на реализацию системы распределения электроэнергии.

Литература

1. **Годжелло А.Г.** Электрические и электронные аппараты. М.: Academia, 2010.
2. **Каталог** компании Siemens. Программное обеспечение Simaris, 2012.

РЕГУЛЯТОР ПОТОКОВ МОЩНОСТИ НА БАЗЕ ПАССИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ

Рассмотрен вопрос о коррекции коэффициента мощности для приливной энергоустановки. Источником энергии является поплавковый волновой генератор, генерирующий синусоидальный сигнал определенной формы. Этот источник энергии является возобновляемым, что на данный момент времени актуально.

Разобраны виды и способы коррекции коэффициента мощности на базе схемы пассивного выпрямителя вместе с корректором коэффициента мощности (схемы с входным выпрямительным мостом и без него). Изучаются алгоритмы управления [1] и методика расчета обратной связи для корректора коэффициента мощности [2].

Приведен расчет микропроцессорной системы управления корректором коэффициента мощности [3] и выбор элементов обратной связи [4].

Представлены результаты компьютерного моделирования корректора коэффициента мощности в программном комплексе *PSpice*.

При помощи поплавкового генератора с нестабильным выходным напряжением можно организовать несколько схем повышения и стабилизации напряжения (например, мостовой и без мостовой повышающий регулятор с корректором коэффициента мощности). Рассчитаны элементы схемы системы управления и подобраны физические элементы для реализации регулятора. С помощью программного комплекса PSpice Schematics сконфигурирована и смоделирована одна из схем с корректором коэффициента мощности.

Корректор коэффициента мощности для данной схемы работает стабильно.

Литература

1. **Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника: учебник для вузов. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.
2. **Power conversion and control for a linear direct drive permanent magnet generator for wave energy** / L. Ran, M.A. Mueller, C. Ng, P.J. Tavner et/ al. // Renewable Power Generation, IET. January 2011. Vol. 5. No 1. P. 1, 9.
3. **Perez M., Rodriguez J., Coccia A.** Predictive current control in a single phase PFC boost rectifier // Industrial Technology 2009. ICIT 2009. IEEE International Conference on. 10–13 Feb. 2009.
4. **Huber L., Yungtaek Jang, Jovanovic M.M.** Performance Evaluation of Bridgeless PFC Boost Rectifiers // Power Electronics, IEEE Transactions on. May 2008. Vol .23. No 3. P. 1381, 1390.

ЧИСЛЕННОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МАГНИТОЖИДКОСТНЫХ ГЕРМЕТИЗАТОРОВ С РЕГУЛИРУЕМОЙ МАГНИТНОЙ ИНДУКЦИЕЙ В РАБОЧИХ ЗАЗОРАХ

В работе проведено численное исследование диапазонов регулирования величины магнитной индукции в рабочих зазорах магнитоожидкостных герметизаторов (МЖГ) с помощью шунтирующих винтов (рис. 1).

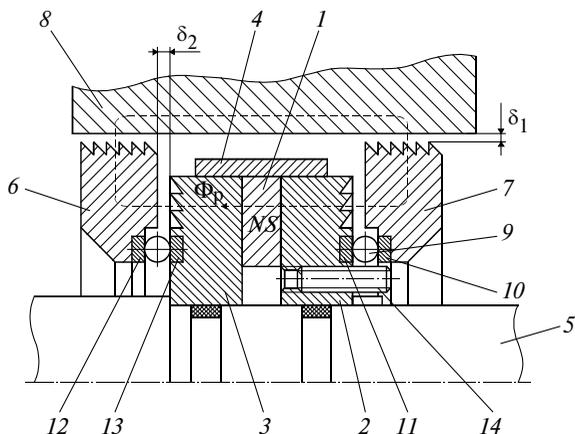


Рис. 1. Магнитоожидкостный герметизатор

МЖГ включает в себя постоянные магниты 1; полюса из магнитопроводного материала 2, 3; немагнитопроводное кольцо 4; вал 5; магнитопроводные кольца 6, 7; магнитопроводный корпус 8; тела качения 9; кольцевые вставки 10–13; регулировочные винты 14; δ_1 – статические, δ_2 – динамические рабочие зазоры.

Исследования проводились для редкоземельных магнитов с величиной остаточной индукции $B_r = 0,77 \div 1,2$ Тл и коэрцитивной силы $H_c = 540 \div 820$ кА/м, а в качестве материала магнитопровода использовались Сталь 10 с индукцией магнитного насыщения $B_r = 2,1$ Тл и Сталь 20Х13 с $B_r = 1,78$ Тл в магнитном поле 50 кА/м.

В качестве элементов регулирования магнитной индукции в рабочих зазорах по окружности полюсов расположены 20 винтов диаметром 8 мм каждый, что позволяет плавно изменять величину магнитной индукции в динамических рабочих зазорах МЖГ в диапазоне от 0 до 30 %.

А.А. Костерин, асп.; рук. П.А. Курбатов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТОВ В СВАРНЫХ ШВАХ ВНУТРИТРУБНЫМИ МАГНИТНЫМИ ДЕФЕКТОСКОПАМИ

Нефть и природный газ транспортируется в большинстве стран через обширную сеть подземных и надземных трубопроводов. Трубопровод требует планового технического обслуживания для безопасной и эффективной транспортировки. Для того чтобы гарантировать целостность системы, трубопроводы периодически осматриваются на предмет повреждения, вызванными коррозией и другими факторами, с помощью магнитного внутритрубного дефектоскопа. Дефектоскоп, запускаемый на одном конце секции и извлекаемый на другом конце, движется внутри трубы под давлением перекачиваемого продукта.

Принцип действия магнитных внутритрубных дефектоскопов заключается в намагничивании контролируемого участка трубы постоянным магнитным полем до состояния глубокого насыщения и последующем измерении параметров магнитного поля вблизи поверхности контролируемого участка. При изменении геометрии участка трубы, в частности, при наличии в нем дефектов типа нарушения сплошности (потеря металла из-за коррозии, трещины, риски и т.д.), магнитное поле вблизи дефектов изменяется, что и фиксируется с помощью соответствующих датчиков. Массив датчиков Холла обычно устанавливают вокруг окружности дефектоскопа между двумя полюсами для измерения магнитного потока. Данные диагностики собираются и сохраняются с использованием бортовой системы сбора данных.

Одним из видов дефектов трубопровода являются дефекты в сварных швах. Дефекты сварных швов и соединений возникают из-за нарушения требований нормативных документов к подготовке, сборке и сварке соединяемых узлов, механической и термической обработке сварных швов и самой конструкции, к сварочным материалам.

В данной работе был проведен анализ дефектов в сварных соединениях. В программе ComsolMultiphysics была смоделирована магнитная система внутритрубного дефектоскопа. В результате данной работы получены графики распределения напряженности магнитного поля.

А.Н. Косынин, студ.; рук. С.В. Осипкин, к.т.н., ст. преп. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИСПЫТАТЕЛЬНОГО ВИБРАЦИОННОГО УСТРОЙСТВА ДЛЯ ВЫРАЩИВАНИЯ КРИСТАЛЛОВ МЕТОДОМ КРИСТАЛЛИЗАЦИИ

В настоящее время в различных областях техники широкое применение находят вибрационные технологии. Вибрационные устройства все шире применяются в различных отраслях промышленности – при добыче и переработке полезных ископаемых, в строительстве, металлургии и в других производствах. Вибрационная техника продолжает существенно совершенствоваться, возникают все новые области ее эффективного применения. Создание новых устройств невозможно без исследования их статических и динамических характеристик.

Данная работа направлена на разработку вибрационного устройства, в основе которого лежат постоянные магниты из неодайма железа бора, предназначенного для создания требуемых колебаний по амплитуде и частоте, направленных на выплавляемый кристалл для упорядочивания его структуры.

Принцип работы устройства основан на силовом взаимодействии переменного магнитного поля с магнитным полем постоянных магнитов, в результате которого возникают вынуждающие колебания возвратно-поступательного типа [1].

Расчет магнитных полей трехмерных систем проводят в современном компьютерном программном комплексе EasyMag3D.

Проектирование данной конструкции затруднено тем, что магнитные материалы обладают нелинейностью и имеют сложный характер распределения силовых магнитных полей. Для расчетов параметров математических моделей, таких как ЭДС, индуктивность и вынуждающие усилия, применен численный анализ магнитного поля на основе метода пространственных интегральных уравнений. Также были получены динамические характеристики данного устройства.

Литература

1. Курбатов П.А., Осипкин С.В. Применение линейных электромеханических преобразователей для возбуждения колебаний в массивных конструкциях // Вестник МЭИ. 2003. № 4.

ПРОЕКТИРОВАНИЕ КОМПЛЕКТНОЙ ТРАНСФОРМАТОРНОЙ ПОДСТАНЦИИ ДЛЯ НЕФТЕПЕРЕРАБАТЫВАЮЩИХ ЗАВОДОВ

При проектировании комплектной трансформаторной подстанции (КТП) для нефтеперерабатывающих заводов возникает ряд сложностей в связи с тем, что на производстве могут выделяться летучие газы, способные привести к пожарам и взрывам. Помещения распределительных устройств напряжением до 1000 В по гл. 7.4 ПУЭ не классифицируются. Пожаробезопасность указанных помещений обеспечивается выполнением специальных требований других глав ПУЭ и нормативными документами других ведомств [1].

С учетом категорий пожарной опасности и взрывозащищенности подбирается необходимое оборудование для переработки нефти. Рассчитываются мощности оборудования, освещения и других электроприемников.

Силовые трансформаторы в нормальном режиме работы должны быть загружены менее, чем на 50 % для возможности взаимного резервирования на случай аварии. Мощность силовых трансформаторов выбирается исходя из суммарной мощности низковольтных электроприемников. Для защиты оборудования выбираются автоматы, предохранители и измерительные приборы для контроля параметров цепи.

На отходящих линиях к электродвигателям предусматривается блок управления, состоящий из автоматического выключателя, пускателя и элементов защиты от утечек тока. Минимальное допустимое расстояние от отдельно стоящих РУ, ТП и ПП до помещений со взрывоопасными зонами и наружных взрывоопасных установок подбирается по табл. 7.1.13 [2].

На отходящих линиях к нижестоящим щитам устанавливаются автоматические выключатели.

При размещении щитов в здании КТП должны соблюдаться условия, предотвращающие перегрев. В зависимости от размеров и взаимного расположения щитов выполняются расчет габаритов трансформаторной подстанции.

Литература

1. **Пособие** по обеспечению пожарной безопасности в проектах электропомещений и кабельных сооружений М788-1076.
2. **ПУЭ.** – 7-е изд. М.: НЦ «ЭНАС», 2005.

ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЙ ПОДВЕС

В результате работы спроектирован электромагнитный подвес, поддерживающий предмет массой 0,1 кг на высоте 0,01 м.

Проведен анализ литературы, посвященной постоянным магнитам, электрическим аппаратам, активным и пассивным магнитным подшипникам [1].

Показаны разновидности электромагнитных подвесов, рассмотрен принцип их действия, а также выявлены основные достоинства и недостатки [2].

Представлены принципы составления макроскопических моделей, их элементы, фазовые переменные и источники, подобие процессов и явлений [3].

В программном комплексе EasyMag3D проведено моделирование электромагнитного подвеса, состоящего из пассивного подвеса на постоянных магнитах и четырех электромагнитов.

Проведен расчет сил, возникающих в магнитном поле при изменении рабочего зазора как при радиальном смещении, так и при осевом. Проведена оптимизация конструкции (геометрических размеров) пассивного магнитного подшипника с целью уменьшения его себестоимости.

Проведен расчет электродвижущей силы, потокосцепления, расчет параметров системы для создания макроскопической модели в программном комплексе MatLab Simulink. Получены графики сил, возникающих в подвесе при внешних воздействиях. Полученные в ходе исследования результаты подтверждают работоспособность спроектированного магнитного подвеса.

Выполненная работа может быть полезна для последующих расчетов электромагнитных подвесов, поскольку данная тема наиболее актуальна в наше время в связи с тем, что при использовании электромагнитного подвеса отсутствует трение, вследствие чего уменьшается износ оборудования и отсутствуют потери на нагрев.

Литература

1. **Розанов Ю.К.** Электрические и электронный аппараты. В 2 т.: учебник для студ. высш. учеб. заведений. М.: Издательский центр «Академия», 2010.
2. **Журавлев Ю.Н.** Активные магнитные подшипники. Теория, расчет, применение. СПб.: Политехника, 2003.
3. **Курбатов П.А.** Математическое моделирование электромеханических систем электрических аппаратов: учеб. пособие. М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

А.В. Левант, студ.; рук. В.Н. Шоффа, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ МАГНИТНО-МЕХАНИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ЗАМЫКАЮЩЕГОСЯ ГЕРКОНОВОГО РЕЛЕ

Герконы используются повсеместно, где требуются долговечность и взрывобезопасность [1]: кнопки, конечные и путевые переключатели, клавиатуры клавишных синтезаторов, компьютеров и промышленных приборов, реле тока и напряжения, датчики положения, пожарные извещатели, подводное оборудование, лифты, телерадиоаппаратура, однофазные и трехфазные электронные счетчики электроэнергетики.

Для расчета параметров герконового реле с помощью вычислительных машин была проведена работа [2] и создана программа для расчета реле с асимметричным герконом на языке ФОРТРАН.

На базе указанного труда разработаны алгоритм и программа автоматизированного расчета магнитно-механической системы и параметров симметричного язычкового замыкающего герконового реле в более современной среде программирования – DELPHI с применением методов математического моделирования, вероятных путей потока и вариации координат особых точек магнитного поля [3].

Созданная программа отличается простотой и быстродействием, время расчетов с помощью ПК составляет не более 5 с. Предложенный метод расчета позволяет определить магнитные проводимости и функциональные характеристики системы.

Литература

1. **Карабанов С.М., Майзельс Р.М., Шоффа В.Н.** Магнитоуправляемые контакты (герконы) и изделия на их основе: Монография / под ред. В.Н. Шоффы. Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2011.
2. **Григорян А.Х.** Исследование и расчет магнитных систем асимметричных замыкающих герконовых реле: Дис. ... канд. техн. наук – М.: МЭИ, 1981.
3. **Шоффа В.Н.** Создание теории электрических аппаратов с магнитоуправляемыми контактами: Дис. ... докт. техн. наук. М.: МЭИ, 1983.

Е.М. Марамзин, студ.; рук. М.Г. Лепанов, асс. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЛАБОРАТОРНОЙ РАБОТЫ «ИССЛЕДОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ЭЛЕКТРОННЫХ УСТРОЙСТВ РЕГУЛИРОВАНИЯ НЕАКТИВНОЙ МОЩНОСТИ»

Предлагаемая лабораторная работа посвящена исследованию силового электронного устройства регулирования неактивной мощности, представляющего собой трехфазный преобразователь напряжения на IGBT-транзисторах, подключенный к сети переменного тока через фильтрующие дроссели. Такой преобразователь способен работать во всех четырех квадрантах комплексной плоскости векторов напряжения и тока, что позволяет формировать в каждой фазе ток необходимой формы с требуемой амплитудой и фазой. Поэтому данное устройство является основой для реализации различных функций компенсации неактивной мощности. Также на базе рассматриваемой схемы выполняются активные выпрямители [1].

Было выполнено моделирование силовых электронных устройств на базе четырехквadrантного преобразователя напряжения. Рассмотрено функционирование устройства в качестве активного выпрямителя, регулятора реактивной мощности, активного фильтра гармоник тока и устройства симметрирования токов. Были реализованы алгоритмы управления преобразовательным устройством, обеспечивающие выполнение заданных функций.

Лабораторная работа представляет собой комплекс компьютерных моделей, созданных в приложении Simulink программы MatLab. Имитационные модели позволяют изучить принцип действия рассматриваемого устройства при реализации различных функций и соответствующие алгоритмы управления на базе широтно-импульсной модуляции [2]. Рассмотрено функционирование устройства в качестве активного выпрямителя, регулятора реактивной мощности, активного фильтра гармоник тока и устройства симметрирования токов.

Лабораторная работа содержит теоретическую справку, описание моделей в программе Simulink, задание на работу и методические указания по ее выполнению, список контрольных вопросов для проверки. Также представлен пример выполнения каждого пункта задания.

Литература

1. **Розанов Ю.К., Рябчицкий М.В., Кваснюк А.А.** Силовая электроника: учебник для вузов М.: Издательский дом МЭИ, 2007.

2. **Герман-Галкин С.Г.** Компьютерное моделирование полупроводниковых систем в MatLab 6.0: учебное пособие. СПб.: КОРОНА принт, 2001.

ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СРАБАТЫВАНИЯ МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО РАСЦЕПЛЕНИЯ

Согласно [1] время размыкания – замеренное время от момента, когда в автоматическом выключателе в замкнутом состоянии ток в главной цепи достигнет уровня срабатывания максимального расцепителя тока до момента разъединения дугогасительных контактов во всех полюсах. Фактически это время срабатывания механизма свободного расцепления, не содержащее время нарастания тока до достижения уровня тока уставки.

У максимального расцепителя тока с независимой выдержкой времени ток мгновенного расцепителя – минимальное значение тока, вызывающее срабатывание выключателя без выдержки времени. Выдержка времени таких расцепителей не зависит от значения сверхтока. Уставка по времени расцепления указана как время отключения автоматического выключателя в секундах.

Многообразие конструкций механизмов свободного расцепления обеспечивает разные траектории движения, скорость и время разведения механизмом главных контактов, что, в свою очередь, непосредственно влияет на время размыкания автоматического выключателя.

Максимальный расцепитель тока (МРТ) – расцепитель, вызывающий размыкание главных контактов с выдерживанием некоторого промежутка времени или без него, как только реальное значение тока превышает заданный порог. МРТ с обратнoзависимой выдержкой времени – максимальный расцепитель тока, инициирующий расцепление контактов после истекания заданного времени, которое обратнoзависимо от силы тока [2].

При испытаниях в режиме короткого замыкания на токах 80 % уставки расцепитель не должен срабатывать с начала прохождения тока в течение 0,2 с для расцепителей мгновенного действия. Соответственно при токе 120 % уставки расцепитель должен срабатывать за время 0,2 с.

В дальнейшем будут проведены экспериментальные исследования динамики срабатывания автоматических выключателей разных конструкций, а также разработана модель в программном комплексе MatLab процесса срабатывания магнитного расцепителя.

Литература

1. **ГОСТ Р 50345-99-2000.** Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков. М.: Изд-во стандартов, 1999.
2. **ГОСТ Р 50030.2-2000.** Аппаратура низковольтная. Ч. 2. М.: Изд-во стандартов, 1999.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ ПОДВЕСА ЧУВСТВИТЕЛЬНОГО ЭЛЕМЕНТА В ДАТЧИКЕ УГЛА НАКЛОНА С МАГНИТНОЙ ЖИДКОСТЬЮ

Положение чувствительного элемента в магнитожидкостном датчике угла наклона (МЖДУН) с постоянными магнитами определяется действием на него двух сил: тяжести и подвеса, обусловленной наличием магнитной жидкости (МЖ). При высокой степени компенсации силы тяжести чувствительный элемент занимает положение, близкое к оси симметрии МЖДУН, что обеспечивает высокую точность измерений угла наклона.

Цель работы состояла в определении силы подвеса чувствительного элемента для различных конструкций МЖДУН по разработанной модели.

Расчетная модель для определения силы подвеса имеет вид

$$F_{\text{п}} = -2 \int M^{(0)} \nabla B_r r \, dr \, dz,$$

где $M^{(0)}$ – намагниченность МЖ; ∇B_r – радиальная составляющая градиента магнитной индукции; r и z – геометрические размеры (рис. 1).

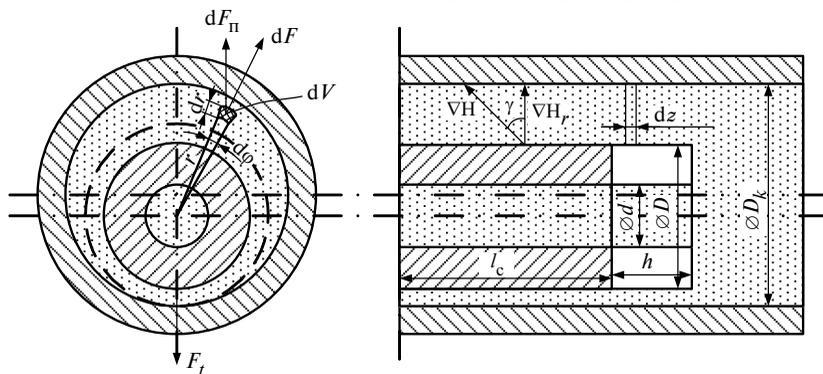


Рис. 1. Схема к расчету силы подвеса чувствительного элемента

Расчет проведен для трех конструкций МЖДУН на основании конечно-элементного моделирования магнитного поля. В одной из конструкций МЖДУН чувствительный элемент имеет только наружный цилиндрический зазор с корпусом, а в двух других – внутренний и наружный зазоры, заполненные МЖ [1]. Результаты расчетов показывают, что наибольшая величина силы подвеса будет у МЖДУН с чувствительным элементом, втулка которого изготовлена из немагнитопроводного материала с двумя зазорами, заполненными МЖ.

Литература

1. Сайкин М.С., Морозова Д.Ю. Магнитожидкостное устройство для определения угла наклона. Патент на полезную модель. Российская Федерация № 126451, МКИ G01С 9/00, Приоритет от 20.03.2012, опубли. 27.03.2013, Бюл. № 9.

*П.В. Мурзакаев, асп.; рук-ли А.В. Калашникова, ст. преп.;
А.Г. Годжелло, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

МОДЕЛИРОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ КОММУТАЦИОННЫХ АППАРАТОВ В СИСТЕМАХ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ НИЗКОГО НАПРЯЖЕНИЯ

Современные интеллектуальные системы (ИС) электроснабжения (ЭС) представляют собой комплекс взаимодействующего электротехнического оборудования, аппаратного и программного обеспечения, необходимого для эффективного, безопасного и рационального ЭС объекта. Для всех потребителей электроэнергии существует ряд требований к ИСЭС [1].

Современные коммутационные электрические аппараты (ЭА) низкого напряжения (НН) имеют широкий ряд функций контроля состояния и управления, реализуют возможность коммуникации по открытым протоколам связи. Например, компания Schneider Electric выпускает коммутационные ЭА НН с интерфейсом связи Ethernet [2].

Традиционные подходы к описанию работы ЭА и их взаимодействию усложняют процесс создания ИСЭС. Применение логики и релейно-контакторных схем дает только возможность изучения системы в определенном состоянии при выполнении ряда условий для внешних воздействий. Таким образом, рассмотрение переходов системы в другие состояния при изменении условий усложняется.

Применение теории детерминированных конечных автоматов (ДКА) как элемента дискретной математики позволяет выработать более удобный подход к изучению работы ЭА и комплекса взаимодействующих ЭА. Визуальное представление ДКА – диаграмма состояний позволяет определить для ЭА все возможные состояния и условия перехода из одного состояния в другое. С помощью автоматных языков возможно описать и исследовать взаимодействие комплексов ЭА.

Современные инструменты моделирования, основанные на базе языков программирования, позволяют реализовать ДКА и их взаимодействие без профессиональных знаний в области программирования. В ходе анализа инструмент имитационного моделирования Anylogic был определен как наиболее подходящий для создания интерактивных моделей ИСЭС [3].

Литература

1. **ГОСТ Р 54862–2011.** Энергоэффективность зданий. Методы определения влияния автоматизации, управления и эксплуатации здания.
2. **Умный щит** от Schneider Electric: Техническое руководство.
3. **Карпов Ю.Г.** Имитационное моделирование систем, введение в моделирование с Anylogic 5. СПб.: БХВ-Петербург, 2006.

АЛГОРИТМЫ УПРАВЛЕНИЯ РЕГУЛЯТОРОМ ПОТОКОВ МОЩНОСТИ ДЛЯ ПРИЛИВНОЙ ЭНЕРГОУСТАНОВКИ

Использование возобновляемых источников энергии является жизненно важным аспектом для устойчивого развития. В настоящее время неиспользуемым источником энергии являются океанские волны. Различные типы преобразователей энергии волн (ПЭВ) способны превратить движение волн в электричество [1].

В данной работе рассмотрены алгоритмы управления преобразователем на базе управляемого выпрямителя с целью повышения эффективности отбора мощности от линейного генератора с высокой индуктивностью [2].

Источником энергии является линейный генератор, генерирующий синусоидальный сигнал определенной формы.

Разобраны алгоритмы управления активными выпрямителями с целью повышения мощности обитаемой от генератора [3].

Также изучен алгоритм управления поплавковой энергоустановкой на базе управляемого выпрямителя.

Приведен пример расчета микропроцессорной системы управления активным выпрямителем.

В программном комплексе *MatLab Simulink* приведено компьютерное моделирование трехфазного выпрямителя на *IGBT* транзисторах. Результаты компьютерного моделирования трехфазного выпрямителя на *IGBT* транзисторах представлены в последней части этой работы.

Литература

1. **Balazs Czech., Pavol Bauer.** Wave energy converter concepts.
2. **Shek J.K.H., Macpherson D.E., Mueller M.A.** Experimental verification of linear generator control for direct drive wave energy conversion // *Renewable Power Generation*, IET. September 2010. Vol. 4. No 5. P. 395, 403.
3. **Lechat S.S.** Voltage oriented control of three-phase boost PWM converters, Chalmers University of Technology, Göteborg, Sweden, 2010.

АНАЛИЗ ПРИНЦИПОВ ТОКООГРАНИЧЕНИЯ В АВТОМАТИЧЕСКИХ ВЫКЛЮЧАТЕЛЯХ

Эффект токоограничения в автоматических выключателях (АВ) достигается за счет особого строения контактной и токоведущей систем. В АВ с токоограничением особые требования предъявляются к быстрдействию и динамике размыкания контактов [1]. Чтобы ограничить ток КЗ, необходимо максимально быстро зажечь дугу между контактами.

В модульных АВ эффект токоограничения достигается за счет «простоты» конструкции: электромагнитный расцепитель действует непосредственно на подвижный контакт, что позволяет максимально быстро разомкнуть контакты (2–3 мс) и зажечь между ними дугу, поэтому все модульные АВ изначально являются токоограничивающими.

Корпусные АВ в отличие от модульных имеют сложное строение, поэтому улучшение защитных характеристик в них достигается в основном за счет создания специальных конструкций контактных систем и привода. Каждая из таких конструкций имеет свои нюансы и особенности, но общий принцип работы всех этих систем одинаков. Он основан на размыкании контактов АВ до момента срабатывания электромагнитного расцепителя. Это достигается за счет явления сил отталкивания в контактах (сил Двайта) и за счет электромагнитной силы, возникающей при встречно-параллельном протекании тока.

В АВ на большие токи эффективное токоограничение обеспечивается неподвижным контактом, который имеет петлю тока и U -образную магнитную цепь, осью подвижного контакта, расположенной на его торце, а также особым строением механической системы, разработанной для быстрого отключения высоких токов короткого замыкания [2].

Литература

1. **Хольм Р.** Электрические контакты: пер. с англ. М.: Наука, 1961.
2. **Таев И.С.** Электрические аппараты. Общая теория. М.: Энергия, 1977.

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ АВТОМАТИЗАЦИИ НА ПРИМЕРЕ УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ ПОДСТАНЦИЕЙ

В настоящее время на промышленных предприятиях происходит усовершенствование технологических процессов не только путем замены основного технологического оборудования, но и изменения уровня автоматизации, что обусловлено новыми требованиями по промышленной безопасности. Решение задачи достигается путем полной или частичной автоматизации в зависимости от существующего технологического процесса и наличия исполнительных механизмов. Автоматизация технологических процессов снижает риск возникновения аварий на предприятии, повышает производительность, сводит на минимум человеческий фактор.

В работе рассмотрены основные принципы автоматизации, учитывающие необходимый уровень безопасности технологического процесса по управлению насосной подстанцией. При составлении технических требований проведен анализ параметров, необходимых для непрерывной и надежной работы насосной подстанции. На основании полученных данных были выбраны необходимые датчики, контроллер, а также посчитано общее количество аналоговых и дискретных сигналов с учетом необходимости применения искробезопасных цепей [1].

Основываясь на исходных данных, был разработан алгоритм управления насосной подстанцией и, опираясь на этот алгоритм, была разработана и создана программа управления для контроллера фирмы Honeywell серии HC900 [2]. Выбор контроллера был обоснован как экономическими параметрами, так и наличием фиксированного цикла опроса всех входных и выходных параметров с соблюдением строгого порядка выполнения алгоритмических блоков.

Также был проведен анализ работы следующих датчиков: терморезистор (RTD – термометр сопротивления), датчик давления с унифицированным токовым выходом 4–20 мА, радарный уровнемер, датчики наличия уровня (дискретный выход).

Программа управления для контроллера серии HC900 фирмы Honeywell была написана на специализированном программном обеспечении – HCDesinger.

Литература

- 1. ГОСТ 8.437–81.** ГСИ. Системы информационно-измерительные. Метрологическое обеспечение. Основные положения.
- 2. Гибридный контроллер HC900.** Электронный ресурс. URL: www.honeywell.com

УСТРОЙСТВО ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ НИЗКОВОЛЬТНОЙ АППАРАТУРЫ НА КОММУТАЦИОННУЮ СТОЙКОСТЬ

Для испытаний низковольтной аппаратуры, в частности модульных автоматических выключателей (АВ) на коммутационную стойкость [1], требуется мощный источник переменного тока: сеть или ударный генератор (УГ). Достаточную мощность от сети можно получить только при использовании ввода СН или ВН, следовательно, необходим трансформатор, стойкий при испытательных токах, так как подобные испытания негативно влияют на качество электроэнергии. Применение УГ позволяет устранить влияние испытательной установки (ИУ) на сеть, но для его работы требуется приводной двигатель, а также квалифицированный обслуживающий персонал. На данный момент сооружение ИУ под силу лишь крупным электротехническим компаниям.

В [2] показано, что для испытания требуется относительно небольшое количество энергии. Следовательно, целесообразно использование конденсаторов в качестве накопителя электроэнергии.

На рис. 1 показана упрощенная схема ИУ с емкостным накопителем энергии.

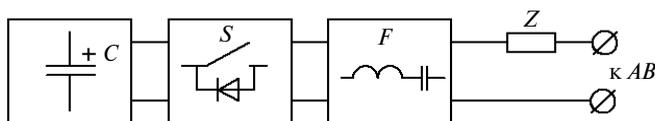


Рис. 1. Схема ИУ:

C – конденсаторная батарея; S – инвертор; F – выходной фильтр; Z – испытательная нагрузка

Предложенная ИУ состоит из серийно выпускающихся узлов, требует минимального обслуживания, ее применение позволит существенно снизить стоимость проведения испытаний.

Литература

1. **ГОСТ Р 50345–2010.** Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения. Часть 1. Автоматические выключатели для переменного тока.
2. **Анализ электромагнитных процессов в испытательных установках с емкостным накопителем энергии:** магистерская диссертация / Ю.Б. Церковский, НИУ «МЭИ», Кафедра ЭиЭА. М., 2014. – 77 с. – фонд НЧЗ.

А.В. Чернов, студ.; рук. Н.А. Ведешенков, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СВОБОДНОГО РАСЦЕПЛЕНИЯ АВТОМАТИЧЕСКОГО ВЫКЛЮЧАТЕЛЯ

Известно, что автоматические выключатели должны отключаться за времена не более 0,1 с [1] и 0,2 с [2] соответственно под воздействием магнитного расцепителя при возникновении токов КЗ, превышающих уставки срабатывания.

На время срабатывания автоматического выключателя влияют различные параметры. В зависимости от конструктивного исполнения механизма свободного расцепления время срабатывания может быть различным. Рассмотрен случай срабатывания автоматического выключателя, при котором ток КЗ или аномального режима не превышает тока уставки магнитного расцепителя.

Составлена модель механизма свободного расцепления в среде *MatLab*, с помощью которой рассмотрено влияние различных факторов на время срабатывания автоматического выключателя:

- количество передаточных звеньев;
- номинальный ток автомата;
- пружины отключения;
- пружины контактные.

На основании требований к быстродействию механизма свободного расцепления токоограничивающих автоматических выключателей будут выявлены факторы, обеспечивающие это. Выявлены факторы, оказывающие наибольшее влияние на динамику срабатывания механизма свободного расцепления.

Литература

1. ГОСТ Р 50345–99. Аппаратура малогабаритная электрическая. Автоматические выключатели для защиты от сверхтоков бытового и аналогичного назначения.
2. ГОСТ Р 50030.2–2010. Аппаратура распределения и управления низковольтная. Часть 2. Автоматические выключатели.

МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМА СКАЧКООБРАЗНОГО ПЕРЕКЛЮЧЕНИЯ В ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ АППАРАТЕ

При редком срабатывании электрического аппарата в механических соединениях его звеньев под действием внешней среды происходят старение материала, его окисление, вследствие чего возможна авария, вызванная блокировкой аппарата. Целью работы было исследование поведения механизма скачкообразного перемещения автоматического выключателя при повышении значения коэффициентов трения в его сочленениях для выявления шарнира, в котором с большей вероятностью происходит заклинивание устройства.

Был изучен и проанализирован механизм сильноточного автоматического выключателя низкого напряжения «Masterpact NW» производства компании «Schneider Electric». В пакетах MatLab (библиотеки SimPower-Systems и SimMechanics) [1] и COMSOL Multiphysics был смоделирован механизм автоматического выключателя (рис 1, а).

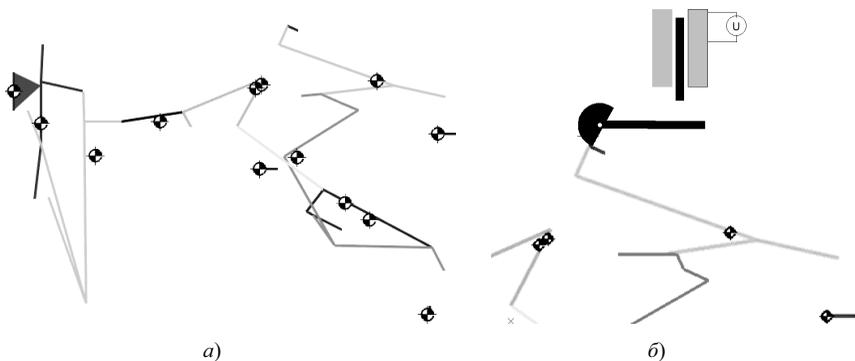


Рис. 1. Механизм автоматического выключателя в пакете MatLab

Дополнительно моделируется электромагнитный толкатель, благодаря которому происходит срыв защелки и начинается процесс отключения аппарата (рис 1, б). Основной задачей являлось нахождение зависимости срабатывания защелки от воздействия приложенных сил.

В результате исследования было выявлено, что сухое трение оказывает наиболее значительное влияние в момент трогания механизма с места. Результат моделирования подтвердил результаты реального исследования.

Литература

1. Щербаков В.С., Корытов М.С. Моделирование и визуализация движений механических систем в MatLab. Омск: СибАДИ, 2007.

РАЗРАБОТКА ОПТИМИЗАЦИОННОЙ МОДЕЛИ ДУГОГАСИТЕЛЬНЫХ КОНТАКТОРОВ

Сформулированы требования, предъявляемые к дугогасительным устройствам при проектировании контакторов постоянного тока. Эти требования зачастую противоречивые, что требует постановки и решения оптимизационной задачи.

Даются понятия критериев качества, параметров оптимизации, ограничений 1-го и 2-го рода. Формулируется задача параметрической оптимизации [1].

Важную роль играют разработка математической модели дугогасительного устройства, в нашем случае – ДУ постоянного тока, и выбор программного обеспечения для решения задачи оптимизации [2].

С этой целью было выбрано программное средство *MatLab Simulink*, на котором будет реализована модель параметрической оптимизации ДУ постоянного тока низкого напряжения. В модели использован редактор дифференциальных уравнений DEE и решатель *ode4* с шагом интегрирования $1e-5$ с [3].

На рис. 1 приведен пример реализации условий дугогашения в цепи постоянного тока с использованием программного комплекса *MatLab*.

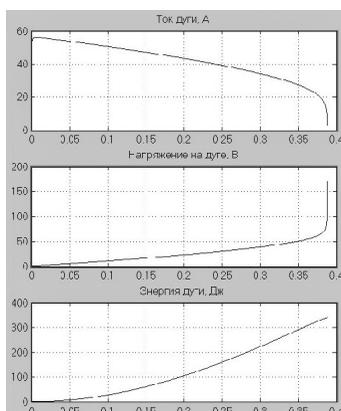


Рис. 1. Осциллограмма отключения цепи постоянного тока при горении дуги

Литература

1. **Электрические** и электронные аппараты. В 2 т. Т. 1. Электромеханические аппараты: учебник для студ. высш. учеб. заведений / Е.Г. Акимов и др.; под ред. А.Г. Годжелло, Ю.К. Розанова. М.: Издательский центр «Академия», 2010.
2. **Акимов Е.Г., Попова Е.П.** САПР контакторов. М.: Изд-во МЭИ, 1993.
3. **Акимов Е.Г.** Проектирование дугогасительных устройств контакторов. М: МЭИ, 1982.

Секция 26

ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА

Председатель секции — зав. каф. АЭП, к.т.н., доцент

А.С. Анучин

Секретарь секции — к.т.н., доцент Д.А. Благодаров

С.Н. Абрамов, студ.; рук. В.Ф. Глазунов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)

О РЕГУЛИРОВАНИИ НАТЯЖЕНИЯ ТКАНИ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПОТОЧНОЙ ЛИНИИ

Современные разработки текстильных технологий позволяют существенно сократить время обработки ткани, уменьшить габариты и повысить производительность поточного оборудования. Решение этой задачи требует совершенствования системы электропривода, обеспечивающего транспортирование ткани и регулирование ее натяжения и вытяжки.

Использование частотно-регулируемого асинхронного электропривода позволяет значительно улучшить по сравнению с традиционно применяемым электроприводом постоянного тока его эксплуатационные характеристики и управляемость процессом транспортирования ткани. Однако традиционное построение системы автоматического регулирования натяжения ткани на входе многовалковых зон не позволяет контролировать вытяжку полотна, обусловленную его вязкоупругими свойствами и накапливающуюся по мере его движения.

Применение устройств, обеспечивающих компенсацию действующих на полотно сил сосредоточенного и распределенного трения, позволяет выровнять эпюру натяжения полотна вдоль поточной линии и таким образом устранить неконтролируемость вытяжки. Однако все это ужесточает требования к динамическим характеристикам электроприводов, обеспечивающих заданное натяжение полотна на участках межвалковых зон.

Как показал анализ переходных процессов в системе электропривода двухмашинного агрегата при задании натяжения необходимо учитывать ее быстродействие, а также скорость движения ткани и параметры зоны деформации. Указанные параметры во многом определяют выбор математической модели процесса деформации обрабатываемого полотна.

Традиционное построение системы стабилизации натяжения ткани с использованием петлеобразователя не обеспечивает управление ее вытяжкой, так как при заданном соотношении скоростей на входе и выходе зоны деформации естественная вариация плотности и модуля упругости полот-

на приводит к уменьшению указанного соотношения скоростей и вытяжки. Автором данная задача была решена при помощи синтеза двухконтурной системы регулирования вытяжки, имеющей внутренний контур стабилизации натяжения.

В условиях неустойчивости параметров объекта регулирования универсальным средством измерения натяжения является петлеобразователь, правильный выбор конструкции и параметров которого во многом определяет характеристики всей системы взаимосвязанного электропривода.

Е.С. Аладышева, студ.; рук. М.Г. Бычков, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОРГАНИЗАЦИЯ ИНТЕРФЕЙСА С ОПЕРАТОРОМ АСУТП НА БАЗЕ ПЛК И ЦИФРОВОГО ИНДИКАТОРА СМИ2

В настоящее время перспективным решением задач, связанных с организацией интерфейса с оператором в АСУТП, является применение современных средств визуализации совместно с программируемыми логическими контроллерами. На современном рынке электротехнических устройств имеется большой ассортимент как различного рода панелей оператора с большими возможностями организации системы ввода/вывода необходимой информации, так и простых устройств для отображения отдельных параметров. Все эти устройства связываются с контроллерами системы управления по различным стандартизованным интерфейсам, таким как RS485, CAN, Ethernet и др.

На отечественном рынке также присутствуют подобного рода решения, одним из которых является устройство четырехразрядного цифрового индикатора СМИ2 фирмы ОВЕН [1]. Данный прибор может использоваться в простейших системах с ПЛК, где для работы оператора достаточно одного индикатора, описывающего состояние системы. СМИ2 может также успешно применяться в системах с ПЛК, где на пультах оперативного управления необходимо постоянно и наглядно отображать основные параметры системы: температуру, давление, расход и др.

В ходе работы с данным устройством была проведена разработка и тестирование программных модулей взаимодействия со СМИ2, конфигурирование устройства, настройка простого вывода цифровой информации (целочисленной, с дробной частью, со знаком), вывода цифровой информации с контролем границ индицируемого параметра (мигание индикатора при выходе параметра за пределы). Созданы примеры вывода текстовой и символической информации для обозначения режима работы, а также кодов неисправностей в качестве сообщений об ошибках.

Возможности СМИ2 позволяют этому прибору стать оптимальным решением при переходе от привычной автоматики (локальные регуляторы и пр.) к системам автоматического управления на основе ПЛК, так как привычное представление информации облегчит адаптацию обслуживающего персонала к нововведениям.

Литература

1. **Светодиодный** индикатор СМИ2: руководство по эксплуатации. Электронный ресурс. URL: http://www.owen.ru/uploads/re_smi2_1732.pdf.

*А.В. Алейников, асп.; рук-ли А.Н. Голубев, д.т.н., проф.;
В.А. Мартынов д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА РАДИАЛЬНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ СИЛ СИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ С ПОСТОЯННЫМИ МАГНИТАМИ

Ускоренное развитие техники и технологий диктует ужесточение требований к технико-экономическим показателям современных электроприводов. Одним из таких требований является улучшение его виброшумовых характеристик. Исследования показывают, что радиальная составляющая электромагнитной силы определяет основной уровень магнитных шумов [1].

Как показано в [2], радиальная сила F_r , действующая на зубец в сторону зазора, зависит от квадрата магнитного потока

$$F_r = \frac{\Phi_Z^2}{2\mu_0 S_Z}, \quad (1)$$

где Φ_Z – радиальный магнитный поток, протекающий через наконечник зубца.

Для нахождения магнитного потока необходимо суммировать абсолютные значения магнитных потоков, протекающих через наконечник зубца в разных направлениях:

$$\Phi_Z = \left| \Phi_{\text{ПМ}+} + \Phi_{\text{ЗК}} \frac{S_{Z+}}{S_Z} \right| + \left| \Phi_{\text{ПМ}-} - \Phi_{\text{ЗК}} \frac{S_{Z-}}{S_Z} \right|, \quad (2)$$

где $\Phi_{\text{ПМ}+}$ и $\Phi_{\text{ПМ}-}$ – части магнитного потока, обусловленного действием постоянного магнита от южного (+) и северного (–) полюсов; S_Z – площадь наконечника зубца; S_{Z+} и S_{Z-} – площади зубца, соответствующие потокам $\Phi_{\text{ПМ}+}$ и $\Phi_{\text{ПМ}-}$. Определив заранее методом конечных элементов зависимости $\Phi_{\text{ПМ}+}$, $\Phi_{\text{ПМ}-}$, S_{Z+} , S_{Z-} от угла поворота ротора, возможно в реальном времени вычислять радиальные силы, действующие на зубец машины с учетом реальной геометрии машины, а также насыщения магнитной цепи.

Литература

1. **Голубев А.Н., Лапин А.А.** Многофазный синхронный регулируемый электропривод. Иваново: ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина», 2008.

2. **Иванов-Смоленский А.В.** Электромагнитные силы и преобразование энергии в электрических машинах: учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика». М.: Высшая школа, 1989.

АЛГОРИТМЫ ФОРМИРОВАНИЯ УПРАВЛЕНИЯ С ОГРАНИЧЕНИЕМ ПАРАМЕТРОВ ДВИЖЕНИЯ ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОННЫХ МОДУЛЕЙ

Эффективное ограничение параметров движения исполнительных органов электромеханотронных модулей позволяет формировать траектории переходных процессов, что является одним из основных требований для таких промышленных применений, как станочные и робототехнические системы, крановое и лифтовое оборудование.

Предлагаются алгоритмы ограничения параметров движения для систем позиционирования звеньев промышленных манипуляторов.

В качестве регуляторов положения в системе позиционирования используем различные модификации ПИД регуляторов, которые обеспечивают требуемую динамику по управлению (заданную полосу пропускания, монотонность процессов), а также требуемый порядок астатизма по возмущению.

Ограничение параметров движения в системах позиционирования реализуется либо введением нелинейностей в регуляторы переменных (тока, момента, скорости, положения), либо использованием средств, формирующих сигнал управления на входе системы позиционирования (задатчиков интенсивности). Введение нелинейности (ограничения) в регуляторы приводит, по сути, к появлению в системе переменных структур, переключение которых вызывает негативные эффекты и требует дополнительных мер по организации переключения структур.

Более рациональным видится такой подход, когда заранее формируется сигнал управления с заданными параметрами не только по уровню, но и по динамике изменения. Это позволяет не только контролировать параметры движения исполнительных органов, но и повысить энергоэффективность технологического оборудования.

Предлагаются алгоритмы задатчиков интенсивности: 1-го порядка, обеспечивающие задание положения и скорости движения звена манипулятора; 2-го порядка, формирующие траекторию изменения положения с заданной скоростью и ускорением.

Моделирование систем позиционирования и манипулятора в среде Simulink позволило дать рекомендации по применению алгоритмов на практике. Предложена аналоговая реализация алгоритмов, а также микропроцессорная реализация с использованием *DSP* контроллеров.

И.Ю. Баганов, В.А. Замков, студенты; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

АСТАТИЧЕСКИЕ РЕГУЛЯТОРЫ И НАБЛЮДАТЕЛИ НАГРУЗКИ В ЭЛЕКТРОМЕХАНОТРОННЫХ МОДУЛЯХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ

Совершенствование характеристик электроприводов, входящих в состав современного оборудования и средств автоматики, является не только актуальной, но и увлекательной задачей для молодых исследователей, так как требует применения многих отраслей инженерных знаний (математики, механики, электротехники, информатики и кибернетики).

При выборе принципа построения для реализации систем управления электромеханотронными модулями, работающими в условиях действия возмущений, всегда рассматривается альтернатива:

- астатические системы управления, которые обеспечивают отсутствие ошибки регулирования при возмущении определенной формы;
- системы комбинированного управления, обладающие регулятором с обратной связью для обеспечения заданной динамики по управлению и контур компенсации возмущения.

Авторы предлагают использовать в одной системе оба подхода с целью достижения максимальной эффективности при устранении негативного влияния возмущения на качество регулирования.

Рассмотрена система позиционирования электромеханотронного модуля с механической нагрузкой произвольной формы, содержащая регулятор положения и контур компенсации механической нагрузки. Регулятор положения содержит входной фильтр и модифицированный ПИД регулятор с 2-кратным интегрированием, что придает системе позиционирования свойства астатизма 2-го порядка. Контур компенсации включает в себя наблюдатель нагрузки, компенсацию нулей передаточной функции наблюдателя, компенсацию инерционности контура момента электропривода.

Расчет параметров всех элементов системы проведен с использованием стандартного распределения корней по Бесселю исходя из обеспечения максимальной монотонности процессов и достижения заданной полосы пропускания.

Всесторонние исследования системы в *Simulink* подтвердили обоснованность принятых технических решений.

Близки к завершению работы по микропроцессорной реализации комбинированной системы позиционирования на *DSP* контроллере.

Г.И. Бажибин, студ.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОПРИВОД ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКОГО НАКОПИТЕЛЯ ЭНЕРГИИ ДЛЯ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫБЕГА ДВИГАТЕЛЕЙ ГЦНА

При проектировании новой реакторной установка СВБР-100 мощностью 100 МВт предъявляются повышенные требования к безопасности и надежности работы как самой установки, так и к электроприводу ее главных циркуляционных насосных агрегатов (ГЦНА).

Сформулированы следующие требования к системе электропривода на базе синхронный генератор – двигатель. Система должна обеспечивать надежную работу ГЦНА во всех технологических и эксплуатационных режимах, включая аварийные режимы при отключении питания электрооборудования электромеханическим накопителем энергии (ЭМНЭ) с учетом сохранения питания элементов систем управления и возбудителей генераторов от бесперебойного источника питания 380В. Разгон синхронного генератора-двигателя на номинальную скорость должен выполняться в его двигательном режиме при питании от преобразователя частоты.

При полном обесточивании энергоблока и при обесточивании собственных нужд необходимо снижение вращения ГЦНА по линейному закону от исходного значения до $0,2\omega_{\text{ном}}$, работу привода в течение заданного промежутка времени обеспечивает система обеспечения выбега (СОВ) с ЭМНЭ. Максимальная скорость снижения частоты вращения составляет $0,03\omega_{\text{ном}}/\text{с}$. С целью снижения массы электродвигателя ГЦНА принята конструкция с выносным, отдельным от электродвигателя, маховиком.

В работе будет представлено обоснование выбора мощности и исполнения электродвигателя, дана сравнительная оценка различных преобразователей частоты для данного применения, а также приведены статические и динамические характеристики системы электропривода.

*А.С. Белов, студ. (НГТУ им. Р.Е. Алексеева);
рук. О.В. Крюков, к.т.н., доц., гл. спец.
(ОАО «Гипрогазцентр», г. Н. Новгород)*

ТЕХНОЛОГИЧЕСКИ СВЯЗАННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД ГАЗОПЕРЕКАЧИВАЮЩИХ АГРЕГАТОВ

Энергоэффективная работа компрессорных станций (КС) магистральных газопроводов (МГ) определяется технологической совместимостью всех (от 4 до 9) параллельно работающих электроприводов газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА). Неидентичность характеристик отдельных нагнетателей и электродвигателей вызывает соответствующую неравномерность распределения нагрузок между ними [1]. Известно, что в случае параллельного включения неравномерно нагруженных ЭГПА они потребляют различные токи и развивают различные электромагнитные моменты (вплоть до перехода в зону помпажа или турбодетандерный режим).

При параллельной работе нескольких ЭГПА на один трубопровод, если скорость вращения их одинакова (это соответствует нерегулируемому режиму синхронных двигателей), общая рабочая точка определяется пересечением их суммарной механической характеристики с характеристикой МГ. ЭГПА при этом могут работать с разными производительностями (особенно при наличии задвижек), значения которых обратно пропорциональны жесткости каждой индивидуальной характеристики.

Согласование нагрузок технологически связанного электропривода на оптимальном по энергетическим критериям уровне (при уменьшении их производительности) возможно двумя способами [2]:

- пропорциональным снижением скорости всех ЭГПА;
- снижением, но более значительным, скорости одного ЭГПА.

В результате анализа показано, что применение в составе группы ЭГПА одного частотно-регулируемого привода (ЧРП) позволяет расширить диапазон устойчивой работы МГ и идеально согласовать характеристики агрегатов по загрузке с высокими энергетическими показателями.

Так, при снижении производительности МГ на 5 % номинала с помощью ЧРП экономится до 1,05 МВт потребляемой мощности, а при 10 % – более 1,74 МВт. Кроме того, зависимость экономии электроэнергии от расхода для цехов КС существенно нелинейна с провалом в области расхода 81 млн м³/сут., наличие которого обусловлено нелинейностью характеристики конкретного турбонагнетателя в этой зоне регулирования.

Литература

1. **Крюков О.В., Хлынин А.С., Белов А.С.** Моделирование работы электроприводов газоперекачивающих агрегатов // Труды VIII МНТК АЭП-2014. Саранск: Изд-во Мордов. ун-та, Т. 2, 2014. – С. 414–419.
2. **Электроприводы** объектов газотранспортных систем: монография / под ред. О.В. Крюкова. Нижний Новгород: Исток, 2013. Т. 4.

МИКРОСЕРВОПРИВОДЫ МЕХАТРОННЫХ СИСТЕМ

Микросервоприводы являются неотъемлемой частью элементов управления движением таких сложных мехатронных объектов, как мобильные роботы и беспилотные летательные аппараты различной конструкции. Причем точность поддержания заданного углового положения выходного вала микросервопривода напрямую определяет устойчивость режимов работы, а также возможность обеспечения выполнения указанным оборудованием требуемой технологической операции. В этой связи задача анализа принципов работы мехатронных модулей, построенных на базе микросервоприводов, с целью разработки практических рекомендаций для их выбора и применения представляет существенный интерес.

Основными требованиями, предъявляемыми к микросервоприводам являются:

- обеспечение точного, откалиброванного движения и усилия органам управления;
- быстрота отработки движения при изменении задающего сигнала с дистанционного пульта управления;
- помехозащищенность электрических элементов микросервопривода;
- способность жестко сохранять положение рабочих органов управления в режиме удержания.

В общем случае рассматриваемый нами мехатронный модуль включает в себя: двигатель постоянного тока; *MOSFET*-модуль, состоящий из двух плеч по два транзистора в каждом; редуктор с высоким передаточным числом; потенциометр обратной связи по угловому положению рабочего вала; микропроцессорную плату, организующую алгоритм управления; качалку (плечо), исполнение и параметры которой могут варьироваться в зависимости от задач и способа монтажа; помехозащищенный корпус.

В работе представлен подробный анализ кинематической схемы механической части микросервопривода, приведено описание принципиальной схемы электрической части, а также рассмотрены алгоритмы микропроцессорного управления положением выходного вала.

Для более глубокого понимания принципов работы микросервопривода нами было проведено его математическое моделирование в среде *Simulink MatLab*.

Анализ результатов моделирования подтвердил высокие динамические характеристики микросервоприводов, что обуславливает целесообразность их применения в мобильных робототехнических комплексах, а также позволил разработать методику выбора мехатронных модулей робототехнических систем.

ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ ГАЗОТУРБИННОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В последние годы газотурбинные электростанции (ГТЭС) получили широкое распространение. Они используются в качестве основного или резервного источника питания, автономно, параллельно с другими источниками электроэнергии или параллельно с энергосистемой. В них предусмотрена также возможность утилизации тепла выхлопных газов.

В докладе рассматривается электрооборудование ГТЭС-2,5 образца 2012 года производства ОАО «ОДК–ГАЗОВЫЕ ТУРБИНЫ» (рис. 1).

В состав основного электрооборудования ГТЭС-2,5 входят турбогенератор с системой возбуждения КОСУР-220 производства ЗАО «РУСЭЛПРОМ» и комплектные высоковольтное и низковольтное устройства. Для снижения трудоемкости монтажа и повышения удобства обслуживания внедрена конструкция системы запуска ГТЭС-2,5, состоящая из двух взрывозащищенных электростартеров взамен ранее применяемой системы, состоящей из трех стартеров.

С 2010 года электростанции ГТЭС-2,5 комплектуются усовершенствованной системой автоматического управления (САУ) ЭЛАР-ЭСТ-01-01 производства ООО «ВФ «Элна», отличительные особенности которой отражены в докладе.

Новизна работы заключается в результатах сравнительного анализа базовой и усовершенствованной САУ ГТЭС-2,5.

Личный вклад автора состоит в систематизации информации по электрооборудованию энергетического блока ГТЭС.

Материалы доклада могут использоваться при подготовке выпускных квалификационных работ бакалавров направления подготовки 140400, профиль «Электропривод и автоматика».

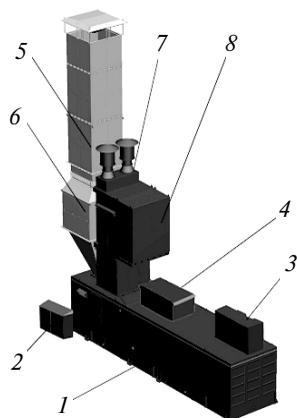


Рис. 1. Основное оборудование ГТЭС-2,5:

1 – блок энергетический; 2 – подсистема топливопитания; 3 – аппарат воздушного охлаждения масла; 4 – блок воздухоочистки турбогенератора; 5 – выхлопная система; 6 – утилизационный теплообменник; 7 – блок вентиляторов; 8 – комплексное воздухоочистительное устройство (КВОУ)

*Н.А. Глебов, соиск.; рук. А.Б. Виноградов, д.т.н., проф.
(ИГЭУ, г. Иваново)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С АДАПТИВНЫМ ВЕКТОРНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ К ВАРИАЦИЯМ ЭЛЕКТРОМЕХАНИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ДВИГАТЕЛЯ

Ключевыми требованиями к тяговому асинхронному электроприводу являются широкий диапазон регулирования скорости выше номинальной и максимальный КПД. Эти требования обуславливают значительное изменение тока намагничивания, что приводит к существенным вариациям параметров, особенно взаимной индуктивности и постоянной времени ротора. Применение в обмотках машин изоляции класса Н является причиной дополнительных температурных флуктуаций активных сопротивлений. Указанные особенности приводят к работе в области существенных нелинейностей, не учитываемых стандартной моделью Парка–Горева. В ряде режимов, особенно с малым током намагничивания и вблизи холостого хода, расхождение расчетных и реальных характеристик привода велико, что обусловлено влиянием процессов в стали на взаимную ориентацию векторных переменных.

Интегральным критерием точности настройки системы управления выступает точность вычисленного электромагнитного момента относительно суммы фактического момента, механических и дополнительных потерь. Момент на валу двигателя измерен измерительной муфтой, методика определения потерь соответствует ГОСТ Р 53472–2009. Кроме использования зависимости взаимоиндукции в функции тока намагничивания, определяемой по опыту холостого хода, при расчете управления электродвигателем (модуль и угол поворота вектора напряжения на статоре) учтен угол потерь. Это позволяет в первую очередь устранить влияние потерь в стали на взаимную ориентацию обобщенных векторов электромагнитных переменных (потокосцепления, тока, напряжения) и, как следствие, уточнить расчет момента машины. Таким образом, повышается точность динамической обработки задания по моменту, увеличивая общую устойчивость системы управления. Достигнута относительная погрешность расчета момента менее 2 % фактического значения (для момента от 0,5 до 1,0 максимального значения) для всех допустимых скоростей.

Исследования на математической модели и работы на стенде с комплектом тягового электрооборудования для колесного трактора «Беларус-3023» мощностью 300 л.с. Минского тракторного завода показали повышение нечувствительности системы управления к параметрическим возмущениям, улучшение статических и динамических характеристик векторного асинхронного электропривода.

ЭНЕРГЕТИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПЕРЕМЕННОГО НАПРЯЖЕНИЯ С ШИР ПРИ ПИТАНИИ АСИНХРОННОГО ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЯ

Регулирование напряжения на статорных обмотках асинхронного электродвигателя ряда механизмов позволяет без нарушения технологического процесса значительно повысить энергетические показатели электродвигателя (КПД и коэффициент мощности) и формировать пускотормозные режимы [1, 2]. Широко используемые в промышленности преобразователи напряжения с фазовым регулированием обладают сравнительно низкими энергетическими характеристиками, что ограничивает их область применения до осуществления плавного пуска/останова электродвигателя.

Предложена и запатентована силовая схема трехфазного ППН с ШИР (рис.1, а) с более высокими энергетическими характеристиками. Проведено аналитическое и экспериментальное исследование преобразователя при работе на асинхронный электродвигатель и собран опытный образец устройства мощностью 4 кВА. Экспериментально подтверждено, что преобразователь способен обеспечивать высокую электромагнитную совместимость с питающей сетью и электродвигателем в широком диапазоне изменения скорости вращения вала (рис.1, б). Коэффициент мощности преобразователя близок к единице. Коэффициент гармоник потребляемого из сети тока не превышает 10 %, а коэффициент гармоник тока электродвигателя – 2 %.

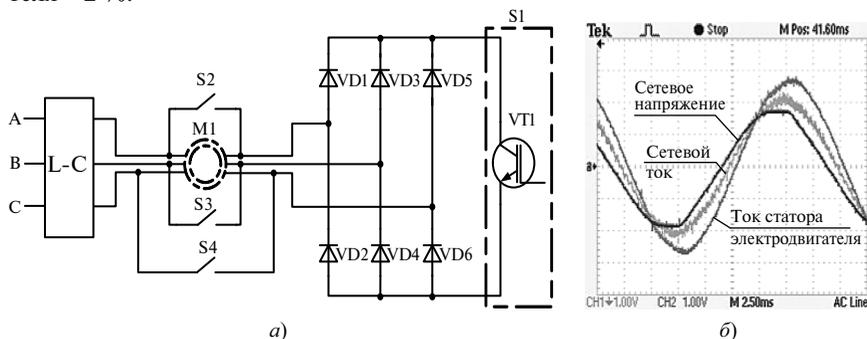


Рис. 1:

а – силовая схема ППН с ШИР; б – осциллограммы токов и напряжений при коэффициенте заполнения 80 % и скольжении $1,8s_{ном}$ (электродвигатель АИР90Л4)

Литература

1. **Браславский И.Я.** О возможностях энергосбережения при использовании регулируемых асинхронных электроприводов // Электротехника. 1998. № 8.
2. **Ляхомский А.В., Бабкин Г.И.** Управление энергетическими ресурсами горных предприятий. М.: Горная книга, 2011.

Д.А. Гришук, студ.; рук. А.С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ГЕНЕРАТОРА ТАКТОВЫХ ИМПУЛЬСОВ НА ОСНОВЕ ТАЙМЕРА LM555

В 2014 году на кафедре АЭП состоялось открытие учебно-консультационного центра АВВ-МЭИ. В лаборатории были установлены частотно-регулируемые приводы двигателей переменного тока, регулируемые приводы постоянного тока. Также появилась возможность освоить методы управления электроприводом с помощью релейно-контакторных схем и программируемых логических контроллеров [1]. Единственным недостатком нового оборудования является отсутствие необходимого оснащения для проведения работ с помощью программируемых логических матриц (далее ПЛМ).

В рамках моей работы проведено сравнение матриц предыдущего поколения с современными и написаны основные рекомендации по работе с ними. В выбранном в качестве примера алгоритме управления также присутствуют и паузы. Поэтому для реализации необходимых в работах циклограмм, требующих организации временных пауз, потребовалось разработать генератор тактовых импульсов, который можно подключить к используемому в стендах оборудованию.

Для реализации генератора тактовых импульсов выбран таймер LM555, который широко используется во всевозможных микроконтроллерах и микропроцессорных устройствах. Для преобразования входного сигнала в прямоугольные импульсы с заданной частотой (такты) осуществлен расчет всей элементной базы генератора (резисторы, конденсаторы и т.д.).

На основе выбранных элементов создана соответствующая схема соединения. Исходя из предоставленного места на плате, имеющихся размеров для подключения генератора в специальной программе P-CAD начерчена принципиальная схема и при помощи возможностей программы осуществлена трассировка для соответствующей пайки. Преимуществом такой схемы является дешевизна, минимальный набор элементов, простота исполнения с хорошим результатом на выходе.

На основе всех подготовительных этапов изготовлен макет вышеупомянутой платы генератора и сняты осциллограммы, показывающие корректность работы данного устройства.

Литература

1. **Терехов В.М., Осипов О.И.** Системы управления электроприводов. М.: Издательский центр «Академика», 2005.

РАЗРАБОТКА УНИВЕРСАЛЬНОГО КОНТРОЛЛЕРА МК 40.1 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ТЯГОВЫМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ НА ОТЕЧЕСТВЕННОЙ ЭЛЕМЕНТНОЙ БАЗЕ

Последние несколько лет российская микропроцессорная техника ускоренными темпами сокращает разрыв между отечественной элементной базой и зарубежными лидерами в данной области промышленности.

В связи с этим, а также с тем, что основные стратегически важные объекты и объекты военно-промышленного комплекса в случае прекращения поставок зарубежной микроэлектроники должны оставаться ремонтпригодными или быть переведены на отечественную элементную базу в кратчайшие сроки, перед автором данной работы была поставлена задача – разработать контроллер на отечественной элементной базе МК40.1.

Данный контроллер по своей функциональности должен полностью соответствовать своему аналогу на зарубежных элементах (МК17.5 фирмы ООО «НПФ ВЕКТОР», который успешно использовался для реализации управления машинами с электрической трансмиссией) и в некоторых аспектах даже превосходить его. Для реализации данного контроллера был выбран 32-разрядный высокопроизводительный микроконтроллер НПЕТ-МС01 фирмы ОАО «НИИЭТ» на базе ядра ARM Cortex-M4F с периферией, специализированной под задачи управления электроприводом, с производительностью не менее 125 млн инструкций в секунду.

Учитывая наличие специализированной периферии, а также высокой производительности данного микроконтроллера, получилось разработать устройство, способное работать с самыми передовыми высокопрецизионными системами управления цифровым электроприводом, в том числе и векторным управлением любыми вентильно-индукторными двигателями.

Благодаря улучшенной периферии (по сравнению со своими зарубежными аналогами) универсальный контроллер МК40.1 может наравне конкурировать с новейшими разработками на зарубежных процессорах, такими как TMS320F28335 фирмы Texas Instruments, способными выполнять до 300 млн операций в секунду.

Так как часть отечественных интегральных микросхем находятся в стадии разработки/тестирования, то некоторые цепи также были продублированы и на зарубежных элементах. В перспективе с учетом текущих разработок отечественных производителей все узлы могут быть сконструированы полностью на отечественной элементной базе без потерь в каких-либо аспектах.

*А.М. Журавлёв, Д.А. Сычёв, С.И. Кинас, аспиранты;
рук-ли Ю.С. Усынин, д.т.н., проф.; М.А. Григорьев, д.т.н., проф.
(ФГБОУ ВПО ЮУрГУ (НИУ), г. Челябинск)*

ЭЛЕКТРОПРИВОД С СИНХРОННОЙ РЕАКТИВНОЙ МАШИНОЙ С НЕЗАВИСИМЫМ УПРАВЛЕНИЕМ ПО КАНАЛУ ВОЗБУЖДЕНИЯ

Общепринятой точкой зрения, которая содержится в традиционных учебниках по электрическим машинам и электроприводам с 20-х годов и по настоящее время, является утверждение, что реактивные двигатели – это двигатели, которые по своим энергетическим, силовым и прочим характеристикам уступают типовым синхронным и асинхронным машинам. Но все дело в том, что это утверждение справедливо для сетевых электроприводов.

Положение принципиально изменилось в 90-е годы прошлого века, когда широко стали внедряться IGBT транзисторы и микропроцессорные системы управления.

Следует обратить внимание на работы американца Т. Лиро и его школы, которые предложили новый тип электрической машины – синхронную реактивную машину с независимым возбуждением (СРМНВ) в английской терминологии Field Regulated Reluctance Machine (FRRM).

У некоторых авторов возникают опасения, что моменты, которые развивает СРМНВ, будут недостаточными по сравнению с типовыми синхронными и асинхронными электроприводами.

Однако, как показали наши теоретические исследования [1], а затем и эксперименты, в длительном режиме работы (если ограничить момент условиями нагрева обмоток) этот привод имеет номинальный момент на 15...20 % больше, чем асинхронный частотно регулируемый привод того же габарита и той же линейной плотности тока. Эти данные хорошо согласуются с результатами западных авторов.

Вторая экспериментально подтвержденная особенность – это высокая перегрузочная способность привода: дело в том, что эту теорию привода можно рассматривать как теорию двигателей постоянного тока. Величины перегрузок у них высокие и ограничиваются коллектором, а здесь он отсутствует. В лабораторных условиях получены пятикратные перегрузки.

Литература

1. **Математическая** модель электропривода с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Е.В. Белоусов, А.М. Журавлёв, Д.А. Сычёв, С.И. Кинас // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия «Энергетика». 2014. Т. 14. № 1. С. 66–70.

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

РАЗРАБОТКА АЛГОРИТМОВ УПРАВЛЕНИЯ МЕХАТРОННЫМИ СИСТЕМАМИ НА ОСНОВЕ ПРОЦЕССОРА NXT

Одной из проблем при выполнении исследований мехатронных систем является отсутствие удобных полнофункциональных инструментов для программирования алгоритмов управления движением.

В работе рассматриваются вопросы использования программных и аппаратных средств для исследования неустойчивых мехатронных систем. Основой для построения системы стал комплект *Mindstorms NXT* версии 2.0, управляемый с помощью персонального компьютера.

Стандартное программное обеспечение, входящее в комплект поставки, не позволяет реализовать более сложные алгоритмы управления, поскольку поддерживает только линейное выполнение операций. Использование программного обеспечения сторонних разработчиков как в текстовом, так и в графическом режиме, не всегда возможно по причине трудностей его сопряжения с уже имеющимися моделями и законами управления.

Поэтому проведено исследование возможности и эффективности применения в качестве программной среды для управления роботом комплекса *MatLab* с использованием пакета расширения *Mindstorms NXT Toolbox* посредством последовательного интерфейса *Bluetooth* или через *USB*-соединение. Благодаря данному программному обеспечению возможно управлять роботом *Mindstorms* в реальном времени.

В качестве примера неустойчивого объекта выбран робот *Segway* (электрический самобалансирующийся двухколесный скутер) с гиросtabilизатором [1]. Важным элементом системы является датчик *dIMU*, определяющий ускорение, угол наклона и скорость вращения и сочетающий в себе гироскоп и акселерометр в одном устройстве. Оба датчика (и акселерометр и гироскоп) выдают показания по трем осям. Акселерометр имеет три предела измерения: $\pm 2g$, $\pm 4g$ и $\pm 8g$. Гироскоп также работает в трех различных пределах измерения: ± 250 , ± 500 и $\pm 2,000$ градусов в секунду. Он имеет настраиваемую нулевую точку и очень малый дрейф.

Благодаря сочетанию аппаратных и программных средств на базе *MatLab* подготовлены и программно реализованы алгоритмы управления движением неустойчивых объектов. Выявлена целесообразность использования расширения комплекса *MatLab* для проведения исследований мехатронных систем и возможность применения его в учебном процессе.

Литература

1. Кремлев А.С., Зименко К.А., Боргуль А.С. Моделирование и программирование робототехнических комплексов. СПб., 2013.

ПРАКТИЧЕСКОЕ ПРИМЕНЕНИЕ СТАНДАРТНЫХ ФОРМ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ КОРНЕЙ В СИСТЕМАХ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Всестороннее исследование характеристик стандартных форм, а также разработка методик их применения при формировании динамических свойств элементов систем электропривода обладают определенной актуальностью.

Рассмотрена разработка статических и астатических систем позиционирования звеньев манипулятора промышленных роботов. Основными требованиями к системе позиционирования являются:

- полоса пропускания системы управления;
- монотонность переходных процессов.

Выполнено сравнение временных и частотных характеристик наиболее актуальных для электроприводов стандартных распределений:

- по биному Ньютона;
- по Баттерворту;
- по Бесселю;
- по Баттерворту-Томпсону.

Новизной исследования является то, что все исходные значения корней распределений приведены к частоте пересечения ЛАЧХ уровня -3 дБ, включая распределение по биному Ньютона. Также впервые для всех распределений получены характеристики времени группового запаздывания. Постоянство этой характеристики в полосе пропускания системы оценивает искажение системой входного сигнала.

Кроме того, отличительной особенностью исследований является то, что были получены и подвергнуты анализу частотные характеристики систем позиционирования по возмущению, что особо важно при анализе систем с астатизмом 1-го и 2-го порядка.

Проведенные исследования позволяют рекомендовать для практического применения как в системах позиционирования, так и в иных типах систем, настройку параметров на стандартные распределения по Бесселю. Причем, чем выше порядок системы, тем больше преимущество распределения корней по Бесселю перед другими вариантами.

При исследовании характеристик и синтезе систем позиционирования использовались символьные возможности *MathCAD* и средства линейного анализа *MatLab*.

*Г.И. Иноземцев, студ.; Л.Н. Рассудов, асп.;
рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ВИЗУАЛИЗАЦИИ РАБОТЫ КОМПЛЕКТНОГО ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПАКЕТА МАТЛАБ

Эксплуатация и настройка современных электроприводов невозможна без высокоразвитого пользовательского интерфейса. К пользовательскому интерфейсу традиционно предъявляются повышенные требования как по функциональности и удобству отображения и анализа информации, так и по надежности, безопасности в эксплуатации, защите от случайных ошибок пользователя.

Использование библиотек таких программных пакетов как MatLab позволяет существенно сократить время разработки интерфейса за счет применения мощных стандартизированных средств визуализации, математического аппарата и поддержки широкого спектра аппаратных средств. Разработка верхнего уровня может проводиться как целиком в среде MatLab, так и с использованием стандартных средств разработки и подключением необходимого функционала MatLab через библиотеку. Преимущество MatLab состоит в его использовании для решения множества задач в современном электроприводе в качестве среды моделирования и автоматизированной генерации программного кода [1], следовательно, он знаком широкому кругу специалистов.

В ходе работы был создан графический интерфейс-надстройка к программному обеспечению «Серводрайв» комплектных линейных электроприводов серии ЭЛК, разработанных на кафедре АЭП НИУ «МЭИ» [2], позволяющий выполнять построение графиков физических величин на основании информации, получаемой от привода. Анализ и представление данной информации стали намного более удобными при относительно невысокой трудоемкости разработки.

Использование пакета прикладных программ MatLab для разработки интерфейса комплектных линейных электроприводов может быть обосновано при необходимости быстрого прототипирования интерфейса.

Литература

1. **Балковой А.П., Рассудов Л.Н.** Системы на кристалле: новые возможности управления сервоприводом // Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводе АЭП-2014. Саранск, 2014. Т. 1. С. 384–388.
2. **Новые** разработки линейного сервопривода на кафедре АЭП НИУ «МЭИ» / А.П. Балковой, Л.Н. Рассудов, Г.А. Сливинская и др. // Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводе АЭП-2014. Саранск, 2014. Т. 2. С. 13–17.

*В.К. Капитонец, студ.; Л.Н. Рассудов, асп.;
рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

МЕТОДИКА ИДЕНТИФИКАЦИИ КАЛИБРОВОЧНОЙ ТАБЛИЦЫ СИЛЫ ПРЕЦИЗИОННОГО ЛИНЕЙНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

В прецизионном машиностроении для реализации быстрых высокоточных перемещений в режиме воспроизведения траектории (лазерная резка, электроэрозионные, шлифовальные станки) нашли широкое применение электрические приводы с рабочим органом, жестко соединенным с электрической машиной – прямые приводы [1]. Значительная гибкость управления, высокие энергетические и массогабаритные показатели обеспечиваются за счет применения синхронной машины (линейной или вращательной) в режиме вентильного двигателя (ВД). Теоретически такие электроприводы обладают высокой динамикой, жесткостью, плавным ходом и широкой полосой пропускания.

С целью достижения высоких сил при реализации линейных перемещений, как правило, используются пазовые линейные синхронные машины, недостатком которых является наличие внутреннего возмущения в виде зубцовой силы. Величина возмущающей силы может достигать значений в несколько процентов номинальной силы и зависит от положения, а ее частота меняется в зависимости от скорости движения электропривода. Проявления зубцовой силы негативно сказываются на качестве движения электропривода (ухудшается плавность движения, понижается диапазон регулирования скорости, возможно проявление резонансов в механической части, основании), но могут быть компенсированы за счет системы управления электроприводом.

Одним из эффективных методов компенсации влияния зубцовой силы является калибровка силы электропривода. Настоящая работа посвящена методике идентификации и особенностям получения калибровочной таблицы силы.

Разработка была внедрена в серию электроприводов серии ЭЛК мощностью 1, 4 и 8 кВт для прецизионного машиностроения, разработанную на кафедре АЭП МЭИ, где доказала свою эффективность.

Литература

1. **Балковой А.П., Цаценкин В.К.** Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Балковой А.П., Рассудов Л.Н.** Система управления прямого прецизионного электропривода // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71. С. 52–55.

*В.Д. Карачев, асп.; рук-ли А.Н. Голубев, д.т.н., проф.;
В.А. Мартынов, д.т.н., проф. (ИГЭУ, г. Иваново)*

МНОГОФАЗНЫЙ СИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С УЛУЧШЕННЫМИ ВИБРОШУМОВЫМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ

Широкие возможности целенаправленного воздействия на конфигурацию магнитного поля, а следовательно, на виброшумовые характеристики, открывает увеличение числа фаз статорной обмотки, что позволяет оптимизировать целый спектр других технико-экономических показателей электропривода (ЭП) [1].

Снижение шумов и вибраций путем применения многофазных машин ($m > 3$) обусловлено уменьшением тангенциальных сил, вызванных пульсациями электромагнитного момента СД. Это связано с тем, что увеличение числа фаз статорной обмотки вызывает разрежение гармонического состава поля в направлении устранения из него асинхронных гармоник при относительном возрастании синхронных, обуславливающих появление дополнительных постоянных составляющих электромагнитного момента.

Другой причиной возникновения вибраций является действующая в любой точке воздушного зазора радиальная магнитная сила, величина которой пропорциональна квадрату индукции в зазоре. Эта сила вызывает динамические деформации статорного кольца, которые соответственно являются источником магнитных шумов [2].

При рассмотрении вопроса улучшения виброшумовых показателей ЭП следует поставить задачу компромиссной минимизации действующего значения тока статора и магнитных шумов при сохранении требуемого электромагнитного момента. Решение этой задачи разбивается на два этапа. На первом определяются значения поперечных составляющих приведенных спектральных векторов тока статора. На втором этапе определяется продольная составляющей первой гармоники тока статора. Рассчитанные функциональные зависимости вводятся в многоканальную САУ многофазными СД с улучшенными виброшумовыми характеристиками с помощью функциональных блоков.

Литература

1. **Голубев А.Н., Лапин А.А.** Многофазный синхронный регулируемый электропривод. Иваново: ГОУВПО ИГЭУ, 2008.
2. **Голубев А.Н., Лапин А.А.** Математическая модель синхронного двигателя с многофазной статорной обмоткой // *Электротехника*. 1998. № 9.

Д.С. Карпухина, К.Д. Сучков, студенты;
рук. А.Н. Ладыгин, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ИССЛЕДОВАНИЕ ГАРМОНИЧЕСКИХ ИСКАЖЕНИЙ ТОКА СЕТИ ПРИ РАБОТЕ РЕКУПЕРАТОРА

Применение рекуператора в системе ПЧ-АД является эффективным средством экономии электроэнергии, потребляемой технологическим оборудованием с электроприводом [1]. Однако при использовании рекуператора остро проявляется проблема низкого качества электроэнергии, отдаваемой в сеть в тормозном режиме электропривода из-за сложного гармонического состава сетевого тока. Поэтому актуальными являются исследования, направленные на оценку эффективности средств, снижающих степень этих гармонических искажений.

Авторами были проведены такие исследования с применением лабораторного оборудования Центра обучения «Шнейдер электрик – МЭИ». В данном докладе рассмотрены схемы и методики экспериментов, представлены оценки эффективности применения сетевого дросселя. Оценка эффективности опиралась на определение коэффициента искажения синусоидальности тока сети (THD_1) в схемах с дросселем и без него. Коэффициент рассчитывался путем обработки осциллограмм и получения гармонического спектра тока с помощью компьютерной программы MatLab.

В результате сделан важный для практики проектирования электроприводов вывод о возможности снижения уровня несинусоидальности сетевого тока в два и более раз при применении дросселя. На рис. 1 и 2 приведена наглядная иллюстрация этого вывода, полученная при экспериментах с одним из типов дросселей.

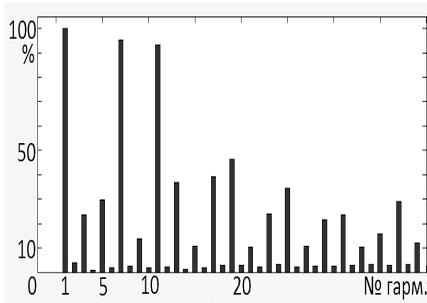


Рис. 1. Гармонический состав сетевого тока без дросселя, $THD = 176\%$

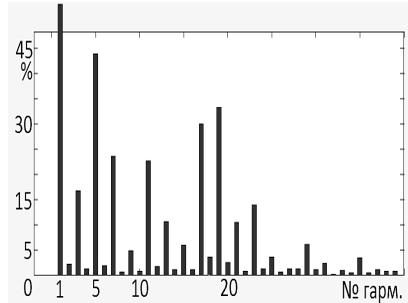


Рис. 2. Гармонический состав сетевого тока с дросселем, $THD = 76\%$

Литература

1. Богаченко Д.Д., Холин В.В., Ладыгин Н.А. Применение опций частотно-регулируемого электропривода в целях использования энергии торможения механизма // Труды МЭИ. 2013. Вып. 689.

Д.В. Корочкова, студ.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОПРИВОД СТЕНДА ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ ГЛАВНОЙ ТРАНСМИССИИ ВЕРТОЛЕТА

Рассматриваемый электропривод предназначен для испытания главной трансмиссии вертолета при имитации различных режимов полета.

Требуемые усилия на входных и выходных валах испытуемого редуктора создаются системой нагрузочных устройств. Особенностью стенда является то, что входные валы испытуемого редуктора приводятся во вращение при помощи современного высоконадежного асинхронного частотно-регулируемого электропривода с цифровой микропроцессорной системой управления и средствами диагностирования его технического состояния.

Электропривод стенда должен обеспечивать энергосбережение в процессе испытаний вертолетных редукторов (рис. 1). Каждый из двух приводных электродвигателей должен выполнять две функции: функцию собственно приводного двигателя, обеспечивающего вращение испытуемого редуктора, а также компенсацию потерь в элементах замкнутого контура нагружения и штатных агрегатах, пристыкованных к испытуемому редуктору; функцию нагрузочной машины, работающей в длительном режиме в энергетически замкнутом электромеханическом контуре (в режиме авторотации). Для питания и управления электроприводом трансмиссии был выбран преобразователь частоты (ПЧ) серии Sinamics G-150 фирмы Siemens.

В работе приводятся расчет параметров и выбор элементов силовой части электропривода, определение статических и динамических параметров электропривода как электромеханической системы, статические и динамические характеристики электропривода.

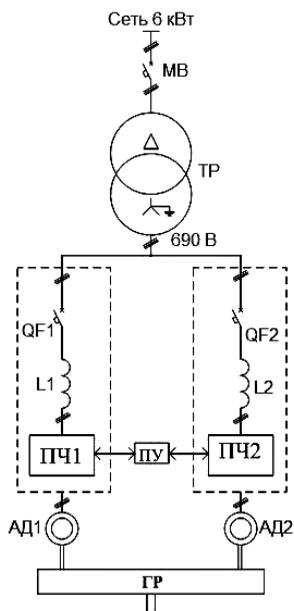


Рис. 1. Функциональная схема электропривода стенда

В.Э. Мельников, студ.; рук. В.Ф. Козаченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА GSM-МОДУЛЯ СВЯЗИ УДАЛЕННОГО МОНИТОРИНГА ДЛЯ ВАГОНА МЕТРО

Задача, стоявшая перед автором работы, заключалась в разработке технического решения для реализации удаленного контроля системами управления электропривода. Разрабатываемое устройство должно обеспечивать обмен информацией с труднодоступными для проводных систем электроприводами, способно работать в тяжелых условиях неустойчивого приема и высокой зашумленности, в том числе в метрополитене.

В качестве основного информационного канала был выбран GSM/GPRS модем, подключающийся по каналу RS-232 к цифровой системе управления и установленный непосредственно на приводе. Модем передает данные на удаленный сервер, используя сотовую связь. Сервер принимает полученные данные, сортирует и сохраняет их в базу данных.

Для обеспечения работы в тяжелых условиях неустойчивого приема было решено использовать две сим-карты разных операторов сотовой связи, чтобы модем мог переключаться в зависимости от того, сеть какого оператора в данный момент надежнее (или в данном месте, в случае применения модема на транспорте).

В ходе работы автором была выбрана элементная база, разработаны конструкция GSM-модема и схемотехника, а также разведена печатная плата. Для управления модемом со стороны цифровой системы управления был написан драйвер. Программный код драйвера был написан с учетом особенностей применения модема на электроприводной технике и тяжелых условий эксплуатации. Также было написано программное обеспечение сервера, обеспечивающее прием и хранение данных, а также стороннее приложение, позволяющее получить удаленный доступ к базе данных с пользовательского компьютера.

В настоящее время система проходит испытания в метрополитене Москвы. GSM-модем испытывается на силовом блоке преобразователя собственных нужд ПСН-24, входящем в состав электрооборудования вагона метро серии 81-760/761 «Ока». GSM-модем смонтирован на данном блоке и обеспечивает связь и диагностику в режиме реального времени. ПСН-24 является наиболее подходящим вариантом для проверки оборудования, так как находится в зоне неустойчивого приема сотовой сети, в условиях сильной зашумленности, а металлический корпус блока затрудняет прохождение сотового сигнала.

А.П. Минаев, студ.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭЛЕКТРОПРИВОД ГЛАВНЫХ ЦИРКУЛЯЦИОННЫХ НАСОСНЫХ АГРЕГАТОВ

Создание реакторной установки СВБР-100 мощностью 100 МВт является пилотным проектом для атомной энергетики России.

Учитывая необходимость повышения безопасности и надежности работы новой установки, к электроприводу ее главных циркуляционных насосных агрегатов (ГЦНА) предъявляется ряд жестких требований, связанных с возможностью аварийных режимов в питающей сети. В частности, при отключениях питающего напряжения работоспособность привода должна сохраняться в течение заданного по технологии времени.

В работе рассматривается асинхронный частотно-регулируемый электропривод ГЦНА, обеспечивающий плавный пуск насосных агрегатов, регулирование частоты их вращения в рабочем диапазоне маневрирования, одновременный пуск и синхронное изменение частот вращения агрегатов, установленных в моноблоке реактора, автоматическое переключение электродвигателей ГЦНА от преобразователей частоты на сеть. Также рассматривается возможность работы привода в течение заданного промежутка времени при аварийных режимах в питающей сети за счет двух маховичных накопителей энергии и дополнительных синхронных генераторов.

Представлены результаты выбора силовых элементов электропривода ГЦНА (преобразователей частоты, асинхронных электродвигателей, синхронных генераторов, маховиков), а также систем управления режимами их работы.

О.М. Морозов, Р.С. Ионов, студенты; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

ЛАБОРАТОРНЫЙ ПРАКТИКУМ ПО РОБОТОТЕХНИКЕ НА *LEGO MINDSTORMS NXT* ДЛЯ ПРОФИЛЯ ПОДГОТОВКИ «ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА»

В десятку наиболее востребованных обществом выпускников входят специалисты в области мехатроники и робототехники. Организация подготовки таких специалистов является актуальной задачей.

Использование интеллектуального конструктора *LEGO Mindstorms NXT* позволяет формировать навыки изучения, конструирования, программирования, монтажа и наладки элементов робототехники.

Лабораторный практикум начинается со следующих этапов:

- знакомство с составом *LEGO Mindstorms NXT*;
- освоение программирования действий проектируемого робота;
- загрузка программ в контроллер *NXT*;
- тестирование исполнения роботом.

Далее студенты изучают датчики осязания, входящих в состав конструктора:

- тактильный датчик;
- датчик освещенности и цветовой сигнализации;
- ультразвуковой сенсор, позволяющий измерять расстояния до предмета и реализовать на движение объектов.

В процессе изучения работы датчиков проводятся эксперименты с программированием опроса датчиков и оценкой их характеристик.

Ключевым моментом лабораторного практикума для студентов профиля подготовки «Электропривод и автоматика» является этап изучения интерактивных электромехатронных модулей движения робота (сервоприводов):

- сенсора движения (датчика положения выходного вала);
- автономной работы сервопривода;
- синхронизации приводов.

Разработка подвижных объектов и манипуляторов является завершением лабораторного практикума. На первом этапе студенты воспроизводят один из «типовых» объектов, следуя детальным инструкциям конструктора. Второй этап посвящен разработке индивидуального задания – объекта робототехники оригинальной конструкции, требующего нестандартных технических решений.

*Т.Н. Морозова, студ.; Л.Н. Рассудов, асп.;
рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)*

ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА СИГНАЛА ОБРАТНОЙ СВЯЗИ ПО ТОКУ ТРЕХФАЗНОЙ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ МАШИНЫ

В современной технике все более широкое применение находят электрические приводы с трехфазными электрическими машинами, работающими в режиме вентильного двигателя [1]. Качество движения таких приводов напрямую зависит от структуры [2], быстродействия системы управления [3], а также от качества сигналов обратной связи, в первую очередь по току.

Известны эффективные методы построения и структуры системы управления, позволяющие существенно повысить точностные и динамические показатели электропривода за счет программных средств [4].

Настоящая работа посвящена анализу возможностей повышения разрешения и помехоустойчивости сигналов обратной связи по току. Рассматриваются варианты синхронизации захвата сигнала обратной связи по току с ШИМ, сопоставляется разрешение обратной связи по току вентильного двигателя при измерении тока в двух и трех фазах электрической машины и различных модификациях координатных преобразований, анализируется возможность применения Сигма-Дельта АЦП.

Предложенные в работе решения были опробованы на макете, где доказали свою эффективность и будут внедрены в комплектные электрические приводы, разрабатываемые в настоящее время на кафедре АЭП МЭИ.

Литература

1. **Балковой А.П., Цаценкин В.К.** Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Балковой А.П., Рассудов Л.Н.** Система управления прямого прецизионного электропривода // Актуальные проблемы современной науки, техники и образования. 2013. Т. 2. № 71.
3. **Балковой А.П., Рассудов Л.Н.** Системы на кристалле: новые возможности управления сервоприводом // Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. Саранск, 2014. Т. 1.
4. **Новые** разработки линейного сервопривода на кафедре АЭП НИУ «МЭИ» / А.П. Балковой, Л.Н. Рассудов, Г.А. Сливинская и др. // Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. Саранск, 2014. Т. 2.

О.С. Николаев, студ.; рук. О.И. Осипов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ МОЩНЫМ СИНХРОННЫМ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМОМ ЭЛЕКТРОПРИВОДОМ ТУРБОМЕХАНИЗМОВ

Особая роль в электроприводах больших мощностей (свыше 250 кВт), применяемых для турбомеханизмов (насосов, турбокомпрессоров) со свойственными для них вентиляторными нагрузками [1], принадлежит высоковольтному частотно-регулируемому синхронному электроприводу. В подобных приводах одной из проблем является согласование всех технологических и энергетических режимов их работы.

Модернизация синхронного электропривода турбомеханизмов связана с установкой не только преобразователей частоты (ПЧ), обеспечивающих регулирование скорости синхронных двигателей (СД), но и с заменой их технически устаревших возбuditелей. При этом для резервирования питания и осуществления технологической надежности работы приводных двигателей требуется сохранять возможность его прямого пуска и работы в нерегулируемом режиме. Применение СД с электромагнитным возбуждением в частотно-регулируемых электроприводах турбомеханизмов создает необходимость формирования его тока возбуждения, обеспечивающего все энергетические и технологические режимы работы системы ПЧ–СД.

В ходе исследований на разработанной автором математической модели СД с электромагнитным возбуждением в режимах пуска, регулирования частоты вращения, переключения его питания с ПЧ на питающую сеть, будут получены результаты моделирования. С учетом результатов моделирования будет реализована система регулирования тока возбуждения СД, обеспечивающая требуемые технологические режимы работы с высокими энергетическими показателями.

Литература

1. **Онищенко Г.Б., Юньков М.Г.** Электропривод турбомеханизмов. М.: Энергия, 1972.

А.В. Новиков, студ.; рук. П.Е. Данилов, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)

ТОЧНОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛА УПРАВЛЕНИЯ РЕВЕРСИВНОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ПО СИСТЕМЕ ТП-Д

При проектировании реверсивного тиристорного преобразователя с совместным управлением группами вентиляей и мостовой схемой выпрямителя максимальное значение ЭДС преобразователя определяется по формуле

$$E_{п.макс} = 1,35U_{2н} \cos \alpha_{мин} .$$

Значение $\alpha_{мин}$ обычно принимают $\alpha_{мин} = 15 \div 20^\circ$, что может привести к значительным ошибкам.

В докладе рассматриваются методика точного расчета угла управления $\alpha_{мин}$, и проверка выбранного трансформатора по условию обеспечения максимально-необходимого значения ЭДС тиристорного преобразователя $E_{п.необх}$.

Необходимая ЭДС преобразователя $E_{п.необх}$ может быть представлена следующим образом:

$$E_{п.необх} = k\Phi_n \omega_{гр} + I_{стоп} R_p ,$$

где k – конструктивный коэффициент двигателя; Φ_n – номинальный поток двигателя; $\omega_{гр}$ соответствует верхней характеристике в замкнутой системе ЭП при стопорном токе; $I_{стоп}$ – стопорный ток якоря, соответствующий моменту $M_{стоп}$; R_p – расчетное суммарное активное сопротивление якорной цепи.

Изложенная в докладе методика позволяет определить угол коммутации γ .

Угол управления $\alpha_{мин}$ равен минимальному углу опережения отпирания вентиляей в инверторной группе $\beta_{мин}$.

При совместном управлении группой вентиляей

$$\alpha_{мин} = \beta_{мин} = \gamma + (2 \div 3)^\circ ,$$

где второе слагаемое учитывает время восстановления тиристором запирающих свойств после окончания протекания тока через тиристор.

Приведенный в докладе метод позволяет точно рассчитать $\alpha_{мин}$ и проверить правильность выбранного трансформатора согласно условию

$$E_{п.макс} \geq E_{п.необх} .$$

*А.В. Новиков, студ.; рук. П.Е. Данилов, д.т.н., проф.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

АСИНХРОННЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД С ИМПУЛЬСНЫМ РЕГУЛЯТОРОМ И ИНВЕРТОРОМ В ЦЕПИ РОТОРА

Наиболее сложные и разнообразные системы электропривода в нефтяной и газовой промышленности характерны для буровых установок.

Изначально для буровых установок с АД с фазным ротором использовался реостатный пуск, при таком пуске вводится добавочное сопротивление в цепь ротора, которое ограничивает пусковые токи. Недостатком этого метода является неэкономичность пуска.

На смену пришла система постоянного тока тиристорный преобразователь – двигатель, которая применяется и в настоящее время.

В последнее время широко стала использоваться система преобразователь частоты – асинхронный двигатель (ПЧ-АД). Недостатками системы являются: относительно высокая стоимость, ключи устанавливаются прямо в силовой цепи, а их количество пропорционально качеству регулирования; а также передача в сеть помех.

Перспективным является асинхронный привод с импульсным регулятором и инвертором в цепи ротора. В цепь ротора двигателя включается неуправляемый трехфазный мостовой выпрямитель, к выходу которого подключена R - или RC -цепь, периодически шунтируемая импульсным регулятором через отсекающий диод и LC -фильтр, включается ведомый сетью инвертор. Регулирование среднего значения ЭДС инвертора и координат электропривода осуществляется путем изменения скважности работы импульсного регулятора.

Данное управление исключает потерю энергии скольжения, что значительно повышает КПД привода. Отсутствует необходимость в установке ПЧ в силовую цепь, управление одним силовым ключом осуществляется на низкой стороне, что значительно снижает затраты. Научная новизна исследования заключается в выявлении основных направлений развития электропривода, а также в обосновании необходимости рекуперации энергии обратно в сеть.

*А.Е. Пивоваров, В.М. Сальникова, студенты;
рук. М.О. Скрипачёв, ст. преп. (СамГТУ, г. Самара)*

ТЕРМИНАЛ ДВУХСТУПЕНЧАТОЙ ТОКОВОЙ НАПРАВЛЕННОЙ ЗАЩИТЫ

В работе рассматривается принцип построения терминала двухступенчатой токовой направленной защиты. Терминал выполняется на 16-битном микроконтроллере MSP430 фирмы Texas Instruments [2]. Микроконтроллер обладает достаточно богатой периферией, что позволяет быстро создавать устройство со сложной логикой действия. Легко реализуется обновление программного обеспечения конкретного устройства. При необходимости контроллер позволяет защитить память от несанкционированного чтения или модификации. Наличие аналого-цифрового преобразователя дает возможность создать компактное устройство, способное вести непрерывный замер тока в контролируемой цепи, отображать результаты замера на жидкокристаллическом дисплее. При превышении током некоторой уставки генерируется сигнал на отключение [1]. В устройстве можно задействовать функцию направления мощности электрической энергии. В этом случае устройство будет срабатывать на отключение не только по уровню тока, но и по направлению активной мощности [2]. Уставки устройства хранятся в специальной микросхеме памяти EEPROM. Также в памяти EEPROM хранится информация о значениях тока отключения и времени отключения.

В настоящее время терминал используется при проведении научных экспериментов. Устройство также может быть использовано при проведении лабораторных работ.

Литература

1. **Евстифеева А.Д.** Семейство микроконтроллеров MSP430x24x(1). Архитектура, программирование, разработка приложений М: Додэка XXI, 2010. – 544 с.
2. MSP430x24x23x, MSP430X24x(1), MSP430x2410 MIXED SIGNAL MICROCONTROLLER SLAS547A – JUNE 2007 – REVISED NOVEMBER 2007.

А.А. Пучков, студ.; рук. В.Н. Остриров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПСН-24 В ЧАСТИ ГАЛЬВАНИЧЕСКИ РАЗВЯЗАННОГО ИСТОЧНИКА ПОСТОЯННОГО НАПРЯЖЕНИЯ

В настоящее время преобразователи собственных нужд типа ПСН-24 применяются в вагонах электропоездов, работающих в тоннелях на действующих линиях метрополитена и на открытых участках пути, электрифицированных постоянным напряжением +750 (+300/–200 В).

Структуру преобразователя ПСН-24 можно разделить на следующие функциональные узлы:

- входной преобразователь напряжения (ВПН);
- источник питания компрессора (ИПК);
- бортовой источник питания (БИП);
- зарядное устройство (ЗУ);
- микропроцессорная система управления (МПСУ).

В данной работе представлена модернизация преобразователя собственных нужд ПСН-24 в части гальванически развязанного источника постоянного напряжения с целью его упрощения и удешевления. Данный узел обеспечивает преобразование напряжения +(540–560 В) постоянного тока в стабилизированное напряжение бортовой сети +80 В для питания низковольтных электрических цепей вагона, включая цепи освещения салона и осушитель для мотор-компрессора вагона.

В результате работы была полностью изменена структурная схема ПСН-24 в части гальванически развязанного источника постоянного напряжения, подобраны и рассчитаны все элементы схемы [1, 2]. При использовании новой схемы преобразователь становится более компактным и дешевым.

Также был собран лабораторный стенд, на котором были проведены испытания ограничителей напряжения нового типа на входе ПСН-24.

Литература

1. **Остриров В.Н.** Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов. М.: Издательство МЭИ, 2008.
2. **Проектирование** электротехнических устройств / В.А. Анисимов, А.О. Горнов, В.В. Москаленко и др. М.: Издательство МЭИ, 2001.

П.А. Пучков, студ.; рук. В.Н. Остриров, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОДЕРНИЗАЦИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ ПСН-24 В ЧАСТИ ИНВЕРТОРА АСИНХРОННОГО ДВИГАТЕЛЯ КОМПРЕССОРА

Данная работа посвящена модернизации преобразователя собственных нужд вагона метро ПСН-24 в части инвертора асинхронного двигателя компрессора с целью снижения себестоимости при сохранении или улучшении технических характеристик.

Преобразователь ПСН-24 используется на электропоездах нового поколения, работающих на действующих линиях метрополитена. Одной из задач преобразователя является плавный пуск и питание асинхронного электродвигателя компрессора [1, 2].

В ходе выполнения данной работы была установлена избыточность мощности применяемого в ПСН-24 трехфазного мостового инвертора и возможность перехода от трех полумостовых модулей на один трехфазный мостовой модуль IGBT. Данное предложение было обосновано расчетами элементов преобразователя – инвертора, снаббера, радиатора [3, 4]. Выполненные расчеты свидетельствуют о реализуемости и эффективности данного предложения при минимальных конструктивных изменениях ПСН-24.

Также в ходе данной работы был исследован входной варистор преобразователя фирмы EPCOS и другой варистор отечественного производства типа ОПН-Н-2* с целью замены. С помощью полученных характеристик была установлена возможность замены импортного варистора, а также целесообразность исключить из схемы подключения ПСН-24 внешний дополнительный резистор.

Литература

1. **Добровольская Э.М.** Электропоезда метрополитена. М.: Издательство «Академия», 2003.
2. **Руководство** по эксплуатации ПСН-24.
3. **Проектирование** электротехнических устройств / В.А. Анисимов, А.О. Горнов, В.В. Москаленко и др. М.: Издательство МЭИ, 2001.
4. **Остриров В.Н.** Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов. М.: Издательство МЭИ, 2008.

Л.Н. Рассудов, асп.; рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРЕДИКТОРА СМИТА ДЛЯ КОМПЕНСАЦИИ ЗАДЕРЖЕК НАБЛЮДАТЕЛЯ СКОРОСТИ ПРЯМОГО ПРЕЦИЗИОННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Синхронная машина с возбуждением от постоянных магнитов в режиме вентильного двигателя характеризуется высокими динамическими показателями, особо востребованными в прецизионных применениях [1]. Для обеспечения высоких эксплуатационных характеристик электрических приводов с такими машинами необходимо наличие высококачественной обратной связи по регулируемым величинам, в частности по скорости. В типовых прецизионных системах отсутствует датчик скорости, и скорость выделяют либо дифференцированием сигнала обратной связи по положению, либо с использованием наблюдателя. Использование наблюдателя скорости позволяет существенно снизить шумы, вызываемые цифровым дифференцированием сигнала положения [2], но у его использования есть и недостатки: задержка, вносимая в обратную связь, относительно сложная структура, зависимость его оптимальных настроек от большого количества параметров.

Введение предиктора Смита позволяет практически полностью исключить задержку, вносимую наблюдателем в обратную связь и негативно влияющую на полосу пропускания электропривода. Кроме того, полученная структура с использованием предиктора оказывается более простой и значительно менее чувствительной к колебаниям параметров. К возможным недостаткам системы можно отнести то, что она не использует в расчетах реальное значение скорости, однако на входе регулятора скорости оказывается величина, равная рассогласованию между заданным и реальным значениями скорости.

Результаты моделирования подтверждают целесообразность использования системы с предиктором Смита в системе с подчиненным регулированием тока, скорости и положения.

Литература

1. **Балковой А.П., Цаценкин В.К.** Прецизионный электропривод с вентильным двигателем. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Новые** разработки линейного сервопривода на кафедре АЭП НИУ «МЭИ» / А.П. Балковой, Л.Н. Рассудов, Г.А. Сливинская и др. // Труды VIII международной (XIX Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу АЭП-2014. Саранск, 2014. Т. 2.

А.А. Рымарева, студ.; рук. А.С. Анучин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

УПРАВЛЕНИЕ ЗАРЯДОМ АККУМУЛЯТОРА ДЛЯ ВЕЛОСИПЕДА

В настоящее время на рынке велосипедов широко распространены модели со встроенным генератором, который преобразует механическую энергию вращения колес в электрическую. Генератор напрямую подключен к нагрузке, что приводит к его быстрому выходу из строя из-за скачков питающего напряжения. В связи с этим между генератором и нагрузкой следует подключить аккумулятор, который будет поглощать лишнюю мощность и подпитывать сеть в промежутки времени, когда генератор не вырабатывает достаточно мощности или даже останавливается на короткое время [1, 2].

Для стабильной работы аккумулятора и продления срока службы интегрируем к нему систему управления его зарядом, которая представляет собой программируемую микросхему семейства bq24401 фирмы Texas Instruments. Микросхема имеет возможность управления зарядом по таймеру, датчик температуры, программируемую струйную подзарядку, что позволит компенсировать саморазряд и продлить срок службы аккумулятора.

В качестве примера велосипедного генератора будем использовать веловтулку фирмы Shimano, встраиваемую в ступицу колеса [3]. На выходе генератора имеем максимальное напряжение 6 В и переменный ток, поэтому в схему следует добавить диодный выпрямитель. Систему необходимо защитить от воды и грязи. Для этого ее придется поместить в водонепроницаемый корпус или расположить внутри рамы велосипеда. Система генератор–аккумулятор–нагрузка является более удобной для пользователя и более экономной в плане расхода электроэнергии.

Литература

1. Хрусталева Д.А. Аккумуляторы. М.: Изумруд, 2003.
2. <http://www.ti.com/>
3. <http://bike.shimano.com/>

*Н.В. Савельев, асп.; рук. В.В. Рожков, к.т.н., доц.
(Филиал МЭИ в г. Смоленске)*

ВАРИАНТЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВЫХОДНОЙ ЧАСТИ ВЕКТОРНЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНЫХ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЕЙ ЧАСТОТЫ

Современные преобразователи частоты рассматриваются как некая комплексная система, сочетающая в себе как силовую часть, построенную на IGBT модулях (как правило), так и управляющую часть.

Помимо необходимости выбора типа системы управления силовыми ключами, необходимо рассматривать градацию высоковольтных преобразователей частоты по числу уровней выходного линейного напряжения. Как правило, здесь выбор проводится согласно двум основным направлениям: экономическая целесообразность (срок окупаемости) и качество выходного напряжения.

Существуют два подхода при построении выходной части системы управления высоковольтным преобразователем частоты. Допустимо формирование сигналов управления транзисторными ключами посредством прямой подачи выходных сигналов регуляторов напряжения на силовые ключи (безусловно, речь идет о приведенных к неподвижной системе координат АВС сигналах), или же применение симплексного алгоритма управления. Его суть состоит в использовании разбиения координатной плоскости на условные треугольники. Вершинами треугольников являются комбинации включения силовых ключей.

В работе рассматриваются аспекты формирования векторного типа системы управления. На первом этапе проводится моделирование системы электропривода, построенной по трехуровневой схеме [1], включая систему управления. Применяется классический вариант формирования выходной части: применение регуляторов для создания управляющих сигналов силовыми ключами. В качестве нагрузок рассматриваются наиболее распространенные типы. На втором этапе моделируется другой вариант формирования системы управления: построение выходной части по симплексному алгоритму. На заключительном этапе сопоставляются показатели работы системы при применении различных алгоритмов, рассматривается целесообразность применения в различных условия.

Литература

1. **Разработка** бестрансформаторного STATCOM на 6,6 кВ на базе пятиуровневого инвертора с экспериментами на опытном образце 200 В, 10 кВА, Hirofumi Akagi, Hideaki Fujita, Shinsuke Yonetani, and Yosuke Kondo // IEEE Transactions on Industry applications. March/April 2008. Vol. 44. No 2.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ НА БАЗЕ ГРАДИЕНТНЫХ МЕТОДОВ ОПТИМИЗАЦИИ

На сегодняшний день в промышленности сформировался спрос на универсальные системы управления, обеспечивающие оптимизацию технологических процессов для широкого спектра различных устройств. В числе таких систем – следящие и позиционные системы [1], посредством оптимизации которых можно добиться существенного увеличения качества выпускаемой продукции.

С этой целью в рамках подобных систем применяется теория адаптивного управления (оптимизация). Одним из наиболее точных и перспективных методов оптимизации является метод градиентного поиска настройки системы.

Выполнено моделирование с использованием градиентного метода наискорейшего спуска совместно с методом штрафных функций согласно критерию (1) (рис. 1). Оптимум найден за 9 итераций:

$$f(x_1, x_2) = \sigma \rightarrow \min, \quad g(x_1, x_2) = t_p, \quad (1)$$

где $f(x_1, x_2)$ – целевая функция; $g(x_1, x_2)$ – штрафная функция; σ – перерегулирование; t_p – время регулирования; x_1, x_2 – параметры оптимизации.



Рис. 1. Поверхность отклика целевой функции

Полученные результаты позволяют судить об успешности и прогрессивности градиентных методов оптимизации в рамках технических систем.

Литература

1. Сиротин А.А. Автоматическое управление электроприводами. М.: Энергия, 1969.

Е.К. Самыгина, студ.; рук. А.П. Балковой, к.т.н., с.н.с. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА СРЕДСТВ ОБНОВЛЕНИЯ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ДЛЯ СЕРВОУСИЛИТЕЛЯ ПРЯМОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Прямые электроприводы имеют большие преимущества перед приводами с кинематическими преобразователями [1]. Наиболее важно создание большой силы без потери скорости и точности. Развитие прямого электропривода происходит в направлении повышения КПД, в том числе за счет использования возможностей микропроцессорной техники, новых методов и алгоритмов прецизионного управления, адаптации и самонастройки.

В настоящее время на кафедре АЭП МЭИ ведутся разработки в области прямого электропривода: образцы линейных и поворотных электрических машин, цифровых сервоусилителей (ЦСУ) на современной элементной базе. Они активно используются, например, в лазерных машинах. Предполагается также использовать данные комплекты ЦСУ в приводах подачи различных станков для металлообработки.

Эти ЦСУ выполнены на базе микроконтроллера TMS320F2812. В комплект программного обеспечения (ПО) ЦСУ планируется включить средства обновления встроенного ПО. Наличие встроенного модуля обновления в программном обеспечении системы позволит оперативно устранять обнаруженные на стадии тестирования или эксплуатации недостатки ПО, а также устранил потребность в дополнительных программах и оборудовании для замены текущей версии ПО на обновленную.

В связи с этим перед автором была поставлена задача создания модуля обновления ПО нижнего уровня для сервоусилителя, разрабатываемого на кафедре АЭП прямого сервопривода.

При создании модуля обновления учитывались следующие требования:

- использование уже имеющихся в составе ПО интерфейсов и протоколов обмена данными;
- полностью автоматический процесс обновления нижнего уровня ПО;
- обеспечение высокой надежности работы модуля [2];
- корректная остановка управляющей программы для обеспечения безопасности оборудования во время обновления.

На данный момент ведутся работы по созданию программного продукта.

Литература

1. **Балковой А.П., Цценкин В.К.** Прецизионный электропривод с вентилями двигателями. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Майерс Г.** Надежность программного обеспечения. М.: Издат. «Мир», 1980.

*М.А. Сибирцев, студ.; рук-ли А.Б. Виноградов, д.т.н., проф.;
В.Л. Чистосердов, к.т.н., доц. (ИГЭУ, г. Иваново)*

СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ТРАНСМИССИЕЙ ГУСЕНИЧНОГО ТРАКТОРА

Данная работа является составной частью работ по реализации электрической трансмиссии гусеничного трактора.

Использование электрической трансмиссии последовательного типа для промышленного трактора взамен механической трансмиссии позволяет получить следующие преимущества:

1. Реализуется автоматическая бесступенчатая трансмиссия, позволяющая получить максимальное использование мощности дизельного двигателя трактора во всем диапазоне скоростей его движения. При этом управление трактором существенно упрощается.
2. Дизельный двигатель трактора используется в режимах максимальной топливной эффективности.
3. Снижается вес трансмиссии и упрощается ее размещение.

В качестве базовой модели трактора для реализации электрической трансмиссии используется промышленный трактор «Беларусь 1502», имеющий дизельный двигатель мощностью 160 л.с. и стандартную механическую трансмиссию. Данная механическая трансмиссия заменяется на электрическую, состоящую из асинхронного генератора, жестко соединенного с валом дизельного двигателя, и бортовые асинхронные тяговые двигатели. При этом сохраняется механическая коробка отбора мощности, также соединенная с валом дизельного двигателя и передающая вращательный момент от него на задний вал отбора мощности.

Система управления электрической трансмиссией в данном случае решает следующие основные задачи:

1. Реализацию общей логики управления электрической трансмиссией и дизельным двигателем.
2. Реализацию управления электрической трансмиссией.
3. Реализацию управления дизельным двигателем в зависимости от мощности, требуемой для реализации управляющих сигналов.

В рамках данной работы автором были предложены алгоритмы определения суммарного значения и распределения по бортам трактора тягового момента в зависимости от положения органов управления для реализации различных режимов движения, определения задающего сигнала дизельного двигателя в зависимости от требуемой мощности с целью получения максимальной топливной эффективности, ограничения мощности, потребляемой трансмиссией, по текущему состоянию дизельного двигателя и имеющейся дополнительной нагрузке.

Д.С. Титов, Л.Е. Малинин, студенты; рук. С.К. Лебедев, к.т.н., доц.
(ИГЭУ, г. Иваново)

РАЗРАБОТКА СИСТЕМ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ ДЛЯ ПРИВодОВ МАНИПУЛЯТОРА *LEGO MINDSTORMS NXT 2.0*

Лабораторный практикум на основе применения интеллектуального конструктора *LEGO Mindstorms NXT* позволяет формировать навыки конструирования, программирования, монтажа и наладки элементов робототехники у студентов бакалавриата, обучающихся по профилю «Электропривод и автоматика».

Основным элементом с точки зрения организации движения робота в пространстве или манипулирования объектами являются интерактивные электромехатронные модули движения (сервоприводы) которые включают в себя:

- электродвигатель;
- понижающий механический редуктор;
- фотозлектрический дискретный датчик положения.

Опытная эксплуатация элементов лабораторного практикума в учебном процессе (дипломное и курсовое проектирование, студенческая научная работа в рамках бакалавриата и магистратуры), а также поиск вариантов тестовых и творческих заданий для контроля знаний выявили определенную ограниченность возможностей сервопривода в условиях стандартного программирования, используемого в конструкторе для контроллера *NXT*.

В сервоприводах промышленных манипуляторов проблему фиксации звена манипулятора после выполнения задания на позиционирование решают либо механическим тормозом, встроенным в двигатель, либо применением самотормозящей механической передачи. Звено может удерживаться на месте замкнутой системой регулирования по положению.

В конструкции сервопривода и базовом программировании *LEGO Mindstorms NXT* такие решения отсутствуют.

Известны специализированные приложения, например для программного комплекса *MatLab*, по разработке систем управления для *LEGO Mindstorms NXT*, а также опыт применения объектно-ориентированного программирования. Такие подходы позволят разрабатывать в том числе и системы позиционирования сервоприводов для построения роботоманипуляторов.

Демонстрируются первые результаты, полученные по этому направлению внедрения *LEGO Mindstorms NXT* в учебный процесс.

ЛАБОРАТОРНЫЙ СТЕНД «ЭЛЕКТРОПРИВОД И АВТОМАТИКА СИСТЕМ ВЕНТИЛЯЦИИ»

Автоматизация систем вентиляции чрезвычайно важна как для производственных зданий, так и для бизнес-центров, развлекательных и торговых центров и других помещений с высокой посещаемостью и проходимостью. Качество, надежность и безопасность работы системы вентиляции зависят в первую очередь от уровня подготовки специалистов, отвечающих за правильный выбор оборудования, его грамотную установку и ввод в эксплуатацию.

Анализ результатов распределения выпускников профиля «Электропривод и автоматика» позволяет сделать вывод о том, что инженерам-приводчикам очень часто приходится решать задачи монтажа и пусконаладки современного вентиляционного оборудования. В этой связи актуальным является разработка лабораторного оборудования, позволяющего будущим специалистам в рамках преподаваемых учебных дисциплин «Элементы систем автоматики», «Электропривод типовых производственных механизмов», «SCADA-системы» освоить принципы функционирования как отдельных узлов электрооборудования и вентиляционной автоматики, так и общие алгоритмы управления системами вентиляции и кондиционирования воздуха.

Проект разрабатываемого нами лабораторного стенда предполагает знакомство со следующими элементами систем автоматики:

- электродвигатель АДЧР63 специального исполнения, предназначенный для питания от преобразователя частоты;
- преобразователь частоты *Vesper E2-8300*;
- программируемый логический контроллер *Pixel*, выступающий в роли контроллера верхнего уровня, обеспечивающего требуемые режимы работы вентиляционной установки;
- импульсный датчик скорости вращения вала электродвигателя ЛИР-285А;
- электропривод воздушной заслонки *Belimo LM230A*;
- расходомер газа массовый СУРГ 1.000, используемый для определения скорости потока и объемного расхода воздуха в вентиляционном канале.

В результате прохождения лабораторного практикума на разрабатываемом стенде бакалавры-инженеры профиля «Электропривод и автоматика» приобретут следующие профессиональные компетенции:

- способность анализировать технологический процесс как объект управления;
- готовность обеспечить соблюдение заданных технологических параметров технологического процесса и качества вырабатываемой продукции.

*Н.Ю. Шевырёва, асп.; рук. В.Н. Фащиленко, д.т.н., проф.
(НИТУ «МИСиС», Москва)*

ОБОСНОВАНИЕ ПРИМЕНЕНИЯ АКТИВНОГО ВЫПРЯМИТЕЛЯ ДЛЯ ЧАСТОТНО-РЕГУЛИРУЕМЫХ ЭЛЕКТРОПРИВОДОВ БУРОВЫХ УСТАНОВОК

В настоящее время на нефтяных промыслах эксплуатируется значительное число буровых установок с частотно-регулируемым электроприводом переменного тока. Мощность главных электроприводов буровых установок достигает 1000 кВт, глубина бурения 3000–5000 м, грузоподъемность 250 т. Применение на современных отечественных буровых установках регулируемых электроприводов с полупроводниковыми преобразователями приводит к увеличению реактивной мощности и искажению синусоидальной формы напряжения сети.

Для частотно-регулируемых электроприводов переменного тока в настоящее время все большее применение находят активные выпрямители напряжения (АВН) [1]. Применение в таких преобразователях широтно-импульсной модуляции (ШИМ) позволяет решить следующие задачи [1]:

- формирование фазных токов сети, близких по форме к синусоиде;
- поддержание заданного коэффициента мощности сети;
- стабилизация выпрямленного напряжения на заданном уровне;
- передача энергии из сети переменного напряжения в цепь постоянного напряжения и в противоположном направлении.

Для обоснования применения активных выпрямителей в составе частотно-регулируемых электроприводов буровой установки разработана математическая модель, которая позволяет выполнить расчеты показателей качества электроэнергии при наличии АВН. Исследования, проведенные с помощью модели, показали, что применение АВН при питании частотно-регулируемых электроприводов буровых установок от системы электропитания соизмеримой мощности позволяет обеспечить допустимые показатели по коэффициенту мощности, отклонению напряжения и по уровню искажений напряжения в питающей сети. При этом увеличение несущей частоты ШИМ уменьшает искажения синусоидальной формы напряжения сети. Включение фильтра малой мощности на стороне переменного тока АВН приводит также к уменьшению искажения синусоидальной формы напряжения сети.

Литература

1. Шрейнер Р.Т. Математическое моделирование электроприводов переменного тока с полупроводниковыми преобразователями частоты. Екатеринбург: УРО РАН, 2000.

А.И. Шестак, студ.; рук. В.Ф. Козаченко, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМПЛЕКСА ЛАБОРАТОРНЫХ РАБОТ ПО КУРСУ «ВЕНТИЛЬНЫЙ И ШАГОВЫЙ ЭЛЕКТРОПРИВОД»

Задача, стоявшая перед автором работы, состояла в доработке лабораторных работ по курсу «Вентильный и шаговый электропривод», позволяющих студентам на практике ознакомиться с системами управления (СУ) вентильных и шаговых двигателей (ВД и ШД). Автору было необходимо дополнить первые две лабораторные работы, посвященные строению и особенностям двигателей и СУ, управлению двигателем в режиме бесколлекторного двигателя постоянного тока и снятию механических характеристик, доработать третью лабораторную работу, посвященную управлению двигателем с использованием режима дробления шага, а также написать четвертую лабораторную работу на тему векторного управления.

Для снятия механических характеристик было принято решение использовать два двигателя в спарке, один из которых был бы нагрузочной машиной и работал в генераторном режиме, а второй – исследуемой машиной и работал в двигательном режиме. В связи с этим появилась необходимость доработать стенд системой, позволяющей сливать энергию, наработанную машиной-генератором. Для этого было решено объединить преобразователи по звеньям постоянного тока и добавить управляемый ключ с резистором слива энергии.

В ходе работы был доработан и дополнен лабораторный комплекс, позволяющий студентам научиться управлять приводом ВД и ШД, создавать и отлаживать части программного кода управляющей системы в среде программирования Code Composer Studio 5, работать с двигателем в микрошаговом режиме управления. Для работы двигателей в спарке без перегрузок была спроектирована принципиальная схема, по которой была собрана печатная плата, подключаемая к основной плате управления с установленным микроконтроллером TMS320F28035, а также интегрированным внутрисхемным эмулятором.

На настоящий момент комплекс лабораторных работ уже введен в учебный процесс МЭИ и позволяет расширить познания в управлении приводом вентильных и шаговых электродвигателей.

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ДЛЯ ВАГОНОВ МЕТРО

Основными потребителями электроэнергии в вагонах метрополитена являются система освещения, релейно-контакторная сеть и мотор-компрессоры. Потребители требуют стабилизированного напряжения разных номиналов и формы, в то время как источником энергии является контактная сеть постоянного напряжения, колеблющегося в диапазоне от 600 до 1100 В. Поэтому для питания потребителей используется преобразователь типа ПСН-24 – преобразователь собственных нужд.

Управление всеми узлами ПСН-24 осуществлялось при помощи двух контроллеров, базирующихся на микроконтроллерах Texas Instruments на основе процессоров C24. В связи с тем, что данные микроконтроллеры были сняты с производства, возникла необходимость реализовать систему управления на новых устройствах. Для этого был выбран двухядерный микроконтроллер Texas Instruments Concerto (C28 + ARM).

В ходе работы система управления была полностью переработана под новые устройства и реализована на языке высокого уровня «Си». Все блоки системы работают в формате с плавающей точкой. Управление блоком осуществляется как по сети CAN, так и переключателями на панели управления машиниста. Добавлена функция осциллографирования сигналов и записи их на карту памяти.

Также была проведена оптимизация некоторых узлов, а все цифровые регуляторы были настроены заново [1,2].

Функции управления силовой частью и сервисными операциями, такими как обеспечение связи по сети CAN, запись данных на SD-карту и проч., были соответствующим образом разделены между ядрами C28 (это процессор категории «motorcontrol» с набором операций, подходящих для вычислительных задач) и ARM (это ядро, которое подходит для задач коммуникации).

Проведены лабораторные испытания преобразователя с новым контроллером.

Литература

1. **Козаченко В.Ф.** Встраиваемые высокопроизводительные системы управления. М.: Издательский дом МЭИ, 2010.
2. **Остриров В.Н.** Проектирование электронных преобразователей для регулируемых электроприводов М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

Секция 27

ПРОМЫШЛЕННЫЕ ЭЛЕКТРОТЕРМИЧЕСКИЕ УСТАНОВКИ

Председатель секции — д.т.н., профессор В.П. Рубцов
Секретарь секции — к.т.н., доцент М.А. Федин

Б.Б. Антонов, студ.; рук-ли А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАСЧЕТ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ЛИНЕЙНЫХ ИНДУКТОРОВ

Для нагрева ленточных и проволочных изделий, закалки деталей больших размеров, обогрева трубопроводов и резервуаров часто используются линейные индукторы [1]. На рис. 1 представлено поперечное сечение системы: линейный индуктор (I) и нагреваемое изделие (II). Для повышения энергетических характеристик в ряде случаев возможно применение магнитопровода (III), выполненного из листов электротехнической стали или гибкого композитного материала с магнитными включениями.

С целью разработки методики расчета таких систем проведено исследование их электрических и энергетических характеристик с использованием программного пакета *FEMM*, который позволяет учитывать нелинейные магнитные свойства материала нагреваемого изделия. Моделирование проведено при следующих исходных данных: сечение медного кабеля – 300 мм^2 , ток индуктора $I = 500 \text{ А}$. Размер нагреваемого участка изделия $100 \times 10 \text{ мм}$, материал изделия – сталь 10. Параметры магнитопровода приняты как у идеальной электротехнической стали, у которой $\mu = \infty$, $g = 0$. В качестве граничных условий на границах 1 и 2 задано значение магнитного потенциала $A = 0$, на границах 3 и 4 – $\partial A / \partial n = 0$ (рис. 1).

В работе рассматривалась система с магнитопроводом и без него. На рис. 2 представлены зависимости электрического КПД ($\eta_{\text{э}}$) – сплошная линия и коэффициента мощности ($\cos \varphi$) – штрихпунктирная линия от толщины воздушного зазора δ_3 для обоих случаев, на основании чего был сделан вывод о целесообразности использования магнитопровода.

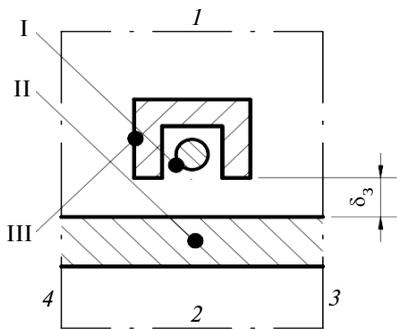


Рис. 1

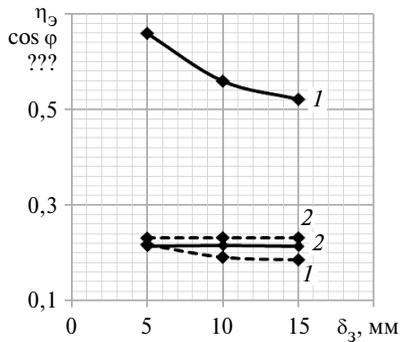


Рис. 2:

1 – с магнитопроводом;
2 – без магнитопровода

Литература

1. Кувалдин А.Б. Индукционный нагрев ферромагнитной стали. М.: Энергоатомиздат, 1988.

А.Н. Бажуткин, асп.; рук. А.А. Базаров, д.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ ЗАКАЛКИ ШТАНГИ НАСОСА

Технология закалки штанг для станков-качалок имеет нерешенные проблемы, являющиеся причиной возникновения искривления длинномерного объекта. Это приводит к износу движущейся поверхности, что отражается на сроке службы.

При эксплуатации длинномерных объектов, например штанги станков-качалок, принято считать, что их разрушения происходят из-за механического и химического воздействий, поэтому большая часть внимания направлена на диагностику и обнаружение дефектов, тогда как иные причины возникновения разрушений остаются без внимания. К таким причинам относятся термонапряжения, возникающие при закалке. Таким образом, существует проблема, требующая исследований термонапряжений как источников развития разрушений. Соответственно актуальна потребность в разработке индукционной системы и системы охлаждения, гарантирующих снижение изгибающих термонапряжений за счет создания более симметричного электромагнитного поля и равномерного охлаждающего потока по окружности.

К особенностям процессов закалки относится сложность инструментального измерения параметров быстропротекающих процессов, поэтому решение задачи совершенствования технологии ложится на плечи численных методов исследования и проектирования.

Целью работы является выявление причин возникновения термонапряжений на этапах индукционного нагрева и принудительного охлаждения в различных закалочных средах и разработка усовершенствованной конструкции системы «нагрев–охлаждение» и программы закалки.

В ходе проектирования автором разработаны двух- и трехмерные модели электромагнитного поля в системе «многовитковый индуктор – ферромагнитный цилиндр». Расчет температурных распределений в нагрузке обеспечивается путем отдельного моделирования тепловых процессов в целях более оперативного решения.

Для проектирования индуктора используется программа Comsol, позволяющая решать нелинейные электромагнитные и тепловые задачи.

Полученные результаты будут использованы при разработке усовершенствованной конструкции индукционной системы закалки штанг для предприятия по производству нефтедобывающего оборудования.

П.А. Баскаков, асп.; рук. А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ИНДУКЦИОННО-РЕЗИСТИВНОГО НАГРЕВАТЕЛЯ ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ХИМИЧЕСКИХ БОЕПРИПАСОВ

Согласно международной «Конвенции о запрещении и уничтожении химического оружия» в нашей стране осуществляется полное уничтожение химических боеприпасов. Задача решается при помощи индукционно-резистивного нагревателя [1], в котором осуществляется нагрев боеприпаса с последующим взрывом, разрушением корпуса и нейтрализацией отравляющего вещества. Для защиты индуктора от воздействия детонационной волны и разлета осколков используется локализатор, выполненный из толстостенной стальной трубы и являющийся промежуточным нагревателем для уничтожаемого боеприпаса (рис. 1).

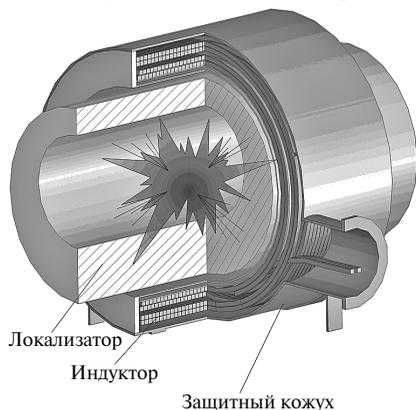


Рис. 1. Индукционно резистивный нагреватель

Для определения условий нагрева боеприпасов проведены расчеты и экспериментальные исследования по определению температуры локализатора, времени уничтожения боеприпаса и оценке влияния градиента температуры внутри локализатора на полноту уничтожения боеприпаса.

Проведено компьютерное моделирование электромагнитных полей в программе *ELCUT* с определением электрических параметров индуктора и мощности тепловыделения в локализаторе. Моделирование процесса естественной конвекции при нагреве локализатора выполнено в программе *ANSYS FLUENT* с определением местного коэффициента теплоотдачи. Проведено моделирование в программе *Jmag Designer* двух режимов работы нагревателя: нагрева локализатора и уничтожения боеприпаса с учетом процессов естественной конвекции и тепловыделения при взрыве. Моделирование осуществлялось в трехмерной постановке с учетом изменения электро- и теплофизических свойств материалов от температуры.

На опытном образце нагревателя исследованы режимы нагрева локализатора и уничтожения боеприпасов и получены электрические и тепловые параметры, хорошо совпадающие с результатами моделирования. Оригинальная конструкция нагревателя защищена патентом РФ № 145207.

Литература

1. Баскаков П.А. Создание индукционного нагревателя для уничтожения боеприпасов // Труды XI Всеросс. конф. по новым технологиям. Миасс, 2014.

*И.В. Васильев, асп.; Е.В. Скляр, студ.;
рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., проф. (СамГТУ, г. Самара)*

СИСТЕМА АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВАТЕЛЕМ НЕПРЕРЫВНОГО ДЕЙСТВИЯ С ОБРАТНОЙ СВЯЗЬЮ ПО КОЭФФИЦИЕНТУ МОЩНОСТИ

Особенностью нагрева ферромагнитной загрузки до температуры пластической деформации в проходном индукторе является потеря магнитных свойств загрузки. Так как температура, при которой происходит потеря магнитных свойств (точка Кюри), находится в пределах $650 \div 700$ °С, а температура металла на выходе из индуктора составляет 1250 °С, переход металла из ферромагнитного состояния в немагнитное происходит внутри индуктора. Расчеты показывают, что в индукционном нагревателе непрерывного действия существует однозначная связь между температурным распределением по длине загрузки, положением точки Кюри и величиной угла фазового сдвига между напряжением и током индуктора. В установившемся режиме с постоянной скоростью перемещения загрузки через индуктор положение точки Кюри фиксировано, и коэффициент мощности не изменяется. При отсутствии внешних возмущений мощность, подводимая к индуктору, также остается постоянной. При появлении внешних возмущений температурное распределение по длине загрузки изменяется, точка Кюри смещается влево или вправо от установившегося значения, что приводит к изменению коэффициента мощности и, как следствие, подводимой к индуктору мощности и температуры загрузки на выходе из нагревателя. Для компенсации внешних возмущений разработана система автоматической стабилизации мощности индуктора с обратной связью по коэффициенту мощности. Для получения сигнала, пропорционального углу сдвига фазы между током и напряжением, разработан датчик угла фазового сдвига. Датчик предназначен для работы на частотах 1000–10 000 Гц, обладает высоким быстродействием, которое позволяет использовать его в индукционных установках повышенной частоты для регулирования электрического режима работы установки. При перемещении точки Кюри по направлению движения загрузки вследствие, например, уменьшения напряжения на индукторе, коэффициент мощности увеличивается. Это, в свою очередь, вызывает изменение сигнала обратной связи, который сравнивается с задающим сигналом на входе системы. В результате этого мощность, подводимая к индуктору, увеличивается, температура загрузки растет и точка Кюри возвращается в положение, соответствующее установившемуся режиму.

*И.В. Васильев, асп.; рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., проф.
(СамГТУ, г. Самара)*

ИНДУКЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАГРЕВА И ПЕРЕМЕШИВАНИЯ ЖИДКОСТИ

Исследуемый в работе трехфазный индукционный нагреватель с вращающимся магнитным полем выполняет одновременно две функции: косвенный нагрев жидкости и ее перемешивание для ускорения процесса нагрева и сокращения длины нагревательной системы. Нагреватель состоит из двух трехфазных индукторов, выполненных в форме статора асинхронной машины, в полости которых находится труба из немагнитной стали. Внутри трубы с небольшим зазором помещен полый ферромагнитный цилиндр, закрепленный на оси вращения и имеющий на внутренней поверхности лопасти для перемешивания и увеличения поверхности теплообмена. Для регулирования соотношения между мощностью нагрева и мощностью, идущей на перемешивание жидкости, нагреватель имеет два индуктора, установленные последовательно. Для разработки предлагаемой конструкции нагревателя, расчета и выбора параметров индукционной системы решается ряд задач, связанных с исследованием электромагнитных и тепловых полей системы и созданием на этой основе алгоритма и методики расчета конструктивных и режимных параметров индукционной нагревательной установки. Численный расчет электромагнитных полей в сложной составной структуре тел, содержащей ферромагнитные участки магнитной цепи, проводился с помощью программного комплекса ELCUT 5.7 Professional. Связь между индукцией и напряженностью магнитного поля определяется магнитными свойствами среды в бесконечно малом объеме, включающем в себя рассматриваемую точку. Известная неопределенность зависимости магнитной индукции от напряженности магнитного поля связана с проявлением гистерезиса и наличием частных циклов намагничивания, в связи с чем вектор индукции зависит не только от напряженности магнитного поля, но и от предыдущего ее изменения в данной точке, а также от начальной намагниченности. Так как при индукционном нагреве напряженность поля $H > 4$ кА/м, гистерезис можно не учитывать. Для исследования тепловых процессов разработана численная математическая модель и алгоритм решения задачи методом конечных элементов. Для представления результатов расчета в наглядной форме используются специальные графические пакеты, которые позволяют представить распределения температурных полей в виде временных диаграмм для отдельных точек, а также в виде плоской картины изотерм для всего массива точек сечения нагреваемой жидкости.

Н.М. Вахмянин, студ.; рук. А.М. Кручинин, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА ЭЛЕКТРОДУГОВОГО ПЛАЗМОТРОНА ПЛАЗМОХИМИЧЕСКОЙ УСТАНОВКИ ПЕРЕРАБОТКИ ХЛОРООРГАНИЧЕСКИХ ОТХОДОВ

Использование высокотемпературной плазмохимической технологии дает возможность проводить разложение хлорорганических отходов любого фазового состояния [1]. Применение низкотемпературной плазмы для нагрева в реакгентной зоне исходного сырья приводит к значительному увеличению скорости химических реакций [2], что способствует снижению энергозатрат, а также увеличению удельной производительности оборудования.

Для реализации данной технологии предлагается использовать «линейный» струйный дуговой плазмотрон (ПДС) постоянного тока с секционированной межэлектродной вставкой (МЭВ). Такая конструкция упрощает процесс зажигания дуги, обеспечивает стабильное горение дуги неизменной длины и высокий тепловой КПД. Основной задачей при проектировании струйных плазмотронов является обеспечение устойчивого горения электрической дуги в условиях плазмохимической установки. В настоящее время отсутствуют практические методы проектирования электрических и тепловых характеристик плазмотрона по заданной мощности и температуры плазменной струи на выходе. Для решения этих проблем на кафедре АЭТУС разработана методика, основанная на теплообменной модели дуги плазмотрона, позволяющая рассчитывать геометрические, тепловые и электрические параметры ПДС по заданным значениям указанных выходных параметров плазмотрона [3]. Также разработана методика расчета устойчивости электрической дуги в управляемых системах электропитания промышленных плазмотронов и оптимизации структуры и параметров системы автоматического управления плазмотроном. На основании результатов выполненных расчетов даны рекомендации по выбору конструктивных, тепловых и электрических параметров плазмотрона плазмохимической установки переработки хлорорганических отходов.

Литература

1. **Жуков М.Ф.** Новые материалы и технологии. Экстремальные технологические процессы. Новосибирск: Наука, Сибирское отделение, 1992.
2. **Пушкарёв А.И., Ремнев Г.Е.** Прикладная плазмохимия. Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2011.
3. **Кручинин А.М.** Физические основы теплообменной модели электрической дуги в электротехнологии // Сборник докладов научно-технического семинара «Электротехнология в первом десятилетии XXI века», посвященного 100-летию проф. М.Я. Смелянского. М.: Издательский дом МЭИ, 2013. С. 55–77.

И.М. Генералов, асп.; рук-ли А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ЭТАПЫ ПЛАВКИ ФЕРРОМАГНИТНОЙ КУСКОВОЙ ШИХТЫ В ИТП

Для эффективной плавки ферромагнитной шихты (например, стального лома или чугуна) применяют индукционные тигельные печи (ИТП) с питанием от транзисторного преобразователя частоты (500 Гц – 20,0 кГц). Процесс плавки в ИТП характеризуется широким диапазоном изменения по ходу плавки активного R_u и реактивного X_u сопротивлений системы индуктор-загрузка, что требует принятия мер по согласованию с преобразователем частоты. На рис. 1 приведены две характерные кривые изменения относительных активного сопротивления R^* и индуктивности L^* системы индуктор-загрузка по ходу плавки в тигельной печи. Данные получены при нагреве кусковой шихты из стали до точки Кюри в экспериментальной установке [1], которые хорошо согласуются с результатами других авторов.

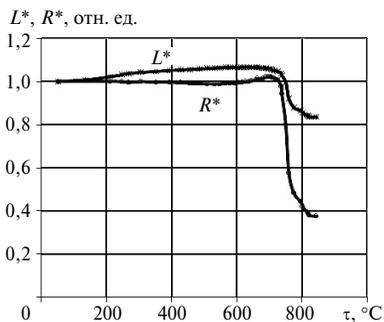


Рис. 1. Изменение параметров ИТП при нагреве

Подстройку параметров преобразователя частоты проводят частотным регулированием инвертора и регулировкой напряжения питания инвертора, а также применяется метод кодо-импульсной модуляции. Во всех перечисленных выше методах выполняется подстройка питающей частоты инвертора вблизи резонанса для снижения коммутационных потерь в ключах преобразователя частоты, что негативно сказывается на эффективности нагрева кусковой шихты на начальных этапах плавки.

В рамках данной проблемы предложен инвертор с перестраиваемой схемой в ходе плавки кусковой шихты, позволяющий разбить весь процесс плавки на нужное количество этапов с относительно малыми изменениями параметров загрузки, где уже применяются модуляционные способы управления мощностью в ИТП с незначительным изменением частоты преобразователя.

Литература

1. Генералов И.М. Определение электрических параметров индукционной печи при нагреве ферромагнитной шихты до точки Кюри // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век: материалы XII международной научно-практической интернет-конференции. Орел, 2014.

*Е.В. Горячих, асп.; рук-ли А.В. Щербаков, д.т.н., доц.;
В.П. Рубцов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)*

РАЗРАБОТКА СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ЭПС С ПОВЫШЕННОЙ РАВНОМЕРНОСТЬЮ НАГРЕВА ДЛЯ ТЕРМООБРАБОТКИ КЕРАМИЧЕСКИХ ИЗДЕЛИЙ

Для ряда технологических процессов требуется обеспечивать высокую равномерность нагрева в рабочей камере печи. Так, в ЭПС для термообработки керамических изделий неравномерность распределения температуры вызывает необходимость снижения скорости нагрева и охлаждения с тем, чтобы температурные кривые, различающиеся в отдельных частях печи, были допустимыми для изделий.

Традиционным способом повышения равномерности в нагревательной камере ЭПС является разделение нагревательного блока на тепловые зоны. Тепловая зона ЭПС представляет собой участок печи с независимым питанием и аппаратурой для включения, управления и регулирования температуры. Однако при таком способе повышения равномерности нагрева может наблюдаться существенная разность температур в различных тепловых зонах.

Для снижения разности температур в процессе нагрева предлагается использование единой системы управления тепловыми зонами ЭПС. Предлагаемая система управления работает следующим образом:

- проводится сравнение действующих значений температур в тепловых зонах печи;
- при возникновении разницы температур происходит снижение мощности, вводимой в нагреватель тепловой зоны, имеющей опережение по температуре и увеличение мощности, вводимой в нагреватель, имеющий отставание по температуре.

Таким образом, будет обеспечиваться выравнивание температур в зонах печи. В конечном счете такая система управления позволит значительно повысить равномерность нагрева, что снизит процент брака обрабатываемых изделий и повысит производительность установки.

При определенных сочетаниях параметров каналов регулирования в системе могут возникнуть колебания температур в процессе их выравнивания, что нежелательно. Для исключения колебаний температур около равновесного значения в систему регулирования может быть введен элемент с зоной нечувствительности, который будет отключать корректирующие сигналы при величине рассогласования температур меньшей допустимой.

По данному схемотехническому решению подана заявка на полезную модель РФ.

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА МЕТОДОМ ПОСЛОЙНОЙ ДЕКОМПОЗИЦИИ

Широкий спектр технологических и экономических преимуществ, при-
сущих индукционному нагреву по сравнению с альтернативными спосо-
бами [1], делают его одним из наиболее перспективных методов обработки
металла. При этом для оптимизации конкретного технологического про-
цесса необходим точный анализ его характеристик, что, как правило, осу-
ществляется на этапе компьютерного моделирования. Процесс построения
адекватной модели осложняется нелинейными зависимостями параметров,
характеризующих электромагнитные и температурные процессы, лежащие
в основе индукционного нагрева. В связи с этим актуальной задачей явля-
ется разработка методики математического моделирования индукционного
нагрева, способной в полной мере учесть все интересующие процессы и
характеристики.

Широкие возможности в области исследования индукционного нагрева
представляет метод послойной декомпозиции, при котором нагреваемое
изделие разбивается на слои, каждый из которых имеет свой источник
греющей энергии. При этом в общем случае ее значение складывается из
энергии, выделяемой по закону Джоуля–Ленца, и энергии, передаваемой
из предыдущего слоя вследствие теплопроводности. Интенсивность нагр-
ва слоя обусловлена величиной наводимого в нем тока, значение которого
не остается постоянным вследствие температурной зависимости удельного
электрического сопротивления. Для его учета систему «индуктор – нагр-
ваемое изделие» рационально представить в виде многообмоточного
трансформатора с разомкнутым магнитопроводом, у которого нагреваемые
слои представляются в виде вторичных короткозамкнутых обмоток. Таким
образом, при известных значениях параметров трансформатора определя-
ются токи в слоях, являющиеся исходными данными тепловой модели.

Разработанный метод моделирования индукционного нагрева позволя-
ет осуществлять анализ динамики тепловых процессов при учете темпера-
турных зависимостей характеризующих его параметров. Кроме того, дан-
ный метод удобно использовать для исследования различных режимов
индукционного нагрева, что в конечном итоге позволяет оптимизировать
исследуемый технологический процесс.

Литература

1. **Современные** энергосберегающие электротехнологии: учебное пособие для
вузов / Ю.И. Блинов, А.С. Васильев, А.Н. Никаноров и др. СПб: Изд-во СПбГТЭУ
«ЛЭТИ», 2000.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ДИСКОВ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Моделирование процесса индукционного нагрева дисков турбоагрегата является неотъемлемой частью процесса разработки технологии по испытаниям готовых изделий. Испытания проводятся для определения различных характеристик изделий путем воспроизведения реальных механических и тепловых нагрузок дисков турбоагрегатов авиационных двигателей в различных режимах во время эксплуатации. Особенностью индукционных устройств для нагрева отдельных областей диска является малое число витков, что приводит к необходимости более точного учета распределений мощности по всем трем координатам как в декартовых, так и в цилиндрических координатах.

Система нагрева дисков в составе испытательного стенда вследствие насыщенности технологическими узлами не имеет теплоизоляции, а крепление индуктора осуществляется в ограниченном числе точек. Все это приводит к снижению жесткости конструкции и ее вибростойкости. Таким образом, помимо основных задач при разработке индукционной системы [1], связанных с проектированием системы нагрева, позволяющей воспроизводить заданные циклограммы нагружений, требуется проводить дополнительные расчеты, что делает задачу актуальной.

Современное состояние программного и аппаратного обеспечения позволило на более высоком уровне решить проблему моделирования как отдельных процессов, так и связанных задач.

Автором разработана трехмерная электромагнитная модель системы «индуктор–диск» для исследования распределений токов и более точного определения распределенных усилий в диске и витках индуктора. Для анализа вибраций в диске и индукторе разработаны отдельные модели упругой деформации. Для диска модель учитывает вращение и наличие пульсирующей составляющей усилия, что позволяет исследовать весь спектр колебаний при регулируемой частоте вращения.

Полученные результаты планируется использовать при проведении дальнейших работ по синтезу пространственно-временного управления процессом формирования температурных распределений и оптимизации конструкции индуктора, обеспечивающей повышение вибростойкости.

Литература

1. **Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е.** Индукторы для индукционного нагрева машиностроительных деталей. Л.: Энергия, 1975.

*О.Д. Кривоносова, студ.; рук. В.А. Данилушкин, к.т.н. доц.,
(СамГТУ, г. Самара)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИНАМИКИ ПРОЦЕССА ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА ПЛАСТИНЫ

Индуктор для низкотемпературного нагрева стальной пластины представляет собой разомкнутый Ш-образный магнитопровод, на центральном стержне которого находится индуктирующая катушка. Нагреваемая пластина находится в зазоре между индуктором и замыкающим ярмом магнитной системы. Для моделирования электромагнитных и тепловых параметров системы используется численный метод. Для учета нелинейной зависимости магнитной проницаемости от напряженности магнитного поля в ферромагнитных областях разработан итерационный алгоритм многократного решения исходной системы уравнений. В начальной стадии расчета задается значение магнитной проницаемости по всей области ферромагнитных макроэлементов, затем вычисляются распределенные параметры поля, что позволяет на следующей стадии расчета корректировать магнитную проницаемость внутри каждого конечного элемента в зависимости от значения напряженности магнитного поля в данной области. Влияние гистерезиса не учитывается. Результаты расчета электромагнитной задачи в виде функции распределения внутренних источников тепла положены в основу определения в процессе нагрева температурного поля пластины. Полученная модель используется для синтеза системы автоматического регулирования процессом индукционного нагрева. Для оценки динамических свойств системы и определения параметров передаточной функции используются численные методы поиска минимума некоторой функции, соответствующей наиболее точному определению искомым значений. Исследование динамических свойств объекта заключается в снятии экспериментальной переходной функции объекта и последующей аппроксимации ее решением дифференциального уравнения первого или второго порядка. Аппроксимация переходной функции осуществляется по минимуму абсолютного отклонения ошибки приближения к искомой функции. По виду переходной функции выбирается аппроксимирующее аналитическое выражение. Для поиска коэффициентов аппроксимирующей функции используется программа MathCAD. По характеру переходной функции определяется передаточная функция объекта и ее параметры. Полученная передаточная функция используется далее в целях синтеза замкнутой системы автоматического управления, обеспечивающей требуемую точность стабилизации температуры металла.

А.В. Кузнецов, асп.; рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, г. Тверь)

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ ЭЛЕКТРОПЕЧЕЙ УСТАНОВКИ НА КПД ДУГ ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ТРЕХФАЗНОГО И ПОСТОЯННОГО ТОКОВ

В дуговых сталеплавильных печах источником энергии являются электрические дуги. КПД дуг определяет удельный расход электроэнергии в дуговой сталеплавильной печи: чем больше КПД дуг, тем меньше удельный расход электроэнергии [1, 2].

КПД дуги в разные периоды плавки различен, максимальное его значение достигается после прорезки дугами колодцев в шихте. При этом и в дуговых сталеплавильных печах постоянного тока (ДСПТТ), и в дуговых сталеплавильных печах трехфазного тока (ДСПТТ) значение КПД дуги составляет 93 %, т. е. практически вся мощность дуги идет на нагрев и расплавление металла и только 7 % ее излучается на открытые участки стен и свода плавильного пространства. Перевод электропечи в процессе плавки на расчетные ступени напряжения существенно сказывается на среднем КПД дуг за время работы печи. Средний КПД дуг за время работы печи под током может составлять 62–72 %.

Выявлена зависимость КПД дуги в дуговых сталеплавильных печах (ДСП) от электрического режима и соотношения заглубления дуги в металл и шлак к длине дуги: чем больше это соотношение, тем больше КПД дуги. При превышении высоты заглубления длины дуги в 1,5 раза КПД дуги равен 80–86 %, при равенстве высоты заглубления и длины дуги КПД дуги равен 65–78 %, при превышении длины дуги высоты заглубления на 25 % КПД дуги равен 45–55 %. Как показывают расчеты, КПД дуг переменного тока меньше КПД дуг постоянного тока из-за электромагнитного выдувания [1].

Мерами по увеличению КПД дуги при увеличении напряжения на ней, увеличении ее длины являются: увеличение толщины слоя шлака за счет его вспенивания; увеличение тока дуги, что вызовет дальнейшее заглубление дуги в металл; увеличение высоты заглубления дуги.

Литература

1. **Макаров А.Н.** Теплообмен в электродуговых и факельных металлургических печах и энергетических установках: учебное пособие. СПб.: Издательство «Лань», 2014.

2. **Макаров А.Н., Соколов А.Ю., Дюндин А.С.** Влияние энерготехнологических параметров на технико-экономические показатели работы печей ДСП-150 при плавлении лома и окатышей //Электрометаллургия. 2010. № 3.

А.О. Кулешов, асп.; И.Р. Агадулин, студ.;
рук-ли А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф.; М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДИКА РАСЧЕТА ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ПРОВОДЯЩИМ ТИГЛЕМ

Для выплавки сплавов меди и магния применяют индукционные тигельные печи с проводящим тиглем, в частности плавка меди осуществляется в графитовом тигле, а плавка магния – в тигле, выполненном из конструкционной стали. Для расчета таких печей используют метод конечных элементов, так как загрузка представляет собой двухслойное проводящее тело, и использование традиционных аналитических методик может приводить к большим погрешностям.

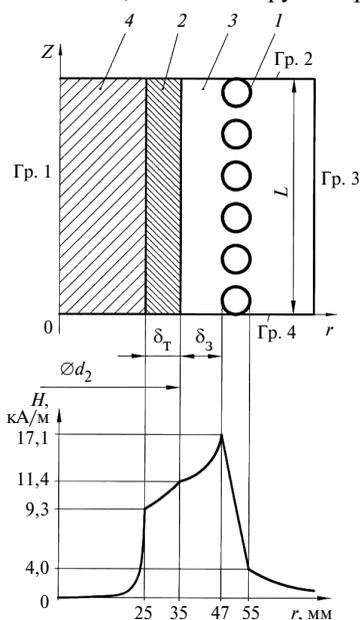


Рис. 1. Эскиз расчетной области и график напряженности магнитного поля:

1 – индуктор; 2 – стенка тигля; 3 – воздушный зазор; 4 – жидкая медь

конечные размеры системы «индуктор–загрузка», наличие дна, выделение мощности не только в стенке тигля, но и в металле, изменение заполненности тигля, определять оптимальную толщину стенки тигля δ_T , осуществлять выбор рабочей частоты тока.

Электрический расчет проводится в конечно-элементном пакете *ELCUT*. На рис. 1 показан участок бесконечно длинной системы «индуктор–загрузка» длиной L и распределением напряженности магнитного поля H по оси r системы (при токе индуктора $I_1 = 210$ А, $d_2 = 70$ мм, $\delta_T = 10$ мм, $\delta_3 = 12$ мм, числе витков $w = 6$ на длине $L = 100$ мм). Тигель выполнен из графита, внутри тигля находится расплав меди. На оси симметрии (гр. 1 на рис. 1) задается граничное условие Неймана $\frac{dH}{dr} = 0$, на внешних границах $\frac{dH}{dr} = 0$ (гр. 2, 4) и $H = 0$ (гр. 3).

Сравнение результатов расчета для случая бесконечно длинной электромагнитной системы с результатами, полученными при использовании методики, изложенной в [1], показало хорошее совпадение.

Использование разработанной методики расчета позволяет учитывать конечные размеры системы «индуктор–загрузка», наличие дна, выделение мощности не только в стенке тигля, но и в металле, изменение заполненности тигля, определять оптимальную толщину стенки тигля δ_T , осуществлять выбор рабочей частоты тока.

Литература

1. Вайнберг А.М. Индукционные плавильные печи. М.–Л.: Энергия, 1967.

*В.В. Окунева, М.К. Галичева, аспиранты;
рук. А.Н. Макаров, д.т.н., проф. (ТвГТУ, г. Тверь)*

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ПЛАЗМЕННО-ДУГОВЫХ СТАЛЕПЛАВИЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ С ОДНИМ ПЛАЗМОТРОНОМ

В современной металлургии черных металлов нашли широкое применение плазменно-дуговые сталеплавильные печи (ПДСП) с одним или несколькими плазмотронами. Наибольшей эффективности можно добиться при последовательном использовании вертикального и наклонного стенового плазмотронов, что позволяет повысить эффективность плавки на 12–15 % за счет снижения расхода электроэнергии и продолжительности плавки. Представленная в [1] ПДСП емкостью 6 т с одним вертикальным плазмотроном позволяет оценить места расположения основного и стенового плазмотронов.

Нами предложен двухдуговой плавильный плазмотрон с двумя наклонными столбами дуг. Его преимущество в том, что две дуги направлены под углом 60° к поверхности металла, тем самым увеличиваются тепловые потоки на ванну [2].

Было установлено, что при расположении сопл под углом 60° к поверхности металла доля излучения дуги на металл возрастает с 33 до 41 %, т. е. на 24 % по сравнению с вертикальным расположением сопл [3].

Коэффициент излучения дуг, наклоненных под углом 60° , на металл увеличивается до 0,41, что приводит к большей скорости нагрева металла, к повышению производительности печи и, как следствие, к сокращению расхода электроэнергии. Для сравнения при той же длине дуг, но их вертикальном расположении, величина коэффициента излучения дуг составляет 0,33. При нагреве и плавлении металла одной вертикальной дугой с выделяющейся в ней мощностью, равной мощности двух дуг, коэффициент излучения дуги уменьшается и составляет 0,28.

Литература

1. **Макаров А.Н., Рыбакова В.В., Галичева М.К.** Энергосбережение при производстве стали в плазменно-дуговых печах // Промышленная энергетика. 2013. № 11.
2. **Макаров А.Н., Рыбакова В.В.** Двухдуговой плазмотрон для плазменно-дуговых сталеплавильных печей // Энергосбережение в электро- и теплоэнергетических металлургических установках: Сб. научно-практических трудов. Вып. 1. Тверь: ТвГТУ, 2013.
3. **Патент № 2524173 (RU 2524173 C1).** Плавильный плазмотрон / Макаров А.Н., Рыбакова В.В. // Изобретения. 2014. № 21.

*Я.М. Ошкин, асп.; А.П. Макаров, студ.;
рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., проф. (СамГТУ, г. Самара)*

СТЕНД ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ИНДУКЦИОННЫМ НАГРЕВОМ

Разработан многофункциональный экспериментальный стенд с микро-процессорной системой управления для исследования динамических свойств индукционных нагревателей периодического и дискретно-непрерывного действия. На стенде исследуются стационарные и переходные режимы работы индукционного нагревателя. Нагрев можно осуществлять в различных режимах: периодический нагрев в разомкнутой системе; периодический нагрев в замкнутой системе с контролем температуры в двух точках – на поверхности заготовки с помощью бесконтактного датчика температуры и в центре заготовки с помощью термопары, установленной на торцевой поверхности; периодический нагрев по программе, формируемой с помощью контроллера; дискретно-непрерывный способ нагрева с обратной связью по температуре заготовки на выходе из индуктора и управлением механизмом подачи. Кроме того, на стенде исследуются динамические характеристики звеньев системы регулирования и определяются их передаточные функции по переходным функциям, снятым экспериментально. Стенд предназначен для экспериментальных исследований динамики систем автоматического регулирования процессов индукционного нагрева при выполнении диссертационных работ магистрантами и аспирантами, специализирующимися в области оптимизации и управления процессом индукционного нагрева. Исследование динамических свойств объекта заключается в снятии переходной функции объекта и последующей аппроксимации ее решением дифференциального уравнения первого или второго порядка. Переходная функция получена экспериментальным путем с помощью физического эксперимента на стенде. Аппроксимация переходной функции осуществляется по минимуму абсолютного отклонения ошибки приближения к искомой функции. Для поиска аппроксимирующей функции используется программа MathCAD. Полученная на основании переходной функции передаточная функция объекта используется для синтеза замкнутой системы автоматического управления. Для определения параметров передаточной функции используются численные методы поиска минимума некоторой функции, соответствующей наиболее точному определению искомого значений. На базе полученных передаточных функций анализируются качественные показатели автоматической системы управления процессом индукционного нагрева.

Р.И. Перов, студ.; рук-ли А.Б. Кувалдин, д.т.н., проф.;
М.А. Федин, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА МЕТОДА РАСЧЕТА ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ИНДУКЦИОННЫХ ТИГЕЛЬНЫХ ПЕЧЕЙ ПРИ ПЛАВКЕ КУСКОВОЙ ШИХТЫ

Наиболее сложным для математического описания процесса плавки шихты в индукционной тигельной печи (ИТП) является начальный период, когда происходят самые значительные изменения электрических и геометрических параметров загрузки. На этом этапе плавки система автоматического управления ИТП должна обеспечивать подачу максимальной мощности с целью сокращения времени плавки и сбережения электроэнергии.

Для решения этой задачи разработана программа *Cylinder Current*, основанная на использовании метода индуктивно-связанных контуров. Кусковая шихта представлена в виде цилиндров, как предложено в [1], при расчете принятых соленоидами. Программа позволяет рассчитать выделяемые в индукторе и цилиндрах мощности, электрический КПД и коэффициент мощности системы индуктор-загрузка в зависимости от диаметра и числа цилиндров и их температуры.

С целью расширения возможностей расчета и повышения удобства пользования разработана модифицированная программа *Cylinder Current-02*. Добавлена возможность разбиения расположенных в индукторе 1 цилиндров 2 по высоте (рис. 1), что позволяет выявить концевые эффекты, т.е. такое разбиение позволяет получить зависимости выделяемой мощности в цилиндрах не только по радиусу, но и по высоте системы.

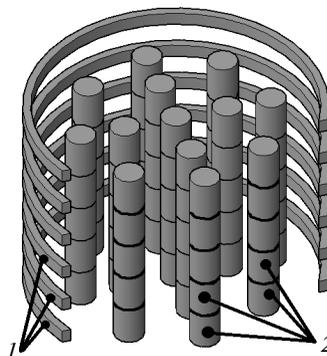


Рис. 1

Предусмотрена также возможность использования цилиндров различной длины и диаметра, что позволяет моделировать различные варианты применяемой шихты. Изменен интерфейс ввода и вывода данных, в частности введены графическое изображение системы индуктор–совокупность цилиндров и возможность вывода результатов расчета в виде графиков.

Литература

1. Бабат Г.И. Индукционный нагрев металлов и его промышленное применение. – 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергия, 1965.
2. Кувалдин А.Б., Федин М.А., Алфёрова Е.С. Математическое моделирование индукционной тигельной печи с кусковой загрузкой // Энерго- и ресурсосбережение – XXI век. Орёл: Госуниверситет-УНПК, 2014.

*Е.В. Скляр, студ.; рук. А.И. Данилушкин, д.т.н., проф.
(СамГТУ, г. Самара)*

ИНДУКЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ НАГРЕВА ШАРОВ ПОДШИПНИКОВ ПОД ЗАКАЛКУ

Исследуется процесс индукционного нагрева шариков подшипника под закалку в трехфазном индукторе с вращающимся магнитным полем при непрерывном перемещении шариков относительно индуктора по винтовой образующей. В процессе вращения поверхность шарика равномерно нагревается до заданной температуры, после чего опускается в ванну с охлаждающей средой. Основными проблемами, возникающими при реализации системы индукционного нагрева, являются разработка математической модели электромагнитных и тепловых процессов, выбор и расчет конструктивных параметров нагревательной системы, обеспечивающей равномерное температурное распределение по поверхности шарика на глубину закалки. В работе проводится численное моделирование электромагнитных и тепловых полей, силы Лоренца, обосновывается выбор частоты и конструкции индуктора. Расчет электромагнитных источников тепла усложняется тем, что мощность, подводимая к индуктору, делится на две составляющие: часть энергии идет на перемещение шарика по направляющим, а другая часть – на нагрев. Распределение этих составляющих зависит от многих конструктивных факторов. Нелинейный характер распределения источников обусловлен их зависимостью от температуры. Численный расчет электромагнитных полей в системе «индуктор–металл», содержащей ферромагнитные участки магнитной цепи, стальные конструктивные элементы и ферромагнитную загрузку, проводился с помощью программного комплекса ELCUT 5.2 Professional. Используя известные численные методы решения электромагнитной задачи, в работе получены значения выделяемой в загрузке мощности внутренних источников тепла по объему, которые используются далее для расчета температурного распределения в закаливаемом слое. Для решения тепловой задачи используется двумерная модель процесса теплопроводности с внутренними источниками тепла. В граничных условиях тепловой задачи учитываются потери тепла с поверхности за счет теплообмена между поверхностью шара, направляющими элементами и футеровкой. Решение тепловой задачи выполнено методом конечных элементов, который дает возможность достаточно точно учитывать все нелинейности путем изменения всех нелинейных величин с каждым шагом по времени, а также задать сложную геометрию нагреваемого изделия.

АДАПТИВНАЯ СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ ВАКУУМНОЙ ВЫСОКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПЕЧИ СОПРОТИВЛЕНИЯ

Вакуумные высокотемпературные печи сопротивления применяются для нагрева активных, легкоокисляющихся материалов, таких как титан, цирконий, а также для пайки и герметизации вакуумных вводов, металло-керамических конструкций. Нагрев в вакууме обезгаживает материал и рафинирует от окислов и примесей [1].

Современная вакуумная печь – это сложный комплекс оборудования, включающий в себя вакуумную камеру с экранной теплоизоляцией и водяным охлаждением, систему вакуумной откачки, систему подачи рабочих газов, систему измерения температуры изделия, а также блок высокотемпературных нагревателей с регулятором мощности нагрева.

В печах для нагрева и пайки металлов и сплавов применяются нагреватели из вольфрама и тантала [2]. Особенностью таких нагревателей является сильная зависимость сопротивления от температуры. Так, при нагреве вольфрамового нагревателя от комнатной температуры до рабочей (1600–1800 °С), его сопротивление увеличивается практически на порядок. Для исключения режима короткого замыкания при пуске печи необходимо проводить плавный разогрев нагревателя на пониженной мощности. Время разогрева обычно определяется экспериментально.

Предлагаемое в работе техническое решение позволит отказаться от экспериментального определения длительности предварительного разогрева нагревателей и подаваемой мощности, и позволит одновременно контролировать электрические характеристики цепи нагрева и температуру печи. Для решения поставленной задачи предлагается разработка адаптивной системы управления на базе панельного контроллера СПК-107 фирмы «Овен», обеспечивающей одновременную регистрацию тока нагревателей и температуры печи. При достижении рабочего режима система изменяет свою структуру и переходит к ПИД-регулированию температуры путем фазоимпульсного управления тиристорным регулятором мощности нагрева. Такое решение имеет признаки новизны и при условии введения программной визуализации характеристик режима нагрева может быть внедрено в лаборатории кафедры АЭТУС на печи типа СШВЛ-0,6.2/16И2.

Литература

1. **Свенчанский А.Д.** Электрические промышленные печи. М.: Госэнергоиздат, 1958.
2. **Электротермическое** оборудование: справочник / под общ. ред. А.П. Альтгаузена, М.Я. Смелянского и М.С. Шевцова. М.: Изд-во «Энергия», 1967.

*Т.О. Соловьёва, студ.; рук-ли Н.Н. Клочкова, к.т.н., доц.;
А.В. Обухова, к.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)*

ПОДХОД К РЕШЕНИЮ ЗАДАЧИ ИНДУКЦИОННОГО НАГРЕВА НЕЭЛЕКТРОПРОВОДНОЙ МАССЫ

В работе рассматривается частная задача получения требуемой температуры в заданных зонах нагреваемой детали. Такие задачи возникают при необходимости разогрева торцов труб перед сваркой, застывшей пластмассы в объеме конической формы до момента отлипания пограничного слоя от стенок формы и т.д. Наиболее эффективным способом получения требуемой температуры в таких задачах является индукционный нагрев [1].

Разработка аналитической модели данного процесса практически не возможна без большой погрешности из-за разнородности нагреваемых материалов, их формы, сложной геометрии с учетом взаимодействия электромагнитных и тепловых полей [2].

Моделирование индукционного нагрева с использованием метода конечных элементов позволяет получить заданное распределение внутренних источников тепла с учетом краевых эффектов, а также требуемых температурных полей.

Следуя основным положениям МКЭ [3], исследуемая область аппроксимируется совокупностью элементов с конечным числом узловых точек. В пределах каждого элемента находятся интерполяцией векторный магнитный потенциал и температура.

В начальный момент времени $t = 0$ определяется векторный потенциал и напряженность поля. Далее вычисляется плотность тепловой мощности. На основании шаговой процедуры проводится расчет температурного поля по узлам в соответствии с определенными значениями напряженности.

Данный подход был использован для расчета процесса индукционного нагрева неэлектропроводной массы в электропроводной оболочке (диаметр 15–20 см, длина 40 см). В результате было получено: время нагрева до температуры плавления 70 °С составило 85,5 с, энергозатраты – 3027,04 кВт·с при токе 1 кА.

Литература

1. **Слухоцкий А.Е.** Установки индукционного нагрева. Л.: Энергоиздат, 1981.
2. **Клочкова Н.Н., Обухова А.В.** Разработка оптимальных конструкций индукционных установок для нагрева деталей с резко переменным радиусом вращения // Вестник Самарского государственного технического университета. 2012. № 1 (33).
3. **Зенкевич О., Морган К.** Конечные элементы и аппроксимация. М.: Мир, 1986.

Д.Ю. Чигирёв, асп.; рук. А.А. Базаров, д.т.н., доц. (СамГТУ, г. Самара)

ИНДУКЦИОННАЯ УСТАНОВКА ДЛЯ СНЯТИЯ ТЕРМОНАПРЯЖЕНИЯ В ТРУБОПРОВОДАХ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

На данный момент контроль безопасности и надежности в период эксплуатации трубопроводов осуществляется в установленном порядке согласно нормативной документации.

При обеспечении безопасности трубопроводов высокого давления принято считать, что разрушения трубопроводов происходят из-за дефектов. В связи с этим большинство исследований направлено на диагностику и обнаружение дефектов, тогда как иные причины возникновения разрушений остаются без внимания. Одной из таких причин являются термонапряжения, возникающие при проведении мероприятий по устранению дефектов. Таким образом, существует проблема, требующая исследований термонапряжений как источников развития разрушений. Соответственно актуальна потребность в разработке устройств для снятия термонапряжений при обеспечении надежности трубопровода.

Несмотря на то, что данный вопрос рассматривается давно, существуют нерешенные проблемы как в плане постановки задач проектирования, так и промышленной реализации.

Цель работы – разработка индукционной установки для снятия термонапряжения магистральных трубопроводов.

При проектировании автором решается комплексная задача выбора конструктивных и режимных параметров системы индукционного нагрева [1], обеспечивающих минимальные энергозатраты при заданном температурном распределении.

Для проектирования индуктора используется программа Elcut 5.6, позволяющая решать нелинейные задачи. Для удобства эксплуатации конструкция выполнена разъемной, что позволяет применять ее при больших диаметрах трубопроводов. Выбор источника питания осуществляется согласно рассчитанным значениям основных параметров.

Полученные результаты планируется использовать при создании методики расчета индукционных систем подогрева труб для снятия термонапряжений в широком диапазоне диаметров труб.

Литература

1. **Слухоцкий А.Е., Рыскин С.Е.** Индукторы для индукционного нагрева машиностроительных деталей. Л.: Энергия, 1975.

ЭЛЕКТРИЧЕСКИЙ ТРАНСПОРТ

Председатель секции — к.т.н., профессор М.А. Слепцов

Секретарь секции — к.т.н., доцент В.А. Глушенков

А.А. Бриедис, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ НА ЭЛЕКТРОПОЕЗДАХ ПОСТОЯННОГО ТОКА КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЯГОВЫХ МАШИН

Сегодня практически все эксплуатируемые и вновь выпускаемые пригородные электропоезда (ЭП) постоянного тока (ПТ) и значительная часть ЭП метрополитенов (ЭПМ) в РФ оборудованы тяговыми машинами (ТМ) ПТ. На них используется реостатный пуск, а на ЭПМ используется реостатное торможение, несмотря на высокую энергетическую эффективность (ЭЭ) применения на них рекуперации.

Сложившееся положение в значительной мере объясняется ошибками в технической политике ОАО «РЖД», обусловленными тенденциозными рекомендациями ВНИИЖТ по перспективным направлениям совершенствования ТЭП, выполнение которых привело к последовательной разработке якобы более эффективной системы ТЭП, оказавшихся ущербными (были изготовлены наземные ЭП и ЭПМ, сегодня уже списанные, с импульсным управлением и высоковольтными ТМ.) А главное, были прекращены все работы по совершенствованию ЭП с ТМ ПТ. В результате производства новых (прогрессивных) систем ТЭП не было освоено и продолжается выпуск ЭП с «архаичными системами ТЭП первого поколения»: на моторных вагонах и сегодня используется система ТЭП, которой были оборудованы первые ЭПМ, выпускавшиеся с 1935 года. Однако попытки внедрения ТЭП с ВВ ТМ продолжаются.

Вместе с тем сегодня в публикациях некоторых специалистов (и особенно в директивных документах) ТЭП с коллекторными ТМ рассматриваются как бесперспективные. Рекомендуются же на всех типах ЭПС применять только асинхронные ТМ (АТМ), которые якобы обеспечивают резкое улучшение тяговых свойств, повышение надежности ЭПС и снижение расхода электроэнергии. При ознакомлении с этим материалом создается впечатление, что ТЭП с АТМ разработан в последние годы и сегодня обладает огромными преимуществами перед приводом с коллекторными ТМ

ПТ по всем показателям. Однако это не так. В работах показано, что из-за увеличения цены ориентировочно вдвое он имеет срок окупаемости в несколько десятилетий.

Имеющиеся данные эксплуатации показывают, что ЭПС с АТМ обладает не только гипотетическими преимуществами, но и реальными недостатками, и при реализации известных технических решений по совершенствованию ЭПС с коллекторными ТМ ПТ вполне вероятно, что углубленный анализ альтернативных систем ТЭП подтвердит преимущества тяги с ТМ ПТ.

И.П. Васильев, студ.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ПАССАЖИРСКИХ ЭЛЕКТРОВЗОВ

Крупнейшим потребителем энергоресурсов в России является ОАО «РЖД». Локомотивное хозяйство ОАО «РЖД» не производит собственных энергоресурсов и полностью зависит от топливно-энергетического комплекса страны. Основной расход топливно-энергетических ресурсов приходится на тягу поездов (ежегодно расходуется не менее 35 млрд кВт·ч электроэнергии). Поэтому снижение затрат электроэнергии в этой области имеет важное значение в инновационном развитии российских железных дорог в современных условиях. На сегодняшний день энергосбережение в области тягового подвижного состава реализуется за счет локомотивов нового поколения [1].

Но введение в эксплуатацию новых серий локомотивов не всегда энергетически эффективно, несмотря на новые технологические решения снижения расхода энергетических ресурсов.

На сегодняшний день ярким представителем локомотивов нового поколения является пассажирский электровоз двойного питания ЭП20, созданный Трансмашхолдингом совместно с французской компанией Alstom, введенный в эксплуатацию в 2012 году. Данный локомотив имеет много достоинств, в том числе, как заявлено разработчиками, низкое потребление энергоресурсов.

Результаты анализа удельного расхода электроэнергии, проведенного по данным локомотивных бригад за период с начала 2014 года, показали, что по энергетической эффективности ЭП20 уступает всем остальным пассажирским электровозам, в особенности при его эксплуатации на участках постоянного тока.

Для осуществления более точного анализа разработан проект программы и методики проведения сравнительных испытаний по определению энергетических показателей ЭП20 и других серийных пассажирских электровозов, где наиболее точно и в полном объеме учтены факторы, влияющие на расход электрической энергии на тягу поездов: подвижной состав (локомотивы, вагоны); контактная сеть; режимы ведения поезда, организация; путь; человеческий фактор (локомотивная бригада), метеорологические условия; объективное нормирование.

Реализация данного проекта позволит выявить основные причины низкой энергетической эффективности электровоза ЭП20, а также определить возможные пути ее повышения.

Литература

1. **Гапанович В.А.** Энергосбережение на железнодорожном транспорте. М.: Интехэнерго-Издат: Теплоэнергетик, 2014.

П.А. Веселов, асп.; рук. В.А. Пречисский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОДДЕРЖКА ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ ЛОГИЧЕСКИХ КОНТРОЛЛЕРОВ НА ЭЛЕКТРИЧЕСКОМ ТРАНСПОРТЕ

В среде компьютерных приложений объектно-ориентированное программирование (ООП) давно является частью всех основных языков, однако в программируемых логических контроллерах (ПЛК) ООП применяется редко. Ограниченные возможности инструментов программирования, а также несовершенство компиляторов под C++ привели к тому, что компанией 3S Smart Software Solutions было принято решение расширить нормы стандарта МЭК 61131.3, введя поддержку ООП в новое поколение системы программирования CODESYS. Такая поддержка ООП дает программисту инновационную [1] возможность ввода собственных методов в функциональный блок.

Например, для автоматического включения прожектора головного вагона поезда в темное время суток и отключения в светлое можно создать соответствующий метод «Trainlight»:

```
METHOD Trainlight: BOOL *Метод для прожектора*  
VAR_INPUT  
b:BOOL; *Переменная, устанавливающая состояние*  
END_VAR  
VAR  
END_VAR
```

Одним из основных преимуществ ООП является функциональная масштабируемость от простого решения к сложному, когда мы можем без переписывания кода использовать и модифицировать уже существующие решения под требуемые нужды. Приведенный пример с прожектором может быть использован, например, для лампочек освещения салона вагонов, а также во многих других объектах. На транспорте это особенно важно, так как модернизация вагонов может несущественно изменить те же системы освещения, а поддержка ООП позволит программисту быстро и просто перепрограммировать контроллер под возникшие нужды. Внедрение ООП в инструменты CODESYS является расширением возможности применения и упрощения внедрения ПЛК на электрическом транспорте.

Литература

1. **Пречисский В.А., Мартишин С.А.** Инновационные методы в изучении сложных систем электрического транспорта // Электромеханика, электротехнологии, электротехнические материалы и компоненты: Труды XII Междун. конф. М.: Издательство МЭИ, 2008.

П.А. Веселов, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭФФЕКТИВНОЕ ПРИМЕНЕНИЕ РЕКУПЕРАТИВНОГО ТОРМОЖЕНИЯ В МОСКОВСКОМ МЕТРОПОЛИТЕНЕ

До сих пор большую часть парка вагонов метрополитена составляют вагоны 81-717/714 и их модификации. Основной вид торможения в данном виде вагонов – реостатный. Применение тормозных резисторов влечет за собой то, что излишняя электрическая энергия преобразуется в тепло, за которое метрополитен платит деньги. В теплое время года, когда особенно актуальны вопросы снижения температуры воздуха в помещениях с технологическим оборудованием, туннелях, на станциях и в самих вагонах, реостатное торможение способствует еще большему ее повышению. Это означает необходимость дополнительных инвестиций в системы вентиляции и кондиционирования помещений.

Рекуперация в метрополитене способствует наиболее эффективному использованию энергетических ресурсов, при котором даже минимальные процентные показатели в экономии электроэнергии в рамках предприятия способны превратиться в существенную энергоэффективность.

Суть предложения заключается в возможности модернизации при проведении капитальных ремонтов с целью улучшения их технических характеристик и получения возможности применения рекуперативного торможения, что в нынешних условиях актуально, при этом они могут оказаться конкурентоспособны с минимальными финансовыми затратами. Для реализации данного предложения в МЭИ на кафедре ЭТ разработана модернизированная схема вагона 81-717/714 с двигателями постоянного тока с независимым возбуждением и перегруппировкой тяговых машин в режиме пуска и торможения. В схеме реализованы управление пуско-тормозными сопротивлениями с помощью преобразователя на IGBT-транзисторах и возможность рекуперативного торможения.

Расчет возможной экономии электроэнергии показал, что рекуперативное торможение, применяемое на участке с 11 станциями, как, например, на Филевской линии Московского метрополитена в течение 5 часов в день (40 пар поездов в час), позволяло бы экономить 19 944 кВт·ч в день.

Предлагаемое решение должно способствовать:

- увеличению энергоэффективности;
- снижению тепловых выбросов в туннели;
- снижению нагрузки на городскую энергосистему;
- повышению комфортности данного вида вагонов для пассажиров за счет плавного регулирования пусковых и тормозных характеристик.

Н.И. Колпаков-Мирошниченко, студ.;
рук. В.А. Пречисский, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ТВЕРДОТЕЛЬНЫХ РЕЛЕ В ЦЕПЯХ УПРАВЛЕНИЯ ТОРМОЗНЫМИ МЕХАНИЗМАМИ ТРАМВАЙНЫХ ВАГОНОВ

На современном подвижном составе количество агрегатов, требующих периодического обслуживания, исчисляется десятками. В их числе множество электромеханических контакторов, чьи контакты в цепях включения катушек соленоидов механических тормозов подвержены существенному электроэрозионному износу. Коммутируемые цепи обладают значительными индуктивностями, из-за чего нередко возникает дуговой разряд между силовыми контактами, разрушающий их. На многих типах трамвайных вагонов эти контакторы выполнены без дугогасительной камеры и, согласно технологии обслуживания, подлежат замене на каждом ТО-2, т.е. через каждые 6–8 тыс. км. Зачастую данные контакторы не выдерживают пробега между ТО-2 и отказывают на линии, приводя к выбытиям подвижного состава с линии.

Предлагается замена контакторов типа КНЕ в цепях управления колodочными и рельсовыми тормозами на бесконтактные ключи (программируемые микросхемы с транзистором), не требующие обслуживания и обладающие значительно более долгим сроком службы, что предполагает снижение затрат эксплуатирующего предприятия.

Организация мелкосерийного производства готовых к установке блоков бесконтактных ключей возможна на самом предприятии. Микросхема и остальные рабочие элементы размещаются на плате собственного изготовления и помещаются в корпус с присоединительными размерами, аналогичными заменяемым контакторам, что не требует внесения изменений в монтажную схему вагона и подразумевает выполнение монтажных работ слесарем-электриком.

На внесение вышеперечисленных изменений в схему вагона получено согласование от ФГУП «Усть-Катавский вагоностроительный завод им. Кирова». Экспериментальная модернизация вагонов осуществлена в Москве в филиале ГУП «Мосгортранс» «Трамвайное депо им. Н.Э. Баумана». Внесено рационализаторское предложение по конструкции твердотельного реле для трамвайных вагонов 71-619 КТ/А.

Ле Суан Хонг, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ВАГОНОВ МЕТРОПОЛИТЕНА

Известные экономические и экологические преимущества электрического транспорта (автобус, троллейбус, метро...) обуславливают рост доли пассажирских перевозок в крупных городах. В частности в Москве метрополитен был открыт в 1935 г., а сегодня его доля в перевозке пассажиров столицы превышает 56 %. По сведениям официального сайта Мосметрополитена «его услугами в среднем ежедневно пользуются более 7 млн пассажиров, а в будние дни этот показатель превышает 9 млн пассажиров. Это наивысший показатель в мире». На этом же сайте утверждается, что сегодня «по интенсивности движения, надежности и объемам перевозок Московский метрополитен стабильно занимает 1-е место в мире».

Метрополитены становятся крупными потребителями электроэнергии, например, по известным данным в 2007 г. длина линий Мосметрополитена составляла около 305 км, а потребление энергии из внешнего электропитания около 1,6 млрд кВт·ч в год. При этом «удельное» потребление электроэнергии составляло 5,246 млн кВт·ч/км линий, и в случае сохранения существующих условий эксплуатации, включая и энергетические показатели метropоездов, приращение потребления или электроэнергии у внешнего электропитания при росте длины линий до 467 км (плановая цифра), т.е. на 162 км, составит около 850 млн кВт·ч, а общее потребление энергии в 2020 г. достигнет 2,5 млрд кВт·ч. При цене электроэнергии около 3 руб/(кВт·ч) затраты Мосметрополитена на оплату потребляемой на тягу электроэнергии составят около 8 млрд руб.

В связи с этим чрезвычайно актуальна проблема снижения удельного потребления метрополитенами электроэнергии на единицу транспортной работы.

Основным резервом сокращения общего потребления энергии метрополитенов является улучшение энергетических показателей подвижного состава (ПС), так как около 75 % энергии расходуется на тягу поездов, примерно 20–22 % на собственные нужды трассы и 3–5 % на ремонтную базу.

Одним из технических решений указанной проблемы является применение системы тягового электропривода метropоездов [1].

Литература

1. **Ле Суан Хонг, Тулупов В.Д.** К выбору рациональных систем тягового электропривода вагонов метрополитена // Девятая Международная научно-техническая конференция студентов, аспирантов и молодых ученых «Энергия-2014». Иваново: ИГЭУ, 2014. Т. 4.

Е.С. Малько, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЦЕЛЕСООБРАЗНОСТЬ ПРИМЕНЕНИЯ КОЛЛЕКТОРНЫХ ТЯГОВЫХ МАШИН ПРИ МОДЕРНИЗАЦИИ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА

Вследствие ошибок в оценке эффективности альтернативных систем тягового электропривода (ТЭП) электропоездов (ЭП) постоянного тока (ПТ) сегодня практически все пригородные ЭП и большая часть вагонов метрополитена (ВМ) оборудована ТЭП с низкой энергетической эффективностью. В частности, на большинстве эксплуатируемых ВМ без принципиальных изменений используется система ТЭП с реостатным пуском и без рекуперативного торможения, а на пригородных ЭП еще и без перегруппировок коллекторных тяговых машин (КТМ). В результате пусковые реостатные потери на ВМ составляют в реальных условиях эксплуатации 10 % от потребления энергии на тягу, а на ЭП – до 20 %.

Сложившееся положение обусловлено тем, что, по оценкам ВНИИЖТ, ТЭП с КТМ и реостатным пуском бесперспективен и не должен применяться на новых и модернизируемых ЭП, и поэтому все работы по их совершенствованию были прекращены. В то же время рекомендованные ВНИИЖТ «перспективные» системы ТЭП следующих поколений, сначала с импульсным управлением (ИУ), а затем с высоковольтными (ВВ) ТМ, после их испытания показали свою ущербность [1] по всем показателям, и оборудованные ими опытные ЭП были списаны. В результате вынужденно выпускались ЭП только первого поколения [2], несмотря на то что была разработана и проверена на опытных ЭП и ВМ энергосберегающая система тягового электропривода (ЭС ТЭП), обеспечивавшая подтвержденное экспериментально значительное, вплоть до 35–40 %, снижение потребления энергии из внешнего электроснабжения [3]. Она имеет значительные резервы для дальнейшего улучшения технико-экономических показателей, в частности, за счет совершенствования устройств регулирования токов возбуждения ТМ алгоритма управления режимами работы ТЭП и схемы полупроводникового реостатного контроллера.

Литература

1. **Тулупов В.Д.** Эффективность электроподвижного состава с импульсным управлением // Железнодорожный транспорт. 1994. № 3, № 4.
2. **Тулупов В.Д., Гарбузюк В.С.** Оценка эффективности и возможности массового внедрения энергосберегающих электропоездов постоянного тока // Вестник МЭИ. 2010. № 5.
3. **Тулупов В.Д.** Тяговый электропривод постоянного тока с наилучшими технико-экономическими показателями // Сборник «Электросила». СПб., 2002. Вып. 41.

О.С. Саможей, асп.; рук. М.А. Слепцов, к.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

НЕСИНУСОИДАЛЬНОСТЬ НАПРЯЖЕНИЯ В СИСТЕМЕ ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЯ ГЭТ

Применяемые в системе электроснабжения электрического транспорта полупроводниковые преобразователи являются генераторами некоторого спектра высших гармоник, которые приводят к появлению большого количества возмущений, оказывающих отрицательное воздействие на сеть переменного тока.

Высшие гармоники переменного тока преобразователей, протекая по элементам сети, вызывают падение напряжений в сопротивлениях этих элементов, которые, накладываясь на основную синусоиду, приводят к искажению формы кривой напряжения.

Наличие высших гармоник в кривой напряжения отрицательно сказывается на работе многих элементов систем электроснабжения:

- возникают добавочные потери активной мощности и энергии в линиях, трансформаторах, реакторах и других элементах электроснабжения;
- возникает дополнительная загрузка оборудования токами высших гармоник;
- более интенсивно происходит процесс старения изоляции;
- увеличивается погрешности электроизмерительных приборов;
- затрудняется эксплуатация ЭВМ, устройств релейной защиты, автоматики, связи.

Таким образом, наличие высших гармоник снижает качество электроснабжения и ухудшает условия учета электроэнергии.

В соответствии с ГОСТ 13109–97 на качество электрической энергии несинусоидальность формы кривой напряжения не должна превышать 5 % и характеризуется следующими показателями:

- искажениями синусоидальности кривой напряжения;
- коэффициентом n -й гармонической составляющей напряжения.

Способы снижения несинусоидальности напряжения можно разделить на три группы:

- схемные решения: выделение нелинейных нагрузок на отдельную систему шин, группирование вентильных преобразователей по схеме умножения фаз, подключение нелинейной нагрузки к системе с большей мощностью короткого замыкания;
- применение оборудования, характеризующегося пониженным уровнем генерации высших гармоник, например «ненасыщающихся» трансформаторов и многофазных вентильных преобразователей;
- использование фильтровых устройств: параллельных узкополосных резонансных фильтров, фильтро-компенсирующих и симметрирующих устройств.

А.В. Тулупов, асп.; рук. В.Д. Тулупов, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБОСНОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ И НЕОБХОДИМОСТИ МАССОВОЙ МОДЕРНИЗАЦИИ ЭЛЕКТРОПОЕЗДОВ ПОСТОЯННОГО ТОКА ПО ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩЕЙ СИСТЕМЕ ТЯГОВОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА

Более 40 лет назад МЭИ предложил использовать на электропоездах (ЭП) постоянного тока (ПТ) систему тягового электропривода (ТЭП) с постоянным последовательным соединением всех четырех тяговых машин (ТМ), что вдвое уменьшало напряжение на коллекторах ТМ по отношению к эксплуатирувавшимся на тот момент ЭП с перегруппировкой ТМ с последовательного соединения в начале пуска в схему с двумя параллельными ветвями по две последовательно включенные ТМ. Это обеспечивало резкое улучшение тягово-энергетических и динамических показателей ЭП за счет применения рекуперативного торможения и резкого увеличения ускорений при пуске благодаря возможности применения более глубокого ослабления поля. При прогнозирувавшемся ВНИИЖТ увеличении технической скорости движения ориентировочно с 50 до 70 км/ч это обеспечивало снижение потребления энергии из тяговой сети поездами с предложенной системой ТЭП на 30–50 %. Серийное производство таких ЭП было освоено в начале 80-х годов прошлого века. Однако прогнозируемого роста технической скорости не произошло, а при прежнем ее уровне расход энергии практически не уменьшился из-за роста реостатных потерь и низкой эффективности рекуперации.

Для преодоления выявившегося недостатка МЭИ предложил реализовать перегруппировку ТМ за счет объединения схем силовых цепей двух моторных вагонов (МВ) с помощью одного межвагонного соединения в так называемую сплотку. Такая схема была опробована на модернизированных ЭП и подтвердила возможность снижения расхода ими электроэнергии на 30–35 % по отношению к серийным ЭП при существующем уровне скоростей движения. Однако массового внедрения этой энергосберегающей системы по различным причинам не произошло. В результате сегодня практически все ЭП ПТ оборудованы энергоемкой системой ТЭП, которая может быть модернизирована без больших затрат и усложнения электрооборудования в энергосберегающую. Подобная модернизация с использованием современных интеллектуальных систем ослабления возбуждения ТМ на основе IGBT-транзисторов обеспечит ОАО «РЖД» (при использовании ее на всех ЭП) снижение затрат на оплату электроэнергии более чем на 1 млрд руб. в год. Другие варианты модернизации эксплуатируемых ЭП практически отсутствуют.

А.С. Храбрин, студ.; рук. В.Е. Осипов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА КОМПАКТНОЙ ЯЧЕЙКИ ПОСТОЯННОГО ТОКА НАПРЯЖЕНИЕМ 825 В ДЛЯ МЕТРОПОЛИТЕНА

Представлены результаты разработки компактной ячейки постоянного тока напряжением 825 В для метрополитена, которая обеспечивает снижение габаритов почти в 3–4 раза по сравнению с существующими.

Компактность была достигнута благодаря следующим нововведениям:

- применены оригинальные конструкции разъединителей-переключателей производства ЗАО «НПП ЭНЕРГИЯ»;
- применен компактный быстродействующий выключатель (БВ) постоянного тока производства итальянской компании Microelettrica.

Конструкция представляет собой ячейку с размерами 600×2200×1000 (Ш×В×Г), которая позволяет проводить одностороннее обслуживание. Для обслуживания БВ используется выдвижной контакт, что повышает надежность и независимость от деформации строительных конструкций тяговой подстанции [1].

Ячейка оснащена новой системой диагностики тяговой сети СДТС-1 производства ЗАО «НПП ЭНЕРГИЯ». Основные функции, которые выполняет СДТС-1 [2]:

1. Измерение величины и формы тока и напряжения тяговой сети в различных режимах, в том числе и при коротком замыкании (КЗ) в тяговой сети (ТС).
2. Передача измеренных значений тока и напряжения в систему высокого уровня (систему телеизмерения, сигнализации, центральный пульт дистанционного управления).
3. Фиксация и передача (при запросе) амплитудных значений измеренных величин.
4. Защита тяговой сети от токов КЗ, в том числе от малых токов КЗ.
5. Измерение скорости нарастания и спада тока и напряжения в ТС.
6. Обеспечение точного контроля и дублирование уставки БВ постоянного тока с выдачей сигнала о ее несоответствии.
7. Осцилографирование и запоминание величины и формы токов и напряжений при КЗ, их последующая передача в систему высокого уровня для статистического анализа с целью корректировки токовой уставки.
8. Гальваническая развязка цепей, находящихся под потенциалом до 1000 В.

Литература

1. **Тяговые** подстанции трамвая и троллейбуса / под ред. Н.А. Загайнова. М.: Транспорт, 1988.
2. **Ефремов И.С., Кобзев В.М., Шевченко В.В.** Технические средства городского электрического транспорта. М.: Высшая школа, 1985.

Направление
ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Научный руководитель направления —

зав. каф. ИЭиОТ, к.т.н.

О.Е. Кондратьева

Секция 29

ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ

Председатель секции — зав. каф. ИЭиОТ,

к.т.н. О.Е. Кондратьева

Секретарь секции — ведущий инженер В.В. Трифонов

В.Ю. Бурцев, студ.; рук-ли А.Ф. Монахов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);

Т.Т. Кондратенко, к.т.н., с.н.с. (НИФХИ, г. Москва)

ПОЛУПРОВОДНИКОВЫЙ ДЕТЕКТОР ДЛЯ РАДИОМЕТРА

Разрабатываемый полупроводниковый детектор предлагается использовать в радиометрах, т.е. приборах, предназначенных для измерения объемной активности. Для этой цели наиболее эффективным представляется использование трубчатой полупроводниковой структуры – ТПД, работающей в режиме генерации ЭДС. Это позволяет измерять радиоактивность проточных газов и жидкостей, пропуская их через трубчатую полупроводниковую структуру. Данный прибор будет пригоден в использовании на АЭС для предупреждения аварийных ситуаций.

ТПД выполняется в виде полого цилиндра с $p-n$ -переходами, расположенными симметрично относительно оси. Внутренний и внешний электроды, образующие с областями структуры омические контакты, также выполнены в виде полого цилиндра [1].

Внутри ТПД размещается волоконный фильтр. При прокачивании воздуха через ТПД частички пыли или жидкие аэрозоли оседают на фильтре, при этом непрерывно осуществляется регистрация тока (напряжения) ТПД. После прокачки воздуха в течение заданного времени ($t_{\text{зад}}$) определяется объем прокаченного воздуха в соответствии с показаниями аспиратора (L , л/мин):

$$V = L \cdot t_{\text{зад}}^*$$

После этого рассчитывается объемная активность пробы:

$$A_v = A^* / V.$$

Величина A^* определяется при тестировании датчика на соответствие регистрируемого тока (напряжения) эталонному образцу с заданной активностью. Для этого используется эталонный образец, создающий ионизирующее излучение с заданными характеристиками (например: с заданной активностью).

Прибор может контролировать газообразные и жидкие выбросы в окружающей среде, обеспечивая мониторинг радиационного загрязнения.

Литература

1. Кронгауз А.Н. Полупроводниковые детекторы в дозиметрии ионизирующих излучений. М.: Атомиздат, 1976.

Д.Ю. Бурькин, асп.; рук. Л.А. Коваленко, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ЭКОЛОГИЧЕСКИЙ МОНИТОРИНГ ПОЧВ В ЗОНЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ КОМПЛЕКСНОЙ АНТРОПОГЕННОЙ НАГРУЗКИ

Помимо химического загрязнения почвенные экосистемы подвергаются физическим воздействиям, одно из которых – электромагнитное поле (ЭМП). Электромагнитные поля воздействуют на все уровни организации жизни и на почвенные экосистемы. Они воздействуют на работу многих природных механизмов, в основе которых лежит процесс поглощения и преобразования энергии излучения. В связи с тем, что количество источников электромагнитных полей постоянно возрастает, вопросы электромагнитного загрязнения почв становятся все более актуальными.

Целью данной работы является проведение экологического мониторинга почв в зоне электромагнитного (от ЛЭП 110 кВ) и химического загрязнения тяжелыми металлами для изучения воздействия комплексной нагрузки на почвенную микробиоту.

В качестве объекта исследований был выбран Измайловский парк. Из комплекса физических и химических факторов для исследования были выбраны наиболее характерные для городской среды – электромагнитное поле и загрязнение тяжелыми металлами.

Результаты исследований позволили сделать вывод о наличии влияния ЭМП на почвенную микробиоту. Анализ полученных данных выявил следующую закономерность: наименьший уровень суммарной биологической активности (по показателям активности фермента каталазы в почвенном профиле) наблюдается на пробной площадке, находящейся непосредственно под ЛЭП, далее идет рост уровней биологической активности на удалениях от 0 м до 60 м от ЛЭП, на удалении 60 м от линии электропередач наблюдались высокие скачкообразные увеличения уровней каталазной активности в почвах. Эта закономерность наблюдается на всех 12 исследованных участках. Такое распределение ферментативной активности позволяет сделать вывод о негативном воздействии ЭМП на почвенные экосистемы, а именно об угнетении активности почвенной микробиоты на расстояниях до 60 м от ЛЭП.

А.А. Волкова, студ.; рук. Л.А. Коваленко, д.б.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

МЕТОДЫ БИОИНДИКАЦИИ СОСТОЯНИЯ ЛЕСНОГО БИОГЕОЦЕНОЗА ПО КОМПЛЕКСУ ПРИЗНАКОВ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ

Поиск объективных и простых в исполнении методов ранней диагностики техногенного загрязнения природной среды – актуальная задача в экологических исследованиях [1].

Цель данной работы – оценка методов изучения состояния локальных экосистем по комплексу признаков, присущих в зависимости от этого состояния сосне обыкновенной *Pinus sylvestris* L.

Для исследования были взяты образцы побегов и хвои в весенний период 2014 года из районов вблизи г. Чехова и г. Дедовска. На пробных площадках отбирали деревья в возрасте 30–40 лет и срезали центральные побеги, отсчитывая 3–4 года.

Хвоя осматривалась при помощи лупы, выявлялись некрозы кончиков хвоинок и всей поверхности, измерялась длина хвои на побеге, а также ее ширина. Продолжительность жизни хвои определялась просмотром побегов по мутовкам. Измерялась длина прироста каждого года. Определялась толщина побега (на примере двухлетнего побега). В местах междоузлий подсчитывалось ветвление. На побегах определялись некрозы. Подсчитывалось число сформировавшихся почек. Длина и толщина почек определялись с помощью измерительной лупы.

Хлорофилл извлекали из листа растворителями (спирт, ацетон) и определяли его содержание на фотоэлектрокалориметре. Для пересчета хлорофилла на стандартные величины был использован раствор Гетри.

Предложенный комплекс методов целесообразно использовать на лесных экосистемах, поскольку методы, входящие в этот комплекс, достаточно объективны, не требуют дорогостоящего оборудования, высокого уровня квалификации исполнителя и позволяют получить достоверные данные о состоянии окружающей среды.

Исследования, проведенные на территориях лесных биогеоценозов вблизи г. Чехова и г. Дедовска, позволили определить состояние природной окружающей среды на изучаемых территориях как удовлетворительное.

Литература

1. Коваленко Л.А., Макаров А.К., Медведев В.Т., Скибенко В.В. Контроль состояния окружающей среды и защита от антропогенных загрязнений: учеб. пособие. – М.: Издательский дом МЭИ, 2009.

И.И. Галимуллин, студ.; рук. В.И. Капаев, к.т.н., доц. (КГЭУ, г. Казань)

ЭЛЕКТРО-МАГНИТОПОЛЕВОЙ СПОСОБ ФОРМИРОВАНИЯ ТОПЛИВНО-ВОЗДУШНОЙ СМЕСИ В ДВИГАТЕЛЕ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ

Экологические, экономические и мощностные характеристики двигателей внутреннего сгорания (ДВС) в значительной мере зависят от полноты сгорания топливно-воздушной горючей смеси, которая во многом определяется организацией процесса ее смесеобразования. Известно, что ДВС требует для своей работы активированной гомогенной топливно-воздушной горючей смеси, однородной по своему составу, в идеальном случае состоящей из активизированных молекул углеводородов и воздуха, смешанных на молекулярном уровне. В связи с этим ведутся исследования по созданию устройств, повышающих активизацию и улучшающих гомогенизацию топливно-воздушной смеси. При этом имеются ряд исследований и конкретных разработок [1, 2], свидетельствующих о том, что воздействие электрического и магнитного полей в соответствующих формах на всех этапах подготовки топливно-воздушной горючей смеси позволяет существенно интенсифицировать процесс ее горения и получить более полное сгорание топлива при минимуме токсичности отходящих газов и при сохранении мощностных характеристик ДВС. Однако при этом, как правило, рассматривается воздействие одного из полей, позволяющее либо только активизировать, либо только гомонизировать топливно-воздушную горючую смесь. Предлагается наиболее эффективный, технически и экономически целесообразный способ совместного воздействия электрического и магнитного полей на процесс образования топливно-воздушной горючей смеси ДВС. Метод заключается в предварительной ионизации поступающего в камеру сгорания кислорода воздуха электрическим полем с последующим воздействием на топливно-воздушную горючую смесь поляринопеременным магнитным полем с целью разрыва углеводородных цепочек из сгустков компонентов топлива с последующим смешением активизированных воздушной и топливной составляющих. При этом топливно-воздушная смесь модифицируется в однородную на молекулярном уровне (гомогенную) массу, которая сгорает более полно.

Литература

1. **Латенко Ю.Н.** Устройство для ионизации воздуха: патент РФ № 96186 с приоритетом от 29.03.2010 г.
2. **Дудышев В.Д.** Магнитоэлектрический активатор: патент РФ № 58942 с приоритетом от 16.08.2006 г.

Т.С. Гальцова, студ.; рук. А.Л. Суздалева, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

АДАПТАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО МЕНЕДЖМЕНТА В СФЕРЕ ГАЗОДОБЫВАЮЩЕЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ

Система экологического менеджмента (СЭМ) является составной частью системы управления. В России в основном распространен стандарт ISO 14000. Данный стандарт необходим всем организациям, которые хотят выйти на международный уровень, и является залогом их конкурентоспособности. СЭМ имеет как общие правила управления, так и специфические для каждого предприятия в отдельности. Основным принципом СЭМ является постоянное улучшение влияния на окружающую среду [1]. На примере ООО «Бургаз» рассматривается адаптация СЭМ в газодобывающей промышленности.

В СЭМ ООО «Бургаз» отражено, что организация ведет свою деятельность в сфере природопользования на международном уровне. Она занимается строительством всех видов скважин на всей территории Российской Федерации.

На объектах ООО «Бургаз» источниками воздействия на окружающую среду являются транспорт и строительная техника, блок приготовления буровых растворов, устье скважины, циркуляционная система, система сбора отходов бурения, емкость ГСМ, двигатели внутреннего сгорания, котельные, химические реагенты, отходы бурения и т.п.

Экологической политикой ООО «Бургаз» декларируется, что основным принципом деятельности организации является динамичный экономический рост при сохранении благоприятной окружающей среды.

Одним из основополагающих элементов в адаптации СЭМ является установление, внедрение и поддержание в рабочем состоянии документированных экологических целей и задач, минимизирующих негативное воздействие на окружающую среду.

Проведенный анализ показывает успешную адаптацию СЭМ на объектах ООО «Бургаз» [2], внедренную в соответствии со стандартом ISO 14000:2004.

Литература

1. **Габова И.Я.** Экологический менеджмент на промышленных предприятиях: учебное пособие. Екатеринбург: Центр экологического обучения, 2004.
2. **Дайман Ю.** Системы экологического менеджмента для практиков. М.: Изд-во РХТУ им. Д.И. Менделеева, 2004.

АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ВЫСОКОЧАСТОТНЫХ ИЗЛУЧЕНИЙ НА ЧЕЛОВЕКА И МЕТОДЫ ЗАЩИТЫ ОТ НИХ

Электромагнитное излучение (ЭМИ) все больше становится частью жизнедеятельности человечества. В работе рассмотрены источники сверхвысокочастотного (СВЧ) излучения, которые используются в различных сферах деятельности человека, обеспечивая его комфортное существование. Для одних технических средств генерация электромагнитной энергии является технологическим функциональным назначением, а для других – рассеянием ЭМИ, то есть побочным явлением. В этих случаях генерируемые поля являются фактором загрязнения окружающей среды и негативно сказываются на здоровье человека, и защита от них представляется актуальной задачей современности. В связи с этим появились средства защиты и безопасности при работе с излучениями в соответствии с нормами воздействия на живые организмы.

Воздействие на человека ЭМИ сверхвысоких частот, уровни которых превышают допустимые, приводит к нарушениям функционального состояния нервной, сердечно-сосудистой, репродуктивной, эндокринной и иммунной систем, а также провоцирует развитие заболеваний глаз. Помимо катаракты, при воздействиях ЭМИ более высоких частот могут наблюдаться кератиты (при частотах, близких к 35 ГГц), а также повреждения стромы роговицы.

Условия защиты от ЭМИ продолжают совершенствоваться, ведется работа над модернизацией и созданием новых средств защиты от ЭМИ. В работе рассмотрены организационные меры и инженерно-технические средства защиты от ЭМИ для человека. Наиболее популярными являются экранирование, защита временем и расстоянием, использование защитных костюмов и специальных материалов для индивидуальной защиты персонала, работающего с источниками ЭМИ [1].

Использование различных приемов ослабления ЭМИ позволяет оптимизировать технологические процессы с использованием источников СВЧ-диапазона с максимальной безопасностью для персонала и населения.

В работе предложен новый способ защиты от СВЧ-излучения, заключающийся в применении объемных резонаторов, позволяющих ослабить излучение устройств на 18–20 дБ, также рассмотрена возможность их применения при разработке защитного (от ЭМИ) костюма для эксплуатационного персонала.

Литература

1. Колечицкий Е.С., Романов В.А., Каргашев В.Г. Защита биосферы от влияния электромагнитных полей. М.: Издательский дом МЭИ, 2008.

Е.А. Дегтяренко, студ.; рук. А.Ф. Монахов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

РАЗРАБОТКА АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ ОБЕСПЕЧЕНИЯ БЕЗОПАСНОСТИ ПРИ РАБОТЕ ПОД НАВЕДЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Потенциальная характеристика отключенного провода зависит от таких факторов, как расстояние между отключенной и действующей воздушными линиями (ВЛ); их протяженности; сопротивления линий; тока влияющей линии; сопротивления заземляющих устройств подстанций в начале и конце линии; сопротивления заземлителя на месте работ и ряда других факторов. Все это делает задачу обеспечения безопасности персонала трудно решаемой в рамках известных характеристик ВЛ и подстанций. Неоднозначным является выбор способа заземления отключенной линии, т.е. в распределительном устройстве и на рабочем месте или только на рабочем месте. Из изложенного вытекает необходимость регулирования распределения наведенного напряжения в отключенной сети. Поэтому в данной работе предлагается воздействовать на величину наведенного напряжения путем изменения сопротивления заземляющих устройств подстанций.

Известно [1], что положение точки нулевого потенциала зависит от отношения между сопротивлениями заземляющих устройств на концах линии, т.е. на подстанциях. Проведенные расчеты показали, что, например, при соотношении участков линии от места работ до подстанций, равном 1,5, при сопротивлениях заземляющих устройств на подстанциях 0,5 Ом следует увеличить сопротивление цепи заземления до 0,75 Ом. Полученное значение превышает нормированное значение 0,5 Ом, и для получения значения 0,75 Ом следует ввести в цепь между отключенным проводником и заземляющим устройством одной из подстанций регулируемое сопротивление со значением 0,25 Ом. Такое сопротивление может быть реализовано на базе мощных резисторов из электропроводного бетона. Предложена блок-схема автоматизированной системы, включающей следующие подсистемы: контроля заземляющих устройств, обработки результатов измерений, расчета сопротивления регулируемых резисторов.

Литература

1. Долин П.А. Основы техники безопасности в электроустановках. М.: Знак, 2000.

Д.С. Журавкова, студ.; рук. А.Ф. Монахов, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

АНАЛИЗ ЗАЩИТНЫХ СВОЙСТВ ШУНТИРУЮЩИХ КОСТЮМОВ ПРИ РАБОТЕ ПОД НАВЕДЕННЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ

Новые «Правила по охране труда при эксплуатации электроустановок» в ряде пунктов (38.44, 38.45) содержат требования о необходимости применения комплектов для защиты от наведенного напряжения [1]. Данный комплект выполнен из проводящих материалов и позволяет в случае прикосновения человека к проводникам, находящимся под напряжением, обеспечить протекание большей части тока через токопроводящую одежду (далее – шунтирующий костюм). Согласно информационным материалам производителей, элементы костюма имеют следующие сопротивления: перчатки – 30 Ом, одежда – 10 Ом, обувь – 500 Ом. Максимальные значения тока через костюм 100 А.

Для оценки протекающего через человека тока воспользуемся простой моделью, состоящей из двух параллельных цепей. Одна цепь содержит сопротивление шунтирующей одежды, другая – сопротивление тела человека и сопротивления изоляции одежды (СИО) относительно тела человека.

Сопротивление тела человека будем считать равным 1 кОм. Тогда для характеристик шунтирующего костюма, приведенных выше без учета СИО, получим, что протекающий через человека ток равен 1000 мА. Это значение намного выше допустимого (650 мА) даже при времени воздействия 0,08 с [2]. Если же учитывать СИО, то при длительно допустимом токе (6 мА) его значение будет равно 80,3 кОм.

Таким образом, защитные свойства шунтирующего костюма зависят не только от сопротивления шунтирующей одежды, но и от СИО. СИО, как и сопротивление человека, могут существенно меняться при потоотделении в случае перегрева, когда другие механизмы теплоотвода (конвекция, теплоизлучение, контактная теплопередача) неэффективны. Поэтому предлагается указывать в информационных материалах сопротивление изоляции шунтирующей одежды относительно тела человека или коэффициент шунтирования, показывающий, во сколько раз ток через человека будет меньше ожидаемого тока, протекающего через шунтирующий костюм.

Литература

1. **Правила** по охране труда при эксплуатации электроустановок. – М.: Изд-во НЦ ЭНАС, 2013. – 168 с.
2. **ГОСТ 12.1.038–82.** Предельно допустимые значения напряжений прикосновения и токов.

А.Ю. Зернова, студ.; рук. В.Т. Медведев, д.т.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

ОБЕСПЕЧЕНИЕ КОМФОРТНЫХ УСЛОВИЙ ПО УРОВНЮ ШУМА НА РАБОЧИХ МЕСТАХ ИСПЫТАТЕЛЬНОЙ СТАНЦИИ

Общепринято, что ежедневное среднее значение шума менее 80 дБА не представляет угрозы для здоровья людей, шум более 90 дБА является вредным. Поэтому люди, подверженные воздействию шума 85–90 дБА, должны регулярно проходить обследования, так как при выполнении работ в таких условиях у наиболее чувствительных к шумам людей может развиваться тугоухость [1, 2].

Общий уровень шума на рабочих местах испытательной станции, на которой проводятся исследования, не превышает нормативных значений, однако, учитывая жалобы работников на высокую утомляемость и головные боли, возникающие при некоторых режимах работы станции, целесообразно разработать мероприятия по защите от шума на рабочих местах. С этой целью проведен анализ уровня звуковой мощности на рабочих местах по октавным полосам при наиболее интенсивном режиме работы:

f , Гц	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
L , дБ	53	55,5	55,4	60,7	64,6	58,4	52,0	41,7

Анализ полученных данных свидетельствует о том, что на частотах 63, 125, 500 Гц составляющие шума превышают 50 дБ, а на частотах 500, 1000 Гц – 60 дБ. Следует заметить, что длительное воздействие достаточно значительных составляющих шума на указанных частотах может вызывать головные боли и утомляемость у отдельных категорий работающих. С целью создания более комфортных и безопасных условий труда на рабочих местах были использованы меры коллективной защиты, такие как облицовка и переносные шумоизолирующие экраны [2].

Для облицовки стен использованы плиты ПА/О, минераловатные акустические. В качестве звукопоглощающего материала для изготовления шумоизолирующих переносных экранов использован винипор полужесткий.

Расчетные данные свидетельствуют о том, что такие мероприятия позволяют получить значительное снижение шума, как на рассматриваемых, так и на других частотах:

f , Гц	63	125	250	500	1000	200	4000	8000
L , дБ	46	52,7	51	45	35,3	40,1	35,5	29,1

Литература

1. СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки.
2. **Инженерная** экология: учебник / под ред. проф. В.Т. Медведева. – М. Гардарики, 2002.

ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОИЗВОДСТВА ПОЛИМЕРНЫХ МАТЕРИАЛОВ

Развитие научно-технической революции и связанные с ней грандиозные масштабы производственной деятельности человека привели к большим позитивным преобразованиям в мире – созданию мощного промышленного и сельскохозяйственного потенциала. Но вместе с тем резко ухудшилось состояние окружающей среды. Загрязнение атмосферы как части экосферы огромно. За последние три–четыре десятилетия в промышленности резко возросло использование полимерных материалов и к настоящему времени достигло колоссальных размеров, а перспективы их производства и применения в различных областях народного хозяйства и быта постоянно расширяются [1].

В работе рассмотрены проблемы безопасности на производстве пластических масс. Произведен обзор по выпуску пластических изделий, представлена их классификация, а также маркировка. Выявлены неблагоприятные производственные факторы и их влияние на работающих, окружающую среду и население. Рассмотрены основные методы очистки воздуха от воздействия загрязняющих веществ. Основное внимание было уделено рассмотрению производственного процесса в цехе литья пластмасс и установки очистного оборудования для сохранения здоровья работающих на надлежащем уровне.

По итогам исследований была проведена оценка возможного вреда от производства пластмасс для населения. Выявлено, что многие химические добавки, улучшающие эксплуатационные свойства изделий из пластмасс, могут нанести вред окружающей среде и здоровью населения, а именно вызвать эндокринные нарушения, привести к развитию раковых опухолей, подавлению иммунной системы и проблемам развития у детей. В работе приведены некоторые рекомендации по соблюдению безопасности при контакте с пластмассовыми изделиями. Сделан краткий обзор по перерабатываемым материалам цеха литья пластмасс, представлен расчет загрязнения атмосферы выбросами одиночного источника по основным загрязнителям воздуха в цехе литья пластмасс и предложены очистные технологии.

Литература

1. **Основы** технологии переработки пластмасс / С.В. Власов, Л.Б. Кандырин и др. М.: Химия, 2004.

В.В. Лызлова, студ.; рук. Л.А. Коваленко, доц., проф. (НИУ «МЭИ»)

МОРФОМЕТРИЧЕСКИЕ ПРИЗНАКИ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ В ПАРКАХ ГОРОДА МОСКВЫ

В последние годы в экологическом мониторинге состояния лесного биогеоценоза часто используют морфометрические показатели деревьев. В данной работе в качестве объектов исследования использовались ветви деревьев сосны обыкновенной, произрастающей на территориях Измайловского и Кузьминского лесопарков, при этом контрольные образцы были отобраны на территории лесного массива вблизи поселка им. Цюрупы Воскресенского района.

Оценка окружающей среды по комплексу признаков сосны обыкновенной проводилась путем определения параметров хвои сосны, почек, побегов, а также характера смолы выделения ассимиляционными органами.

Согласно полученным данным средняя продолжительность жизни хвои сосны в парке Измайлово составляет 2,5 года, при этом число хвоинок на 10 см побега в среднем составляет 97 шт., а вес 1000 хвоинок равен 12,53 г. В хвое сосны отсутствуют некрозы, что свидетельствует об отсутствии вредных газовоздушных выбросов вблизи данной территории.

Деревья на территории Кузьминского лесопарка имели следующие морфометрические показатели: продолжительность жизни – 2,5 года; число хвоинок на 10 см побега – 88 шт.; вес 1000 хвоинок – 12,81 г.

Показатели контрольного образца лесного массива поселка им. Цюрупы имели следующие величины: продолжительность жизни – 2,5 года; число хвоинок на 10 см побега – 71 шт.; вес 1000 хвоинок – 13,08 г.

Средняя длина побегов за вегетационный период 2014 года составила: в Измайлово – 11,16 см; в Кузьминском парке – 8,5 см; в контрольном образце – 11,35 см.

Согласно полученным данным определения смолы выделения хвои сосны обыкновенной в изученных биогеоценозах эффективность последнего была недостаточно высокой, что указывает на ограниченное воздействие газовоздушных выбросов на изучаемых территориях.

Результаты исследования позволяют сделать следующие выводы:

– недостаточная продолжительность жизни хвои сосны обыкновенной (2,5 года против 4 лет при оптимальных условиях) на всех изученных территориях позволяет судить об ухудшении лесорастительных условий на территории Московской области.

– наилучшие условия прорастания деревьев выявлены на территории вблизи поселка им. Цюрупы, поскольку здесь наблюдаются высокие показатели ассимиляционных органов и длины побегов.

Ю.С. Перепелкина, студ.; рук-ли В.С. Малышев, д.б.н., проф.;
А.М. Боровкова, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»)

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ ТРУДА НА ПЕРСОНАЛ

Разработанный на кафедре ИЭиОТ НИУ «МЭИ» компьютерный диагностический комплекс (КДК) «Паттерн» позволяет учесть акустические проявления изменений респираторного цикла, возникающие при работе в условиях переменной пылевой нагрузки. При помощи КДК «Паттерн» на базе кафедры ИЭиОТ НИУ «МЭИ» было получено 10 акустических портретов (паттернов дыхания).

Акустические портреты (паттерны) респираторного цикла классифицируются по заведомо установленным различиям условий труда, а нейронная сеть обучается выявлять эти оценочные признаки.

Согласно [1], многослойный персептрон – вид нейронных сетей для задач классификации, представляет собой сеть, состоящую из нескольких последовательно соединенных слоев формальных нейронов, в которой связанные между собой нейроны (узлы сети) объединены в несколько слоев. Для применения персептронной нейронной сети каждый паттерн кодируется в виде матрицы-строки, состоящей из n элементов ($n = 7$).

Таблица 1

Работа, нДж (1,2–12,6)	Работа, нДж (5–12,6)	Работа, нДж (1,2–5,0)	Работа, нДж (0,2–1,2)	к1	к2	к3
11,40	0,54	10,86	425,75	2,68	2,55	0,13
11,19	4,13	7,05	544,01	2,06	1,30	0,76*
32,612	0,011	0,055	0,816	31,448	0,974	0,190
9,460	0,011	0,036	0,797	8,848	0,480	0,133**

* Портреты (1 и 10 значений) полученные по версии КДК «Паттерн 1»;

** Портреты (1 и 10 значений) полученные по версии КДК «Паттерн 2».

Таким образом, исходные данные представляют собой набор векторов в n -мерном пространстве. В соответствии с теорией нейронных сетей каждому вектору сопоставлен класс (условие труда), к которому он принадлежит.

КДК «Паттерн» позволяет оценить влияние условий труда на здоровье персонала по акустическому портрету респираторного цикла.

Литература

1. **Боровкова А.М.** Разработка научных основ аппаратно-программного метода оценки воздействия вредных производственных факторов на персонал в энергетике: дис. ... канд. техн. наук. М.: МЭИ, 2010.

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКОЛОГИЧЕСКОГО НОРМИРОВАНИЯ ЛОКАЛЬНЫХ ЭКОСИСТЕМ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ

Одно из основных понятий экологического нормирования – это предельно допустимая экологическая нагрузка (ПДЭН). В общем виде ПДЭН – максимальная нагрузка, которая еще не вызывает нежелательных изменений у реципиентов воздействия и не приводит к ухудшению качества природной среды. Теоретически любая экосистема может быть описана бесконечным набором параметров. Для того чтобы экологическое нормирование могло быть реализовано на практике, необходима определенная процедура свертывания информации [1].

Цель данной работы – осуществить процедуру свертывания информации путем нахождения связи между параметрами загрязнения воздуха и качеством почвы.

В работе представлены показатель суммарного загрязнения почвы (Z_c) и индекс загрязнения атмосферы (ИЗА) для 10 точек. Показатель Z_c рассчитан для меди, свинца, цинка, ртути, кадмия, нитратов. Представлены значения ИЗА для оксида углерода, диоксида азота, формальдегида, фенола и оксида азота. Сделана попытка связать загрязнение почвы и атмосферы. Найден коэффициент корреляции, который оказался равным 0,98. Величина коэффициента корреляции свидетельствует о том, что связь между показателями качества почвы и индексом загрязнения атмосферы значительна [2].

В представленной работе обоснована необходимость свертывания информации для получения экологических нормативов и сделана попытка связать уровень загрязнения воздуха с уровнем загрязнения почвы. С помощью математической обработки была найдена зависимость между этими параметрами. Полученный результат можно считать одним из звеньев нахождения и установления экологических нормативов. Несомненно, работа по определению связи между нагрузками на экосистему, ее качеством и ее состоянием должна вестись и дальше. Но даже зависимость, найденная только между состоянием воздуха и состоянием почвы, вполне может использоваться при осуществлении экологического мониторинга г. Москвы.

Литература

1. **Воробейчик Е.Л., Садыков О.Ф., Фарафонов М.Г.** Экологическое нормирование техногенных загрязнений наземных экосистем (локальный уровень). Екатеринбург: УИФ «Наука», 1994.
2. **Ильина И.Н., Ишков А.Г., Галицкая И.В., Кавтарадзе Д.Н.** Экологический атлас Москвы. М.: Изд-во «АБФ/ABF», 2010.

*В.В. Романенко, студ. (ГУ им. Шакарима, г. Семей);
С.Б. Субботин, соиск. (Национальный ядерный центр);
Д.Е. Аюнов, соиск. (Институт нефтегазовой геологии
и геофизики СО РАН РФ); рук. У.П. Козтаева, к.ф.-м.н.
(Национальный ядерный центр, Республика Казахстан)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕРМАЛЬНОЙ АКТИВНОСТИ ЭПИЦЕНТРАЛЬНЫХ ЗОН ПОДЗЕМНЫХ ЯДЕРНЫХ ВЗРЫВОВ

На территории бывшего Семипалатинского испытательного полигона (СИП) в настоящее время имеются признаки термальной активности, связанные с наличием долговременных остаточных процессов, возникших в результате проведения подземных ядерных испытаний [1].

Для изучения и прогнозирования процессов, протекающих в котловых полостях подземных ядерных взрывов (ПЯВ), начат долговременный температурный мониторинг с использованием станций автоматических измерений, а также проводятся дискретные измерения температуры подземных вод в гидрогеологических скважинах.

По температурному режиму выявлены «холодные» (7–9 °С) и «горячие» (9–11 °С) скважины. Преобладают «холодные» скважины. В пределах исследуемой площадки температура на глубине 20 м заметно выше, чем среднегодовая «фоновая» температура (6–7 °С) на подошве «нейтрального» слоя в области расположения Семипалатинского полигона [2].

Выполненные измерения показали наличие прогретости верхнего слоя горных пород в пределах изученной части полигона. Согласно данным температурного мониторинга в скважинах тепловой поток не стационарен, что может быть связано с вертикальной миграцией газов, которая вносит искажение в распределение локального теплового потока.

Предложено в дальнейших исследованиях для получения большей информации проводить бурение и оборудование глубоких скважин (150–300 м) в связи с тем, что глубина проведения ядерных испытаний составляла более 400 м.

Литература

1. **Мамаш Е.А., Аюнов Д.Е., Пермяков М.Е.** Мониторинг температурного режима в районе Семипалатинского полигона с использованием данных дистанционного зондирования: ретроспективный анализ и перспективы дальнейших исследований // Вычислительные технологии. 2013. Совм. вып.
2. **Хуторской М.Д.** Геотермия Центрально-Азиатского складчатого пояса. М.: Изд-во РУДН, 1996.

Д.С. Серегина, студ.; рук. Л.А. Коваленко, д.б.н., проф. (НИУ «МЭИ»)

БИОЛОГИЧЕСКАЯ АКТИВНОСТЬ ПОЧВ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЛЭП 110 кВ

В современной биосфере главной средой обитания биоты как по числу видов, так и по биомассе является почва, которая играет ключевую роль в процессе трансформации всех наземных экосистем. Следовательно, оценка состояния почв различных агроэкосистем, а также техногенных территорий является одним из главных элементов общей работы по экологическому мониторингу. При этом основой для разработки предельно допустимой нагрузки (ПДН) может служить определение способности почвы к самоочищению от различных загрязнений по уровню активности почвенных ферментов [1].

Для биоиндикации состояния почвенных экосистем территории Измайловского лесопарка определялась активность ферментов нитратредуктазы (КФ 1.6.6.1) и каталазы (КФ 1.11.1.6), которые соответствуют интенсивности дыхательного обмена в почве и способности к самоочищению от различного рода поллютантов.

Изучалось изменение активности ферментов в зоне действия ЛЭП 110 кВ в зависимости от удаления от источников загрязнения. Данные исследования подтверждают, что активность фермента в почве неодинакова на различных расстояниях от источника загрязнения и уменьшается вниз по почвенному профилю.

В результате исследований по определению биологической активности каталазы и нитратредуктазы в лесных подстилках и почвах Измайловского лесопарка в районе загрязнения электромагнитными излучениями были выявлены изменения ферментативной активности на участках под ЛЭП 110 кВ, удаленных на различные расстояния от нее, по сравнению с почвами контрольных площадок. Характер данных изменений аналогичен таковому в организме животных и человека при развитии в нем адаптационного синдрома (стресса), протекающего в несколько стадий, выделенных теорией Г. Селье.

Литература

1. **Бабушкина Л.Г., Коваленко Л.А., Неверова О.П., Судаков В.Г.** Биологическая активность компонентов агробиогеоценозов как показатель адаптации экосистем к антропогенному загрязнению. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2008.

*А.С. Степанова, учаш. (ГБОУ СОШ № 422 «Перово»);
рук-ли В.В. Скибенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
Л.А. Герасина, методист (ГБОУ СОШ № 422 «Перово»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ ОЧИСТКИ ВОДЫ МЕТОДОМ ФЛОТАЦИИ

Флотация – физико-химический процесс создания аэроводной среды, основанный на прилипании взвешенных в ней примесей к пузырькам воздуха и всплывании их на поверхность.

Изначально метод флотации применялся только для обогащения добываемых природных ископаемых. Сейчас им очищают воду, при этом используются безнапорная, напорная и электрофлотация. Однако различные режимы данного процесса мало изучены, так как глубокие специальные теоретические изыскания в области флотационной очистки воды почти не проводились [1].

Исходя из этого была поставлена задача – определить наиболее оптимальные и продуктивные режимы очистки воды методом напорной флотации, при которой осуществляется насыщение воды воздухом в течение определенного времени при определенном давлении и стравливание его для создания пузырьков. Загрязнителями являлись неорганические и органические компоненты. Были выбраны бентонитовый песок и фито- и зоопланктон [2]. В экспериментах варьировались следующие параметры: время насыщения водной среды (10–20 мин), давление воздуха при насыщении (2–4 атм), концентрация загрязнителей (100–1000 мг/л).

Анализ результатов позволил сделать следующие выводы:

- эффективность извлечения неорганических мелкодисперсных компонентов находится на уровне 50–60 %;
- извлекаемость органических компонентов в случае использования оптимальных для бентонитового песка параметров – 65 %;
- наиболее оптимальный режим работы установки выдержки – 20 мин, давление насыщения – 4 атм, расход – 3 л/с.

Результаты экспериментов показали применимость напорной флотации для извлечения органических компонентов. При этом в случае расширения диапазона рабочих параметров установки (увеличения давление и времени насыщения) возможно увеличение извлекаемости до 85 %. Простота и экономичность установки делают ее применимой в промышленных условиях.

Литература

1. **Ксенофоров Б.С.** Флотационная обработка воды, отходов и почвы. М.: Новые технологии, 2010.
2. **Скибенко В.В., Медведев В.Т., Чудов В.Л.** Отбор проб для анализа загрязнения биосферы: методическое пособие. М.: Издательство МЭИ, 2006.

*А.С. Фандеева, студ.; рук-ли Л.А. Коваленко, д.б.н., доц.;
Н.В. Звонкова, асс. (НИУ «МЭИ»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ФЕРМЕНТАТИВНОЙ АКТИВНОСТИ В ЗОНЕ ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОМАГНИТНОГО ПОЛЯ ЛЭП

Электромагнитные поля (ЭМП) электротехнических объектов являются существенным фактором, оказывающим влияние на живые организмы. Работающая линия электропередач (ЛЭП) создает вокруг себя электрическое и магнитное поля промышленной частоты, причем распространяются ЭМП на десятки метров. Чем выше напряжение ЛЭП, тем больше зона повышенного уровня электрического поля. Дальность распространения магнитного поля зависит от величины протекающего тока или от нагрузки линии.

Воздействие ЭМП линий электропередач можно исследовать на примере экосистем, которые подвергаются постоянному воздействию таких полей при малом воздействии других факторов. Микробиологические сообщества почвы лесных массивов являются объектом таких исследований. Определяя ферментативную активность почв, можно сделать выводы об активности жизненных процессов под влиянием электромагнитного поля [1].

В ходе исследований были отобраны пробы из верхнего горизонта почвы (горизонта А1) и двух подгоризонтов (01, 02) с трех площадок, расположенных перпендикулярно направлению ЛЭП на 110 кВт. На выбранных площадках отбирались пробы почвы на расстояниях, соответствующих отметкам 0, 20, 40, 60, 80 и 100 м от оси симметрии ЛЭП. Контрольные точки были выбраны в тех же направлениях на расстоянии 200 м. В качестве показателя жизнедеятельности почвенных микроорганизмов определялась активность фермента дегидрогеназа (КФ 1.1.1), катализирующего окислительно-восстановительные реакции.

Проведенные исследования позволили сделать следующий вывод:

- на расстоянии от 0 до 40 м (в зоне, наиболее подверженной влиянию в процессе строительства и эксплуатации ЛЭП) имеется колебание содержания фермента;
- на расстоянии 60 м существует резкое увеличение активности фермента до максимума (в 2–4 раза превышает контрольный уровень) во всех рассматриваемых горизонтах, что свидетельствует о мощном стимулирующем влиянии дополнительной энергии.

Литература

1. Коваленко Л.А., Бабушкина Л.Г. Биологическая активность почв как показатель уровня адаптации почвенных экосистем к техногенному воздействию. Екатеринбург: УрГСХА, 2003.

ПРИМЕНЕНИЕ ОЗОНА В ПИТЬЕВОМ ВОДОСНАБЖЕНИИ

Одной из ключевых задач питьевого водоснабжения является обеспечение населения безопасной в эпидемиологическом отношении питьевой водой. Для обеззараживания применяют различные методы, в том числе фильтрацию, ультразвуковую обработку, хлорирование, озонирование [1].

К достоинствам последнего метода можно отнести возможность получения озона непосредственно из воздуха, а также одновременное улучшение органолептических свойств воды [2]. Озонирование воды позволяет уничтожить практически все болезнетворные бактерии, различные вирусы и микроорганизмы, а также с его помощью осуществляется обезжелезивание водной среды [3].

В связи с этим актуальной задачей является рассмотрение химического состава питьевой воды, а также оценка влияния на нее озона.

Опыт использования озонирования на современном этапе, накопленный для систем разной производительности, говорит о том, что эту технологию можно применять не только на мощных водопроводных станциях, отвечающих за снабжение водой крупных городов, но и в системах водоподготовки малой и средней производительности. Однако в данном случае появляются проблемы, связанные с экономической эффективностью [4].

В ходе проводимой работы рассматриваются перспективы и проблемы процесса водоподготовки с использованием озонирования в сравнении с иными технологиями очистки воды питьевого назначения.

Литература

1. **Коробцев С.В., Медведев Д.Д., Ширяевский В.Л.** Разработка установок локальной озонсорбционной очистки воды. Применение озона для подготовки воды в плавательных бассейнах и новые способы синтеза озона в газовых разрядах. М.: Информационный центр «ОЗОН», 1999. Вып. 11.
2. **Мазаев В.Т., Корлев А.А., Шлепнина Т.Г.** Коммунальная гигиена / под ред. В.Т. Мазаева. – 2-е изд., испр. и доп. – М.: ГЭОТАР-Медиа, 2005.
3. **Яковлев С.В., Воронов Ю.В.** Водоотведение и очистка сточных вод: учебник для вузов. – М.: АСВ, 2002.
4. **Кожин В.Ф.** Очистка питьевой технической воды: примеры и расчеты. – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Стройиздат, 1971.

*И.В. Чучавина, учаш. (ГБОУ СОШ № 422 «Перово»);
рук-ли В.В. Скибенко, к.т.н., доц. (НИУ «МЭИ»);
Л.А. Герасина, методист (ГБОУ СОШ № 422 «Перово»)*

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЧВ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ГОРОДА МОСКВЫ

В отличие от воды и атмосферного воздуха, которые являются миграционными средами, почва является наиболее объективным и стабильным индикатором техногенного загрязнения. Она четко отражает эмиссию загрязняющих веществ и их фактического распределения в компонентах городской территории. Наиболее информативной интегральной характеристикой состояния почвы являются химическое загрязнение и ее биологическая активность.

Целью данной работы являлось исследование ферментативной активности почв на территории Москвы и определение содержания тяжелых металлов.

Для достижения этой цели были решены следующие задачи:

- выбраны площади для отбора проб почв с 10 пришкольных территорий города Москвы;
- определена активность фермента каталазы газометрическим методом;
- проведены исследования по определению тяжелых металлов на мультисенсорном анализаторе;
- проанализированы полученные результаты.

Исследования по определению активности каталазы в почвах различных участков на территориях школ г. Москвы показали высокий и средний уровень во всех изучаемых районах, что свидетельствует о нормальном функционировании почвенной биоты, среднем уровне почвенного плодородия и сохраняющейся способности почв к ее самоочищению от загрязняющих веществ [1].

Анализ полученных результатов не выявил четкой корреляционной зависимости между биологической активностью почвы и накоплением в ней тяжелых металлов в полученных концентрациях. Основными загрязнителями исследуемых почв являются соли тяжелых металлов свинца и кадмия.

Комплекс приборов и методов, используемых в работе, пригоден для проведения экологического мониторинга в крупных промышленных центрах, городах, населенных пунктах, расположенных в зонах техногенного загрязнения.

Литература

1. **Практикум** по агрохимии / под ред. В.Д. Минеева. М.: Изд-во МГУ, 1989.

ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТОКОПРОВОДЯЩЕГО ДОРОЖНОГО ПОЛОТНА ДЛЯ ПИТАНИЯ ЭЛЕКТРОМОБИЛЕЙ

В ряде патентов предлагается использовать токопроводящую поверхность для питания транспортных средств (ТС) [1]. Однако существенные трудности, связанные с высокой стоимостью проводящего покрытия, обеспечением возможности передвигаться транспортному средству в любом направлении, вопросы электробезопасности не позволили этому направлению развиваться до уровня практического использования.

В связи с этим в данной работе был проведен поиск наиболее эффективных технических решений, позволяющих использовать систему электропитания ТС от токопроводящего дорожного полотна (ТДП).

Это прежде всего использование ТДП в виде полос с различным потенциалом для безостановочной подзарядки электромобилей, снабженных конденсаторной батареей. Так, например, при движении ТС со скоростью 10 км/ч, протяженность ТДП на зарядной станции не превысит 15 м.

Другой вариант – использование ТДП в логистических центрах для электропитания электрокаров и штабелеукладчиков. В этом случае можно практически отказаться от использования аккумуляторных батарей, а также полностью автоматизировать перемещение и работу ТС. Одновременно при использовании электропроводящего бетона можно обеспечить за счет нагрева ТДП поддержание температурного режима в помещении.

Для снижения уровней вибрации и шума при движении ТС по ТДП предлагается использовать бесшовные покрытия. В этом случае необходимая разность потенциалов на токоснимателях ТС возникает за счет стекания тока с электродов электропитания в токопроводящий слой дорожного полотна. При мощности ТС, равной 40 кВт, напряжение электропитания составляет не более 200 В, сопротивление контактов – не более 0,05 Ом, удельное сопротивление токопроводящего полотна составляет 0,2–1 Ом/м.

Литература

1. Патент РФ RU 2048308 C16 B60L5/42. Устройство для электропитания электрифицированного транспортного средства / А.Ф. Монахов. 1990.

СОДЕРЖАНИЕ

НАПРАВЛЕНИЕ – ИНФОРМАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ	3
Секция 15. Математическое моделирование	5
Секция 16. Прикладная математика	17
Секция 17. Вычислительная техника и САПР	35
Секция 18. Вычислительные машины, сети и системы	42
Секция 19. Управление и информатика в технических системах	60
Секция 20. Вычислительно-измерительные системы	78
Секция 21. Неразрушающий контроль и диагностика	85
НАПРАВЛЕНИЕ – ЭЛЕКТРОТЕХНИКА, ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ	107
Секция 22. Электромеханические преобразователи энергии	109
Секция 23. Физика и технология материалов и компонентов	131
Секция 24. Электротехнические и электромеханические системы и комплексы	141
Секция 25. Электрические и электронные аппараты	161
Секция 26. Электропривод и автоматика	192
Секция 27. Промышленные электротермические установки	235
Секция 28. Электрический транспорт	256
НАПРАВЛЕНИЕ – ИНЖЕНЕРНАЯ ЭКОЛОГИЯ	267
Секция 29. Инженерная экология	269

РАДИОЭЛЕКТРОНИКА, ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
И ЭНЕРГЕТИКА

**Двадцать первая Международная научно-техническая
конференция студентов и аспирантов**

Тезисы докладов
В 4 томах

Том 2

Корректоры *Г.Ф. Раджабова, В.В. Сомова*
Компьютерная верстка и подготовка
оригинал-макета *Л.В. Софейчук*

Подписано в печать 26.01.2015

Печать офсетная

Тираж 290 экз.

Усл. п.л. 16,85

Заказ

Формат бумаги 60×84/16

ЗАО «Издательский дом МЭИ», 111250, Москва, Красноказарменная ул., д. 14а
Отпечатано в ППП «Типография «Наука», 121099, Москва, Шубинский пер., д. 6