

Федеральное агентство по образованию

Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина»

Академия электротехнических наук Российской Федерации

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Международной научно-технической конференции

«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»

(XVI Бенардосовские чтения)

*К 130-летию изобретения электродуговой сварки
Н.Н. Бенардосом*

1-3 июня

**III том
Электротехника**

Иваново 2011

В III томе сборника научно-технической конференции представлены результаты научных исследований в области динамики, надежности и диагностики механических систем; методов анализа и синтеза систем управления электроприводами и установками; электромеханики и МЖУ; микроэлектронных и микропроцессорных управляющих устройств и систем; технологии машиностроения; математического моделирования, информационных систем и технологий.

Редакционная коллегия:

Тарарыкин С.В., ректор, д.т.н., профессор, - председатель
Тютиков В.В., проректор по НР, д.т.н., профессор,
Мошкарин А.В., зав. каф. ТЭС, д.т.н., профессор
Назарычев А.Н., зав. каф. ЭСДЭ, д.т.н., профессор
Митькин Ю.А., зав. каф. ТЭВН, д.т.н., профессор
Полетаев В.А., зав. каф. ТАМ, д.т.н., профессор
Косяков С.В., зав. каф. ПОКС, д.т.н., профессор
Колибаба В.И., зав. каф. экономики и организации предприятия
Клюнина С.В., нач. УИУНЛ

ISBN 978-5-89482-724-7
ный

© □ ГОУВПО «Ивановский государственный
энергетический университет
имени В.И. Ленина, 2011.

СЕКЦИЯ «ДИНАМИКА, НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ»

УДК 620.179.1

А.Е. КОНДРАТЬЕВ, к.т.н., доцент,
А.Р. ЗАГРЕТДИНОВ, аспирант
(КГЭУ, г. Казань)

Способ контроля технического состояния изделий из многослойных композиционных материалов

В настоящее время во многих отраслях машиностроения все более широкое применение находят многослойные конструкции из металлов, пластиков и их комбинаций, включая и конструкции с сотовым и пенопластовым наполнителем. Такие конструкции при малой массе отличаются высокой прочностью, жесткостью и хорошими теплоизоляционными свойствами.

Основным видом дефектов таких конструкций при их производстве, существенно снижающих их прочность, являются дефекты соединения слоев между собой. Дефекты соединений могут представлять собой локальные расслоения с газовой прослойкой между слоями, локальных непрочности из-за неправильного нанесения клеевого слоя и локальных участков с плохой адгезией клеевого слоя из-за некачественной подготовки поверхностей склеиваемых слоев. Традиционные методы дефектоскопии, такие как ультразвуковой, магнитный, радиационный вихретоковый, тепловой и прочие оказались малоэффективными для обнаружения указанных дефектов. Наиболее перспективным для этих целей является ударно-акустический метод (метод свободных колебаний). Суть метода заключается в том, что по поверхности контролируемого изделия наносятся механические удары и с того же участка поверхности снимается сигнал, определяемый упругими колебаниями, возбуждаемыми в контролируемом изделии этими ударами. Однако, в серийно-выпускаемых ударно-акустических дефектоскопах имеется наличие определенного расстояния между точкой удара и точкой съема упругих колебаний, возбуждаемых в изделии при ударе, что снижает локальность и достоверность контроля [3].

Предлагаемый способ контроля многослойных композиционных материалов направлен на повышение качества контроля изделий. Повышение качества контроля изделий достигается тем, что возбуждение упругих колебаний осуществляется ударным элементом со сквозным осевым отверстием с последующим ограничением границ локальной зоны контроля контактной поверхностью ударного элемента, в центре которого расположен чувствительный элемент.

Для реализации предлагаемого способа разработан первичный преобразователь (рис.), который содержит корпус 1, в котором запрессован

электромагнит 2 с подвижным якорем 3. Внутри полого якоря электромагнита закреплена, подпружиненная возвратной пружиной 4, сквозная трубка 5 с расположенным в ней отполированным щупом 6, к основанию которого жестко крепится пьезоэлектрический датчик 7, являющийся чувствительным элементом [2].

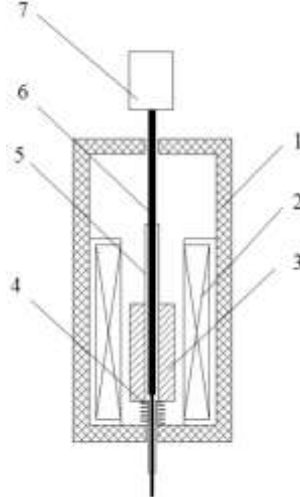


Рис. Первичный преобразователь ударно-акустического дефектоскопа
1 – корпус; 2 – электромагнит с обмоткой; 3 – якорь; 4 – возвратная пружина;
5 – сквозная трубка; 6 – щуп; 7 – пьезоэлектрический датчик

Устройство работает следующим образом.

Первичный преобразователь устанавливается перпендикулярно к зоне контроля, ударным концом вниз, так, чтобы щуп 6 пьезоэлектрического датчика 7 касался контролируемой зоны. На обмотку электромагнита 2 подается управляющий импульс, якорь 3 с закрепленной в нем трубкой 5 втягивается вниз, совершая при этом удар. После совершения удара, ударный элемент остается на поверхности контроля, ограничивая локальную зону контроля контактной поверхностью трубки до тех пор, пока с обмотки электромагнита не будет снято напряжение.

Управление ударным элементом и запись сигнала с пьезоэлектрического датчика производится персональным компьютером. Для обеспечения работы первичного преобразователя в среде программирования LabVIEW разработана программа Detector, которая обеспечивает выполнение следующих функций: регулирование длительности управляющего импульса, посылаемого на обмотку электромагнита ударника, регулирование времени записи сигнала, регулирование времени задержки между управляющими импульсами, запись отклика с пьезоэлектрического датчика в звуковой файл (формат файла wav) [1].

Предлагаемый способ позволяет существенно сократить расстояние между устройством возбуждения упругих колебаний и приемником сигнала, получить при нанесении удара по контролируемому объекту, пик колебаний в центре сквозного осевого отверстия ударного элемента, который воспринимается пьезоэлектрическим датчиком. Кроме того, ограничение локальной зоны контроля контактной поверхностью ударного элемента позволяет избавиться от влияния колебаний соседних зон исследуемого объекта.

Применение предлагаемого способа позволит повысить чувствительность контроля к мелким дефектам и определить с высокой точностью границы дефектной зоны, что имеет особое значение в отбраковке контролируемых объектов.

Литература

1. **Ваньков Ю.В., Кондратьев А.Е., Акутин М.В., Загретдинов А.Р.** Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611774/ Заявка № 20116101161, 2010.
2. **Кондратьев А.Е., Ваньков Ю.В., Загретдинов А.Р., Выровой З.В.** Патент на полезную модель № 89236: Первичный преобразователь ударно-акустического дефектоскопа / Заявка № 2009129598/22, 2009.
3. **Неразрушающий** контроль и техническая диагностика. Под ред. Ключева В.В – М: Машиностроение, 2005. – 656с.

УДК 681.7

Р.И. КАЛИМУЛЛИН, д.ф.-м.н., профессор;
А.А. ХАСАНОВ, аспирант;
И.Р. ИСМАГИЛОВ, студент
(КГЭУ, г. Казань)

Акустическая диагностика металлических изделий с помощью трансформации ультразвуковых волн на дефектах

В наши дни необходимость бесконтактного контроля качества различных материалов и изделий электронной техники, электротехники, энергетики и машиностроения приобретает все большую актуальность. Наибольшее развитие для контроля изделий из различных твердых материалов получили акустические и оптоакустические методы. Возбуждаемые в твердом теле акустические импульсы могут быть использованы как для определения параметров поглощающей среды, так и для исследования различного рода неоднородностей, вызывающих отражение, преломление и преобразование распространяющейся акустической волны.

Разработанная нами экспериментальная установка лазерно-акустической диагностики подробно описана в работах [1, 2]. В данной работе представлены результаты экспериментальных исследований по распространению и

трансформации акустических волн на дефектах, искусственно нанесенных на поверхности модельных образцов из углеродистой стали. Нами было обнаружено явление трансформации энергии объемных акустических волн (ОАВ) на приповерхностной трещине в энергию поверхностных акустических волн (ПАВ) (рис. 1,а). Подобные результаты, но с трансформацией ОАВ в сдвиговую волну, были получены авторами работы [3].

В процессе экспериментов мы обнаружили, что для возможности дальнейшей автоматизации обработки результатов целесообразно при сканировании одновременно перемещать и источник, и детектор, сохраняя расстояние L между ними постоянным. Таким образом на временных диаграммах непосредственно прошедшие ОАВ и ПАВ не перемещаются вдоль временной шкалы, подобно стоячим волнам. В данном случае становится возможным проследить перемещение вторичной ПАВ, трансформировавшейся на дефекте из объемной волны (рис. 1,б). На основе наблюдаемого эффекта при неизвестных расстояниях L_1 и L_2 , зная априори только общее расстояние L между источником и детектором, а также скорости акустических волн в исследуемом материале, можно определить местоположение приповерхностного дефекта при решении системы линейных алгебраических уравнений с двумя неизвестными:

$$\begin{cases} t = \frac{L_1}{v_l} + \frac{L_2}{v_t}; \\ L_1 + L_2 = L, \end{cases} \quad (1)$$

где t – время прихода сигнала сдвиговой волны, трансформировавшейся из ОАВ; v_l – скорость ОАВ; v_t – скорость сдвиговой волны.

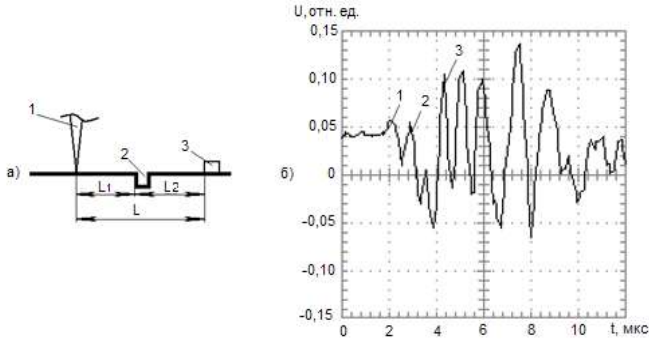


Рис. 1. Лазерно-акустический контроль поверхностей металлов:

а) схема эксперимента: 1 – источник; 2 – дефект; 3 – детектор; б) временная диаграмма акустических импульсов: 1 – ОАВ; 2 – ПАВ, трансформировавшаяся из ОАВ на дефекте; 3 – ПАВ, прошедшая непосредственно от источника к детектору

Таким образом, на основе исследованного эффекта разработана методика эффективного определения местоположения поверхностных и приповерхностных дефектов в металлических изделиях. Дальнейшие исследования будут направлены на разработку полностью бесконтактного метода диагностики, включающего в себя не только возбуждение акустических волн мощным импульсным лазером, но и их детектирование считывающим пучком маломощного лазера, а также цифровую обработку результатов.

Литература:

1. **Голенищев-Кутузов В.А., Хасанов А.А.** Разработка метода ультразвуковой дефектоскопии лазерным возбуждением акустических волн // Тезисы докладов V Международной молодежной научной конференции «Тинчуринские чтения» Казань: Каз. гос. энерг. ун-т, 2010. Т. 1. С. 201.
2. **Калимуллин Р.И., Мигачев С.А., Хасанов А.А.** Разработка метода неразрушающей ультразвуковой дефектоскопии посредством лазерной генерации объемных и поверхностных акустических волн // Известия высших учебных заведений. Проблемы энергетики. 2010. №9-10. С. 92-97.
3. **Dewhurst R. J., Shan Q.** Surface-breaking fatigue crack detection using laser ultrasound // Applied Physics Letters, 1993. V. 62. № 21. P. 2649-2651.

УДК 621.313

А.В. ЕГОРОВ, к.т.н., доцент,
В.Н. БЕЛОГУСЕВ, аспирант
(МарГТУ, г. Йошкар-Ола)

Диагностирование механических характеристик асинхронных электрических двигателей

Важной задачей электромагнитного расчета любой электрической машины является определение электромагнитного момента, который приложен к ее вращающейся части и играет решающую роль в процессе преобразования энергии, происходящем в электрической машине.

Электромагнитный момент может быть определен непосредственным методом [1]. Непосредственное измерение момента осуществляется следующими способами: статическим, измерением суммарного момента и динамическим.

Из выше перечисленных способов наиболее простой и экономичный динамический, но только если известен момент инерции вращающейся части электрического двигателя [2].

В настоящий момент для определения момента инерции вращающихся частей электрического двигателя необходимо проведение сложных, длительных и не достаточно точных испытаний, регламентируемых ГОС-Том 11828-86:

- Метод крутильных колебаний.
- Метод вспомогательного маятника.

- Метод самоторможения.

Предлагаемый способ позволяет избежать всех недостатков (ограниченность по мощности, демонтаж двигателя, малая точность), предлагаемых ГОСТом 11828-86 и использования дорогостоящих тормозных стендов за счет «бестормозного» определения момента инерции. Он реализуется с помощью комплекса, который состоит из двух полумуфт и одного эталонного диска, энкодера. Комплекс позволяет определять момент инерции вращающихся масс, вращающий момент, мощность асинхронного электрического двигателя.

Предлагаемый способ поясняет рисунок и реализуется следующим образом. Из муфты вынимаются скрепляющие устройства и удаляется элемент 5 с эталонным моментом инерции. Двигатель 2 запускается на холостом ходу и угловая скорость выходного вала 3 доводится до номинальной, при этом определяется зависимость углового ускорения выходного вала от угловой скорости:

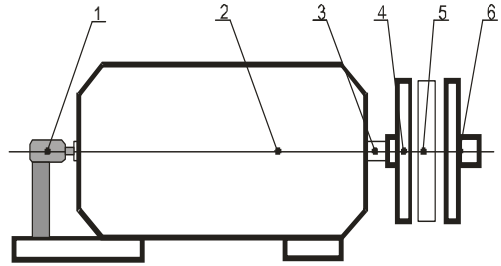


Рис.

- 1 - энкодер; 2 – электрический двигатель;
- 3 – вал двигателя; 4 - первая полумуфта;
- 5 – диск с эталонным моментом инерции;
- 6 - вторая полумуфта

$$\varepsilon_1(\omega) = \frac{\omega + d\omega - \omega}{dt} . \quad (1)$$

Определение зависимости углового ускорения выходного вала от угловой скорости происходит с помощью энкодера, погрешностью 0,05 %.

В режиме холостого хода уравнение движения имеет следующий вид:

$$\dot{I}(\omega) = j \cdot \varepsilon_1(\omega) \quad (2)$$

где j - момент инерции ротора электрического двигателя, $\text{кг} \cdot \text{м}^2$; $\varepsilon_1(\omega)$ - зависимость ускорения ротора от угловой скорости, с^{-2} ; $M(\omega)$ - зависимость вращающего момента двигателя от угловой скорости, $\text{Н} \cdot \text{м}$.

Затем на полумуфту 4 вала электрического двигателя с помощью скрепляющих элементов закрепляется элемент муфты 5, обладающий эталонным моментом инерции j_y . Двигатель запускается на холостом ходу, и угловая скорость системы «выходной вал и эталонный элемент» доводится до номинальной, определяется зависимость углового ускорения системы «выходной вал и эталонный элемент» от угловой скорости ω :

$$\varepsilon_2(\omega) = \frac{\omega + d\omega - \omega}{dt} = \frac{d\omega}{dt} . \quad (3)$$

В режиме холостого хода уравнение движения имеет следующий вид:

$$\dot{I}(\omega) = (j + j_y) \cdot \varepsilon_2(\omega) \quad (4)$$

Так как в режиме холостого хода вращающий момент двигателя всегда равен одной и той же величине, можем приравнять правые части выражения (2) и (4) и определить момент инерции вращающихся частей электрического двигателя:

$$j(\omega) = j_y \cdot \frac{\varepsilon_2(\omega)}{\varepsilon_1(\omega) - \varepsilon_2(\omega)} \quad (5)$$

Определяется номинальный момент $M_{ном}$ динамическим методом, мощности на валу P_2 .

Для реализации данного метода был создан аппаратно-программный комплекс. Аппаратно-программный комплекс позволяет получить все основные эффективные характеристики электрического двигателя: момент инерции, крутящий момент, мощность, КПД этого двигателя автоматически, что позволит значительно повысить экономическую эффективность испытаний ЭД.

На данный способ определения момента инерции электрического двигателя подана заявка на изобретение №2008127116 "Способ определения момента инерции электрического двигателя" авторы Белогусев В. Н. Егоров А. В. Егоров В. Н.

Литература

1. **Котельнец И. Ф.** Испытания, эксплуатация и ремонт электрических машин. – М: Издательский центр «Академия», 2003 – 384 с.
2. **Справочник** по электрическим машинам. Том.1/ Под редакцией И.П. Копылова. – Москва: Энергоатомиздат, 1988-679 с.

УДК 624.07.534.1

М.А. НОЗДРИН, к.т.н., доцент,
Б.В. ШЕПТУНОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Задача о движении шероховатого тела по вязкоупругому основанию

При движении влажных шероховатых поверхностей существенным является влияние деформационной составляющей силы трения по причине уменьшения фактической площади контакта и наличия смазочной пленки. Аналитическое решение при полном контакте системы неровностей с вязкоупругим основанием, описываемым одномерной моделью со спектром времен релаксации, получено в [1]. Целью данной работы является изучение

общего случая контакта периодической системы неровностей с основанием, свойства которого представлены обобщенной моделью Кельвина.

Используется модель вязкоупругого основания со спектром времен релаксации, позволяющая адекватно описать деформационные свойства материала в широком диапазоне скоростей и нагрузок. График зависимости между податливостью и временем релаксации представлена на рис. 1. Для расчетов применялся дискретный спектр времён релаксаций и податливостей из 66 членов.

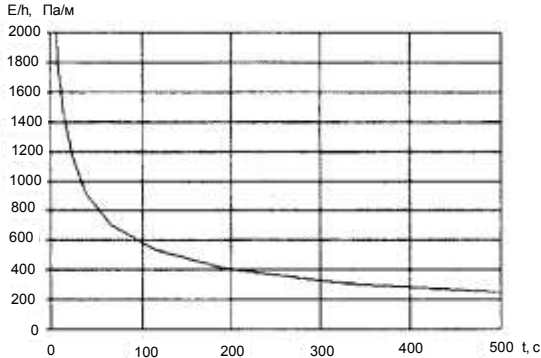


Рис.1. Зависимость податливости от времени релаксации

Рассмотрен общий случай контакта, при котором в зависимости от нагрузки контакт может быть полным или дискретным. Поверхность шероховатого тела моделируется периодической системой неровностей, период которой задается дискретным набором точек. Это позволяет варьировать форму выступов контактной поверхности. Применен метод конечного элемента: квадрат поверхности вязкоупругого основания, геометрически эквивалентный периоду поверхности системы неровностей (рис.2), разбит на квадраты, в каждом из которых давление предполагается постоянным [2]. При определении матрицы коэффициентов учтены условия упругости, вязкости основания и периодичности системы неровностей.

Контур пятна контакта определяется итерационным формированием системы линейных уравнений. Ранг матрицы коэффициентов для текущего шага итерации равен числу квадратов, входящих в контур пятна контакта. За условие сходимости принимается отсутствие областей с отрицательным контактным давлением.

Рассчитаны контактные давления и исследовано влияние величины скорости скольжения, нормальной нагрузки контакта и параметров шероховатости на деформационную составляющую коэффициента трения.

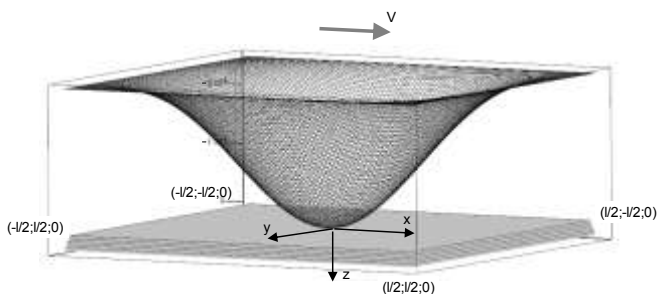


Рис. 2. Квадрат поверхности вязкоупругого основания и выступ периодической системы неровностей

Литература

1. Ноздрин М.А., Маховская Ю.Ю., Шептунов Б.В. Расчет деформационной составляющей силы трения при скольжении тела по вязкоупругому основанию// Вестник ИГЭУ.-2009.-№3.-С.48-50.
2. Александров В.М., Горячева И.Г., Торская Е.В. Пространственная задача о движении гладкого штампа по вязкоупругому полупространству// Доклады Академии наук.- 2010.-Т.430.-№4.-С.490-493.

УДК 539.4

З.В. ЗАРУБИН, ассистент
(ИГЭУ)

Алгоритм расчета деформированного состояния стержневой конструкции из материала с эффектом памяти формы

Представим алгоритм в виде нескольких шагов:

1. Решается задача о расчете напряженно-деформированного состояния криволинейного стержня в мартенситном состоянии при постоянной пониженной температуре и заданной внешней нагрузке. При этом учитывается геометрическая нелинейность, возникающая из-за больших перемещений точек стержня. Способ решения основан на методе конечных элементов с применением модифицированного метода Ньютона-Рафсона. После нескольких итераций определяются деформации и напряжения в первом приближении.

2. Рассчитанные на первом шаге значения деформаций и напряжений используются для решения задачи с учетом физической нелинейности при помощи метода переменных параметров упругости. Результатом расчета на втором шаге является значение эффективного модуля Юнга,

позволяющее перейти к шагу 1 для расчета напряженно-деформированного состояния стержня во втором приближении.

3. Шаги 1 и 2 реализуются до тех пор, пока не будет достигнута необходимая точность вычислений, определяемая заданной погрешностью вычислений.

4. На этом шаге решается задача о восстановлении формы объекта под воздействием изменяющегося температурного поля после снятия внешних усилий. Исходными являются полученные на шаге 3 данные о напряженно-деформированном состоянии стержня. Учитывая термомеханические характеристики материала с ЭПФ, рассматриваются деформации при повышении температуры с переходом в аустенитное состояние.

Таким образом, описанный алгоритм позволяет получить компоненты напряженно-деформированного состояния объекта с учетом больших перемещений, пластичности и эффекта памяти формы.

При решении нелинейной статической задачи в приращениях нагрузок и перемещений с использованием модифицированных лагранжевых координат система уравнений (4) записывается в виде:

$$(K + K_U + K_\sigma + K_{NL1} + K_{NL2}) \Delta u = \Delta P, \quad (1)$$

где ΔP и Δu – приращения узловых нагрузок и перемещений соответственно.

Решение системы уравнений (1) итерационным способом дополнительной нагрузки равносильно применению модифицированного метода Ньютона-Рафсона. При этом:

$$(K + K_\sigma)_j \Delta u_j^{(i)} = \Delta P_j - (K_{NL1} + K_{NL2})_j^{(i-1)} \Delta u_j^{(i-1)}. \quad (2)$$

где j – номер шага нагружения, i – номер итерации на данном шаге.

Для получения напряжений, действующих в узлах модели, воспользуемся методом переменных параметров упругости. Этот метод сводит упруго-пластическую задачу к цепочке упругих задач и реализации процесса последовательных приближений. В основе метода лежит использование обобщенного закона Гука, в котором модуль упругости и коэффициент Пуассона зависят от напряжений и поэтому имеют разные значения в разных точках тела.

Процесс последовательных приближений реализуется следующим образом: в первом приближении принимается, что переменные параметры E , G и μ равны параметрам упругости, и решается упругая задача, в результате чего определяются компоненты напряжения и деформации первого приближения $\sigma_{x1}, \dots, \varepsilon_{x1}, \dots$. По этим величинам в каждой точке тела вычисляются интенсивности напряжений и деформаций в первом приближении σ_{int1} и ε_{int1} . В соответствии с законом Гука параметр E принимается равным отношению интенсивности напряжений σ_{int1} к интенсивности деформаций ε_{int1} , по диаграмме $\sigma - \varepsilon$. Параметры E и G будут различными в разных точках тела. Таким образом, возникает задача определения напряжений в условно неоднородном теле, параметры

упругости в различных точках которого различны. Далее решая эту задачу, определяются компоненты напряжения и деформации $\sigma_{x2}, \dots, \epsilon_{x2}, \dots$, являющиеся вторым приближением. По этим величинам в каждой точке тела вычисляются интенсивности напряжений и деформаций во втором приближении σ_{int2} и ϵ_{int2} .

В третьем приближении величина E^* вычисляется как отношение интенсивности напряжений σ_{int2} к интенсивности деформаций ϵ_{int2} по диаграмме деформирования. Далее вычисляют компоненты напряжения и деформации третьего, четвертого приближений и т.д. Расчет продолжается до тех пор, пока разница результатов в очередном и предыдущем приближениях не станет достаточно малой.

Литература

1. **Агапов В.П.** Метод конечных элементов в статике динамики и устойчивости пространственных тонкостенных подкрепленных конструкций. – М.: Изд-во Ассоциации строительных вузов. 2000.
2. **Ноздрин М.А., Зарубин З.В.** Моделирование и расчет эффекта памяти формы в металлических сплавах // Физика, химия и механика трибосистем: межвуз. сб. науч. тр.– Иваново: Иван. гос. у-нт, 2009. – Вып. 8 – С. 16-21.

УДК 539.4

М.А. НОЗДРИН, к.т.н., доцент,
С.Ю. ПОСЕЛЁНОВ, студент
(ИГЭУ)

Расчёт напряжений в авиационных панелях

Для совершенствования конструкций авиационных аппаратов и получения достоверных данных представляется актуальным решение задачи расчёта отдельных узлов несколькими методами.

В работе проводится расчёт напряжённно-деформированного состояния авиационных панелей, находящихся под избыточным давлением. На первом этапе выполнен анализ конструкции панели и граничных условий задачи. Составлена упрощенная расчётная схема, позволяющая применить метод конечных элементов [1,2].

В среде Visual Basic.NET составлена программа для расчёта конструкции панели и получены характеристики напряжённно-деформированного состояния. Для оценки достоверности полученных результатов проведены расчёты с применением программного пакета Patran/Nastran.

Сравнительный анализ результатов расчётов двумя программами показывает допустимую погрешность, что позволяет проводить оптимизацию конструкторско-технологических решений авиационных панелей.

Литература

1. Клочков Ю.В., Николаев А.П., Гуреева Н.А. Сравнение различных способов аппроксимации перемещений на треугольном элементе в расчётах оболочек// Вычисл. технологии. 2005. Т.10, №3. С.47-55.
2. Галлагер Р. Метод конечных элементов. Основы./ Пер. с англ. – М.: Мир, 1984. – 428 с.

УДК 534.134:57.08

Н.А. САБАНЕЕВ, ст. преподаватель,
И.А. БЕЛОВ, ассистент, Л.Б. МАСЛОВ, к.т.н., доцент,
В.И. ШАГИН, к.т.н., профессор, С.В. ВИХРЕВ, вед. инженер
(ИГЭУ)

Исследование вибрационных свойств мягких тканей голени человека при кинематическом возбуждении

Вибрационные свойства механических конструкций являются важными параметрами, характеризующими их функциональное состояние и работоспособность. Взаимосвязь между резонансными частотами и механическими характеристиками мягких тканей позволяет использовать вибрацию как метод неинвазивного контроля состояния костного регенерата в зоне перелома, определения заживления повреждения и для диагностики прочности закрепления протеза тазобедренного сустава. Этот метод имеет очевидные преимущества перед использованием ионизирующего рентгеновского излучения.

Физической основой метода диагностики является понятие биомеханического резонанса, который определяется путем подачи на исследуемый биомеханический объект гармонически изменяющейся силы заданного диапазона частот. При совпадении сканирующей частоты с собственной частотой колебаний биообъекта на амплитудно-частотной характеристике будет наблюдаться экстремум. Повреждение ткани вызывает изменение частоты собственной колебательной структуры и амплитуды резонансных колебаний.

На рисунке приведена блок-схема экспериментального вибрационного стенда для вибродиагностики состояния мышечно-сухожильного комплекса голени, – трехглавой мышцы голени в совокупности с ахилловым сухожилием. Нижняя конечность пациента (1) фиксируется на платформе (4). Персональный компьютер генерирует синусоидальный сигнал заданного интервала частот. Через усилитель мощности сигнал подается на электромагнитный вибровозбудитель (2), далее через шток (3) вибрация передается на площадку (4), установленную на шарнирных опорах (5). Поперечные колебания трехглавой мышцы голени в совокупности с ахилловым сухожилием регистрируются датчиками акселерометрами (6), расположенными: на площадке (для оценки амплитуды возмущающей

силы), на ахилловом сухожилии и мышце (для оценки отклика объекта на возмущающую силу). Регистрация результатов измерений производится через блок согласования цифровым многоканальным самописцем на карту памяти или непосредственно на ПК, где осуществляется их математическая обработка и анализ.

Используемые микроэлектромеханические (MEMS) акселерометры производства Analog Device имеют малые габариты и массу, низкий уровень шумов и линейная частотная характеристика в требуемом диапазоне. Эти достоинства позволяют максимально снизить влияние измерительной системы на результаты. Данный метод исследования параметров вибрации был апробирован на лабораторном стенде – шарнирно закрепленной стальной балке – и показал хорошую сходимость результатов с теоретическими расчётами собственных форм и частот.

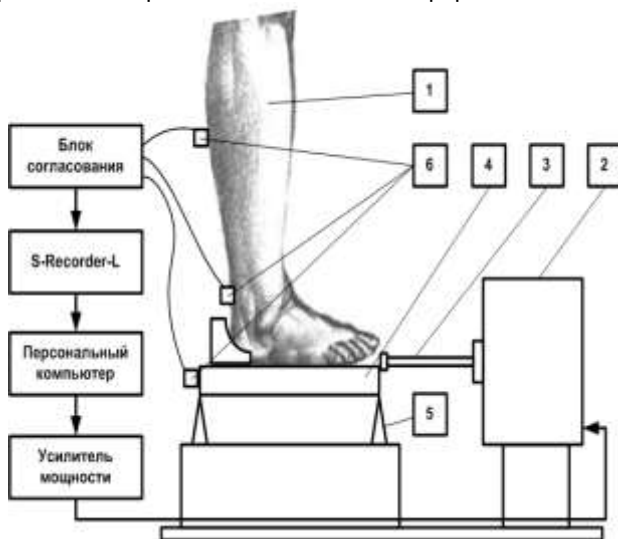


Рис. Блок-схема вибрационного стенда:

- 1 – объект исследования;
- 2 – вибровозбудитель;
- 3 – шток вибровозбудителя;
- 4 – площадка для фиксации стопы;
- 5 – шарнирные опоры;
- 6 – виброприёмники

Таким образом, представляется возможным на основе вибрационных испытаний проводить идентификацию физиологического состояния конечностей опорно-двигательного аппарата по динамическим характеристикам мышечно-сухожильного комплекса и проводить его подконтрольную резонансно-вибрационную реабилитацию с наблюдением и доводкой биомеханической системы в процессе лечения по параметрам жёсткость и диссипация.

Литература

1. Белов И.А., Маслов Л.Б., Сабанеев Н.А. Исследование вибрационных свойств биомеханических элементов в естественных физиологических условиях // БИОМЕХАНИКА-2010. X Всеросс. конф. по биомеханике: Тезисы докладов. - Саратов, 2010. - С. 41.
2. Смирнов Д.С., Маслов Л.Б., Сабанеев Н.А. Виброрезонансные характеристики ахиллова сухожилия // НАУКОВІ ВІСТІ 2(8)/2005г. Івано-Франківськ, 2005. – С.58-62.

УДК 51-76

Д.Н. ЮНУСОВА, студент,
Л.Б. МАСЛОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Разработка одномерной математической модели и алгоритма дифференциации костной ткани

Сращение кости после перелома представляет собой сложный биомеханический процесс, в результате которого поврежденная кость должна полностью восстановить свою целостность и структуру. С развитием способов нежесткой фиксации и частичной поддержки веса большинство переломов заживают непрямым или вторичным сращиванием. Непрямое сращивание начинается образованием гематомы, после чего один тип соединительной ткани сменяет другой. Известно, что данная последовательность дифференциации ткани чувствительна к локальному механическому полю внутри ткани. Закон функциональной адаптации костной ткани к меняющимся внешним силовым условиям, известный как закон Вульфа [1], является основополагающей гипотезой различных теорий костной перестройки. К настоящему времени разработаны математические алгоритмы, процесс сращения ткани в которых управляется такими механическими переменными как девиатор тензора напряжений, давление или скорость жидкости в порах костного вещества.

В работе рассматривается структурная перестройка костной ткани под действием растягивающей нагрузки. Конечно-элементная одномерная модель, спроектированная в системе MathCAD, разделена на 3 участка, средний из которых имеет переменный модуль упругости, изменяющийся во времени, что имитирует процесс сращения перелома. Повторяющийся процесс начинается с анализа напряжений и деформаций методом конечных элементов. При помощи найденных значений определяется возникающее напряжение, которые принимаются управляющим механическим параметром для определения степени окостенения. Фенотип ткани определяется для среднего участка, модуль упругости ткани сглаживается путем усреднения для определения более медленных изменений в фенотипе. Для каждого фенотипа рассчитывается концентрация

клеток и определяется новый модуль упругости. Перед началом следующей итерации используется правило смешения и обновляются свойства материала. Процесс продолжается до образования зрелой кости, т.е. до появления значения модуля упругости 6000 МПа. На основе описанного алгоритма получены первые результаты моделирования перестройки костной ткани под действием растягивающей нагрузки.

Литература

1. **Wolff J.** Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin: A. Hirchwild (1892). Translated as: The Law of Bone Remodeling. Edited by P. Maquet and R. Furlong. Berlin: Springer-Verlag, 1986.

УДК 621.833

А.Б. КОЛОБОВ, к.т.н., доцент,
Ф.Б. ОГУРЦОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Учебно-практический полигон по вибродиагностике энергомеханического оборудования

Создание учебно-практического полигона (УПП) необходимо для изучения студентами энергетических и электромеханических специальностей принципов организации вибромониторинга роторного оборудования в ряде спецдисциплин, а также слушателями ИПК ИГЭУ при повышении квалификации и аттестации. Организация УПП предполагает проведение анализа технического состояния реального оборудования в условиях, максимально приближенных к производственным.

УПП реализован на базе котельной ГОУ ВПО ИГЭУ, поэтому, кроме целей обучения, решалась задача выполнения практического вибромониторинга для обеспечения надежной и безаварийной работы имеющегося оборудования.

Создание УПП дает обучаемым следующие возможности:

- теоретическое изучение технологии «off-line» вибродиагностики и нормативной базы по виброконтролю;
- прохождение допускового (аттестационного) тестирования по основам вибрации машин и вибродиагностики;
- отработать навыки и умения проведения измерений и анализа вибрации на реальном оборудовании и использования современных информационных технологий интегрированных в среду «off-line» вибродиагностики для выполнения комплексной оценки технического состояния на момент контроля, диагностирования основных узлов и агрегатов оборудования и прогнозирования работоспособности, формирования сводного отчета о состоянии оборудования.

Сформирована база данных УПП на основе концепции «off-line» технологии вибродиагностики, в результате выделены следующие технологические секции оборудования:

- дымососы тип ДН-12,5;
- вентиляторы дутьевые тип ВДН-10;
- рециркуляционные насосы тип АК 80-160/16;
- насосы рабочей воды тип АЦМС-40-160;
- сетевые насосы тип АЦМС-90-3-2.

Всего для вибромониторинга было выделено 13 единиц роторного оборудования котельной.

В качестве программной среды для создания иерархической базы данных и оценки состояния оборудования использована программа «TechCard+», разработанная на кафедре Т и ПМ и предназначенная для организации вибромониторинга оборудования промышленных предприятий.

Для создания базы данных УПП с помощью программы «TechCard+» использована следующая информация о группах оборудования:

- наименование технологической группы и тип оборудования;
- мощность агрегата и мощность электродвигателя привода;
- тип электродвигателя и частота вращения ротора;
- схема расположения точек контроля вибрации и графическая компоновка привода;
- серийный и технологический номер.

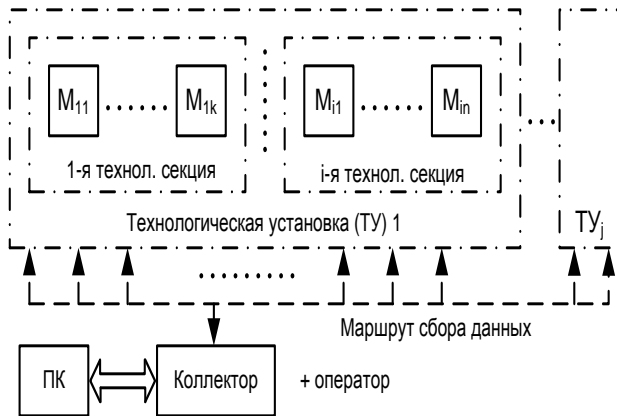


Рис. Реализованная в УПП технология контроля «off-line»

В качестве измерительного средства для наполнения базы данных измерений вибрации программы «TechCard+» использован виброметр VD-200M, разработанный на кафедре Т и ПМ. Общая иерархическая структура технологии «off-line» вибродиагностики, реализованной в УПП,

представлена на рисунке. Здесь M_{11}, \dots, M_{1k} – номера контролируемого оборудования, территориально или функционально объединенного в технологическую секцию.

Измерение вибрации в контрольных точках машин производится в соответствии с разработанным маршрутом измерения (маршрутом сбора данных).

Проведена апробация работы программно-технической среды УПП при выполнении практических и лабораторных работ студентами 5 курса специальности 010900 «Механика». Результаты работы используются студентами при выполнении курсовой работы. Для совершенствования УПП необходима разработка методических решений по диагностике распространенных дефектов энергомеханического оборудования.

УДК 621.823

А.Б. КОЛОБОВ, к.т.н., доцент,
Ф.Б. ОГУРЦОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Стенд для диагностики подшипников качения

Разработанный стенд предназначен для исследовательских и учебных целей и представляет комплекс технических и программных средств, а также методик диагностирования дефектов подшипников качения. Стенд представляет автоматизированную систему экспериментальных исследований, позволяющую получать исходную информацию о состоянии подшипников в виде, пригодном для дальнейшего анализа методами цифровой обработки сигналов.

Стенд состоит из механической части, позволяющей производить установку, закрепление и вращение внутреннего кольца подшипника в диапазоне частот общепромышленного оборудования 600–3000 об/мин, и измерительной части, обеспечивающей измерение вибрации наружного кольца, предварительную обработку вибросигнала с дальнейшим преобразованием в цифровую форму и сохранением в виде файла для дальнейшей обработки с помощью пакета MathCad. В зависимости от изучаемого метода диагностики, исследуемый диапазон частот сигнала составляет 10–1000 Гц для виброскорости, 20–10000 Гц для виброускорения и 8 или 16 кГц при использовании селективного фильтра.

Механическая часть стенда выполнена на основе прибора ДП11А, который был модернизирован для целей и задач диагностики подшипников. Вес сменных грузов составляет 100, 200 и 500 г.

Измерительная часть стенда выполнена на базе виброметра типа 00 042 и третьоктавного фильтра 01 117 фирмы RFT (Германия), а также адаптера аналогового ввода-вывода NVL–08 фирмы L-Card. В качестве базы программного обеспечения стенда была использована программа ADPTRAN,

разработанная на кафедре Т и ПМ. Программа обеспечивает ввод преобразованного сигнала с адаптера в ЭВМ и его предварительный просмотр. Разработана подпрограмма на языке Assembler-86, позволяющая в реальном времени определять пиковое и средневыпрямленное значение за полупериод сигнала при частоте дискретизации 80 кГц для выделения огибающей сигнала. Выполнен синхронный ввод сигнала вибрации и цифрового сигнала с датчика оборотов для анализа корреляционных связей.

В результате стенд позволяет измерять следующие параметры вибрации наружного кольца исследуемого подшипника:

- интегральное значение виброускорения и виброскорости;
- временной дамп сигналов виброускорения и виброскорости с целью дальнейшей обработки методами спектрального анализа;
- временной дамп пиковых значений виброускорения с целью дальнейшего анализа временной функции пик-фактора;
- временной дамп средних за полупериод значений виброускорения с целью выделения сигнала огибающей;
- временной дамп мгновенных значений узкополосного шума для дальнейшего выделения ударных импульсов.

Для учебных целей создана база тестовых шариковых радиальных подшипников серии 203 следующих видов:

- бездефектные с радиальным зазором 10–15 мкм;
- без выраженного сосредоточенного дефекта с повышенным радиальным зазором 35–40 мкм (дефект «износ тел качения»);
- подшипники с дефектами типа «трещина на внутреннем кольце» и «трещина на наружном кольце».

Разработана методика создания дефектов типа «недостаточная смазка» и «отсутствие смазки».

На рисунке в качестве примера приведен временной дамп узкополосного шумового сигнала виброускорения для подшипника с дефектом «трещина на внутреннем кольце».

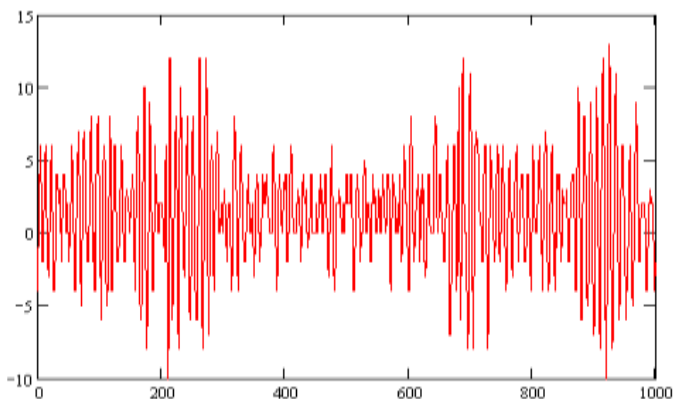


Рис. Дамп узкополосного шумового сигнала виброускорения для подшипника с дефектом «трещина на внутреннем кольце»

Апробация показала возможность использования стенда в учебном процессе. При работе студенты получают следующие знания и навыки:

- измерение различных видов вибрации на роторном оборудовании;
- работа с автоматизированными системами научных исследований;
- углубленное овладение методами цифровой обработки сигналов;
- овладение современными методами вибрационной диагностики.

УДК 621.823

А.Б. КОЛОБОВ, к.т.н., доцент,
А.П. ЗОТОВ, студент, С.К. ГОЛОВИН, студент
(ИГЭУ)

Вибродиагностика технологического оборудования

В докладе приведены результаты измерения и анализа вибрации оборудования ОАО «Газпромтрубинвест» (г. Волгореченск):

- подшипниковые узлы клеток участка формовки и участка калибровки цеха ТЭСЦ;
- электродвигатели насосных станций ТЭСЦ.

Измерение и анализ вибрации производился прибором Vibrotest-60 фирмы «Briel & Kjaer» (Дания).

Износ подшипников валков участков формовки трубной заготовки и калибровки готовой трубы контролируется по изменению цвета смазки подшипника, что является субъективным и не формализуемым количественно критерием. Поскольку оборотная частота подшипников близка к 1 Гц, использовать для диагностики классический анализ

невозможно. В качестве измеряемого параметра использовался показатель VCU, характеризующий ударные импульсы в подшипнике. Одновременно контролировалось распределение нагрузок между клетями формовки по величине размаха виброперемещения (измерения скорее сравнительные качественные, чем количественные), для установления связи износа подшипника с технологией регулировки валков. Выводы и рекомендации:

- распределение нагрузок между клетями неравномерное, поэтому необходимо при помощи инструментов регулировки положения валков настроить нагрузку по всем клетям близкую к минимальной средней;

- величина VCU хорошо отражает состояние вращающихся частей подшипников, необходимо составить базу данных значений VCU подшипников, определить VCU нового подшипника (эталон), а также предельно допустимые значения VCU и по ним принимать решения о выводе в ремонт и делать приемку после ремонта.

Произведен вибромониторинг по общему уровню вибрации и спектральный анализ в октавных полосах частот асинхронных электродвигателей (ЭД) «Siemens» приводов насосов. Согласно ГОСТ Р 10816-3 установлена шкала оценок СКЗ виброскорости и произведено нормирование вибрации. Выводы и рекомендации:

- состояние большинства ЭД соответствует классу В, допускающему длительную эксплуатацию, одновременно ряд ЭД находится в зоне «предупреждения» (менее 25% до границы класса С);

- спектральный анализ вибрации показывает, что ряд ЭД имеет признаки дисбаланса, расцентровки валов (причем возможен вариант дефекта соединительной муфты) и уменьшения жесткости крепления, поэтому необходимо проведение узкополосного спектрального анализа.

УДК 534.631

Ю.В. ВАНЬКОВ, д.т.н., профессор;
В.В. СЕРОВ, ассистент;
Ш.Г. ЗИГАНШИН, к.т.н.
(КГЭУ, г. Казань)

Реализация программно – аппаратного комплекса для повышения достоверности контроля трубопроводов

Известен и рассмотрен ряд методов, где для выявления дефектов и контроля герметичности трубопроводов по сигналам акустической эмиссии на трубопровод с движущейся жидкостью воздействуют импульсной нагрузкой путем перекрытия на конце контролируемого участка части потока жидкости за определенное время, принимают с помощью пьезообразователей сигналы акустической эмиссии.

Однако недостатками способов являются сложность процесса определения местоположения дефекта, зависимость от акустических свойств материала контролируемых изделий, невозможность прогнозирования развития дефекта. В существующих методах трубопроводы нагружаются одновременно, чтобы получить сигналы акустической эмиссии, но не рассмотрено зависимости при нормированном изменении величины давления жидкости и получении частот собственных колебаний.

Задачей работы является повышение качества неразрушающего контроля трубопроводов основанного на методе свободных колебаний, с применением математического аппарата, программного обеспечения, разработкой и использованием экспериментального акустического диагностического комплекса с применением искусственных нейронных сетей.

Для реализации поставленной задачи создано устройство для диагностирования трубопроводов изображенное на рис. 1.

Устройство работает следующим образом. Включается насос 10, в результате чего по трубопроводу 5 начинает циркулировать вода. Вентилем 1 устанавливается необходимая величина давления жидкости, по показаниям манометра 2. Движение жидкости в трубе возбуждает акустический импульс, который улавливается двумя парами пьезодатчиков. В каждой паре, один датчик регистрирует продольные колебания, а другой поперечные, что позволяет устанавливать зависимости расположения дефекта от местоположения датчиков не только по длине трубы, но и по окружности. Далее сигналы обрабатываются в аналого – цифровом преобразователе и записываются с помощью специально созданного программного комплекса на базе программной среды LabView 8.5 на персональном компьютере. Имеющийся ударник 3 позволяет нам диагностировать не только водопровод, но и газопровод.

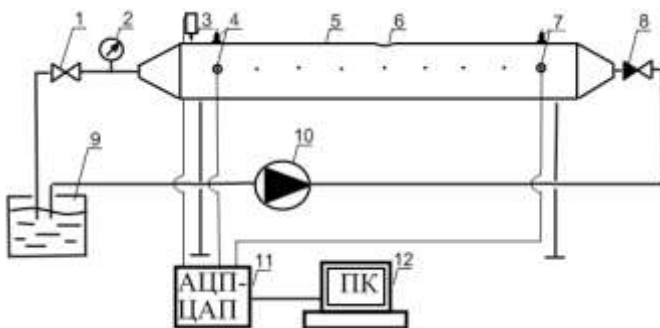


Рис. 1. Устройство для диагностирования трубопроводов и обучения нейронной сети: 1 – вентиль; 2 – манометр; 3 – ударник; 4, 7 – пьезодатчики; 5 – трубопровод; 6 – дефект; 8 – обратный клапан; 9 – емкость; 10 – насос; 11 – АЦП – ЦАП; 12 – персональный компьютер

Данная установка позволяет нам имитировать реальный трубопровод с движущимся в нем теплоносителем, с учетом всех имеющихся погрешностей. Недостатки реальных трубопроводов для установления зависимостей:

1. Отсутствие возможности изменения давления на реальных трубопроводах в связи с нарушением технологического процесса следствием которого оно послужит;

2. Отсутствие возможности моделирования дефектов на реальных трубопроводах, для установления зависимости изменения частот собственных колебаний в результате развития дефекта;

3. Наличие большого количества неучтенных погрешностей на реальных трубопроводах вызванных: запорной арматурой, способом укладки, отводами, посторонним шумом, которые существенно снижают точность замеров.

На данной установке были проведены серии экспериментов без дефекта, а также проведены серии экспериментов с различными дефектами, которые механическим способом наносились на поверхность трубы, и локально уменьшали ее толщину на 2 мм, 3 мм, 5 мм, имитируя развитие дефекта типа коррозионное утонение стенки.

Анализ полученных экспериментальных результатов показал:

1. В спектре бездефектной трубы присутствуют преимущественно низкие частоты до 2500 Гц (рис. 2, а). Тогда как в спектрах дефектных труб выявились более высокие частоты (рис. 2, б). Кроме того наблюдается прямая зависимость того, что с увеличением дефекта частота собственных колебаний возрастает;

2. При движении теплоносителя по трубопроводу всегда имеют место пульсации давления различной частоты. Коррозионный дефект в виде утонения стенки трубы является своеобразной мембраной с собственной частотой колебаний. При близком значении частот возникают резонансные колебания, которые распространяются по металлу трубы и воде. С увеличением давления теплоносителя, повышается интенсивность сигнала, а его частотный максимум смещается в область высоких частот. В том месте трубопровода где присутствует утонение, акустический сигнал максимальный. Постепенное нагружение трубопровода, позволяет прогнозировать развитие дефекта как по временной, так и по механической характеристике.

В результате проведенных на данной установке экспериментов и установления ряда зависимостей получен большой массив данных.

Для анализа массива данных применялась технология искусственных нейронных сетей. После предварительного анализа входных сигналов они самонастраиваются и обучаются, чтобы обеспечить правильную реакцию. Обученная сеть может быть устойчивой к некоторым отклонениям входных данных, что позволяет ей правильно анализировать спектр, содержащий различные помехи и искажения.

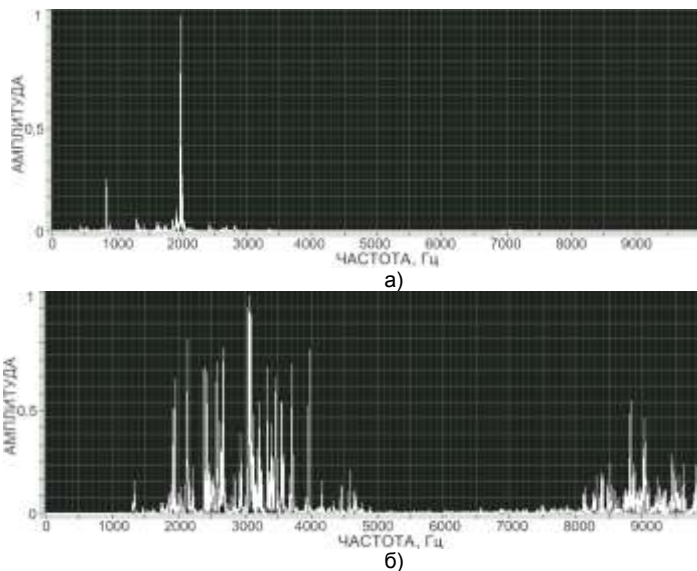


Рис. 2. Спектр частот собственных колебаний трубопровода:
а) бездефектного трубопровода с движущимся теплоносителем под давлением 3 атм.; б) трубопровода с дефектом 5х5 см, глубина 5 мм. с движущимся теплоносителем под давлением 3 атм

Результаты обработки спектров, показали возможность применения искусственной нейронной сети для выявления и распознавания дефектов в трубах, что позволяет создать автоматизированное устройство для диагностики трубопроводов.

УДК 624.07:534.1

Л.Н. КРАЙНОВА, ст. преподаватель,
Ф.Б. ОГУРЦОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Экспериментальные исследования вынужденных колебаний трубопровода

Задачей вибрационных испытаний является проверка соответствия теоретических и экспериментальных результатов исследования динамического поведения трубопровода. Для физического моделирования задачи изготовлена модель трубопровода с неподвижными в продольном направлении опорами.

Для проведения эксперимента была использована следующая аппаратура: персональный компьютер, измеритель вибрации ROBOTRON 00042, усилитель

мощности LV 103, параметрические датчики KB11 7083, электромагнитный возбудитель.

С помощью программного обеспечения, разработанного на кафедре ТиПМ ИГЭУ, тестовый сигнал синтезируется в цифровом виде программным путем, преобразуется в аналоговый сигнал с помощью ЦАП и подается на усилитель мощности, далее на электромагнитный вибровозбудитель, воздействующий на стержень. Регистрация колебаний производится датчиками виброускорений KB11 7083. Датчики измеряют ускорение в двух направлениях – в нормальном и тангенциальном.

Датчики, укрепленные на стержне, преобразуют механические колебания стержня в электрический сигнал. Производится математическая обработка сигнала в режиме реального времени методом синхронной фильтрации. Выделяется первая гармоническая составляющая исследуемого сигнала и строятся амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики, при этом измеряется разность фаз между тестовым сигналом и первой гармоникой вибрационного сигнала. Амплитудно-частотная и фазо-частотная характеристики выводятся на экран компьютера, а также сохраняются на жестком диске в виде файла текстового формата для дальнейшей обработки.

Данные эксперимента качественно совпадают с теоретическими расчетами. Для различных геометрических параметров изучаемой системы, амплитуды и частоты возбуждающей нагрузки и параметров диссипации установлены области существования плоских и пространственных форм колебаний трубопровода с близкими значениями собственных частот колебаний в двух ортогональных плоскостях.

УДК 378.14

Ю. Е. ФИЛАТОВ, к.т.н., доцент;
Г.Н. ЧЕРНОВА, вед. инженер;
А.Л. АРХИПОВ, программист
(ИГЭУ)

Насыщение тестирующего и обучающего комплекса по дисциплине «Прикладная механика (сопротивление материалов)»

Проблема повышения качества образования получает новые перспективы решения с развитием современных информационных технологий и информационных сетей, позволяющих модернизировать разные стороны образовательного процесса. Информационные технологии создают одинаковую компьютерную среду обучения и в специализированной аудитории в учебном заведении, и в компьютерном кабинете в общежитии, и на домашнем компьютере.

Прикладная механика, включающая сопротивление материалов и детали машин, является базовой дисциплиной для большинства технических специальностей. Существенную роль при изучении этого курса играет самостоятельная работа студентов.

Для развития тестирующее-обучающего комплекса разработан отдельный рабочий модуль с прямым доступом студентов к имеющимся методическим материалам. Созданная в этом модуле обучающая среда обеспечивает достаточно большой набор возможностей для усвоения информации: электронные лекции и методические указания к лабораторным работам, глоссарий и банк подсказок, примеры решённых задач, изложенных в нескольких вариантах (звуковой, текстовый подробный, текстовый аналитический), набор всех возможных тестов комплекса. Комплекс может с успехом использоваться не только студентами очной формы обучения, но и заочной.

Частично материал некоторых разделов комплекса может использоваться студентами в процессе самоподготовки к защите курсового проекта по деталям машин.

Для создания клиент-серверной системы комплекса использовался язык программирования Delphi, для хранения данных – база MySQL, для создания заставок в виде рисунков – пакет 3D Studio Max, для создания аудио-роликов – программный продукт Camtasia Studio 5.

В качестве сервера выступает база данных MySQL, в качестве клиента – приложения UTesterAdmin и UTesterClient. Преимущество клиент-серверной архитектуры в том, что сервер и клиент (приложение) могут находиться на разных компьютерах в пределах сети.

Система поддерживает несколько уровней доступа пользователей:

1. Администратор – полные права в системе;
2. Субадминистратор – то же, что и администратор, но без возможности создавать администраторов и субадминистраторов;
3. Редактор – добавляет тесты, добавляет пользователей, смотрит результаты;
4. Опытный пользователь – смотрит результаты;
5. Пользователь – только проходит тесты.

Для логической организации тестов система поддерживает иерархию: организация – подразделение – предмет – тема – тест (рис.).

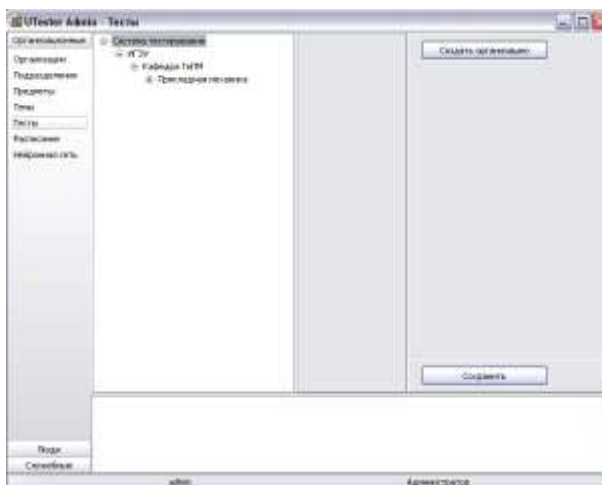


Рис. Логическая организация тестов комплекса

Для логической организации пользователей система поддерживает иерархию: организация – подразделение – пользователь.

Комплект поставки системы включает файлы приложений: UTesterClient.exe, UTesterAdmin.exe и установочный скрипт базы данных: tester_db1.sql, tester_db2.sql.

Комплекс предназначен для самоподготовки студентов, а также использования преподавателями тестирующей части во время прохождения студентами контролей по двум дисциплинам кафедры ТИПМ: «Сопротивление материалов», «Прикладная механика, ч.1».

СЕКЦИЯ «МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ И УСТАНОВКАМИ»

УДК 621.34:62-50

А.Р. КОЛГАНОВ, д.т.н., профессор,
С.К. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доцент,
Н.Е. ГНЕЗДОВ., к.т.н., доцент, А.А. КОРОТКОВ, аспирант
(ИГЭУ) г. Иваново

Наблюдатели нагрузки в комбинированных системах векторного управления электроприводом

Основы теории автоматического управления говорят о двух основных принципах управления: по отклонению и по возмущению [1]. Принцип управления по отклонению использует сигнал рассогласования заданного и измеренного значений регулируемой переменной. Управление по возмущению предполагает введение компенсации в канал управления, что часто сопряжено с трудностями оценки самого возмущения. Измерение нагрузки механической части электропривода является сложной задачей, решают которую астатические наблюдатели состояния (наблюдатели нагрузки) [2, 3].

Комбинированная система сочетает в себе оба принципа управления. Пример реализации комбинированной электромеханотронной системы позиционирования показан на рис. 1. Регулятор положения (РП) осуществляет управление в замкнутом контуре углового положения. В качестве объекта управления (ОУ) выбрана жёсткая механическая система. Наблюдатель состояния (НС) восстанавливает механическую нагрузку привода, используемую блоком компенсации (БК) для формирования задания моментному контуру (КМ). Контур момента в современных системах векторного управления описывается аperiodическим звеном с передаточным коэффициентом K_m и постоянной времени T_m .

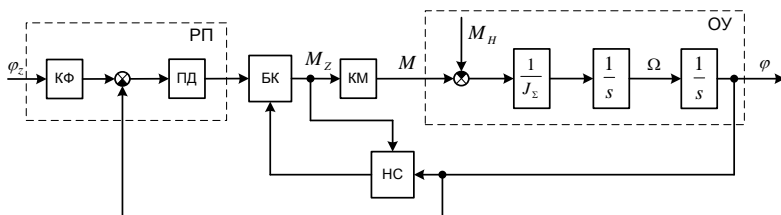


Рис. 1. Принцип построения комбинированных систем

Предлагаемый алгоритм синтеза комбинированных систем управления должен включать в себя следующие элементы:

1. Определение коэффициентов K_m и T_m контура момента. Для электропривода с векторной системой управления пренебрегают постоянной времени T_m в силу её малости относительно процессов в механике. Передаточная функция контура момента в этом случае принимает вид масштабирующего коэффициента $W_{KM}(s) = K_m$. Выделяют объект управления, описывающий механику электропривода.

2. Синтез регулятора положения (РП) механической части электропривода без учёта возмущения. Для объекта управления определяют структуру регулятора, и, задавая динамику контура, рассчитывают его коэффициенты, реализуя принцип управления по отклонению.

3. Синтез наблюдателя состояния (НС) электропривода. Для объекта управления составляют структуру астатического наблюдателя. Выполняют расчёт коэффициентов наблюдателя по заданной полосе пропускания [3].

4. Синтез компенсатора (БК). Структурная схема блока компенсации показана на рис. 2. Сигнал оценки возмущения через блок корректора динамики наблюдателя (КДН) и блок компенсатора динамики привода (КДП) поступает в канал управления, компенсируя реальное возмущение, действующее на ОУ. Блок КДН представлен передаточной функцией фильтра для коррекции динамики НС; блок КДП – передаточной функцией обратной контуру момента.

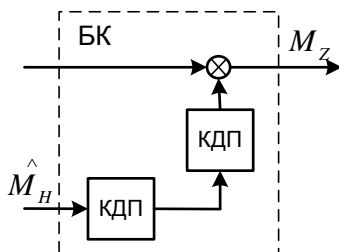


Рис. 2. Структурная схема блока компенсации

Проведём синтез комбинированной системы статического ПД – регулятора контура положения (рис. 1). Контур электромагнитного момента векторного электропривода представлен постоянным коэффициентом K_m . Настройка динамики контура положения на биномиальный процесс даёт следующие значения коэффициентов регулятора:

$$K_I = J_\Sigma \omega_0^2, K_A = 2J_\Sigma \omega_0, T_\delta = \frac{2}{\omega_0}, \quad (1)$$

где ω_0 – среднегеометрический корень.

Настройка динамики наблюдателя (рис.3) на биномиальный процесс даёт следующие значения коэффициентов матрицы обратной связи:

$$L_1 = 3\omega_0, \quad L_2 = 3\omega_0^2, \quad L_3 = -J_\Sigma \omega_0^3. \quad (2)$$

Объединив уравнения состояния ОУ и НС, получаем передаточную функцию КДН. Для астатического наблюдателя первого порядка $W_{КДН} = 1$. Передаточную функцию КДП определяем как:

$$W_{КДП} = \frac{1}{W_{KM}(s)} = \frac{1}{K_m}.$$

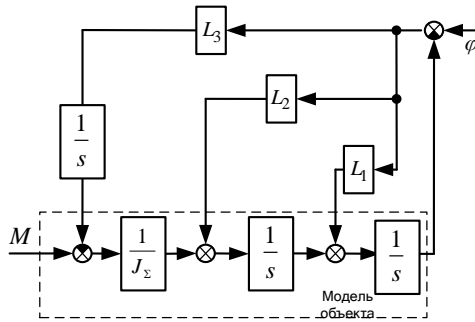


Рис. 3. Структура астатического наблюдателя состояния

Результаты моделирования (рис. 4) показывают эффективность применения предложенного алгоритма синтеза комбинированной системы, демонстрируя качественное улучшение динамической характеристики при действии нагрузки.

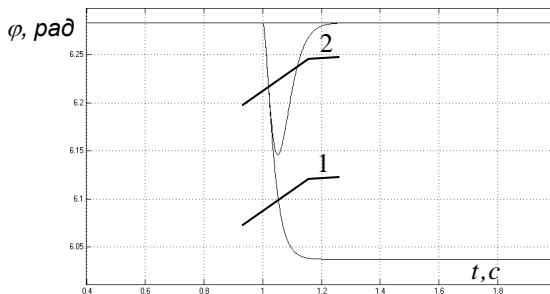


Рис. 4. Отработка задания по положению при набросе нагрузки: 1 – без блока компенсации; 2 – с блоком компенсации

Литература

1. Ким Д.П. Теория автоматического управления. Т.1. Линейные системы / Д.П. Ким. – М.: Физматлит. – 2003. – 288 с.
2. Лебедев С.К. Наблюдатели механической нагрузки регулируемого электропривода / С.К. Лебедев, А.А. Коротков // Состояние и перспективы развития электро-технологии (XIV Бенардосовские чтения): Тез. докл. междунар. науч.-технич. конференции.– Иваново: ИГЭУ, 2007.– Т.1.– С. 246.
3. Лебедев С.К. Алгоритмы синтеза наблюдателей нагрузки электропривода / С.К. Лебедев, А.А. Коротков // Вестник ИГЭУ.– Иваново, 2009.– №3.– С. 5-8.

УДК 62-83:621.313.3

Ю.С. УСЫНИН, д.т.н., профессор,
М.А. ГРИГОРЬЕВ, к.т.н., доцент.
А.Н. ШИШКОВ, к.т.н., доц., А.Е. БЫЧКОВ, аспирант,
Д.И. КАШАЕВ, аспирант, Т.Т. МОСКОВ, студент
(ЮУрГУ) г. Челябинск

Синтез системы управления энергосберегающими электроприводами с новыми типами электрических машин и законами управления*

В последнее время внимание привлекают электроприводы с нетрадиционной конструкцией электрической машины. Особое место в этом ряду занимают электроприводы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения (СРМНВ) [1].

Объектом управления в общем случае является m -фазная синхронная реактивная машина с “гладким” статором и явнополюсным ротором, питающаяся от m -фазного источника тока. Обмотки этой машины выполняются с полным шагом, а форма тока отлична от синусоидальной.

Элементарный принцип работы машины следующий. Так, если по обмоткам, расположенными над межполюсным промежутком, пропустить ток, то он создаст возбуждение по продольной магнитной оси машины. Если теперь по обмоткам, расположенным над полюсами ротора, пропустить ток, то создается электромагнитный момент.

Синтез системы управления электроприводом на первом этапе требует выбора схем силовых цепей. В электроприводах, требующих высокого быстродействия, схемы с индивидуальными источниками питания на базе автономных инверторов напряжения позволяют получить лучшие удельные показатели (отношение электромагнитного момента к массе) [2]. Для улучшения удельных показателей комплекса “Вентильный преобразователь – электрическая машина” могут быть рекомендованы схемы с мостовыми трёхфазными инверторами напряжения. Такой вариант электропривода позволяет минимизировать габариты вентильных преобразователей.

При синтезе системы управления электроприводом приходится учитывать характер нагрузки на валу рабочего органа. Для механизмов с вентиляторным характером нагрузки возбуждение СРМНВ выполняется в функции момента сопротивления. Тогда при малых значениях момента сопротивления снижаются электрические потери. В электроприводах с интенсивными режимами работы, например в станах холодной прокатки труб, высокое быстродействие достигается только в схемах с постоянным заданием на возбуждение [1].

При синтезе контура регулирования электромагнитного момента в некоторых случаях приходится учитывать ограниченное быстродействие контура регулирования фазных токов. Например, если настройку контура регулирования момента производить так, чтобы в режиме работы электропривода на упор при заданных токах в обмотках статора достигался максимум момента, то при увеличении скорости электропривода ограниченное быстродействие контура регулирования тока приведет к снижению момента СРМНВ при неизменной величине задания с выхода регулятора скорости. Особенно заметно это явление в высокоскоростных электроприводах, где частота напряжения на фазных обмотках может превышать стандартные значения питающей сети.

Снижение момента, вызванное ограниченным быстродействием контура регулирования тока, можно ослабить выбором величины начального смещения между положениями ротора и пространственной картины поля, но полностью устранить не удается [3].

Литература

1. **Усынин Ю.С.** Электроприводы и генераторы с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / Ю.С. Усынин, М.А. Григорьев, К.М. Виноградов. – Электричество – №3 – 2007. С. 21 – 26.
2. **Григорьев М.А.** Линейная плотность поверхностного тока в энергосберегающих электроприводах с синхронной реактивной машиной независимого возбуждения / М.А. Григорьев, А.Е. Бычков // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия "Энергетика". – 2010. – Вып. 14. – №32(208). – С. 46 – 51.
3. **Шаталов А.С.** Преобразование сигналов в системах автоматического управления / А.С. Шаталов – М.: Энергия, 1968. – 345 с.

**Работа проводится в рамках реализации Федеральной целевой программы «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009 – 2013 годы*

УДК 62-83:621.313.333

А.Е. КРЫЛОВ, магистрант,
Б.С. КУРНЫШЕВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ) г. Иваново

Оптимальные выходные фильтры для преобразователей частоты

В связи с внедрением силовой электроники возникает задача построения наиболее рациональных конфигураций выходных фильтров преобразователей частоты в современных электроприводах переменного тока. С этой целью в докладе рассмотрены основные технические решения и требования к устройствам подобного типа, приведены расчетные соотношения. Проведен анализ информации в Internet, периодической и иной научно-технической литературе, а также рассмотрены разработки ведущих фирм в данной области.

Назначение указанных выходных фильтров – подавление высокочастотных помех, возникающих на выходе работающих преобразователей и снижение скорости нарастания напряжения и тока на статорных обмотках двигателей, защита изоляции двигателей от пробоя, предотвращение преждевременного износа подшипников.

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

Основные задачи, которые необходимо было решить для достижения поставленной цели:

- обоснование и разработка математической модели электрического кабеля, соединяющего преобразователь и двигатель;
- разработка программы расчета переходных процессов в кабеле;
- исследование переходных процессов в кабеле при заданных его параметрах и заданных параметрах фильтров;
- разработка методики определения параметров фильтров.

Основные формулы (1) – (3) методики приведены ниже:

$$L_{k0} = \begin{cases} 50L_0 \text{ (мкГн)}, & \text{если } I_{\text{каб}} \leq 50\text{М,} \\ L_0 I_{\text{каб}} \text{ (мкГн)}, & \text{если } I_{\text{каб}} > 50\text{М,} \end{cases} \quad (1)$$

$$C_{k0} = \begin{cases} 2 \cdot 10^4 C_0 \text{ (мкФ)}, & \text{если } I_{\text{каб}} \leq 50\text{М,} \\ 4 \cdot 10^6 C_0 I_{\text{каб}} \text{ (мкФ)}, & \text{если } I_{\text{каб}} > 50\text{М,} \end{cases} \quad (2)$$

$$R_{C0} = \sqrt{\frac{L_0}{C_0}}. \quad (3)$$

УДК 621.314.26:621.372.632

А.Б. ВИНОГРАДОВ, к.т.н., доцент,
С.В. ЖУРАВЛЁВ, инженер, А.А. КОРОТКОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Разработка алгоритма управления многоуровневым преобразователем

В современных системах управления электроприводом широкое распространение получили двухзвенные преобразователи с автономным инвертором напряжения (АИН). Однако для управления мощными высоковольтными системами используют особый класс высоковольтных многоуровневых преобразователей частоты (ВМПЧ). Мощные высоковольтные полупроводниковые элементы в классической схеме АИН увеличивают стоимость преобразователя, не улучшая при этом качества выходного напряжения.

Схемные решения ВМПЧ с полупроводниковыми элементами среднего напряжения позволяют повысить КПД преобразования энергии, снизить гармонические искажения и уменьшить потери в нагрузке и потери переключения. Повышение энергетических показателей привода существенно при управлении мощными потоками энергии.

Существует несколько топологий ВМПЧ, среди которых выделяют схему каскадного преобразователя, каждая ячейка которого питается от независимого источника постоянного напряжения U_{dc} . Схема каскадного преобразователя состоит из p ячеек в каждой фазе, соединённых последовательно. Каждая ячейка представляет собой однофазный мостовой выпрямитель, а фазное напряжение ВМПЧ рассчитывается как сумма напряжений всех ячеек фазы и принимает значения $-pU_{dc}, \dots, pU_{dc}$. Для питания всех ячеек требуется трансформатор специального исполнения с несколькими вторичными изолированными обмотками.

Разработан векторный алгоритм управления ВМПЧ, осуществляющий включение на периоде модуляции трёх векторов мгновенного напряжения, определяющих вершины элементарного треугольника векторной диаграммы. Предложен алгоритм, выполняющий расчёт интервалов включения векторов на периоде модуляции из условия равенства среднего напряжения заданному значению. Алгоритм коммутации в рамках стратегии "центрированной" ШИМ выбирает оптимальную последовательность включения векторов и рассчитывает состояния каждой ячейки для каждого вектора.

Моделирование многоуровневых преобразователей выполнялось в среде разработки Delphi7. Полная модель (рис. 1) включает в себя:

- блок модулятора;
- блок идеального многоуровневого инвертора;
- блок задания эквивалентного напряжения;
- модель нагрузки – асинхронный двигатель.

Ячейки ВМПЧ получают питание от идеальных источников постоянного напряжения, которое определяется исходя из числа уровней инвертора и номинального напряжения двигателя.

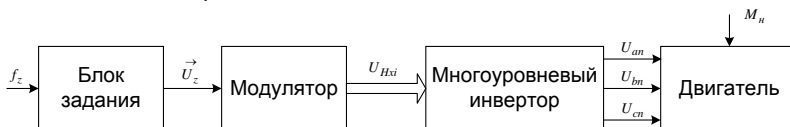


Рис. 1. Модель многоуровневого преобразователя с нагрузкой

Получены модели двух преобразователей, структурно отличающиеся количеством уровней напряжения: модель 11-уровневого и модель 17-уровневого ВМПЧ. В качестве нагрузки для низковольтного макета ВМПЧ выбран двигатель 4А112МА6У3 мощностью 3кВт. По результатам модельного эксперимента выполнен гармонический анализ для оценки качества выходного напряжения. Взвешенный коэффициент гармоник на номинальной частоте 50 Гц для 11-уровневого ВМПЧ принимает значение 0,007%, для 17-уровневого ВМПЧ – 0,0047%, а для классической схемы АИН – 0,041%. Выполнено исследование влияния частоты модуляции на оценочные коэффициенты гармонического спектра фазного напряжения. Полученные результаты позволяют оценить оптимальную частоту модуляции с точки зрения ограничения на минимальное время цикла модуляции и качества выходного напряжения.

Алгоритм управления ВМПЧ обеспечивает высокую надежность (аварийное отключение одной или нескольких ячеек без потери работоспособности), учёт отклонения напряжения на конденсаторах ячеек от расчётного значения, равномерное распределение коммутационных потерь по ячейкам в каждой фазе, управление в режиме ограничения (глубина модуляции более 0,907) с целью полного использования источников напряжения.

УДК 62-83:621.3.017-027263

А.Б. ВИНОГРАДОВ, к.т.н., доцент,
Н.А. ГЛЕБОВ, инженер,
(ИГЭУ)

Повышение энергоэффективности асинхронного тягового привода

Оптимизация режимов работы регулируемого тягового привода гибридных транспортных средств с электромеханической трансмиссией является одним из наиболее приоритетных направлений развития данного вида привода. Как правило, в подобных проектах применяются двигатели с расширенным диапазоном изменения параметров (индуктивностей

статора и ротора, активных сопротивлений) в рабочих режимах, что обуславливает необходимость введения в систему управления идентификатора параметров, обеспечивающего точность ориентации и устойчивость системы управления в условиях помех и погрешностей измерений в режиме реального времени.

Для решения поставленной задачи проведено экспериментальное исследование разработанного ранее алгоритма стендовой настройки асинхронного двигателя [1]. Алгоритм включает 1) оценку точности измерительных каналов привода с определением и корректировкой погрешности измерений в рабочих режимах; 2) определение зависимости намагничивания двигателя; 3) синхронизацию измерений токов и напряжений, компенсирующую временные сдвиги моментов измерения и последующей обработки сигналов в микроконтроллере; 4) оценку точности работы идентификатора во всех режимах работы привода; 5) разрешение работы идентификатора в области допустимых погрешностей наблюдения параметров и разрешение перенастройки параметров системы управления; 6) определение параметров оптимального по КПД закона векторного управления в виде зависимости тока намагничивания от скорости и момента нагрузки; 7) измерение КПД привода в ряде рабочих точек. Далее выполнено сравнение к.п.д. в одинаковых рабочих точках двух вариантов построения оптимальной системы – 1) обеспечивающей максимум КПД и 2) реализующей закон равенства модулей активной и реактивной составляющих тока статора [2].

Экспериментальное исследование проведено на макете, состоящем из силового преобразователя, платы управления на базе микроконтроллера TMS320F28335, испытуемого двигателя 5A80MB6 мощностью 1 кВт и аналогичного нагрузочного двигателя. Максимальное увеличение КПД при формировании тока намагничивания по закону $K_{ПД} = \max$ относительно закона равенства компонент тока в одинаковых рабочих точках составило около 1%. Замкнутая по идентификатору параметров система управления обеспечивает желаемые характеристики во всем требуемом диапазоне скорости при допустимых уровнях нагрузки, что подтверждает эффективность применения стендовой настройки для повышения КПД тягового привода.

Литература

1. **Виноградов А.Б.** Оптимизация КПД системы векторного управления асинхронным тяговым электроприводом с идентификатором параметров / А.Б. Виноградов, Д.Б. Изосимов, С.Н. Флоренцев, Н.А. Глебов // Электротехника. – 2010. – №12. – С. 12–19.
2. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / А.Б. Виноградов; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2008. – 320 с.

УДК 629:62.83

Д.Б. ИЗОСИМОВ, к.т.н., зам. ген. директора по науке,
(ООО «Русэллпром-Электропривод») г. Москва,
С.В. ЖУРАВЛЕВ, инженер,
Н.Е. ГНЕЗДОВ, к.т.н., доцент,
(ИГЭУ)

Экспериментальная оценка параметров асинхронных тяговых двигателей

Тяговые двигатели вследствие ограничений габаритов и массы являются высокоиспользуемыми, т.е. при управлении в режиме минимальных потерь, в соответствии с большим диапазоном изменения электромагнитного момента величина поля изменяется в широких пределах, что приводит к существенному изменению параметров двигателя в различных режимах работы, прежде всего, из-за эффекта насыщения стали. При этом требования к минимизации тока статора и максимизации КПД в тяговых приводах весьма жесткие, что заставляет учитывать изменения параметров двигателя в различных режимах его работы. Также необходимо обеспечить работоспособность векторной системы управления (отсутствие потери ориентации по вектору поля ротора) при существенно изменяющейся величине поля ротора.

Задача идентификации асинхронного двигателя традиционно понималась как задача определения по результатам измерений пяти параметров его схемы замещения: сопротивлений статора и ротора, индуктивностей статора и ротора, и взаимоиндуктивности. Однако общепринятая методика экспериментальной идентификации параметров АД отсутствует.

Разработана методика, позволяющая по измерениям скорости ротора, момента, активной и намагничивающей составляющих тока статора определить:

- постоянную времени ротора T_R . Необходимо для ориентации векторной системы по полю ротора;
- параметры оптимального по КПД статического режима работы двигателя. Необходимо для минимизации потерь в двигателе.
- минимальную допустимую величину поля, при которой сохраняется работоспособность системы векторного управления.
- максимальную величину потокосцепления ротора в функции скорости ротора и напряжения ЗПТ. Необходимо для работы во второй зоне регулирования.
- индуктивность статора. Необходимо для получения достоверной оценки требуемого напряжения и электромагнитного момента.

На рис. 1-4 показаны зависимости, полученные на полномасштабном лабораторном стенде мощностью 200 кВт, включающем комплект тягового электрооборудования трактора ЭТ300-ЦП [1, 2]. Полученные с исполь-

зованием методики результаты реализованы в системе управления приводами генератора и тягового двигателя трактора ЭТ300-ЦП.

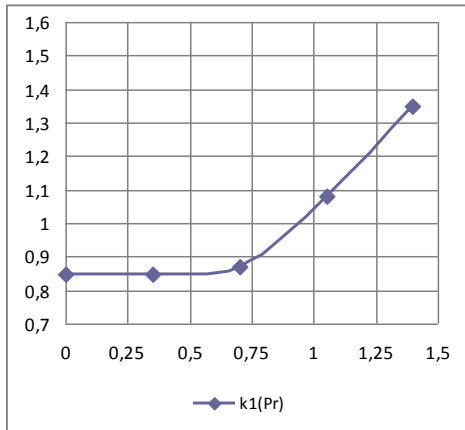


Рис. 1. Зависимость T_R от тока намагничивания (в отн. единицах)

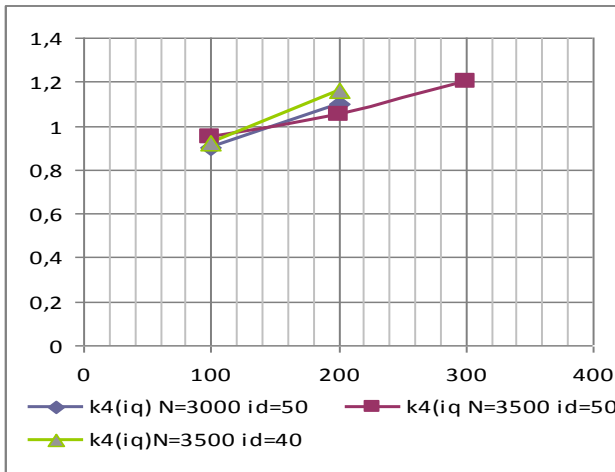


Рис. 2. Зависимость T_R от скорости и активного тока

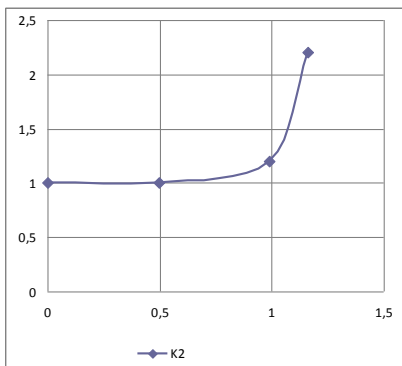


Рис. 3. Зависимость оптимального по потребляемому току отношения компонент токов

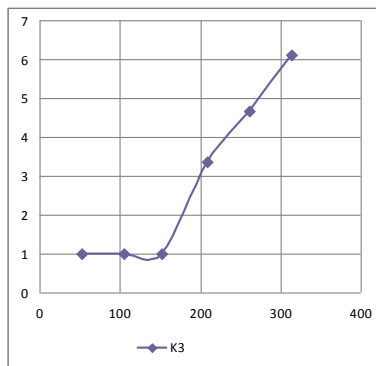


Рис. 4. Зависимость отношения компонент токов от скорости во второй зоне регулирования

Предлагаемая процедура экспериментальной настройки параметров асинхронных двигателей определяет четкую и однозначную последовательность экспериментов на стендовом оборудовании и позволяет экспериментально определить наиболее важные параметры двигателей – постоянную времени ротора и индуктивность статора, установить их зависимости от режима работы двигателя, а также определить режимы работы, оптимальные по использованию ресурса тока и потерям.

Использование экспериментальной настройки параметров позволяет обеспечить работоспособность векторной системы управления и оптимальное использование двигателя во всех режимах работы.

Литература

1. **Stanislav N. Florentsev.** Traction Electric Equipment Set for AC Electric Transmission Various Vehicles // Proceedings of International Exhibition & Conference Power Electronics, Intelligent Motion. Power Quality (PCIM-2009). 12—14 May 2009. Nuremberg. Germany. P. 625-627.
2. **S.N. Florentsev, D.B. Izosimov, I.N. Uss, L.N. Makarov.** Powering Agriculture. Tractor with AC/AC electric drive train // Power System Design Europe (PSDE), March 2010. P. 22-24.

УДК 629:62.83

Н.Е. ГНЕЗДОВ, к.т.н., доцент,
Н.А. ГЛЕБОВ, инженер,
В.Л. ЧИСТОСЕРДОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Одноконтроллерное управление тяговыми приводами

Работоспособность и эксплуатационные характеристики гибридных транспортных средств зависят от успешного решения ряда специфических задач:

- исключение влияния электромагнитных шумов (в инверторах коммутируются, как правило, большие значения токов и напряжений);
- обеспечение высокой надежности;
- согласованность работы всех приводов электромеханической трансмиссии.

С другой стороны, производительность и насыщенность периферией современных *DSP for motion control* перекрывает потребности для управления одним приводом. Поэтому логичным путем решения перечисленных выше задач является одноконтроллерное управление несколькими приводами.

Для управления приводами мотор-генератора и тягового двигателя нового поколения трактора с электромеханической трансмиссией ЭТ-300ЦП и городского маршрутного автобуса [1-3] был разработан контроллер силового преобразователя (КСП) на базе *DSP TMS320F28335*.

КСП предназначен для работы с 2-мя или 4-мя (2 в параллель) преобразователями *SKAI* фирмы *SEMİKRON* и позволяет измерять до 6 токов фаз двигателей, напряжение и токи в ЗПТ, температуры силовых преобразователей, системы охлаждения, обмоток статоров и подшипников двигателей. На КСП могут быть заведены сигналы с двух инкрементальных датчиков скорости, несколько дискретных входных и выходных сигналов. Для связи с внешними управляющими устройствами используется шина *CAN*.

Программное обеспечение (ПО) КСП обеспечивает:

- синхронность ШИМ приводов, согласованность управления (учет мощности ТАДа в МГ, например).
- разделение всех задач на однотипные (измерение скорости, проверка ряда защит, обслуживание энергонезависимого кольцевого буфера аварий и др.) и специфические (расчет алгоритмов управления). Однотипные задачи для каждого привода выполняются одними и теми же функциями с разными структурами параметров в качестве аргументов;
- представление каждого привода как отдельного узла в сети *CAN*;
- независимость управления каждым приводом. Количество и типы приводов (только МГ, только ТАД, МГ+ТАД, ТАД+ТАД) выбираются условиями компиляции проекта.

Выполнен ряд мероприятий по повышению быстродействия программы:

- перегрузка исполняемого кода и переменных управления из энергонезависимой памяти в *RAM*;
- сокращение переходов, широкое использование *inline*-функций;
- распределение аналого-цифровых преобразований сигналов, защит, обмена по *CAN* между быстрым и медленным циклами программы.

В результате получено время выполнения основного цикла управления, включающего обработку АЦП, поверку защит, управляющих сигналов и расчет алгоритмов управления обоих приводов, равное 130 микросекунд.



Рис. 1. Привод ТАД + имитатор нагрузки и имитатор ДВС + привод МГ макета тягового электрооборудования



Рис. 2. Спарки двигателей макета тягового электрооборудования



Рис. 3. Полномасштабный стенд КТЭО ЭТ-300ЦП

Отладка ПО выполнена на макете тягового привода мощностью 1.1 кВт с нагрузочным агрегатом соответствующей мощности (рис.1, 2), и на полномасштабном лабораторном стенде мощностью 210 кВт, включающем комплект тягового электрооборудования трактора ЭТ300-ЦП (рис. 3).

Литература

1. **Stanislav N. Florentsev.** Traction Electric Equipment Set for AC Electric Transmission Various Vehicles // Proceedings of International Exhibition & Conference Power Electronics, Intelligent Motion. Power Quality (PCIM-2009). 12—14 May 2009. Nuremberg. Germany. P. 625-627.
2. **Exklusiver** Fahrbericht Prototyp Belarus 3023: Stufenlos mit dem Strom // PROFI, June 2010. P. 34-37.
3. **Stanislav N. Florentsev.** From Russia with Automotive. AC electric drive-train of a hybrid city bus // Power System Design Europe (PSDE), July/August 2009. P.50 -51.

УДК 621.313

О.В. КРЮКОВ, к.т.н., доцент,
С.Е. СТЕПАНОВ, аспирант, В.Г. ТИТОВ, д.т.н., проф.
(ОАО «Гипрогазцентр», НГТУ им. П.Е. Алексеева)
г. Нижний Новгород

Анализ системы возбуждения синхронного двигателя с косвенным измерением угла нагрузки

Сложности в эксплуатации синхронных двигателей (СД) для электроприводных газоперекачивающих агрегатов (ЭГПА) с устаревшими тиристорными возбудителями и регуляторами возбуждения, реализованными на аналоговой элементной базе, трудности в настройке таких систем, поддержании их в рабочем состоянии приводят к тому, что подавляющая часть СД работает с ручным заданием тока возбуждения. При этом не реализуются возможности автоматического регулирования возбуждения, из-за чего не обеспечивается энергоэффективность, устойчивость в переходных режимах и рациональное использование оборудования компрессорных станций (КС) [1, 2].

Модернизацию систем автоматического регулирования возбуждения (САРВ) по повышению надежности и эффективности использования СД необходимо проводить по нескольким направлениям [3-5]:

- замена устаревших аналоговых возбудительных устройств на цифровые с применением современных микропроцессорных регуляторов, позволяя значительно снизить отказы ЭГПА в связи с повышением надежности и функциональных свойств тиристорных возбудителей;

- совершенствование законов регулирования возбуждения на основе векторных принципов управления СД, обеспечивая оптимальное управление током возбуждения в зависимости от нагрузки на валу двигателя и напряжения сети, снижением потерь в СД и питающей сети, улучшение устойчивости СД в динамических режимах, нормализацию уровня напряжения сети при избытке реактивной мощности, демпфирование колебаний ротора и давления в трубопроводе;

- обеспечение автоматической и оперативной ресинхронизации СД в случае выпадения двигателя из синхронизма, исключения автоколебаний и провалов скорости и для обеспечения стабильности технологического процесса транспортировки природного газа;

- интеграция САРВ СД с системой оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния электропривода и системы электроснабжения КС, обеспечивая гарантию надежной работы оборудования КС на ближайшую перспективу и снижения ущерба при авариях.

Важнейшим фактором повышения эффективности СД является рациональный режим регулирования САРВ, который должен способствовать решению задач увеличения перегрузочной способности двигателя, повышения его устойчивости при снижении напряжения в питающей сети,

обеспечения минимума потерь, как в самом двигателе, так и в электросети, а также уменьшения колебаний напряжения в сети [6, 7].

В зависимости от характера нагрузки СД возможны законы регулирования возбуждения САВВ при стабилизации коэффициента мощности или реактивной мощности СД, регулирование по минимуму потерь энергии в СД и сети или поддержание напряжения статора. Эффективная реализация этих законов может быть достигнута правильным выбором параметра регулирования СД, например, активного (реактивного) тока статора, полного тока, напряжения сети или угла нагрузки.

В результате исследования конструктивных и эксплуатационных особенностей СД мегаваттного класса, работающих на нагрузку типа ЭГПА, предложен теоретически обоснованный метод формализации функционирования машины, который наиболее системно и адекватно отражает физику электромагнитных и электромеханических процессов в основных и дополнительных контурах СД и в системе возбуждения. С учетом общепринятых допущений и исходных положений метода Парка-Горева получена математическая модель СД для насыщенного и ненасыщенного состояния в векторно-матричном виде, удобном для дальнейшего анализа, синтеза и компьютерного моделирования.

Проанализированы рациональные алгоритмы САВВ СД [8, 9], которые способствуют решению актуальных задач увеличения перегрузочной способности двигателя, повышение устойчивости его при снижении напряжения в питающей сети, обеспечения минимума потерь, как в самом двигателе, так и в электросети, а также снижения колебаний напряжения сети. Получены аналитические выражения законов регулирования тока возбуждения по критериям минимизации реактивной мощности, электрических потерь и повышения коэффициента мощности. Получена обобщенная математическая модель СД во взаимодействии с системой регулирования возбуждения и проанализированы параметры полученных математических моделей.

Анализ основополагающих теоретических позиций концепции СД позволил строго доказать, что угол нагрузки двигателя однозначно определяет момент выпадения двигателей из синхронизма, а его точная идентификация позволяет решить ряд основных задач стабильной, долговечной и устойчивой работы: своевременную форсировку возбуждения при глубоких провалах напряжения, предотвращение и быстрое выявление асинхронного хода, применение специальных законов управления в режимах пуска и ресинхронизации.

Наиболее целесообразным способом мониторинга и оперативной реакции на величину угла нагрузки СД является возможность бесконтактного измерения его методами косвенного вычисления на основе программно-аппаратных средств микропроцессорного идентификатора угла нагрузки. Для этого разработана универсальная структурная схема идентификатора СД и математическая модель, удобная для дальнейшего синтеза в трехконтурной векторной САВВ.

Разработаны динамические модели САПВ СД с косвенным измерением угла нагрузки на основе матрично-операторного метода синтеза трех основных контуров регулирования: тока возбуждения, реактивного тока (мощности) и напряжения сети. Параметры регуляторов выбраны из условия обеспечения максимальной динамической точности при ограниченной полосе пропускания с учетом особенностей функционирования контура регулирования тока возбуждения и демпферных контуров. Так, например, при протекании полуторакратного тока возбуждения в течение 1 сек в последующие 50 сек этот ток должен поддерживаться на уровне 0.87 от номинального значения. Ограничение максимального значения тока возбуждения в таком случае будет обеспечивать ограничение перегрева СД.

Моделирование динамических режимов СД производилось при автоматическом регулировании возбуждения в соответствии с тремя основными законами: при стабилизации заданной величины реактивной мощности, при регулировании по минимуму электрических потерь в двигателе, при стабилизации коэффициента мощности.

Литература

1. **Энергосбережение** и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография // Под ред. О.В.Крюкова – Н.Новгород: Вектор ТиС, 2010. – 560с.
2. **Крюков О.В.** Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в электроприводных турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности, 2010, №10. – С. 50-53.
3. **Степанов С.Е.** Разработка системы автоматического регулирования возбуждения с идентификатором угла нагрузки для синхронных двигателей // Приводная техника, 2010, №2. – С. 17-23.
4. **Степанов С.Е.,** Крюков О.В., Плехов А.С. Принципы автоматического управления возбуждением синхронных машин газоконпрессорных станций // Автоматизация в промышленности, 2010, №6. – С. 29-31.
5. **Степанов С.Е.** Особенности пуска синхронных двигателей большой мощности // Тезисы докл. XVI НТК «Проблемы развития газовой промышленности Сибири», Тюмень, 17-21 мая 2010. – С.189-190.
6. **Воронков В.И.,** Степанов С.Е., Крюков О.В., Титов В.Г. Векторное управление возбуждением синхронных двигателей газоперекачивающих агрегатов” // Труды VI Международной (XVI Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу (АЭП-2010) / Известия ТулГУ “Технические науки”, вып.3, ч.2, Тула, 2010, С. 204-208.
7. **Автоматизированная** система плавного пуска синхронного электропривода механизмов с высокомоментной нагрузкой. Патент на ПМ №101598. // Воронков В.И., Рубцова И.Е., Степанов С.Е., Крюков О.В., Титов В.Г. МКИ H02P 1/46, 21/00. ОАО “Гипрогазцентр”, 2010. – БИ №2, 2011.
8. **Кгукон О.В.,** Rubtsova I.E., Stepanov S.E. Optimization of Gas-Compressor Units Synchronous Electric Drives Dynamic Modes // Abstracts of 13th International Conference on Electromechanics, Electrotechnology, Electromaterials and Components (ICEEE-2010), Alushta, Crimea, Ukraine. September, 2010.– p. 105.

9. **Рубцова И.Е.**, Крюков О.В., Степанов С.Е. Нейро-нечеткие модели и алгоритмы управления и мониторинга синхронных машин большой мощности // VI научная конференция «Управление и информационные технологии (УИТ-2010)» в рамках [III Мультиконференции по проблемам управления \(МКПУ-2010\)](#) / ОАО «Концерн ЦНИИ Электроприбор» и ИПУ им. В. А. Трапезникова РАН, СПб, 12 - 14 октября 2010. – С.160-163.

УДК 621.313

О.В. КРЮКОВ, к.т.н., доцент,
Е.В. БЫЧКОВ, к.т.н., доцент
(ОАО «Гипрогазцентр», НГТУ им. Р.Е. Алексеева)
г. Нижний Новгород

Повышение надежности электроприводных компрессоров средствами оперативного мониторинга

Магистральный транспорт газа в России осуществляется компрессорными станциями (КС) с газоперекачивающими агрегатами (ГПА) разных типов и мощностей мегаваттного класса. Более 700 шт. ГПА в ОАО «Газпром» являются электроприводными (ЭГПА). Обладая более простой конструкцией, ЭГПА имеют более высокие показатели надежности, чем газотурбинные. Однако, вынужденный или аварийный останов их ведет к большим затратам на ремонтно-восстановительные работы и снижению производительности КС, а также к потерям топливного газа, электроэнергии и ГСМ. Наиболее тяжелым отказом ЭГПА является выход из строя статора синхронного двигателя (СД), аварии в котором возникают из-за пробоя корпусной или пазовой изоляции. В связи с этим разработка новых методов мониторинга и прогнозирования технического состояния и эксплуатационной надежности СД с учетом электромеханических свойств изоляции и их изменения под воздействием различных факторов представляет большой практический интерес.

Для выявления основных эксплуатационных факторов, влияющих на надежность СД, выполнен статистический анализ условий эксплуатации ЭГПА, включая сбор и обработку информации о повреждаемости СД, анализ их работы в штатных режимах и при режимных возмущениях сети на КС. Данный анализ высоковольтных СТД-12500-2 по ряду КС ООО «Газпром трансгаз Нижний Новгород» выполнен [1, 2] за период 1985-2009 гг. и выявил 62 случая выхода из строя СД при средней аварийности 2,7 шт./год, причем, наибольшая доля отказов (52%) происходила в штатном режиме при рабочем напряжении питания. При анализе мест повреждения выявлено, что доля повреждений в пазовой части обмотки составляет 86%, в лобовой – 11%, на выводах – 3%. Зафиксированы места пробоев на 10 разных СТД (номера пазов и стержней статора).

Сопоставление данных мест повреждения СТД-12500-2 показал, что более 60% из них произошло в первых витках обмотки при наибольшем рабочем напряжении стержней. Как правило, развитие аварии начинается с момента срабатывания защиты от замыкания на землю с последующим междуфазным замыканием, что говорит о повреждениях корпусной изоляции. Основная часть повреждений приходится на середину пазовой части обмотки, менее подверженную механическим нагрузкам, где наибольшее влияние оказывают температура и электрические поля, причем, 40% из них произошло при наработке СД более 50-60 тыс. час.

Тепловые режимы. СТД-12500-2 имеет разомкнутый цикл воздушно-го охлаждения, изоляцию «Монолит-2» с классом нагревостойкости «В», наибольшее влияние на срок службы ее в соответствии с ТУ имеет рабочая температура обмоток. Получены результаты измерения температуры меди, стали и охлаждающего воздуха в одном из цехов КС «Починковская» с интервалом 2 часа по показаниям штатных приборов.

На ЭГПА, работающих при одинаковых условиях и нагрузках, наблюдались значительные отличия в температурных режимах (70–120 С) из-за неисправности системы охлаждения, дефектов сердечника, перевозбуждения СД, снижения КПД или повышение напряжения выше 105 %. При останове СД происходит «тепловой удар» из-за нарушения самовентилиации, и температура растет на 10–15 С с градиентом 20 С.

Выполнены измерения температуры при пуске и мощности при переключении режима газопровода с интервалом 2 часа, в течение 6 суток на КС «Починковская» и КС «Сеченовская». Температура статора летом связана с суточными колебаниями температуры воздуха, а зимой зависит только от числа работающих в цехе ЭГПА. Получены экспериментальные данные параметров СД при изменении напряжения, а также зависимость полной мощности от температуры охлаждения [5].

Воздействие электрических полей. На изоляцию СД воздействует длительное рабочее напряжение, кратковременные грозовые перенапряжения микросекундной длительности и внутренние перенапряжения миллисекундного, секундного и даже минутного диапазона. Получены результаты измерения напряжений на секции шин ЗРУ-10 кВ с интервалом 1 час в течение 82 часов. Основным источником колебаний напряжения выявлена энергосистема, причем, ночью происходит рост напряжения на шинах ЗРУ-10 кВ, а днем - снижение. Т.к. СД являются источником реактивной мощности, то он также влияет на уровень напряжения 10 кВ. Так, при изменении $\cos\phi$ от 1 до 0,95 (емкостный) напряжение на шинах с одним ЭГПА при дневном минимуме растет на 200 В.

Напряжения на СД при измерениях составили 10,37–10,91 кВ, что удовлетворяет требованиям ПТЭ, но необходимо контролировать мощность и температуру обмоток СД. Рост напряжения выше 110% от номинала недопустим, т.к. иначе, из-за насыщения стали происходит возрастание магнитной индукции, резко растут потоки рассеяния и возникают

большие паразитные токи вызывающие перегрев. При снижении же напряжения ниже 10кВ увеличивается ток статора.

Частичные разряды (ЧР) во внутренних полостях и по поверхности изоляции СД являются главным фактором ускоренного разрушения изоляции. Проведен мониторинг изоляции обмоток более 80 ЭГПА методом подачи напряжения от независимого источника с анализом частоты и амплитуды критических ЧР в пазовых и лобовых частях статора.

Установлено, что все СД имеют ЧР различной интенсивности и амплитуды, а на некоторых наблюдаются следы ЧР в виде налета белого порошка солей азота. Приведены амплитудно-фазовые диаграммы ЧР фаз обмоток статора на ЭГПА-7 КС «Починковская», полученные прибором R-400. Зафиксировано большое число ЧР низкой амплитуды, возникающих до достижения максимума напряжения на обмотке, что подтвердило загрязнение обмотки масляно-графитовой смесью. Если ЧР имеют большую амплитуду (до 3000 пКл) и интенсивность 36,2 PDI (пКл*В/с), то в ближайшее время возможен ее пробой.

Перенапряжения при коммутациях и режимных возмущениях сети. В результате анализа схем электроснабжения и теоретических расчетов [2, 3], определены параметры перенапряжений, возникающих в динамических режимах ЭГПА. Получены результаты моделирования процессов отключения выпавшего из синхронизма СТД-12500 КС «Сеченовская». Момент отключения соответствует противофазному положению напряжения на шинах и внутренней ЭДС, причем, отключение фазы вызывает перенапряжение 4,5 о.е., а других - до 2,5. Анализ подтвердил высокую вероятность аварии двух СД с повреждением фаз.

Анализ механических нагрузок СД выполнен для электродинамических, вибрационных и термомеханических факторов. В статике изоляция обмоток подвергается действию небольших электродинамических усилий, предельные амплитуды давлений которых до 1 кН/м^2 . Более высоких значений эти усилия достигают при пуске СД, а замеры пусковых токов показали, что у дна паза давление составляет 25 кН/м^2 . Наряду с усилиями, действующими на стержни обмотки в радиальном направлении и вызывающими их спрессовку, в пазовой части действуют тангенциальные пульсирующие усилия, прижимающие стержни к стенке паза. Для СТД - 12500-2 они не превышает $0,15 \text{ Н/м}$.

Для увеличения ресурса СД, повышения их энергоэффективности и снижения затрат на ремонт разработан комплекс мероприятий по увеличению сроков службы модернизируемых ЭГПА, включая внедрение систем оперативного мониторинга и прогнозирования технического состояния СД [4-6] и перехода на ТОиР по их фактическому состоянию.

Литература

1. Бабичев С.А., Захаров П.А., Крюков О.В. Мониторинг технического состояния приводных электродвигателей газоперекачивающих агрегатов // Контроль. Диагностика. 2009. №7. С. 33-39.

2. **Энергосбережение** и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография / Под ред. О.В. Крюкова. Н.Новгород: Вектор ТиС, 2010, 560с.
3. **Бабичев С.А.**, Бычков Е.В., Крюков О.В. Анализ технического состояния и безопасности электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Электротехника. 2010. №9. С. 30-37.
4. **Крюков О.В.** Встроенная система диагностирования и прогнозирования работы асинхронных электроприводов // Изв.ВУЗов. Электромеханика, 2005, № 6, С.43-47.
5. **Захаров П.А.**, Крюков О.В. Система технической диагностики электроприводных газоперекачивающих агрегатов // Труды XVII ВНТК «Неразрушающий контроль и техническая диагностика». Н.Новгород, 29 сентября – 4 октября 2008. Н.Новгород: Машиностроение, 2008. С. 495-496.
6. **Устройство** лингвистического диагностирования отказов электропривода // Киянов Н.В., Крюков О.В., Захаров П.А. и др. / Патент РФ № 91636 на полезную модель. МПК 7G05B 23/02. М.: ФИПС, БИ №5, 2010.

УДК 621.313

О.В. КРЮКОВ, к.т.н., доцент
(ОАО «Гипрогазцентр») г. Нижний Новгород

Теоретическое обоснование и новая аппаратная реализация энергосберегающих электроприводов газоперекачивающих агрегатов

Спецификой газовой промышленности России является необходимость транспорта больших объемов газа на значительные расстояния. Эффективность этого процесса в значительной степени определяет цену газа у потребителей, составляя до 52% его стоимости. Резервы и возможности снижения этих показателей имеются [1], но требуют системного подхода к модернизации оборудования компрессорных станций (КС) и, в частности, газоперекачивающих агрегатов (ГПА).

Различные параметры МГ (диаметр и толщина стенок труб, пропускная способность, протяжённость МГ, расстояние между КС, потери давления на участках, давление газа, тип ГПА) выбираются первоначально при проектировании исходя из потенциала месторождения.

Оптимальный режим эксплуатации МГ заключается в максимальной пропускной способности (газоподачи) при минимальных энергозатратах на компримирование, охлаждение и транспортировку. Особенностью работы МГ является неравномерность подачи и потребления газа в течение года, месяца, суток. Характерный вид годовых графиков работы МГ при изменении его производительности показывает, что наибольшее влияние на режим работы КС и ГПА оказывают сезонные изменения газоподачи МГ с максимумом в декабре-январе (минимумом - в летние месяцы года) и связан с повышенным потреблением энергоресурсов в отопительный

период. Оборудование КС приспособлены к переменному режиму работы, но это приводит к снижению загрузки ГПА и перерасходу энергии из-за отклонения от оптимального КПД оборудования.

Для уменьшения затрат мощности КС на перекачку газа, увеличения пропускной способности газопровода и экономии энергоресурсов выгодно поддерживать максимальное давление газа в трубопроводе, снижать температуру перекачиваемого газа при его охлаждении, использовать газопроводы большего диаметра с очисткой внутренней полости.

ГПА КС являются главным и центральным звеном управления КС, обеспечивая оптимальные режимы транспорта газа. Это обусловлено тем, что от электропривода ГПА зависят возможности всей структуры МГ и оптимизации ТП. Кроме того, функциональные возможности ГПА являются фактически единственным каналом воздействия на параметры газа в условиях многопараметрических изменений внешних воздействий детерминированного (графики газоподачи) и стохастического (колебания потребления и температуры окружающей среды) характера.

Несмотря на все многообразие типоразмеров ГПА различных фирм-изготовителей и видов привода нагнетателей КС - их мощность в основном определяются пропускной способностью газопровода. Для МГ с большой пропускной способностью эффективно применяются центробежные нагнетатели с приводом от газотурбинных установок или электродвигателей. К настоящему времени в ОАО «Газпром» России общая доля газотурбинных приводов составляет 85,3 %, а электроприводных – 14,1 %. В развитых странах запада использование газотурбинных и электроприводов имеет равные доли на основании требований, предъявляемых к конкретным КС. Сравнительные показатели их даны в [1, 4].

В настоящее время в 706 КЦ, входящих в состав 263 КС, в эксплуатации находится 4000 ГПА суммарной мощностью 44 млн. кВт. Как правило, каждый из современных приводных агрегатов турбокомпрессоров – уникальная система по мощности (до 100 МВт), стоимости, набору вспомогательных устройств и функциональным возможностям. Поэтому надежная и безаварийная работа всех агрегатов является главным фактором экономичности и стабильности поставок газа в рамках ЕСГ России.

Анализ работы МГ говорит о значительном снижении технического состояния и производительности ГПА. Средний возраст МГ России составляет 22 года, большая часть которых (около 80 %) имеет возраст от 15 до 40 лет. Это говорит о необходимости предотвращения дальнейшего снижения технического состояния ГПА, повышения эксплуатационных показателей и снижения энергозатрат на КС, что можно реализовать за счет оптимизации и регулирования режимов ГПА.

Для системного исследования работы ЭГПА в штатных режимах необходим системный подход к синтезу системы с анализом характеристик элементов нагнетателей и приводов с их взаимовлиянием. Для основных типов ЭГПА к настоящему времени разработаны и успешно функциониру-

ют отраслевые и зарубежные системы регулирования на основе гидродинамических муфт, тиристорных пускорегулирующих устройств и ПЧ.

Системы электроснабжения и электроприводные ГПА нового поколения призваны обеспечить высокий уровень эксплуатационных показателей (энергетические и регулировочные), высокую надежность и живучесть основных агрегатов. С этой целью для вновь строящихся и модернизируемых КС разработаны современные промышленные системы ЭГПА отечественного и зарубежного производства [1, 3].

Вместе с тем, даже в этих вариантах ЭГПА до сих пор не решен весь комплекс актуальных проблем реализации инновационных технологий и теоретических разработок, обеспечивающих надежную и энергоэффективную работу ЭГПА в условиях КС:

1. алгоритмы плавного запуска ЭГПА под нагрузкой или из «горячего» состояния в режимах векторного частотного или квазичастотного формирования пусковых диаграмм;

2. инвариантное регулирование скорости ЭГПА со стабилизацией оптимального давления газа на выходе КС при возмущениях;

3. электромеханическая и электромагнитная совместимость приводных двигателей с нагнетателями и питающей сетью при групповой работе ЭГПА в рамках КС на одну магистраль;

4. реализация новых методик расчета оптимальных параметров давления, температуры и расхода газа для новых и модернизируемых ЭГПА с анализом реальной работы нагнетателей как объекта привода;

5. программно-аппаратный комплекс встроенной системы непрерывного мониторинга и прогнозирования технического состояния ЭГПА с применением технических средств интеллектуальных датчиков, нейроконтроллеров и алгоритмов *Fuzzy*-логики с перспективой перехода к ТОиР по фактическому состоянию оборудования;

6. обеспечение стабильного и устойчивого функционирования приводного СД ЭГПА во всех возможных режимах работы путем оперативного контроля угла нагрузки машины с помощью бездатчиковой САР возбуждения на базе цифровых тиристорных возбuditелей;

7. реализация безмасляных и безредукторных технологий на основе систем электромагнитного подвешивания валов и роторов высокоскоростных двигателей и нагнетателей в едином конструктиве;

8. согласование рабочих параметров всех основных технологических агрегатов КС (нагнетателей, аппаратов воздушного охлаждения газа, масла) с целью минимизации энергопотребления в каждой КС;

9. реконструкция систем электроснабжения с применением высоковольтного оборудования ЗРУ-10кВ и модернизации релейной защиты и автоматики на базе современных микропроцессорных средств;

10. согласование режимов работы соседних КЦ с целью оптимизации энергопотребления в рамках линейных участков МГ при различных параметрах газоподачи и газопотребления;

11. реализация малолюдных технологий обслуживания КС;

12. снижение экологической нагрузки на природу с уменьшением выбросов парниковых газов, отработанных масел, шума и вибраций.

Все отмеченные выше факторы при их системной реализации в рамках КС значительно повышают технико-экономическую привлекательность и конкурентоспособность электроприводных ГПА, обеспечивая главные задачи энергоэффективности и безопасности функционирования МГ, а также стабильности, надежности и экологичности транспорта энергоресурсов в России.

Литература

1. **Энергосбережение** и автоматизация электрооборудования компрессорных станций: монография // Под ред. О.В.Крюкова – Н.Новгород: Вектор ТиС, 2010. – 560с.
2. **Энергетическая** стратегия России на период до 2020 года // Распоряжение Правительства РФ от 28 августа 2003 г. №1234-р.
3. **Краснов Д.В.**, Онищенко Г.Б. Оценка потребности в высоковольтных регулируемых электроприводах переменного тока // Известия ТулГУ. Технические науки. Вып. 3. Ч. 1. – С.73-81.
4. **Крюков О.В.** Анализ и техническая реализация факторов энергоэффективности инновационных решений в электроприводных турбокомпрессорах // Автоматизация в промышленности, 2010, №10. – С.50-53.

УДК 681.518.3

А.Р. КОЛГАНОВ, д.т.н., профессор,
Н.Е. ГНЕЗДОВ, к.т.н., доцент, А.С. УШКОВ, ассистент
(ИГЭУ)

Аппаратно-программный комплекс разработки систем управления электроприводами

Переход от сырьевой к инновационной экономике невозможен без разработки, широкого внедрения и освоения высокотехнологичного оборудования. Для этого, как отмечают в своих заявках представители промышленности – потребители выпускников ВУЗов, нужны квалифицированные специалисты-разработчики современных систем управления электроприводами, обладающие знаниями и опытом работы с реальным оборудованием. Не менее важно доводить до практической реализации растущий объем научных исследований.

Для выполнения этих задач на кафедре ЭП и АПУ ИГЭУ была обновлена система подготовки студентов по разработке микропроцессорных систем управления электроприводами, а также сформирован комплекс оборудования, позволяющего создавать прототипы инновационных систем электропривода.

Оборудование в составе комплекса можно разделить на три уровня:

- платы начального уровня (*TMDSDOCK28335*), позволяющие реализовывать и вести отладку алгоритмов в режиме эмулятора;

- отладочные платы (*TE-TMS320F28335*, *TMDSEZ28335*), имеющие также определенный набор периферии (последовательные порты, входы АЦП, логические входы, светодиоды);
- комплекты для управления двигателями (рис. 1), включающие двухзвенный ПЧ *TMDSPFCMTRKIT* мощностью до 1,5 кВт и один из трех типов двигателей (асинхронный, синхронный или так называемый безщеточный ДПТ).

Примерно половина оборудования была закуплена при поддержке руководства университета, остальное, в частности комплекты *TMDSPFCMTRKIT*, - получены в рамках университетской программы *TI* [1]. По этой же программе получена неограниченная версия фирменной среды разработки и отладки программ *Code Composer Studio v.4* с лицензией на 100 рабочих мест.

Закуплено измерительно-регистрирующее оборудование: прецизионный мультиметр, цифровой многоканальный запоминающий осциллограф, лабораторный источник питания.

Создана методическая база для работы с оборудованием: библиотека документации и примеров ПО по микроконтроллерам *TMS* семейства *C2000*, ряд документов переведен на русский язык, методические указания по изучению основных периферийных модулей, шаблоны проектов ПО.

В осеннем семестре 2010г. оборудование и методическое обеспечение было использовано в ряде учебных курсов со студентами и магистрантами кафедры. В работе находятся три исследовательских проекта, существенной частью которых является реализация и экспериментальная проверка результатов на имеющемся оборудовании.

В целом, сформированный аппаратно-программный комплекс позволяет качественно повысить уровень работ, как курсовых, так и исследований аспирантов, и сделать большой шаг к внедрению идей.



Рис. 1. Комплект для управления двигателем

Литература

1. **Европейская** университетская программа [Электронный ресурс]: описание / *Texas Instruments*. – Электрон. текстовые и графические дан. (1 файл). – Режим доступа: <http://www.ti.com/ww/eu/university/home.html>, свободный.

УДК 681.586

А.Н. ШИРЯЕВ, к.т.н., доцент,
А.С. МОЧАЛОВ, студент, А.С. СПОРЯГИН, студент
(ИГЭУ)

Лабораторный стенд по изучению систем импульсно-фазового электропривода

Системы импульсно-фазового электропривода (ИФЭП), в основу которых положен принцип частотно-фазовой синхронизации, рационально сочетая импульсные и цифровые средства управления, строятся на базе интеллектуальных силовых транзисторных модулей и микроконтроллеров, с помощью которых реализуются современные методы управления электроприводом [1].

Теоретическое и практическое изучение систем ИФЭП студентами старших курсов позволит повысить качество их подготовки в области современного электропривода.

Лабораторный стенд включает в себя систему ИФЭП постоянного тока с двигателем серии ДПМ (ИФЭП-ДПМ) и переменного тока с бесконтактным (вентильным) двигателем серии ДБМ (ИФЭП-ДБМ).

Механическая часть стенда (рис.1) имеет встраиваемую конструкцию, включающую электродвигатель постоянного тока ДПМ-2,5, бесконтактный двигатель ДБМ-120 и датчики обратных связей – фотоэлектрический и индукционный.

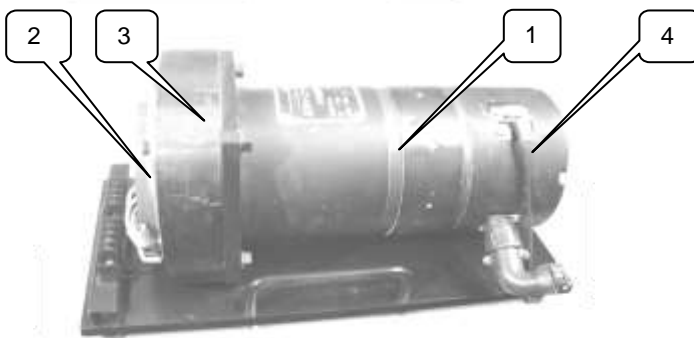


Рис. 1. Механическая часть лабораторного стенда:

- 1 – двигатель постоянного тока - ДПМ 2.5;
- 2 – бесконтактный моментный двигатель - ДБМ-120 (синхронный двухфазный двигатель);
- 3 - фланец переходный;
- 4 - датчики обратных связей

Отличительным признаком механической части является отсутствие упругих соединительных элементов между электродвигателями и датчиками. Двигатель ДБМ-120 с помощью переходного фланца 3 (см. рис.1) встроен в двигатель ДПМ 2.5 – ротор ДБМ установлен на валу ДПМ, статоры обоих двигателей закреплены на переходном фланце, который установлен на платформе. Датчики обратных связей установлены на втором конце вала ДПМ вместо тахогенератора. Фотоэлектрический датчик используется в системе ИФЭП-ДПМ, а индукционный (редуктосинestraиваемого исполнения) - в системе ИФЭП-ДБМ.

Система ИФЭП-ДПМ выполнена на базе современного интеллектуального силового IGBT-транзисторного модуля и микроконтроллера dsPIC30F3010, с помощью которого реализуются задатчики интенсивности, наблюдатели, линейные и нечеткие регуляторы.

Бескорпусное одноплатное исполнение блока регулирования позволяет изучать состав, конструкцию и особенности монтажа системы управления современного электропривода.

Для управления электроприводом, его обслуживания и конфигурирования с помощью ПЭВМ предлагается конфигурационный пакет PhasimDA, позволяющий с помощью программных средств без изменения аппаратной части изменять структуру и параметры системы управления, исследовать статические и динамические характеристики электропривода. Внешний вид главного окна конфигурационного пакета приведен на рис. 2.

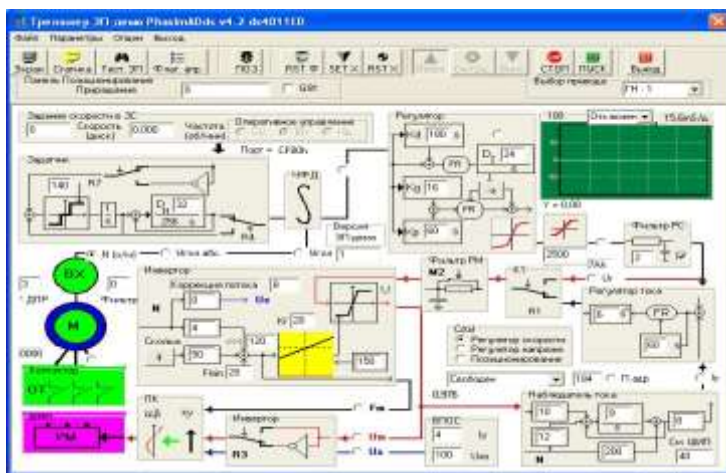


Рис. 2. Внешний вид главного окна конфигурационного пакета

Кроме главного окна конфигурационный пакет содержит также окна настройки и окна исследования электропривода, позволяющие проводить лабораторные работы по широкой тематике.

На основе конфигурационного пакета PhasimDA разработаны и апробированы следующие лабораторные работы по изучению микропроцессорной системы ИФЭП-ДПМ:

- «Изучение принципов построения и элементов прецизионного электропривода с цифровой фазовой синхронизацией»;
- «Анализ устойчивости импульсной системы»;
- «Определение точностных показателей импульсных систем»;
- «Исследование частотных характеристик импульсно-фазовой системы».

Проведение лабораторных работ по исследованию системы ИФЭП-ДПМ наряду с положительными результатами приобретения практических навыков, выявило трудности в освоении системы ИФЭП, реализованной на микропроцессорной технике. Для практического изучения принципов построения и структуры импульсно-фазовых электроприводов на первом этапе целесообразно использовать более простую систему на элементах средней степени интеграции. Поэтому система переменного тока ИФЭП-ДБМ реализована на интегральных схемах средней степени интеграции, позволяющих с помощью контрольных точек детально изучать ее структуру.

Для достижения наилучших регулировочных характеристик электродвигатель ДБМ-120, представляя собой синхронную двухфазную машину встраиваемого исполнения с постоянными магнитами на роторе, работает в режиме вентильного двигателя, что достигается использованием мехатронного преобразователя. В его состав входят датчик положения ротора, два усилителя мощности и преобразователь координат. В качестве датчика положения ротора используется редуктосин встраиваемого исполнения.

Лабораторный практикум, проводимый на стенде, позволит решать следующие основные задачи:

- ознакомление студентов с составом, особенностями построения мехатронной системы на базе синхронной машины встраиваемого исполнения;
- изучение и исследование элементов электропривода;
- изучение способа реализации режима вентильного двигателя синхронной машины;
- исследование разомкнутой системы электропривода с вентильным двигателем;
- исследование замкнутой системы при вариации ее параметров.

Литература

1. **Фалеев М.В.**, Ширяев А.Н. Импульсно-фазовые электроприводы мехатронных модулей /ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И.Ленина». – Иваново, 2008. – 216 с.

Взаимосвязанный электропривод механизмов сновальной машины

Традиционно для механизма формирования сновальных валов использовался электропривод постоянного тока (ЭППТ) с различными типами преобразователей (электромашинный усилитель, магнитный усилитель, тиристорный преобразователь). При этом намотка выполнялась при постоянном давлении уплотняющего вала [1, 2].

В условиях ужесточения требований к качеству формирования сновальных валов система тиристорного ЭП, построенная на базе двигателя постоянного тока (ДПТ) и работающая в режиме стабилизации линейной скорости снования, не позволяет обеспечить требуемые технологическим регламентом параметры намотки, главными из которых являются равномерность ее плотности, точность поддержания линейной скорости и заданной длины намотанной основы.

В настоящее время для механизма намотки сновальных валов применяется комплектный ЭППТ с неререверсивным тиристорным преобразователем (ТП) и аналоговой системой управления. Такой ЭП, имея полосу пропускания не более 5-7 Гц, не обеспечивает требуемую точность стабилизации линейной скорости снования и необходимых ускорений в динамике в условиях непрерывного увеличения момента инерции, колебаний момента нагрузки, что обуславливает повышенную обрывность основы. Кроме этого система ЭП не обеспечивает необходимый вращающий момент на низких заправочных скоростях, включает ненадежный ДПТ, нуждающийся в частом обслуживании. Недостатком аналоговой системы управления является нестабильность ее характеристик при изменении внешних воздействий (влажность, вибрация, температура).

Альтернативой существующему ЭППТ с ТП является асинхронный ЭП (АЭП) с векторным управлением, построенный на базе преобразователя частоты (ПЧ) и асинхронного двигателя (АД) с короткозамкнутым ротором [3], позволяющий снизить затраты на эксплуатацию, ремонт или замену двигателя, обеспечить удобство контроля и диагностики системы. Векторное управление обеспечивает быструю реакцию привода на изменение нагрузки, высокую точность регулирования скорости и возможность обеспечения номинального момента на валу при нулевой скорости. ПЧ с векторной системой управления (к примеру, серии ЭПВ) и ориентацией переменных по вектору потокосцепления ротора обеспечивает раздельное регулирование его и электромагнитного момента двигателя, обеспечивает плавный пуск, реверс, торможение с заданной интенсивностью, стабилизацию линейной скорости, защиту ЭП от аварийных режимов работы [3].

Одним из наиболее известных способов решения задачи построения контролируемого и управляемого процесса снования является управление при намотке движением уплотняющего вала в соответствии с математической моделью процесса, в качестве которой используется спираль Архимеда [2]. В этом случае ЭП механизма уплотняющего вала работает по принципу активного воздействия на намотку, отводя его по заданному алгоритму. Тогда регулируя величину отвода уплотняющего вала, регулируют и степень воздействия, что позволяет обеспечивать цилиндричность намотки и управлять ее плотностью. Такой принцип работы, отличающийся от традиционного, в соответствии с которым давление уплотняющего вала поддерживается постоянным, позволяет формировать процесс снования под контролем радиуса намотки и таким образом решить важную для последующей технологической операции шлихтования задачу наматывания валов с заданной длиной основы.

Для управления механизмом уплотняющего вала возможно применение устройства, включающего асинхронный двигатель и его систему управления, механическую передачу, блок задания тока и двухпозиционное реле. В процессе намотки измеряется действительный и вычисляется теоретический радиусы намотки, а отвод уплотняющего вала производится в функции их разности под контролем тока двигателя сновального вала. Информация о теоретическом и действительном радиусах используется для задания токовой уставки ЭП сновального вала, корректирующего момент начала отвода уплотняющего вала и, соответственно, силу его давления на намотку. В процессе формирования намотки при неподвижном укатывающем вале возрастает момент нагрузки ЭП сновального вала, что приводит к срабатыванию реле в соответствии с токовой уставкой и включению двигателя уплотняющего вала, осуществляющего его отвод. При этом значение момента и тока главного ЭП снижается, разность токов изменяет знак, реле отключается, после чего процесс повторяется.

Одним из существенных недостатков применяемых в промышленности систем ЭП механизма сновального вала является использование в качестве измерителя линейной скорости снования мерильного вала, охватываемого движущейся основой и жестко связанного с тахогенератором (ТГ). Особенность измерителя линейной скорости обусловлена наличием в канале обратной связи упругого звена, представленного участком основы между мерильным и сновальным валами и фрикционной связью между мерильным валом и основой. В динамических режимах работы имеет место упругопластическое скольжение в зоне контакта основы и мерильного вала, что приводит к рассогласованию линейной скорости его поверхности и скорости движения основы, к искажению сигнала, поступающего с ТГ и увеличению динамической ошибки. Так в режиме интенсивных пусков возникающее в цепи обратной связи запаздывание сигнала приводит к перерегулированию частоты вращения двигателя. Поэтому для уменьшения вероятности появления в канале обратной связи ошибки

измерения скорости необходимо увеличивать время переходного процесса, а это приводит к снижению производительности оборудования.

Все это не позволяет полностью реализовать преимущества АЭП с векторным управлением в динамических режимах работы сновальной машины. Устранить указанный недостаток возможно одним из способов бесконтактного измерения линейной скорости или восстановления этой координаты на основе идентификаторов состояния.

Помимо сказанного для качественного управления процессом намотки необходимо учитывать существенное изменение не только коэффициента обратной связи по линейной скорости, но и момента инерции, модуля упругости основы и ее постоянной времени, вариации которых при постоянных коэффициентах технологического регулятора приводят к неконтролируемому изменению чувствительности системы. Так в пределах полосы пропускания частот система по отношению к вариации указанных параметров наиболее чувствительна в начале снования, особенно на некоторой резонансной частоте, входящей в диапазон пропускания частот, в то время как в конце намотки, когда ее параметры достигают наибольших значений, чувствительность заметно снижается. С учетом этого оптимальную настройку технологического регулятора целесообразно проводить в начале намотки с целью улучшения динамики системы к вариации параметров, поскольку по окончании процесса снования возрастание динамической составляющей частотных функций чувствительности наблюдается за пределами полосы пропускания, что для системы не имеет значения.

Литература

1. **Кулида Н.А.** Теоретические основы повышения эффективности партионного снования. – Иваново: ИГТА, 2003. – 268 с.
2. **Кутын А.Ю.** Проектирование текстильных паковок рулонного типа и методы их воспроизводства. – Иваново: Научно-производственный центр “Стимул”, 2006. – 210 с.
3. **Виноградов А.Б.** Векторное управление электроприводами переменного тока / ГОУВПО “Ивановский государственный энергетический университет имени В. И. Ленина”. – Иваново, 2008. – 320 с.

Разработка модели измерителя вытяжки

При непрерывной обработке материалов, таких как бумажное полотно, полимерные пленки, химические нити, текстильные полуфабрикаты, ткани и другие к многодвигательным электроприводам технологического оборудования предъявляются повышенные требования не только к точности регулирования скоростей отдельных электродвигателей, но и к точности поддержания их соотношения при широком диапазоне изменения абсолютных значений скоростей. Для решения подобных задач применяются системы регулирования и измерения соотношения скоростей.

При обработке текстильных материалов на многих технологических процессах требуется заданную вытяжку продукта. В этом случае используются различные способы определения вытяжки. Так, при одном из способов на ткань при входе ее в агрегат наносятся метки на определенном расстоянии между ними. Вытяжка определяется по изменению расстояния между метками на выходе агрегата. Этот способ обеспечивает достаточно высокую точность измерения вытяжки отдельных отрезков, но в производстве применяется лишь при ручных контрольных замерах, так как отсутствуют приемлемые способы нанесения меток на ткань. Для автоматизации процесса определения вытяжки находят применение методы, основанные на измерении скоростей материала на входе и выходе зоны обработки или его длины в течении одного и того же интервала времени в тех же контрольных точках.

В настоящее время имеется большое количество разработок приборов для измерения вытяжки с разной точностью и пределами, различающихся между собой по схемному и конструктивному решению. Однако все устройства и измерители вытяжки и измерители соотношения скоростей используют общий принцип измерения. На входе и выходе зоны обработки или определенной секции технологической линии устанавливают импульсные датчики скорости обрабатываемого материала, сигналы с которых поступают на измеритель. После установки нулевого состояния измерителя начинается одновременный подсчет числа импульсов, поступающих от датчиков к соответствующим счетчикам импульсов. В тот момент, когда число импульсов в одном из счетчиков станет равным заданному, вступает в действие вычислительное устройство определяющее вытяжку или соотношение скоростей. Результат измерения используется в системе управления вытяжкой материала или в системе управления соотношением скоростей.

¹ В работе принимали участие студенты: А.В. Данилов, К.В. Данилов.

Характерным для всех вычислительных устройств является циклический режим работы. Цикл измерения состоит из периода счета и периода индикации. Время цикла изменяется в зависимости от скорости движения материала.

Поскольку, как отмечалось выше, автоматические системы управления процессом деформации продукта находят все более широкое применение, целесообразно для их исследования разработать модель измерителя соотношения скоростей или измерителя вытяжки.

Моделирование выполнено в программном комплексе MATLAB 6/5/1 Simulink. При построении модели соблюдается основной принцип работы измерителя вытяжки.

На рисунке приведена общая структурная схема модели измерителя соотношения скоростей.

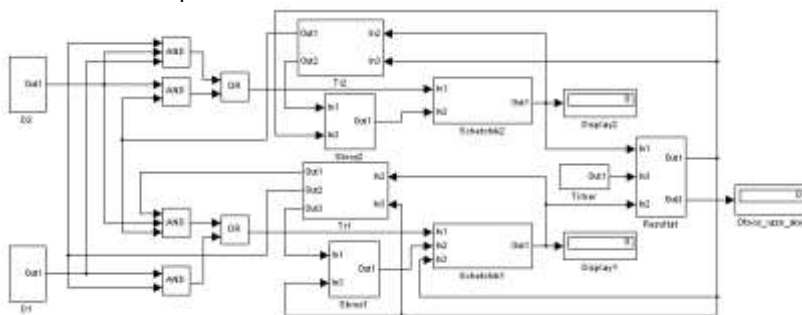


Рис. Общая структурная схема модели измерителя вытяжки

Макроблоки Schetchik1 и Schetchik2 представляют собой модели счетчиков. Макроблоки Tr1 и Tr2 представляют собой модели управляющих триггеров. Макроблоки Sброс1 и Sброс2 представляют собой модели устройств сброса счетчиков. Макроблоки D1 и D2 вырабатывают на выходе импульсы определенной формы с частотой, зависящей от заданной в них линейной скорости на соответствующих валах, моделируя тем самым датчики скоростей. Макроблок Timer служит для отсчета времени цикла. Макроблок Resultat служит для вычисления и вывода окончательного результата расчетов.

В макроблоках Schetchik1 и Schetchik2 осуществляют подсчет импульсов, поступающих от соответствующих макроблоков D1 и D2 через логические элементы, моделирующие схемы совпадения. При переполнении одного из счетчиков срабатывает макроблок Tr1 (Tr2), моделирующий управляющий триггер. Он как бы "перебрасывается", а так же подает сигнал в макроблок Sброс1 (Sброс2), который в свою очередь сбрасывает на 0 переполнившийся счетчик.

При переполнении второго счетчика подсчет импульсов прекращается. По завершению отсчета времени цикла в макроблоке Timer, в макроблоке Resultat происходит вычисление и запись в память конечного результата расчетов. Также этот макроблок по окончании времени цикла подает сигналы в макроблоки сброса, а те в свою очередь осуществляют сброс счетчиков. Вычисленный в макроблоке Resultat результат, остается в памяти до его обновления по завершению следующего цикла расчетов.

Проведена проверка работоспособности разработанной модели, которая показала высокую точность измерения и адекватность реальным измерителям.

Литература

1. Иванов Г.М., Левин Г.М., Хуторецкий В.М. Автоматизированный многодвигательный электропривод постоянного тока. – М.: Энергия. 1978.

УДК 677.05:062.83

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, д.т.н., профессор,
П.В. ВИЛКОВ, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

О быстродействии систем стабилизации натяжения ткани

Современное развитие электропривода и технических средств управления, реализуемых на основе микропроцессоров, позволяет удовлетворять самым жестким требованиям к эксплуатационным характеристикам оборудования непрерывного действия для обработки ткани, таким как энергетика, статические и динамические показатели.

Однако при уменьшении заправочной длины полотна между машинами поточной линии и повышении скорости его движения регулятор скорости системы электропривода на входе зоны обработки не успевает вовремя отработать сигнал управления с датчика натяжения. Таким образом, чтобы система управления электроприводом могла поддерживать натяжение ткани на требуемом уровне, быстродействие системы регулирования натяжения должно быть достаточно высоким.

Обычно регулирование натяжения полотна осуществляется изменением соотношения его скоростей на входе и выходе зоны деформации. Однако такой способ регулирования даже при максимально возможном быстродействии приводного устройства при некотором заданном натяжении не может ограничить его недопустимого уменьшения.

Одним из способов устранения недопустимого снижения натяжения в переходном режиме, обусловленном инерционностью зоны деформации полотна, является непосредственное силовое воздействие на ролик

петлеобразователя с помощью специального тканенатяжителя [1], построенного на базе соленоида.

Такая система управления содержит петлеобразователь, измерительный ролик которого связан с сердечником соленоида, имеющего обмотку, подключенную к преобразователю, на вход которого подается напряжение с блока задания натяжения.

Здесь при подаче напряжения задания натяжения на преобразователь сердечник соленоида перемещается и натягивает полотно. После включения электроприводов и канала косвенного регулирования натяжения, обрабатывающего задающее напряжение натяжения на входе регулятора натяжения, соленоид отключается. Далее регулируется скорость, обеспечивая натяжение полотна равное заданному.

Таким образом, предполагается, что данная система должна работать в системе с датчиком натяжения и контроллером, реализующим логические функции переключения.

На рис. 1 представлена математическая модель рассматриваемой системы, где введены следующие обозначения:

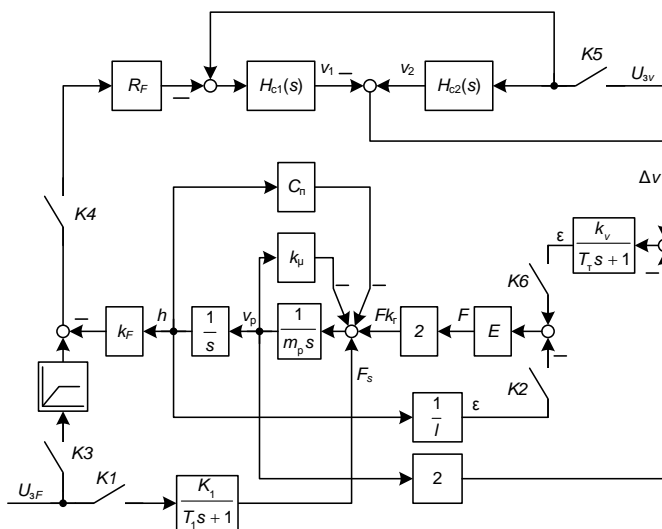


Рис. 1. Математическая модель системы управления натяжением ткани

$$H_{c1,2}(s) = \frac{U_{sv}(s)}{v_{1,2}(s)} = \frac{k_\delta}{T_c s + 1} = k_c$$

– передаточные функции тиристорных электроприводов ведомых и ведущих валков, принятые здесь равными, скорост-

ные контуры которых оптимизированы на модульный оптимум [2], где $k_6 = D_k / (2 i_p)$ – коэффициент передачи, связывающий частоту вращения вала приводного двигателя и линейную скорость движения полотна; D_k – диаметр валков, м; i_p – коэффициент передачи редукторов; k_c – коэффициент обратной связи по скорости; T_c – постоянная времени контура скорости, с; E – модуль упругости полотна; $k_v = 1/v$; m_p – масса ролика; C_p – жесткость пружины; R_F – коэффициент передачи регулятора натяжения; k_F – коэффициент обратной связи по натяжению; k_μ – коэффициент

демпфирования; $H_1(s) = \frac{F(s)}{U_{3F}(s)} = \frac{K_1}{T_1 s + 1}$ – передаточная функция соленоида, представленная аперидическим звеном с коэффициентом усиления по натяжению полотна K_1 и постоянной времени его обмотки T_1 .

В процессе пуска изменяется структура системы управления натяжением ткани, что в процессе моделирования реализуется с помощью ключей $K1...K6$. В начале пуска замкнуты ключи $K1$ и $K2$, при этом устанавливается натяжение F полотна в соответствии с заданием U_{3F} , после чего замыкаются ключи $K3...K6$, а ключ $K2$ размыкается. При этом электроприводы ЭП-1 и ЭП-2 разгоняются в соответствии с заданием скорости U_{3v} и заданным натяжением U_{3F} , которое подается ключом $K3$ через датчик интенсивности на вход регулятора натяжения R_F . Далее соленоид отключается ключом $K1$ и натяжение стабилизируется регулятором R_F .

Методом математического моделирования с использованием программы MatLab Simulink 6.0 для системы управления натяжением полотна получены зависимости натяжения полотна и задающих воздействий от времени, анализ которых показывает, что время выхода натяжения на установившееся значения составляет порядка 2,0 с. В системе, укомплектованной только регулятором натяжения R_F , при отсутствии соленоида это время составляет $t_{уст} \approx (3...5) T_1 \approx 18$ с [3].

Таким образом, повышение быстродействия в системе управления натяжением можно достичь введением канала силового воздействия на полотно, согласованного с обычным контуром стабилизации натяжения путем изменения соотношения скоростей приводных валов.

Литература

1. А.с. №732194 СССР. Регулятор натяжения./ В.Ф. Глазунов, В.П. Александров. МКИ В65Н 77/00, заявл. 31.07.78, опубл. 05.05.80 Б.И.№17.
2. Глазунов В.Ф. Инженерные расчеты взаимосвязанных электроприводов текстильных машин./ В.Ф. Глазунов, А.Н. Литвинский, М.С. Куленко — Иваново, изд-во ИГЭУ, 1999.— 135 с.
3. Глазунов А.В. К выбору натяжения ткани в зоне деформации. // Изв. вузов. Технология текстильной промышленности.— 1997.— №4.— С. 97 – 101.

О влиянии натяжения ткани на структуру паковки

Способ осевой намотки гибких материалов нашел широкое применение в различных отраслях промышленного производства, таких как металлургия, изготовление бумаги, химическая и текстильная отрасли. Требования к системе управления (СУ) процессом намотки определяются, как правило, спецификой производства и особенностью последующих технологических операций. Так для осевой намотки ткани основным требованием является получение равноплотной структуры формируемой паковки. При этом в качестве управляющей координаты обычно используется натяжение ткани.

Одной из главных задач, которые необходимо решать при построении СУ намоткой, является выбор математической модели процесса намотки, наиболее удовлетворяющей требованиям, предъявляемым к СУ. Здесь стоит отметить, что известные статические модели определения параметров ткани внутри намотанной паковки нельзя использовать в системе оперативного управления намоткой.

Используемые в промышленности СУ осевой намоткой ткани, построенные на принципе стабилизации ее натяжения, не обеспечивают равноплотной структуры по радиусу паковки, что вызвано действием внутри ее нормальных и касательных напряжений, связанных с натяжением наматываемой ткани. В связи с этим, представляет практический интерес исследование влияния указанного натяжения на такие параметры формируемой паковки, как распределение давлений ткани по слоям паковки и относительное удлинение намотанных витков.

За основу была принята математическая модель процесса намотки, построенная на основе механических аналогий [1], в которой формируемый рулон представлен в виде соединения элементарных упругостей и масс. Масса отражает давление витка на лежащие ниже слои ткани, а упругость – деформационные свойства витка в радиальном направлении.

Рассматриваемая здесь математическая модель разработана в виде приложения со своей графической оболочкой (рис. 1), в основу которого положена программа расчета параметров внутреннего состояния рулона (паковки). Работа данного приложения заключается в решении системы алгебраических уравнений, позволяющей построить алгоритм формирования зависимостей указанных выше параметров паковки в функции числа наматываемых витков и последующем представлении результатов расчета в виде графиков.

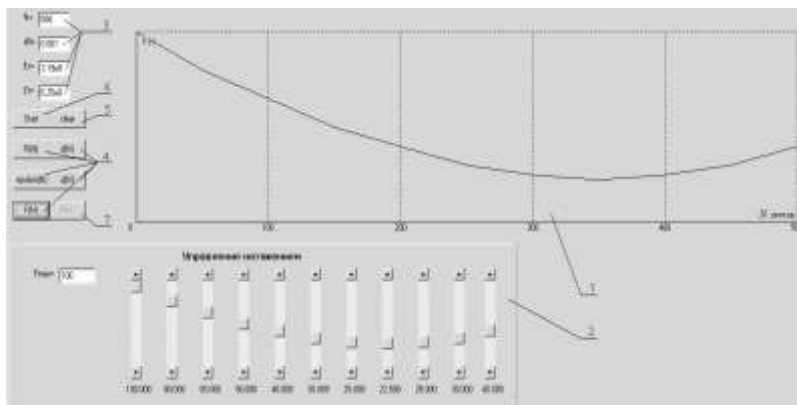


Рис. 1. Вид окна приложения

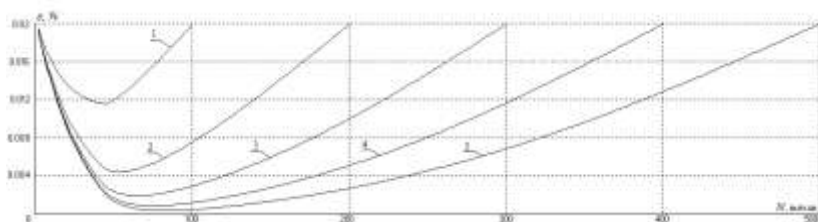
- 1 – поле вывода графиков; 2 – поле управления входным натяжением с шагом регулирования через каждые 50 витков; 3 – поле ввода параметров модели;
- 4 – кнопки для вывода графика соответствующей характеристики рулона (паковки);
- 5 – кнопка очистки поля 1; 6 – кнопка запуска расчетов; 7 – кнопка для вывода результатов расчета на печать.

Эксперимент, связанный с определением зависимостей параметров формируемой паковки от числа N витков, выполнялся при входном натяжении ткани $F_0 = 100$ Н, и следующих параметрах процесса намотки: приведенный к ширине полотна тангенциальный модуль упругости $E'_t = 5000$ Н; начальная тангенциальная составляющая относительного удлинения $\varepsilon_0 = 0,02$; радиальный модуль упругости $E_r = 6,25 \cdot 10^6$ Па; радиальный модуль упругости $E_r = 3,19 \cdot 10^8$ Па; коэффициент Пуассона, характеризующий сжатие в направлении r при растяжении в направлении τ : $\mu_{r\tau} = 0,98$; то же при сжатии в направлении τ при растяжении в направлении r : $\mu_{\tau r} = 0,5$; толщина полотна $d_0 = 10^{-3}$ м; ширина полотна $B = 0,8$ м; начальный радиус намотки $R_0 = 0,15$ м.

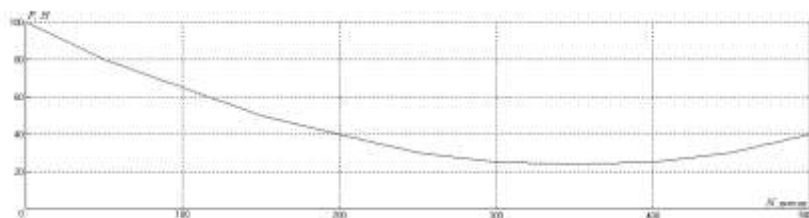
Разработанный алгоритм позволяет экспериментально определить зависимость входного натяжения ткани от числа витков, которая обеспечивает равномерную плотность намотки.

Вид полученных экспериментальных зависимостей распределения относительного удлинения ткани по радиусу паковки (рис. 2,а) позволил сделать вывод о невозможности получения ее равноплотной структуры при намотке ткани с постоянным натяжением F_0 .

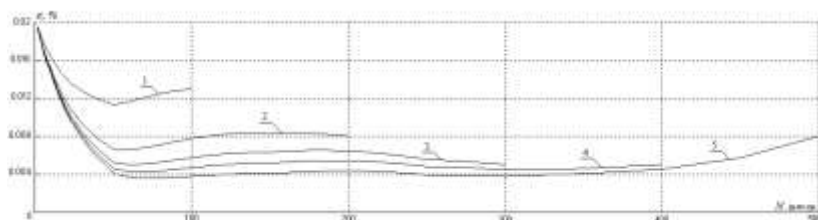
Экспериментальная зависимость входного натяжения ткани от числа N витков (рис. 2, б) позволяет значительно уменьшить неравномерность плотности намотки (рис. 2, в).



а)



б)



в)

Рис. 2. Экспериментальные зависимости параметров намотки от числа витков
1-5 – кривые изменения относительных удлинений по радиусу паковки при намотке
соответственно $N = 100, 200, 300, 400$ и 500 витков

Анализ результатов эксперимента показал, что распределение давлений по слоям намотки в конце процесса формирования паковки имеет максимальное значение вблизи оправки. При этом относительное удлинение ткани ϵ по слоям намотки несколько меньше его значения в начале процесса намотки, поскольку витки у оправки не могут перемещаться в радиальном направлении, а последние витки вызывают меньшие деформации намотки за счет увеличения радиуса паковки.

В разработке приложения и проведении эксперимента принимал участие магистрант Дмитриев А.В.

Литература

1. Глазунов В.Ф., Сидякин В.Ф., Куленко М.С. Разработка математической модели процесса формирования рулона ткани // Известия вузов. Технология текстильной промышленности. 2001. № 5. С. 80 – 87.

УДК 621-135-83

А.М. ЗАХАРОВ, к.т.н., доцент,
М.А. ЗАХАРОВ, электроник
(ИГЭУ)

К вопросу регулирования подачи электроприводных газоперекачивающих агрегатов

Технологическая необходимость регулирования подачи газоперекачивающих агрегатов (ГПА) связана с их назначением. Так, режим работы нагнетателей магистральных газопроводов при транспорте газа определяется графиком потребления газа на конце газопровода. Задачей регулирования подачи компрессоров является в данном случае обеспечение транспортировки требуемого количества газа при минимальных энергетических затратах и сохранении устойчивости в диапазоне регулирования.

При сокращении потребления газа необходимо снижение подачи во избежание излишнего повышения давления в магистральных трубопроводах.

Режимы работы (компрессорной станции) КС, как правило, нестабильны во времени, что в основном связано с сезонными изменениями газоподдачи при колебании температуры окружающей среды, суточной неравномерностью поступления газа, подключением или, наоборот, отключением дополнительных потребителей и т. д.

Поскольку ГПА на магистральных газопроводах объединяются в станции (КС), состоящие из нескольких последовательно и параллельно работающих ГПА, то в настоящее время регулирование подачи ведется ступенчато изменением числа работающих машин и/или регулированием частоты оборотов газотурбинного двигателя, в ущерб его технико-экономическим показателям при этом.

Особенность работы ГПА состоит в том, что каждой частоте вращения соответствует критическая подача нагнетателя, ниже которой работа становится неустойчивой. Причиной возникновения неустойчивой работы ГПА является повторяющийся срыв потока с рабочих и направляющих лопаток, что приводит к сильным пульсациям давления, открыванию и закрыванию обратного клапана и возникновению аварийных колебаний в системе, так называемый помпажный режим работы нагнетателя.

Существующая система выбора режима работы оборудования руководствуется только обеспечением необходимой производительности и не учитывает затраты энергоресурсов. Как правило, номинальная производительность работающих ГПА не соответствует требуемому объему

перекачиваемого газа. Отклонение составляет $10 \div 25$ %. Чаще всего наблюдается ситуация, когда производительность работающих нагнетателей ГПА приближается к границе помпажа. В этом случае, для увеличения расхода газа через компрессорную машину, переходят на режим работы «магистраль плюс станционное кольцо». Часть газа неоднократно перекачивается по внутростанционному кольцу, при этом необоснованно расходуется большое количество энергоресурсов.

Для транспорта газа при минимальных энергетических затратах для регулирования подачи заданного количества транспортируемого газа целесообразно использовать сочетание экономичных нерегулируемых режимов работы газотурбинного газоперекачивающего агрегата (ГГПА) (в номинальном паспортном режиме) и ступенчато включаемых, непрерывно работающих частотно-регулируемых экономичных режимов работы электроприводного газоперекачивающего агрегата (ЭГПА).

По экспертной оценке, из-за неоптимальных режимов работы ЭГПА, перерасход электроэнергии на компримирование составляет $5 \div 10$ %.

Следует отметить, что с уменьшением частоты вращения нагнетателя ЭГПА область помпажных режимов сокращается, вследствие чего при регулировании ЭГПА путем изменения частоты вращения работа ГПА с пониженной подачей становится возможной. При групповом использовании ГПА изменение производительности одной или двух из машин путем регулирования частоты вращения обеспечивает согласованную и устойчивую работу при пуске ГПА в группе, а также при их длительной работе в экономичном режиме.

Ведущей и малозатратной статьей эксплуатационных энергосберегающих мероприятий является оптимизация технологических режимов. Ожидаемый эффект от оптимизации режимов работы зависит от режимов работы оборудования, числа регулируемых параметров, условий и глубины регулирования. Эффект оптимизации режимов работы объектов газотранспортной системы значительно возрастает, если она сопровождается ликвидацией "энергетически узких мест", обуславливающих повышенное энергопотребление.

Основной причиной возникновения потерь в электроприводе является необходимость регулировать производительности нагнетателя. Традиционно регулирование осуществляется дросселированием, т. е. изменением гидравлического сопротивления сети или, проще говоря, изменением положения задвижки. При использовании данного способа регулирования для уменьшения производительности нагнетателя необходимо прикрыть задвижку. Очевидно, что, снижая производительность, уменьшается мощность на выходе нагнетателя, т. е. полезная мощность. С другой стороны, увеличение гидравлического сопротивления сети приводит к увеличению момента на валу двигателя, а, следовательно, к увеличению потребляемой мощности. Таким образом, регулирование дросселированием приводит к значительному снижению КПД газоперекачивающего агрегата.

Очевидно, что, применяя дросселирование, во всех режимах работы нагнетателя имеют место дополнительные потери. Для снижения потерь

необходимо применять регулирование производительности нагнетателя изменением частоты вращения рабочего колеса, т. е. применение регулируемого электропривода.

В качестве регулируемого электропривода ЭГПА используется, в том числе, синхронный электропривод, который также способствует решению одной из центральных задач научно-технических проблем систем электроснабжения - проблемы получения и распределения реактивной мощности. Повышение коэффициента мощности нагрузки способствует: снижению максимального рабочего напряжения в системе, что может привести к использованию более дешевых установок; экономии электроэнергии в периоды максимумов нагрузки за счет снижения потерь в сетях; уменьшению необходимой кажущейся мощности трансформаторов; увеличению статической и динамической устойчивости систем электроснабжения. Способность синхронных двигателей отдавать в сеть реактивную мощность за счет автоматического регулирования возбуждения двигателя существенно улучшает режимы работы потребителей электроэнергии и питающей сети в целом. Коэффициент полезного действия современных синхронных двигателей достигает 96.0-98.0 %.

Из теории электропривода известно, что скорость вращения вала двигателя зависит от конструктивных параметров электродвигателя, момента нагрузки и частоты напряжения питающей сети. Очевидно, для получения качественного регулирования необходимо изменять последний параметр, т. е. частоту питания. Именно для этих целей и были созданы преобразователи частоты. Таким образом, можно сказать, что преобразователь частоты – это устройство, преобразующее электрическую энергию с параметрами U_1, f_1 в электрическую энергию с параметрами U_2, f_2 . На КС газотранспортной отрасли используются высоковольтные синхронные двигатели большой мощности. Вследствие этого возникает необходимость использования высоковольтных преобразователей частоты.

Одним из производителей высоковольтных преобразователей частоты является ЗАО «НТЦ Приводная Техника». На кафедре ЭП и АПУ Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина установлен преобразователь частоты ВЧРП 0,38/020-А-УХЛ4. На базе этого преобразователя ведется разработка и апробация оптимизации технологических режимов при различных законах регулирования частоты вращения приводного двигателя.

Литература

1. **Захаров П.А.**, Захаров М.А. К вопросу о надежности электроприводного газоперекачивающего агрегата // Вестник ИГЭУ. – Иваново, 2007. – вып. 3, с. 6-8.
2. **Горев А.А.** Переходные процессы синхронной машины. М: Госэнергоиздат, 1950.
3. **Онищенко Г.Б.**, Юньков М.Г. Электропривод турбомеханизмов. М., «Энергия», 1972.
4. **Фираго Б.И.**, Павлячик, Л.Б. Теория электропривода. Минск: Техноперспектива, 2007, 585 с.

К вопросу энергоэффективности использования высоковольтных преобразователей частоты

В металлургии, химической промышленности, на транспорте и в сельском хозяйстве, в оборонных отраслях, в национальной экономике и в бытовом секторе большие и мощные воздуходувки, насосы оснащаются ВЧРП, которые позволяют регулировать скорость и расход, заменяя тем самым заслонки и клапаны, что обеспечивает большую экономию энергии. В некоторых случаях особенности технологического процесса требуют изменения скорости вращения насосов или вентиляторов. ВЧРП обеспечивают высокую точность управления, что позволяет полностью удовлетворить требования технологического процесса и обеспечить экономию электроэнергии. ВЧРП являются универсальными приводами для управления вентиляторами, насосами и центробежными нагнетателями.

На кафедре ЭП и АПУ Ивановского государственного энергетического университета им. В.И. Ленина установлен преобразователь частоты ВЧРП 0,38/020-А-УХЛ4. Система состоит из фазосдвигающего трансформатора, силовых модулей и контроллера. Каждый силовой модуль является источником напряжения с преобразованием переменное – постоянное - переменное, с 3-фазным входным трансформатором низкого напряжения с однофазным выходом. Выпрямитель силового модуля собран на основе диодного трехфазного двухполупериодного неуправляемого выпрямителя. Электролитический конденсатор фильтрует волны синусоиды и запасает энергию, выходная часть состоит из 4 ключей IGBT. соединенных по схеме полного моста.

Разработан лабораторный практикум по исследованию ВЧРП.

1. Лабораторная работа «Знакомство с лабораторным стендом для изучения современных методов и средств управления электроприводами переменного тока на базе ВЧРП»

2. Лабораторная работа «Овладение навыками работы и управления ВЧРП»

3. Лабораторная работа «Исследование нагрузочных режимов работы ВЧРП»

На базе физической модели высоковольтного преобразователя частоты разработаны методики моделирования нагрузочных характеристик производственных механизмов.

Синтез цифровых алгоритмов управления электроприводами станков с ЧПУ на основе метода АКАДР

Приоритетными направлениями развития обрабатывающих отраслей промышленности в соответствии с государственной политикой России в области науки, технологий и техники являются энерго- и ресурсосбережение [1, 2]. В данных условиях на фоне стремления руководства предприятий к наращиванию темпов производства, а также к повышению конкурентоспособности продукции в связи с непрерывным ужесточением требований ее к качеству, возрастает актуальность совершенствования элементов и систем технологического оборудования.

Большую часть указанного оборудования на сегодняшний день составляют автоматические многооперационные станки (МС) с числовым программным управлением (ЧПУ) – так называемые гибкие производственные модули [3]. Точность обработки на таких станках, напрямую определяющая качество изделия [4], зависит, прежде всего, от точности позиционирования исполнительных органов (стола или патрона с заготовкой и шпинделей с соответствующими инструментами), перемещение которых осуществляется различными видами механизмов подач с электрическим приводом (ЭП).

Применение в этих механизмах бесконтактных синхронных электрических машин с возбуждением от постоянных магнитов (СДПМ), кинематически непосредственно связанных с ходовым винтом, а также преобразователей частоты (ПЧ) с IGBT- и MOSFET-силовыми ключами, обеспечивающих практически синусоидальный ток в обмотках статора, позволило существенно расширить полосу пропускания ЭП подач, улучшить их коэффициент мощности и КПД [5].

Для построения цифровых систем управления (СУ) бесконтактными синхронными электроприводами (БСЭП) используются обычно как принципы векторного регулирования координат, так и частотного регулирования при включении СДПМ по схеме вентильного двигателя, в сочетании с методами подчиненного и модального управления [6]. Получаемые в результате несложных процедур синтеза на основе этих методов замкнутые СУ БСЭП имеют характеристики близкие к характеристикам приводов постоянного тока. Однако в условиях жестких ограничений по полосе пропускания при наличии широкого спектра действующих возмущений, а также существенных нелинейностей объекта управления и требований

энергосбережения, традиционные стратегии управления практически исчерпали свои возможности.

Альтернативой здесь являются современные методы синергетического управления, развитые в трудах научной школы профессора Колесникова А.А. [7, 8], и, прежде всего, метод аналитического конструирования агрегированных дискретных регуляторов (АКАДР), базирующийся на принципах направленной самоорганизации и управляемой динамической декомпозиции нелинейных систем, позволяющий осуществлять аналитический синтез СУ сложными многосвязными и многомерными объектами.

Кроме того, при проектировании даже самых современных СУ ЭП до сих пор не предпринимаются достаточных мер по обеспечению энергосбережения, хотя в настоящее время российскими и зарубежными специалистами накоплен целый ряд теоретических разработок в данной области. Использование этих разработок для модернизации алгоритмов регулирования координат приводов подач позволило бы существенно сократить потребление электроэнергии станками с ЧПУ.

Применение синергетической стратегии управления совместно с современными методами энергосбережения открывает новые возможности для решения комплексной задачи совершенствования ЭП подач станков с ЧПУ в направлении улучшения их динамических и энергетических характеристик.

Таким образом, анализ состояния проблемы совершенствования процессов механической обработки позволяет сформулировать соответствующую теме основную цель данной научно-исследовательской работы – разработка энергосберегающего цифрового синергетического алгоритма векторного управления бесконтактным синхронным электроприводом, обеспечивающего, по сравнению с известными алгоритмами, лучшие технические характеристики механизма подачи металлорежущего станка с ЧПУ.

Для достижения цели были поставлены и решены следующие задачи:

- разработка математической модели электромеханической системы «БСЭП – механизм подачи», максимально отражающей статические свойства и динамические характеристики объекта управления;
- синтез энергосберегающего цифрового алгоритма векторного регулирования положения исполнительного органа БСЭП на основе метода АКАДР синергетической теории управления.

Проведенные в работе исследования позволили установить, что решение задач повышения технических, эксплуатационных и энергетических показателей БСЭП МС, может быть достигнуто путем применения метода АКАДР при синтезе синергетического алгоритма векторного управления СДПМ с использованием стратегии минимизации полных потерь в двигателе в качестве энергетического инварианта замкнутой системы. Предлагаемый подход к построению ЭП подачи, по сравнению с известными решениями, обеспечит следующие преимущества:

- высокие динамические характеристики, и, как следствие, высокую производительность;
- энерго- и ресурсосбережение за счет оптимального использования электродвигателя на всем диапазоне регулирования;
- снижение потерь мощности в двигателе;
- малая чувствительность СУ БСЭП к различного рода внешним и внутренним возмущениям;
- цифровое векторное регулирование координат, позволяющее учитывать при расчете управляющих воздействий нелинейную структуру объекта.

В результате исследований разработана комплексная математическая модель системы «СДПМ – механизм подачи», позволяющая с высокой степенью достоверности воспроизводить электрические/электромагнитные/энергетические процессы в двигателе и преобразователе частоты, нагрузки в кинематических звеньях механизма, а также учитывать взаимное влияние друг на друга электрической и механической части системы, и оценивать уровень потерь энергии при электромеханическом преобразовании. Также синтезирован цифровой энергосберегающий синергетический алгоритм управления БСЭП механизма подачи МС с ЧПУ, обеспечивающий высокую точность позиционирования исполнительного органа в режиме слежения за задающим сигналом.

Предложена энергосберегающая стратегия управления, реализованная за счет введения энергетического инварианта, что обеспечивает минимизацию потерь мощности в СДПМ на всем диапазоне регулирования. Основанная на математическом моделировании методика расчета статических и динамических характеристик БСЭП МС, позволяет на стадии проектирования избежать трудоемкого и дорогостоящего физического эксперимента.

На основе функциональной схемы замкнутой цифровой синергетической СУ БСЭП разработаны рекомендации по практическому использованию энергосберегающих синергетических алгоритмов управления, применимые при создании современных высокоэффективных ЭП подачи.

Литература

1. **Приоритетные** направления развития науки, технологий и техники в Российской Федерации. Утв. Президентом РФ 21.05.2006 № Пр-843.
2. **Перечень** критических технологий Российской Федерации. Утв. Президентом РФ 21.05.2006 № Пр-843.
3. **ГОСТ 26228-90**. Системы производственные гибкие. Термины и определения, номенклатура показателей.
4. **ISO 230-2:2006**. Test code for machine tools – part 2: Determination of accuracy and repeatability of positioning of numerically controlled axes.
5. **Островлянич В.Ю.**, Осипов Е.П., Богдановская Т.В. Концепция построения современных систем автоматизированного электропривода // Труды IV Международной (XV Всероссийской) конференции по автоматизированному электроприводу «Автоматизированный электропривод в XXI веке: пути развития» (АЭП-2004, Магнитогорск, 14 – 17 сентября 2004 г.). Часть 1. – Магнитогорск, 2004. – с. 178 – 180.

6. **A.G. Jack**, B. C. Mecrow and J.A. Haylock, "A Comparative Study of Permanent Magnet and Switched Reluctance Motors for High-Performance Fault-Tolerant Applications," IEEE Transactions Industry Applications, Vol. 32, No. 4, July/Aug. 1996, pp. 889-895.

7. **Синергетика** и проблемы теории управления / Под ред. А.А. Колесникова. М.: Физматлит, 2004.

8. **Синергетика**: процессы самоорганизации и управления. Учебное пособие / Под общ. ред. А.А. Колесникова. В 2-х частях. Ч. I. – Таганрог: Изд-во ТРТУ. 2004. – 360 с.

УДК 631.634: 633.491

П.А. КОЛОСОВ, магистрант
(ИГЭУ)

Моделирование системы управления микроклиматом на базе электронно-коммутируемых вентиляторов

Естественная вентиляция в овощехранилище не может обеспечить нужный технологический режим хранения овощей. Вследствие этого продукт начинает быстро портиться и не может сохраниться в надлежащем состоянии до момента его реализации. Для сохранения овощей в надлежащем состоянии была разработана система поддержания микроклимата на овощехранилищах.

Для наглядного примера работы системы было взято за основу картофелехранилище с использованием естественного холода.

Для того чтобы свести к минимуму потери и сохранить высокие потребительские качества семенного, продовольственного и идущего на переработку картофеля, необходима не только тщательная подготовка клубней к длительному хранению, но и соблюдение температурно-влажностных режимов, соответствующих каждому периоду хранения, которых в современной технологии хранения картофеля предусматривается не менее пяти.

Сохранение высокого качества и обеспечение минимально допустимых неизбежных потерь возможно лишь при эффективном регулировании температурно-влажностных режимов, соответствующих каждому периоду хранения: просушиванию, лечебному периоду, периоду охлаждения, основному периоду, весенне-летнему периоду.

Для обеспечения требуемых режимов работы используется алгоритм, который управляет работой впускных и выпускных клапанов, в зависимости от требуемого режима работы и условий внешней среды.

Для подачи требуемого количества воздуха и создания нужного давления используются вентиляторы на базе электронно-коммутируемых двигателей (ЕС-технология), которые позволяют плавно регулировать скорость вращения, вследствие этого снижается энергопотребления и уровень рабочего шума. Характеристики ЕС-вентиляторов позволяют хранить большую насыпь овощей на квадратный метр по сравнению с обычными вентиляторами.

Интенсивность вентилирования зависит от периода хранения. Согласно ОНТП интенсивность вентилирования должна быть для семенного картофеля 70 м³/т/ч, для продовольственного 50 м³/т/ч (в зоне с расчётной неделей –20°С). Для этого вентиляторы должны иметь соответствующую производительность и напор воздуха.

Преимущество использование в системе ЕС-вентиляторов заключается в том, что они позволяют кардинально уменьшить энергопотребление, при этом увеличить производительность оборудования и срок его бесперебойной работы.

ЕС-двигатель с внешним ротором представляет собой инновационную разработку, уникальность которой состоит в интеграции электроники непосредственно в двигатель. Встроенная электроника гарантирует полный контроль над расходом энергии, точную, плавную и автоматическую поддержку параметров. В обычных вентиляторах для достижения аналогичных показателей требуется дополнительное управляющее оборудование.

ЕС-вентиляторы потребляют до 50% меньше энергии, чем обычные. А эксплуатационные расходы на их использование уменьшаются, в среднем, на 30 %. Не случайно, в европейских странах потребители и производители вентиляционного оборудования массово переходят на ЕС-системы, ведь в масштабах объекта, предприятия, а тем более – города или страны, это приводит к колоссальной экономии электроэнергии, а значит – к экономии значительных средств.

В роли управляющего элемента, выступает логический контроллер, который получает информацию от датчиков температуры и влажности, расположенных как на улице, так и в насыпи картофеля. Также датчики температуры расположены в вентиляционных каналах и над насыпью картофеля. Таким образом, мы проводим мониторинг подаваемого воздуха на всех этапах его прохождения – начиная с улицы и его прохождения в насыпи картофеля и заканчивая над насыпью картофеля. Поскольку картофель выделяет влагу, во избежания конденсата, который образуется на потолке, над насыпью картофеля располагают датчики влажности. И при необходимости (например, при превышении заданной влажности) контроллер открывает впускные и выпускные клапана, чтобы удалить лишнюю влагу. Существует возможность установить обогреватели, если температура на улице не позволяет долго держать открытыми задвижки, а влага в хранилище превосходит заданную. Либо обогреватели, если тепла, образующего картофелем не хватает, для соблюдения требуемого режима хранения.

Контроллер также регулирует количество подаваемого воздуха и давление, создаваемое в каналах посредством уменьшения или увеличения оборотов вентиляторов.

В контроллере записан алгоритм и система отключения при аварийной ситуации.

Связь между температурой, влажосодержанием и степенью открытия воздухопроводов можно выразить уравнением баланса воздушных потоков по следующей формуле:

$$M_1 * (1 + X_1) + M_2 * (1 + X_2) = (M_1 + M_2) * (1 + X_3) \quad (1)$$

где M_1, M_2 - массовые расходы воздуха, соответственно наружного и рециркуляционного, кг/с; X_1, X_2, X_3 - содержание влаги в наружном, рециркуляционном и вентилирующем воздухе.

Массовый расход воздуха связан с объемным расходом, следующим соотношением:

$$M = B * \frac{V}{R} * T * (0.662 + X) * 36, \quad (2)$$

где B - общее давление, мбар; R - газовая постоянная пара, Дж/кг*К; V - объёмный расход, м³/ч; T - температура влажного воздуха, °К.

Учитывая, что $V_3 = V_2 + V_1$, из уравнения (1) с учетом уравнения (2) можно получить:

$$\frac{F_3}{T_3} = \frac{F_2}{T_2} + \frac{V_1}{V_3} \left(\frac{F_1}{T_1} - \frac{F_2}{T_2} \right) \quad (3)$$

Используя этот алгоритм, была создана модель в среде комплекса MATLAB/Simulink представленная на рис.1.

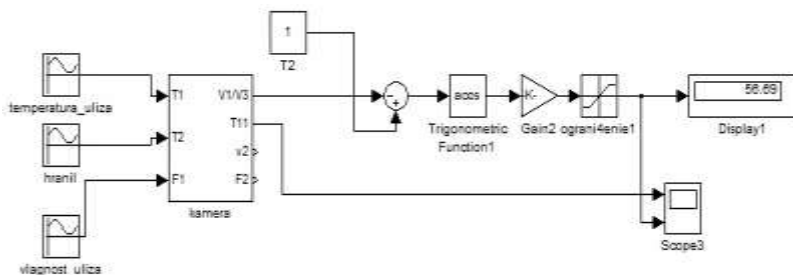


Рис. 1. Алгоритм управления задвижкой

Разработанная модель наглядно показывает угол открывания задвижки впускного клапана при изменяющихся внешних условиях, с учётом заданной температуры хранения картофеля.

Разработка программного обеспечения для наладки, управления и мониторинга электроприводов

Для автоматизации процессов наладки, мониторинга и управления системой импульсно-фазового электропривода [1] была разработана программа Configurator PPL Drive 6.0 [2], имеющая интуитивно понятный пользовательский интерфейс и современную справочную систему.

Структурно программа организована в виде исполняемого модуля и набора конфигурационных файлов, содержащих различные настройки, необходимые для корректной работы программы и модуля управления. Запуск программы сопровождается попыткой установки прямого соединения с модулем управления электропривода, путем передачи данных в определенную область памяти МК. При получении ответа от модуля управления, за время допустимого тайм-аута, программа переходим в рабочий режим.

Графический интерфейс пользователя включает в себя 8 диалоговых окон, панель управления и системное меню. Главное окно программы содержит редактируемое мнемосхематическое представление структуры системы управления с возможностью ввода параметров и определения алгоритмов работы элементов управления, а также панель виртуального осциллографа для отображения контролируемых сигналов.

Программная часть модуля управления электропривода состоит из программы для МК, расположенной и выполняемой в памяти МК, и программы для управляющего компьютера, представляющей собой отдельный исполняемый модуль с графическим интерфейсом пользователя, который предназначен для решения следующих основных задач (рис. 1): ввод данных; организация приема и передачи данных; отображение данных.

По сути, программа Configurator PPL Drive 6.0, предназначенная в первую очередь для инженеров, выполняет функцию перевода команд модуля управления, поступающих как со стороны управляющего компьютера, так и со стороны модуля управления, в понятные для человека значения. Помимо этого, программа позволяет графически представлять полученные данные о переменных состояния электропривода в виде графиков, обновляющихся в режиме реального времени.

Обмен данными между программой Configurator PPL Drive 6.0 и модулем управления осуществляется по последовательному каналу связи в стандарте RS-232C (рис. 2). Для работы с COM-портом используется программный интерфейс TComPort, предоставляющий необходимые функции формирования пакетов данных для их приема и передачи.



Рис. 1. Блок-схема решаемых задач и информационных потоков

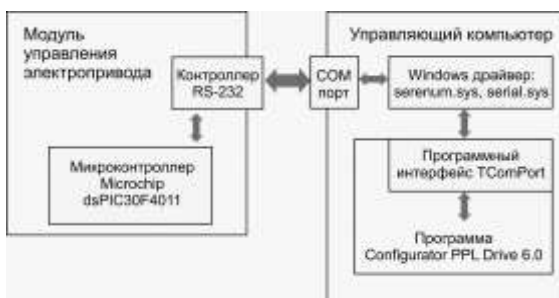


Рис. 2. Схема функциональных средств и интерфейсов обмена данных

С помощью разработанной программы можно успешно решать следующие задачи, возникающие в основном при эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов:

- обучение обслуживающего персонала электропривода;
- настройка управляющих структур модуля управления;
- настройка аппаратных частей модуля управления;
- управление движением и перемещением вала двигателя;
- мониторинг сигналов модуля управления электропривода.

Идея функционирования программы в двух режимах позволяет совместить в одной программе функции тренажера и визуального средства управления электроприводом:

- Online – управление подключенным электроприводом;
- Offline – режим имитационного тренажера электропривода.

Единственным отличием двух режимов является возможность прямой передачи управляющих команд на модуль управления.

В режиме тренажера программа имеет полную функциональность, за исключением возможности передачи данных в модуль управления и приема данных по линиям обратной связи. Пользователь имеет возможность полностью изучить управляющий интерфейс, ознакомиться с функциональными возможностями электропривода, разобраться со схемой логической организации модуля управления. Программа снабжена подробной интерактивной системой документации, состоящей из контекстно-поисковой системы, построенной на базе иерархического дерева, и встроенной контекстной помощи, которая позволяет пользователю получать справочную информацию в зависимости от места расположения.

В Online режиме программа может инициировать установление сеанса связи с модулем управления и осуществлять взаимодействие с ним через СОМ-порт, передавая управляющие команды в память МК и получая данные с оптического датчика положения, расположенного на валу двигателя.

Программа позволяет сокращать сроки внедрения и доводки электропривода за счет повышения информативности и адекватности оценки его характеристик в различных режимах работы. В частности, программа обеспечивает ускорение процессов наладки электропривода, ручное и полуавтоматическое задание параметров управляющих структур, сохранение оптимальных настроек модуля управления в случае возникновения неисправностей, визуальный контроль текущих значений сигналов фазовых переменных электропривода, таких как частота вращения и угол поворота вала, сигнал управления ШИП, фазовая ошибка, выходной сигнал регулятора скорости-фазы, вычисленный ток двигателя, напряжение возбуждения, а также командное управление движением электропривода, оптимизацию его настроек и выявление предельных возможностей системы.

Благодаря модульному строению программы, блочной организации кода, гибкому пользовательскому интерфейсу обеспечивается простота изменения логики работы программы и интерфейса, которые связаны с совершенствованием функциональных возможностей модуля управления, а также с применением другой модели МК с иным распределением памяти данных и программ, позволяя тем самым в сжатые сроки легко состыковывать оба компонента программной части электропривода.

Литература

1. **Фалеев М.В.** Микропроцессорные импульсно-фазовые электроприводы информационно-измерительных систем (теория, разработка, исследование, внедрение): дис. ... д-ра техн. наук. / Фалеев Михаил Владимирович. – Иваново, 1998. – 313 с.
2. **Система** настройки импульсно-фазового электропривода Configurator PPL Drive 6.0 (ФГУ ФИПС) / А.А. Киселев, П.М. Поклад // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010615959. – М., 2010.

Разработка средств автоматизации для обновления программной части цифровых импульсно-фазовых электроприводов

Современный импульсно-фазовый электропривод [1] представляет собой синтез программной и аппаратной частей единого мехатронного комплекса [2]. В основе аппаратной части системы лежит двигатель, специализированный микроконтроллер (МК), силовой модуль управления и остальная "обвязка" МК. Программную часть системы управления электроприводом можно условно разделить на два взаимосвязанных компонента:

- алгоритмы управления электродвигателем, программно реализованные на языке Assembler для микроконтроллеров;
- средства командного управления с визуальным интерфейсом, реализованные на ЭВМ виде отдельной программы.

Главной управляющей аппаратной и программной основой проектируемых цифровых импульсно-фазовых электроприводов является МК. На практике в качестве вычислительного устройства используются микроконтроллеры серии dsPIC30F [3] (рис. 1) компании Microchip семейства "Motion Control", специально разработанных для управления электрическими двигателями. Наличие специализированных средств, таких как встроенный широтно-импульсный модулятор и интерфейс квадратурного энкодера, а также наличие специализированного ядра для обработки сигналов, позволяет создавать мощные и гибкие системы управления электроприводами.



Рис. 1. Внешний вид микроконтроллера dsPIC30F4011 компании Microchip

Фирменные программно-аппаратные средства отладки, диагностики и программирования МК от компании Microchip обладают всей необходимой функциональностью и предоставляют широкие возможности разработчикам на этапе проектирования электроприводов.

В силу того, что система управления импульсно-фазовым электроприводом постоянно развивается и совершенствуется, возникает необходимость модернизации уже эксплуатируемых систем, что ставит перед

разработчиками новую задачу, экономически оправданное решение которой может быть получено с помощью разработки программы Code Uploader PPL Drive 3.0 [4].

Идея, положенная в основу процесса модернизации программной части ИФЭП, заключается в использовании при обновлении программ только имеющихся программно-аппаратных средств, поставляемых в комплекте с системой управления ИФЭП. Данными средствами является плата управления приводом, средства локальной сети управления и программы Configurator PPL Drive 6.0 [5] для настройки и управления приводом.

На практике общий процесс обновления программного обеспечения МК выглядит следующим образом:

- запуск программы Configurator PPL Drive 6.0 и установка соединения по локальной сети связи с платой управления электропривода;
- запуск программы Code Uploader PPL Drive 3.0 и выполнение указанных в документации рекомендаций по выбору типа МК и прочих настроек;
- выбор нового файла "прошивки" для выбранного МК и отправка его в память действующего МК посредством графического интерфейса;
- получение подтверждения об успешном завершении процесса и перезагрузка платы электропривода согласно рекомендациям, приведенным в документации на электропривод.

Графический интерфейс программы организован в виде основного окна (рис. 2), с помощью которого выполняются все действия при замене кода.

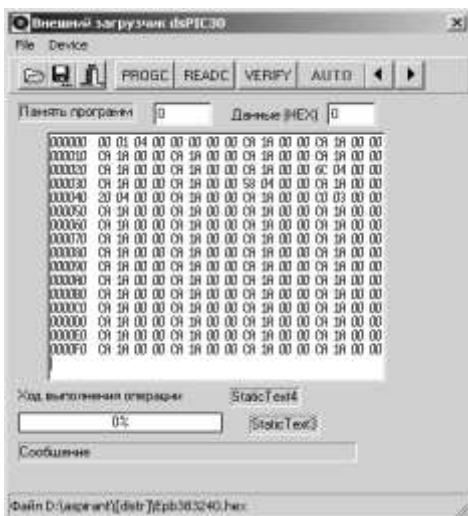


Рис. 2. Внешний вид программы Code Uploader PPL Drive 3.0

Программа позволяет проводить модернизацию алгоритмов функционирования системы управления импульсно-фазового электропривода с помощью обычного персонального компьютера, оборудованного COM-портом. Замена "прошивки" и ее резервирование осуществляется без дополнительных отладочных средств и программного обеспечения.

Среди основных возможностей программы можно выделить следующие:

- загрузка HEX-файла с новой версий кода в память МК;
- выбор модели МК, установленного на плате электропривода;
- визуальный контроль загруженного HEX-файла;
- программирование встроенного в электропривод МК;
- сохранение текущей "прошивки" в виде файла на диске;
- верификация установленного программного обеспечения.

Для выполнения процедуры обновления кода МК необходимо открыть главное окно Code Uploader PPL Drive 3.0 и выполнить следующие действия:

1. С помощью диалогового окна выбрать имя файла с модифицированным программным обеспечением.
2. Выбрать в пункте "Device" главного меню окна тип установленного в электроприводе микроконтроллера.
3. Перейти в режим программирования МК, активировав кнопку PROG. Контролировать ход процесса по индикатору. При временном прекращении хода индикации её необходимо повторить.
4. Провести верификацию, активировав кнопку VERIFY. При отсутствии дополнительных сообщений программирование микроконтроллера можно считать законченным.
5. Выйти из загрузчика, активировав флаг закрытия окна. При выходе из загрузчика программ производится сброс МК и электропривод начинает работать с новым программным обеспечением. При этом опции настроек системы сохраняются.

На практике процедуру обновления кода МК желательно проводить при отключенном силовом питании электропривода для минимизации риска возникновения внештатных ситуаций в системе электропривода.

Литература

1. **Фалеев М.В.** Импульсно-фазовые электроприводы мехатронных модулей / М.В. Фалеев, А.Н. Ширяев; Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2008. – 216 с.
 2. **Подураев Ю.В.** Основы мехатроники / Ю.В. Подураев – М.: МГТУ-СТАНКИН, 2000. – 80 с.
 3. **dsPIC30F Family Overview**, DS70043.
 4. **Загрузчик** кодов программ микроконтроллеров Code Uploader PPL Drive 3.0 (ФГУ ФИПС) / А.А. Киселев, П.М. Поклад // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ № 2011610718. – М., 2011.
 5. **Система** настройки импульсно-фазового электропривода Configurator PPL Drive 6.0 (ФГУ ФИПС) / А.А. Киселев, П.М. Поклад // Свидетельство об официальной регистрации программы для ЭВМ №2010615959. – М., 2010.
- УДК 004.942

П.М. ПОКЛАД, аспирант,
Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, профессор
(ИГЭУ)

Виртуальная система симуляции для исследования импульсно-фазовых электроприводов

Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 предназначен для проведения имитационного эксперимента на виртуальной модели импульсно-фазового электропривода с возможностью выбора структуры и элементов системы. Результаты моделирования представляются в виде графиков переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик, которые могут быть сохранены на диск, напечатаны, скопированы в буфер обмена. Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 выполнен в виде отдельного исполняемого exe-модуля и конфигурационного ini-файла.

В состав комплекса для его функционирования в едином информационном пространстве под управлением графического интерфейса пользователя включены следующие элементы:

- имитационная система;
- база моделей;
- архив результатов;
- программные средства расчета и построения графиков.

Общая структура комплекса, с указанием основных функций и направлений движения информации, представлена на рис. 1.

Пользовательский интерфейс представляет собой инструмент формирования структурной организации и параметризации элементов системы управления ИФЭП с последующим анализом и обработкой полученных графических данных. Имеющиеся средства в режиме графического диалога позволяют:

- создавать структурные модели многофункциональных импульсно-фазовых электроприводов;
- организовывать пользовательский архив построенных схем и результатов исследований рассматриваемых систем.

База моделей является основной частью информационного наполнения программы, содержит в своем составе программно-реализованные алгоритмы функционирования основных элементов цифровых систем на базе контура фазовой синхронизации, таких как двигатель, силовой преобразователь, датчик обратной связи, фазовый дискриминатор, регулятор.

Архив результатов также является частью информационного обеспечения программы. Его назначение заключается в представлении возможности сохранения в виде графических и текстовых файлов результатов экспериментов.

Для практической реализации элементов импульсно-фазовых электроприводов предусмотрено функционирование программы в следующих режимах:

- имитационного эксперимента;
- предварительного задания структуры и параметрирования элементов системы управления;
- результатов экспериментов;
- сохранения накопленной информации.

Программа позволяет копировать в буфер обмена, печатать и сохранять на диск результаты моделирования, представленные в виде графиков переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик.

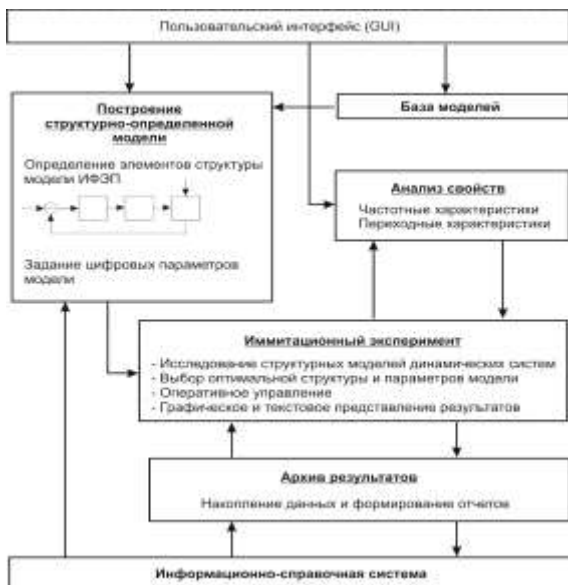


Рис. 1. Блок-схема решаемых задач и информационных потоков комплекса Simulator PPL Drive 2.0

Среди основных функциональных возможностей комплекса Simulator PPL Drive 2.0 можно выделить следующие:

- исследование пусковых режимов электропривода;
- исследование режимов ступенчатого регулирования скорости и изменения момента нагрузки на валу двигателя;
- исследование работы электропривода при синусоидальных и импульсных возмущениях;
- снятие частотных характеристик;
- снятие переходных характеристик по угловой скорости, моменту нагрузки, току якоря, фазовой ошибки.

Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 базируется на быстродействующей модели электропривода, основанной на использовании численно-аналитического метода пространства состояний, позволяющего проводить его исследования, результаты которых соответствуют реальным режимам работы электропривода.

Программный комплекс имеет многооконный интерфейс, где каждое диалоговое окно отвечает за ввод/ вывод определенной информации в процессе моделирования электропривода. В состав интерфейса программы входят 3 основных окна:

- Главное окно включает в себя графическую интерпретацию (мнемосхему) структуры импульсно-фазового электропривода с возможностью задания настроек схемы ИФЭП.

- Окно "Графики переходных процессов" позволяет выводить графики изменения угловой скорости, момента, тока двигателя и фазового рассогласования частотных сигналов задания и обратной связи.

- Окно "График АЧХ" позволяет строить графики АЧХ и оценивать частотные свойства электропривода. Для управления построением графиков АЧХ используется строка меню.

Для управления симуляцией используются команды меню и элементы мнемосхемы ИФЭП. Исходные параметры модели электропривода хранятся в файле data.ini, что упрощает подготовку исходных данных.

Программный комплекс позволяет проводить исследование импульсно-фазового электропривода с коллекторными двигателями постоянного тока, бесконтактными синхронными двухфазными электрическими машинами с постоянными магнитами на роторе и асинхронными двигателями.

В качестве датчика положения вала в системе используются измерительные преобразователи с импульсными выходными сигналами:

- фотоимпульсные преобразователи перемещения;
- синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы.

В качестве силовых преобразователей возможно применение аналоговых усилителей мощности и широтно-импульсных модуляторов с симметричным и несимметричным законами управления.

В качестве регуляторов возможно применение классического линейного, нечетких с дефазификацией по методу эквивалентной площади и центром масс.

Сигнал задания может быть представлен в виде постоянного, синусоидального и прямоугольного.

Система управления электропривода может быть реализована как на дискретной логике, так и на базе средств микропроцессорной техники с преобразованием широтно-импульсного сигнала в цифровой код посредством ВИП с заданной дискретностью преобразования.

Разработка электронной системы отображения технического руководства класса IETP-D

Для информационной поддержки на этапе эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов была разработана система интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) PPL Drive Suite 2.0, состоящая из структурированного хранилища данных и двух программных модулей для редактирования и просмотра руководств. ИЭТР – это техническое руководство, предоставляемое заказчику в электронной форме либо на оптическом носителе (DVD, CD), либо при помощи сети Интернет со специальным программным средством – электронной системой отображения.

Разработанная программа представляет собой электронную систему отображения ИЭТР с развитым поисковым аппаратом и расширенными функциями печати, рассылки писем и удобной навигации по содержанию руководства. Основной целью разработки программы является обеспечение эффективной работы с технической информацией на стадии эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов.

Разработанная электронная система отображения работает в интерактивном режиме и позволяет:

- наглядно представить принцип действия изделия с помощью средств мультимедиа;
- обеспечить доступ к любой информации о компонентах изделия;
- получить информацию о технологических процессах обслуживания и ремонта непосредственно в процессе их выполнения;
- точно показать физическую взаимосвязь изделия с другими компонентами системы;
- получить информацию для формирования заявки на поставку запасных частей.

Программа включает в себя ряд полезных функций:

- быстрый поиск информации при минимальных исходных данных;
- возможность проведения расширенного поиска;
- вывод информации на принтер в виде отчетов;
- организация автоматизированной рассылки электронных писем;
- возможность сравнения комплектующих изделий по основным параметрам;
- быстрый сбор информации для заказа запасных частей;
- ускоренный переход по взаимосвязанным информационным позициям благодаря системе гиперссылок;

- ведение контекстно-зависимого блокнота для каждой информационной позиции руководства;
- одновременная работа нескольких пользователей;
- быстрое обновление информации руководства через Интернет;
- динамическое открытие Интернет-ресурсов;
- увеличение гипертекста при полноэкранном просмотре;
- быстрое отображение информации за счет поэлементной обработки запросов.

Программа предназначена для специалистов, участвующих в процессе эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов.

Обобщенная структурно-функциональная схема программы Content Browser PPL Drive Suite 2.0 приведена на рис. 1.

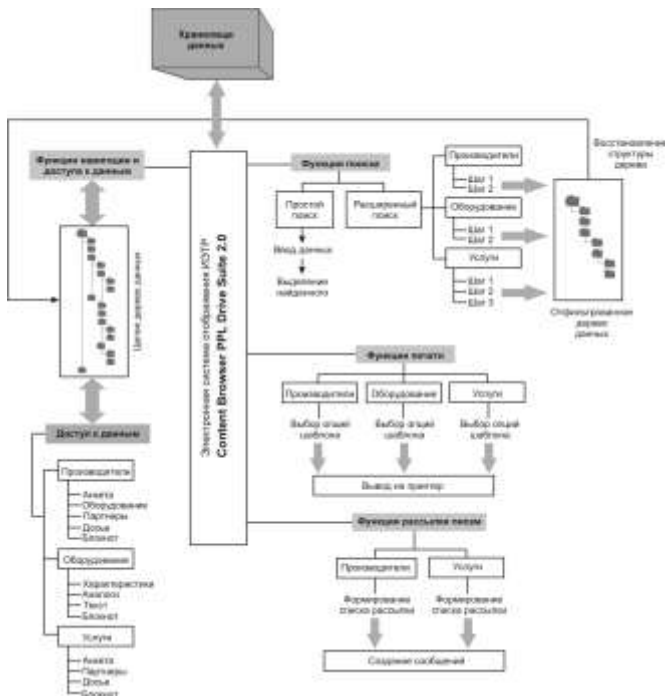


Рис. 1. Структурно-функциональная схема программы Content Browser PPL Drive Suite 2.0

При запуске программы на экран монитора выводится информационное окно-заставка со статусом загрузки данных. При загрузке программы

сначала происходит автоматическое обращение к базе данных для считывания информации, затем идет построение древовидной структуры данных в главном окне программы. Доступ к графическим и гипертекстовым данным происходит "на лету", в виде обращения к ресурсу resource.dat и чтения из него содержимого запрошенного файла во временный каталог для дальнейшего отображения на экране. По умолчанию в качестве временного каталога используется системный путь C:\Windows\Temp.

Главным информационным навигатором по техническому руководству служит древовидная структура данных, которая делает навигацию легкой, быстрой и наглядной, а функция истории позволяет последовательно перемещаться по уже просмотренным позициям.

Для поддержания актуальности представленной технической и справочной информации предусмотрена возможность обновления данных с помощью Интернета. Для этого необходимо быть подписчиком специализированной рассылки на сайте <http://www.cadminfo.ru> или периодически самостоятельно следить за обновлениями. Для успешного обновления данных необходимо перейти в каталог с установленной программой, предварительно закрыв ее. Далее, получив обновленные версии двух файлов (electroprivod.mdb и resource.dat), скопировать их в директорию с установленной программой, заменив имеющиеся файлы. Не рекомендуется использовать разные версии файлов electroprivod.mdb и resource.dat, так как при этом возможно некорректное отображение данных на экране.

В программе предусмотрены функции быстрого и расширенного поиска. Функция быстрого поиска предназначена для ускоренного поиска информации в случае минимально известного набора критериев для поиска. Поиск осуществляется путем обнаружения вхождения словоформы в имеющейся информации. После нахождения соответствия введенному значению программа активизирует позицию в иерархическом дереве для отображения найденного элемента. Функция расширенного поиска реализована в виде многостраничного окна "Мастер поиска". После указания известных параметров поиска и активизации поискового аппарата программа во время отбора необходимой информации и динамического перестроения иерархической структуры дерева отображает диалоговое окно процесса поиска. Результаты расширенного поиска отображаются в обновленном иерархическом дереве. Для возврата к отображению полной структуры дерева необходимо нажать на панели инструментов "утолщенную" кнопку "Фильтр".

В программе предусмотрены функции создания печатных отчетов. На принтер могут быть выведены визитные карты производителей, поставщиков и прочих организаций с указанием производимой продукции или оказываемых услуг соответственно. Также предусмотрен вывод отчетов по оборудованию, состоящих из наименования, производителя, основных

технических характеристик, фотографии, перечня аналогов и пользовательских данных.

Развитые функциональные возможности программы Content Browser PPL Drive Suite 2.0 создают предпосылки для расширения имеющейся информации по оборудованию, производителям и организациям, оказывающим различные виды услуг, для создания мощного средства информационной поддержки для широкой номенклатуры оборудования.

УДК 621.313.3

В.Н. МЕЩЕРЯКОВ, д.т.н., профессор,
А.С. АБРОСИМОВ, аспирант
(ЛГТУ) г. Липецк

Системы управления асинхронным электроприводом на базе автономного инвертора тока

В настоящее время для механизмов малой и средней мощности широкое распространение получили асинхронные электроприводы на базе преобразователей частоты с автономным инвертором напряжения (АИН), использующие широтно-импульсную модуляцию (ШИМ), что объясняет простотой системы управления. Но, несмотря на широкое применение преобразователей частоты с АИН, данные системы имеют следующие недостатки [1]: формирование несинусоидального импульсного по форме напряжения на обмотке статора асинхронного двигателя. Такое напряжение приводит к увеличению потерь, возникновению пульсирующего момента, возникновению перенапряжения на зажимах двигателя. В результате уменьшается срок службы подшипниковых узлов, происходит ускоренное старение изоляции.

Использование преобразователей частоты на базе автономного инвертора тока (АИТ), формирующих более качественные формы токов и напряжений статора двигателя сдерживается необходимостью построения сложных замкнутых систем.

Возможно использование двух принципов управления АИТ, позволяющих упростить систему управления:

- с релейным регулятором тока (PPT);
- с релейным регулятором напряжения (PPH).

Рассмотрим возможность применения преобразователей частоты на базе АИТ с релейным регулятором тока. В систему управления АИТ поступают сигналы задания на токи статора каждой из фаз i_{1a}^* , i_{1b}^* и i_{1c}^* в виде синусоидального сигнала требуемой амплитуды A и частоты f , скалярный сигнал задания точности формирования напряжения Δ и обратные связи по току фаз i_{aoc} , i_{boc} и i_{coc} .

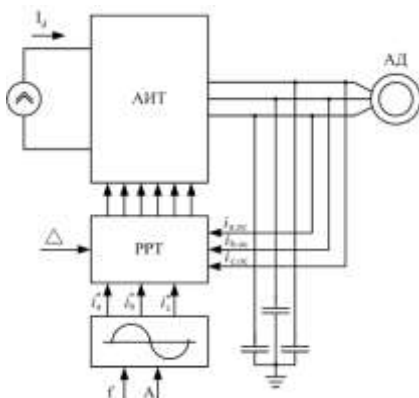


Рис. 1. Схема модели ПЧ с АИТ с РРТ

Для изучения и анализа процессов была построена математическая модель электропривода на базе АИТ в приложении Simulink MatLab. В модели использовался асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 160 кВт. Структурная схема ПЧ с АИТ с РРТ представлена на рис. 1

Данный тип управления позволяет достичь переходных процессов отображенных на рис. 2.

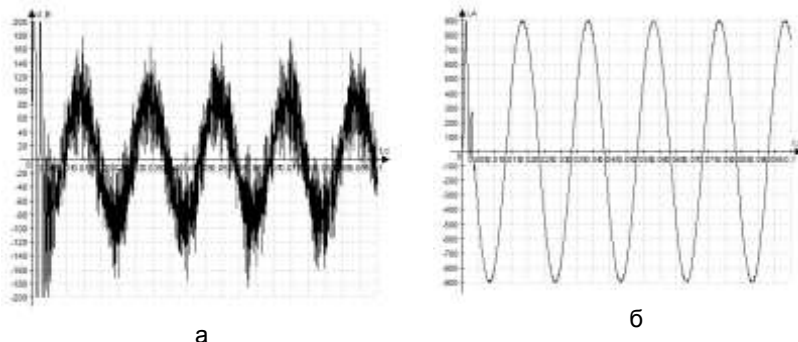


Рис. 2. Графики при использовании ПЧ с АИТ с РРТ: а – напряжения; б – тока

Рассмотрим возможность применения преобразователей частоты на базе АИТ с релейным регулятором напряжения. В систему управления АИТ поступают сигналы задания на напряжение каждой из фаз u_a , u_b и u_c в виде синусоидального сигнала требуемой амплитуды A и частоты

w^* , скалярный сигнал задания точности формирования напряжения Δ и обратные связи по напряжению фаз фильтра U_{aoc} , U_{bos} и U_{coc} .

Для изучения и анализа процессов была построена математическая модель электропривода на базе АИТ в приложении Simulink MatLab. В модели использовался асинхронный двигатель с короткозамкнутым ротором мощностью 160 кВт. Структурная схема ПЧ с АИТ с РРН представлена на рис.3

Данный тип управления позволяет достичь переходных процессов отображенных на рис. 4.

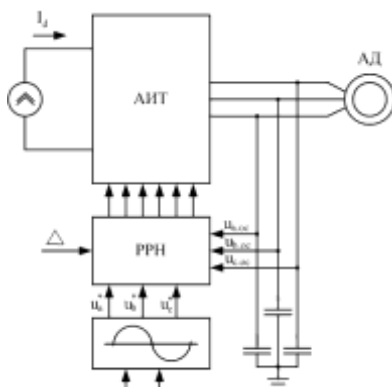


Рис. 3 Схема модели ПЧ с АИТ с РРН

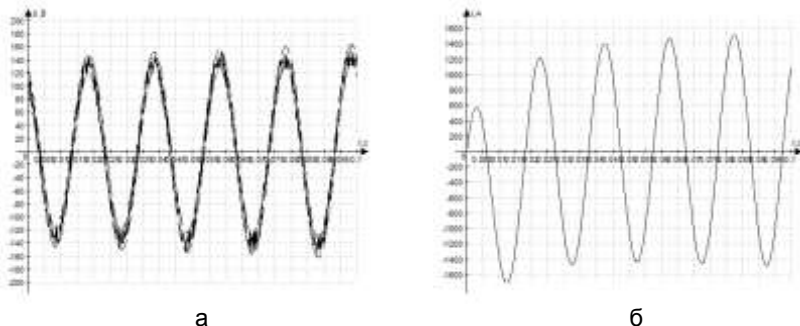


Рис. 4. Графики при использовании ПЧ с АИТ с РРН: а – напряжения; б – тока

Исследования предложенных систем показывают, что форма тока статора в обоих случаях получаются высокого качества, а форма напряжения оказывается более качественной при использовании ПЧ с АИТ с РРН.

Поэтому, использование ПЧ с АИТ с РРН для механизмов непрерывного транспорта, насосов или воздуходувных машин может существенно снизить стоимость затрат на обслуживание электроустановки.

Таким образом, рассмотренные система управления автономным инвертором тока на основе релейных регуляторов обладают относительной простотой, за счет исключения координатных преобразований и необходимости использования алгоритма ШИМ-модуляции, малой чувствительностью к изменениям параметров двигателя и высоким быстродействием в контуре управления. Поэтому, использование ПЧ с АИТ с РРН и ПЧ с АИТ с РРТ для механизмов непрерывного транспорта, насосов или воздуходувных машин может существенно снизить стоимость затрат на обслуживание электроустановки.

Литература

1. Соколовский Г.Г. Электроприводы переменного тока с частотным регулированием. – М.:Academia. 2006
2. Герман-Галкин С.Г. Компьютерное моделирование полупроводниковых систем. – СПб.: КОРОНА. 2001.

СЕКЦИЯ «ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА

УДК 621.313

И.И. ЯМАНСАРИН, зав. лабораториями
(ГОУ ОГУ) г. Оренбург

О влиянии климатических условий эксплуатации подземного рудника на отказы электрооборудования

Отказы электрооборудования, которое эксплуатируется в условиях подземного рудника, составляет примерно около 35% за год. Считается, что большое количество отказов в условиях подземного рудника связано с тяжелыми условиями эксплуатации: перегрузки, вибрация, высокая влажность и запыленность рудничного воздуха.

Основным приводом горных машин являются асинхронные двигатели (АД) с короткозамкнутым ротором основного исполнения, со степенью защиты IP44, IP54. Небольшая часть двигателей имеет рудничное и взрывозащищенное исполнение. Считается что основным фактором, влияющим на надежность АД, является тепловое старение изоляции. Однако на горном оборудовании установлены АД, со значительным запасом по мощности. Перегрева изоляции не происходит, следовательно кроме теплового старения изоляции, на АД воздействуют другие факторы: рудничная пыль, высокая относительная влажность. В условиях действующего подземного рудника трудно определить отдельно воздействие каждого фактора на надежность АД. Все факторы воздействуют совместно.

Как показывает опыт эксплуатации, количество отказов АД зависит от параметров поступающего с поверхности воздуха: относительной влажности, температуры. От температуры рудничного воздуха зависят условия охлаждения АД. Высокая влажность воздуха снижает сопротивление изоляции обмоток. Увлажнение изоляции обмоток АД происходит, когда температура обмоток понижается до температуры окружающей среды. Во время работы АД температура обмоток выше температуры окружающей среды и увлажнения изоляции не происходит. Наличие влаги может привести к снижению срока службы смазки подшипниковых узлов.

Для нормальной работы подземного рудника, его выработки должны проветриваться. В теплое время года воздух с поверхности без подготовки подается в подземный рудник. Поэтому параметры рудничного воздуха напрямую связаны с параметрами воздуха на поверхности. Температура и относительная влажность воздуха на поверхности изменяются, а значит, изменяются параметры рудничного воздуха. Может выпасть роса на поверхности, значит и в подземном руднике также выпадет роса. Чем длительнее процесс выпадения росы, тем

больше вероятность, того, что изоляция АД увлажнится. Так как изменяются параметры рудничного воздуха, то изменятся условия эксплуатации АД, а следовательно, интенсивность отказов АД эксплуатируемых в условиях подземного рудника.

На рис. 1 видно, что при изменении продолжительности выпадения росы, изменяется интенсивность отказов АД в подземном руднике.

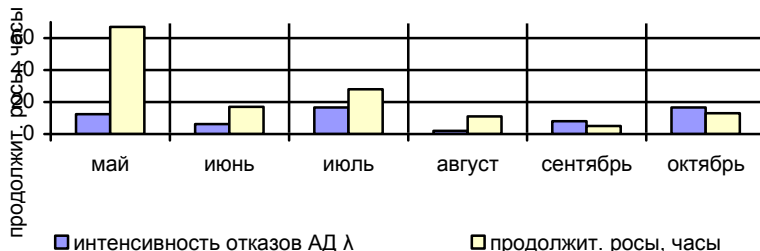


Рис. 1. Интенсивность отказов АД ($\lambda \cdot 10^{-4}, \text{ч}^{-1}$) в подземном руднике и продолжительность росы на поверхности рудника

Ниже приведены данные (табл. 1) об интенсивностях отказах АД, эксплуатируемых в условиях подземного рудника при различных сочетаниях параметров воздуха: температура воздуха $t, \text{°C}$, продолжительность росы, измеренной в часах T . Данные получены из электроремонтного цеха и метеостанции за 2006-2009 годы.

Таблица 1. Зависимость интенсивности отказов АД в подземном руднике от температуры воздуха и продолжительности выпадения росы на поверхности

Среднемесячная интенсивность отказов АД, $\lambda \cdot 10^{-4}, \text{ч}^{-1}$				
$T, \text{ч} \backslash t, \text{°C}$	5-10 °C	10-15 °C	15-20 °C	20-25 °C
0-20	1,45	0,83	0,625	0,4
20-40	-	0,83	0,2	1,66
40-60	-	0,83	0,729	0,625
60-80	-	1,25	-	-
80-100	-	1,77	1,66	1,145

Из данных табл. 1 следует, что:

- на интенсивность отказов АД в условиях подземного рудника влияют параметры воздуха на поверхности;
- при увеличении продолжительности выпадении росы увеличивается интенсивность отказов в 2 раза;
- при понижении температуры воздуха, интенсивность отказов возрастает 2-3 раза.

Исследование влияния сезонных изменений микроклимата рудника на работу электрооборудования позволит разработать мероприятия направленные на создание оптимальных условий эксплуатации.

Мероприятия можно разделить на:

- мероприятия по контролю и изменению параметров рудничного воздуха;

- мероприятия по созданию и внедрению технических устройств, предотвращающих воздействие влаги и пыли на электрооборудование.

Разработка и внедрение мероприятий позволит уменьшить экономические потери связанные, с ремонтом, с простоем и нарушениями технологических процессов.

Литература

1. Тищенко Н.А. Проблема надежности электродвигателей. – «Электричество», 1961, №11, с. 7-13; №12, с. 16-19.
2. Копылов И.П. Справочник по электрическим машинам. М., Энергоатомиздат, 1988. 456 с.
3. Краткий справочник горного инженера. М., Недра, 1971. 519 с.
4. Ванеев Б.Н.. Надежность взрывозащищенного и рудничного электрооборудования. М., Недра, 1979. 302 с.

УДК 621.313

А.М. ЗЮЗЕВ, д.т.н., профессор,
В.П. МЕТЕЛЬКОВ, к.т.н., доцент
(УрФУ им. Б.Н.Ельцина, г. Екатеринбург)

Оценка ресурса изоляции асинхронных двигателей в электроприводах с циклическим характером нагрузки

Надежность изоляции электрической машины в значительной степени определяет ее общую надежность. Согласно [1] доля отказов по причине повреждения обмоток для асинхронных двигателей мощностью более 5 кВт составляет 85...95%, при этом около 50% отказов вызывается эксплуатационными причинами, которые в большинстве случаев приводят к перегреву обмоток. Убытки от выхода из строя обмоток могут составлять до 80% от стоимости годового выпуска электрических машин [2]. Эти обстоятельства приводят к выводу о необходимости достаточно подробного рассмотрения взаимосвязи срока службы изоляции с температурными режимами работы электрической машины.

Нагревостойкость изоляции определяется скоростью ее старения, которая, в свою очередь, зависит от скорости протекания химических реакций. Опираясь на выражения, устанавливающие связь между скоростью протекания химической реакции и температурой, можно установить дли-

тельность интервала времени T , в течение которого изоляция достигнет своего предельного состояния вследствие температурного старения [1,3]:

$$T = k \cdot \exp(BQ^{-1} - G), \quad (1)$$

где B – отношение энергии активации молекулы к универсальной газовой постоянной; Q – абсолютная температура; G – постоянная, определяемая концентрацией не прореагировавших молекул; k – коэффициент пропорциональности ($k=1$, если срок службы изоляции измеряется в часах).

Усредненные экспериментальные значения постоянных B и G для различных классов изоляции приведены в табл. 1 [1,3]:

Таблица 1. Усредненные значения постоянных B и G

Класс изоляции	A	E	B	F	H	C
G	15,3	15,1	15,5	19,7	24,2	21,8
$B \cdot 10^{-4}, ^\circ\text{C}$	0,95	0,985	1,02	1,27	1,55	1,55

При учете влияния на срок службы изоляции только температуры можно принять, что мгновенное значение скорости старения изоляции (v) обратно пропорционально сроку службы изоляции при данной температуре, что дает возможность на основе (1) представить зависимость v от абсолютной температуры следующим выражением:

$$v = k^{-1} \exp(-BQ^{-1} + G). \quad (2)$$

В [4] предложено проводить эквивалентирование режимов работы электродвигателей по условию равного теплового износа изоляции исходя из равенства средней скорости старения изоляции за определенный промежуток времени и некоторой эквивалентной скорости ее старения, причем скорость старения изоляции принимается равной обратной величине срока ее службы. На основе этого подхода можно для заданного временного интервала получить выражение для некоторой эквивалентной температуры изоляции, при которой ее тепловой износ за этот интервал времени будет таким же, как при реальном графике температуры.

Введем понятие остаточного температурного ресурса изоляции R_t , как безразмерной величины, связывающей скорость старения изоляции при температуре, соответствующей номинальному режиму работы (v_N) и ее остаточный срок службы ($T_{из}$) в этом режиме: $T_{из} = R_t / v_N$. Величина R_t пропорциональна неиспользованному ресурсу срока службы изоляции, измеряемому в единицах времени. В начале эксплуатации двигателя $R_t = 1$, но по мере старения изоляции, R_t уменьшается на величину ΔR_t , зависящую от температур, соответствующих реальным условиям эксплуатации двигателя, то есть, текущее значение остаточного ресурса будет определяться выражением $R_t = 1 - \Delta R_t$.

Уменьшение остаточного ресурса, происходящего за некоторое время работы машины (t_p), с помощью (2) можно связать со скоростью старения изоляции:

$$\Delta R_t = \int_0^{t_p} v(t) dt = \int_0^{t_p} k^{-1} \exp[-BQ^{-1}(t)+G] dt \cdot \quad (3)$$

Выражение (3) представляет собой математическую модель процесса температурного старения изоляции. Эта модель, вместе с электродинамической, энергетической и термодинамической моделями дает возможность эквивалентировать любые режимы работы электрической машины по критерию уменьшения остаточного температурного ресурса изоляции за определенный период времени для любого закона изменения потерь в ней.

Такой подход к эквивалентированию тепловых режимов по условию равенства величины уменьшения остаточного температурного ресурса изоляции машины за определенный период времени (ΔR_t) и его уменьшения за это же время при работе в номинальном режиме (ΔR_N), позволяет оценивать адекватность выбора двигателя для электропривода в любом режиме работы. На рис. 1 показаны зависимости, характеризующие скорость уменьшения остаточного ресурса относительно ΔR_N при циклическом характере нагружения, полученные средствами математического моделирования для двигателя 4A100L4. Графики построены для двух случаев – равенства эквивалентного момента номинальному ($M_3=M_N$) и равенства средней за цикл мощности потерь в двигателе номинальной мощности потерь ($\Delta P_{\Sigma cp}=\Delta P_{\Sigma N}$). Момент нагрузки принимался равным $1,5M_N$.

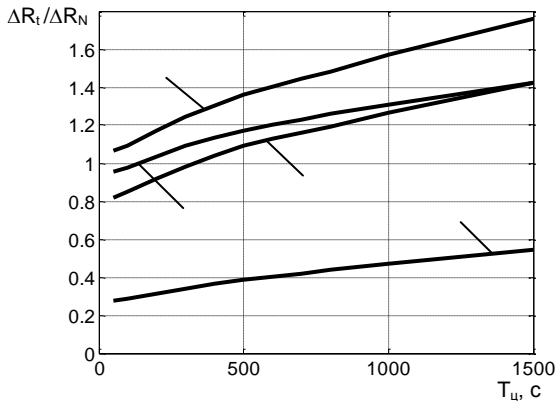


Рис. 1. Зависимости скорости уменьшения остаточного ресурса при работе в цикле с продолжительностью $T_{ц}$: 1 - $\Delta P_{\Sigma cp}=\Delta P_{\Sigma N}$ (режим S3); 2 - $\Delta P_{\Sigma cp}=\Delta P_{\Sigma N}$ (режим S6); 3 - $M_3=M_N$ (режим S6); 4 - $M_3=M_N$ (режим S3)

Из рис. 1 видно, что при формальном выполнении условий проверки по методу эквивалентного момента и методу средних потерь скорость уменьшения остаточного теплового ресурса может быть как существенно выше,

так и существенно ниже той, которая соответствует обработке двигателем нормативного срока службы. Это обстоятельство подчеркивает целесообразность использования прямых методов выбора и проверки электродвигателя, основанных на расчете изменения остаточного ресурса изоляции, что, в свою очередь, требует использования термодинамических схем двигателя, более подробных, чем обычно используемая одномассовая схема, а также разработки методов оценки параметров таких схем при условии ограниченной информации о данных двигателя.

Литература

1. Котеленец Н. Ф., Кузнецов Н. Л. Испытания и надежность электрических машин: Учеб. пособие для вузов. – М.: Высш. шк., 1988. 232 с.
2. Гольдберг О. Д. Надежность электрических машин общепромышленного и бытового назначения. – М.: Знание, 1976. 55 с.
3. Кузнецов Н. Л. Надежность электрических машин: Учеб. пособие для вузов. – М.: Издательский дом МЭИ, 2006. 432 с.
4. Ильинский Н. Ф. Тепловые модели электродвигателей в ненормальных циклических режимах: / Н. Ф. Ильинский, В. Н. Ипатенко // Электричество. 1984. №7. С. 37-41.

УДК 621.314.5, 621.438

П.Ю. ГРАЧЕВ, к.т.н., доцент
И.М. УНЩИКОВ, магистрант
(СамГТУ, г. Самара)

Режимы работы микротурбинных энергоустановок в составе автономных систем

Автономные системы энергоснабжения используют в районах отдаленных от централизованного энергоснабжения или при его нарушении. Эти автономные системы включают энергоустановки в качестве источников электроэнергии и тепла, потребители энергоресурсов, устройства управления потоками энергии. Одними из перспективных систем автономного энергоснабжения в этих условиях являются системы с энергоустановками на базе микротурбинных агрегатов МТА с микротурбинами фирмы «Capstone» [1]. Например, в чрезвычайных ситуациях возникает необходимость в автономных системах энергоснабжения мобильных подразделений (полевых госпиталей, временных мест размещения спасателей и т.д.).

В статье описаны устройство и режимы работы МТА, на базе микротурбин С30 и С65, работающих в составе автономных систем энергоснабжения.

На рис. 1 представлена силовая схема МТА. Она включает газотурбинный двигатель ГТД, с компрессором, и электрическую машину ЭМ, расположенные на одном валу. В автономном режиме работы МТА содержит блок аккумуляторов АБ. Включение установки производится запуском ГТД электрической машиной, работающей в режиме синхронного двигателя с частотным управлением [2], получающим электроэнергию от аккумуляторов. При этом вентильный преобразователь ВП1

работает в режиме автономного инвертора напряжения [3]. Электрическая машина раскручивает турбину до начальной рабочей скорости (45000мин⁻¹). После этого включается в работу ГТД, разгоняя ЭМ до частоты вращения 96000 мин⁻¹. Электрическая машина переходит в режим синхронного генератора, а вентильный преобразователь ВП1 – в режим выпрямителя. АБ переходит в режим заряда, включается в работу вентильный преобразователь нагрузки ВП2, создавая требуемую амплитуду и частоту напряжения на выходе.

При подключении к МТА неравномерной нагрузки, если энергия постоянного тока с выхода ВП1 преобразуется в электроэнергию переменного тока стабильной частоты только ВП2, работающим в режиме автономного инвертора, может происходить значительный перекос фаз нагрузки. Для его исключения используется вентильный формирователь нейтрали ВФН, соединяющий через фильтр нейтраль нагрузки с шинами постоянного тока МТА.

При подключении к МТА неравномерной нагрузки, если энергия постоянного тока с выхода ВП1 преобразуется в электроэнергию переменного тока стабильной частоты только ВП2, работающим в режиме автономного инвертора, может происходить значительный перекос фаз нагрузки. Для его исключения используется вентильный формирователь нейтрали ВФН, соединяющий через фильтр нейтраль нагрузки с шинами постоянного тока МТА.

Для регулирования тока АБ шины постоянного тока МТА соединены с шинами АБ через реверсивный преобразователь постоянного тока в постоянный РПТ [3]. МТА содержит сетевое устройство подзаряда АБ, подключенное к шинам постоянного тока, а также устройство защиты от перенапряжений при сбросе нагрузки. Теория, разработка и проектирование подобных систем рассмотрены в работах [4].

Кроме снабжения электроэнергией МТА обеспечивает выработку тепловой энергии, которая может использоваться для нагрева воды, обогрева помещений и т.п. К достоинствам рассмотренного типа МТА можно отнести то, что они могут потреблять различного вида топливо: газ высокого и низкого давления, биогаз, дизельное топливо, пропан, керосин.

Для энергоснабжения в чрезвычайных ситуациях не требуется значительных энергоресурсов. Достаточно иметь в автономной системе энергоснабжения 2-4 МТА. При этом возникает проблема обеспечения надежного запуска электродвигателей, мощность которых соизмерима с мощностью МТА, работающих в составе одного или нескольких потребителей. Это связано с тем, что при прямом пуске электродвигателей переменного тока возникают пусковые токи в несколько раз превышающие номинальные. Это может привести к перегрузке и выходу из строя вентильных преобразователей МТА.

Для решений этой проблемы авторами рассматривается вариант, когда одну из энергоустановок выделяют в качестве «пусковой» и осуществляют с ее помощью управляемый частотный пуск электродвигателей соизмеримой мощности.

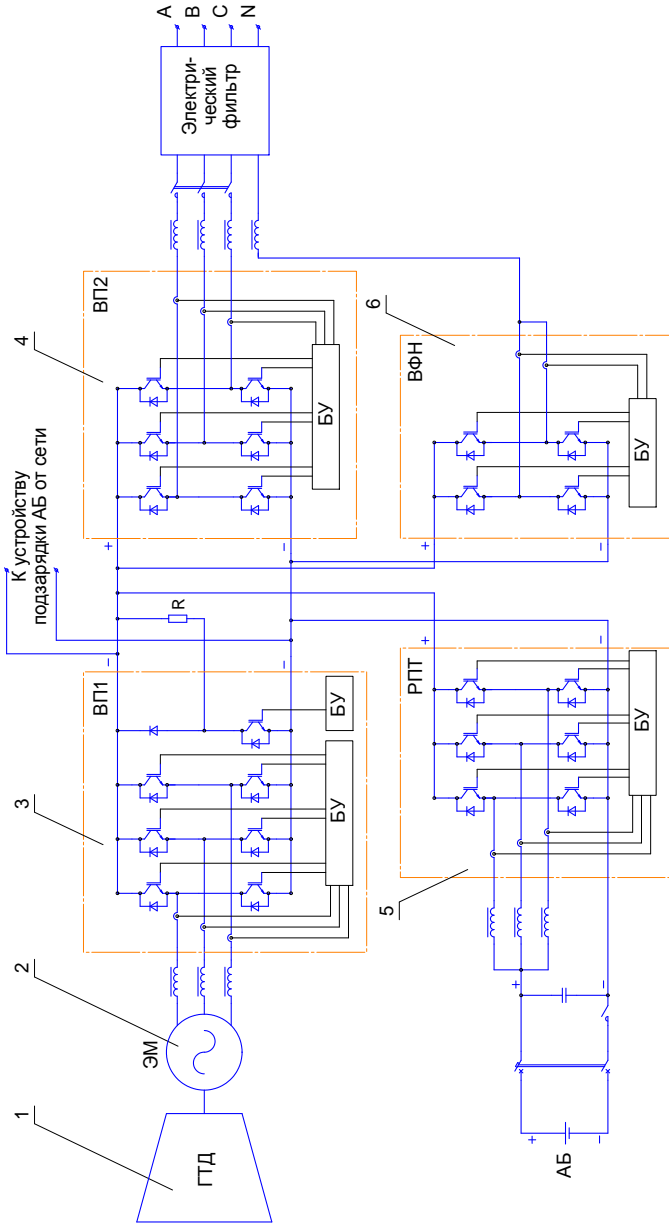


Рис. 1. Силовая схема МТА

1 - газотурбинный двигатель; 2 - электрическая машина; 3 - вентиляльный преобразователь 1; 4 - вентиляльный преобразователь 2; 5 - реверсивный преобразователь постоянного тока; 6 - вентиляльный преобразователь нейтрали.

Литература

1. Газовые турбины Capstone [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.capstone.ru/>
2. Беспалов В.Я., Качалина Е.В. Микитченко А.Н. Синхронные двигатели для частотно-регулируемого привода экскаватора // Труды VII междунар. симпозиума «ЭЛМАШ-2009»: Энергетика и электротехника. Проблемы и перспективы». М.: МА «Интерэлектромаш», сентябрь 2009. – Т. 1. – С. 175-178.
3. Зиновьев Г.С. Основы силовой электроники. – Новосибирск: НГТУ, 2004. – 672с. ISBN: 5-7762-0464-7
4. Костырев М.Л. Грачев П.Ю. Асинхронных вентильные генераторы и стартер-генераторы для автономных энергоустановок. – М: Энергоатомиздат, 2010. – 199 с. ISBN: 978-5-283-03310-5

УДК 537.81

В.Е. ШМЕЛЁВ, к.т.н., доцент,
С.А. СБИТНЕВ, д.т.н., профессор
(Владимирский государственный университет) г. Владимир

Двумерное пространственно-фазовое моделирование электромеханических характеристик асинхронных машин

Известно, что электромеханическое преобразование энергии происходит при движении вещественных тел в электромагнитном поле (ЭМП). Важными этапами моделирования такого преобразования являются анализ ЭМП в неоднородно-движущейся среде, расчёты силовых взаимодействий между телами, а также расчёты интегральных параметров этого поля (потокоцеплений, ЭДС, напряжений, мощностей потерь и др.). Существует два больших класса анализа электромагнитных полей – пространственно-временные (П-В) и пространственно-частотные (П-Ч). Первый из этих классов охватывает всё многообразие динамических процессов в электромагнитных полях, но требует слишком больших затрат вычислительных ресурсов и по этой причине часто оказывается малоприменимым для генерации алгоритмов управления электромеханическими устройствами, работающими в составе электроприводов, мехатронных модулей, электрогенерирующих комплексов и т.д. Второй класс методов, строго говоря, пригоден только для анализа электромагнитных полей в неподвижных линейных средах. Известные способы распространения этих методов на нелинейные и неоднородно-движущиеся среды являются недостаточно строгими и очень ограниченными в применении [1].

Авторы разработали основу нового пространственно- фазового (П-Ф) класса методов моделирования электромеханических процессов. Суть этих методов заключается в моделировании процесса при фиксированном состоянии анализируемой системы, что позволяет исключить из уравнений время. П-Ф методы основаны на преобразовании П-В уравнений математической физики в П-Ф форму. Это даёт возможность проводить анализ переходных процессов только на интегральном уровне (потокоцеплений, ЭДС, напряжений, токов, положений подвижных тел и др.), не рассчитывая переходных процессов в ЭМП.

Система двумерных П-Ф уравнений, учитывающих динамические эффекты первого порядка в электромеханическом устройстве поступательного или вращательного движения, имеет вид [2]:

$$\begin{aligned} \operatorname{rot} \mathbf{H}_H &= \boldsymbol{\delta} + \gamma \mathbf{E}_H, \quad \operatorname{rot} \mathbf{H}_{H1} = \boldsymbol{\delta}_1, \quad \operatorname{rot} \mathbf{H} = \boldsymbol{\delta} + \gamma \mathbf{E}, \\ \operatorname{rot} (\mathbf{H}_1 + 2(\mathbf{H}_H \nabla) \mathbf{v} + \mathbf{H}_H \times \operatorname{rot} \mathbf{v} - \mathbf{H}_H \cdot \operatorname{div} \mathbf{v}) &= \boldsymbol{\delta}_1, \\ \mathbf{H}_H &= v_a (\mathbf{B}_H - \mathbf{B}_r) + q_1 \cdot \mathbf{B}_{H1}, \quad \mathbf{H} = v_a (\mathbf{B} - \mathbf{B}_r) + q_1 \cdot \mathbf{B}_1, \end{aligned} \quad (1)$$

$$\mathbf{H}_{H1} = v_a \cdot \mathbf{B}_{H1}, \quad \mathbf{H}_1 = v_a \cdot \mathbf{B}_1.$$

Система уравнений (1) дополняется соотношениями, определяющими фазовые переменные в неподвижной и подвижной системе тел [2], и после приведения к скалярной форме вводится в моделирующую математическую программу. Система (1) решается относительно фазовых переменных векторного магнитного потенциала.

Ниже представлены результаты вычислительных экспериментов с двумерными П-Ф моделями асинхронных машин с ротором беззубцовой конструкции.

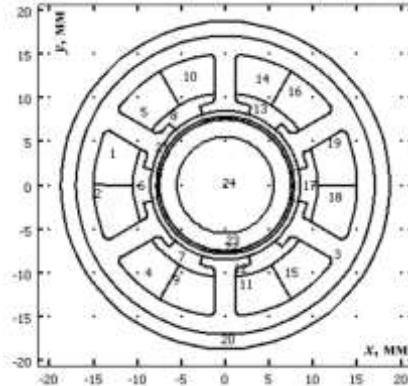


Рис. 1. Схематичное изображение поперечного сечения асинхронной машины

Пусть статор имеет магнитопровод, набранный из пластин электротехнической стали, имеющий 6 зубцов. Ротор представляет собой стальную цилиндрическую болванку, в которой наводятся вихревые токи, взаимодействующие с магнитным полем статора и обуславливающие электромагнитный момент машины. На рис. 1 показано схематичное изображение поперечного сечения АД. Цифрами обозначены номера зон расчётной области. В каждой зоне задаются свои значения параметров материальных свойств. С помощью П-Ф модели, реализованной в COMSOL Multiphysics и основанной на системе уравнений (1), рассчитаны скоростные характеристики фазных индуктивностей статора. Они были введены в специально разработанную интегральную имитационную модель электрического состояния машины и рассчитаны скоростные характеристики фазовых переменных токов статора и потребляемой активной электрической мощности от источника питания АД (рис. 2). Выходные данные имитационной модели опять были введены в П-Ф модель и рассчитана механическая характеристика АД (рис. 3).

АД, поперечное сечение которого изображено на рис. 1, имеет нежёсткую механическую характеристику. Чтобы эта характеристика была жёстче, нужно увеличить отношение реактивного сопротивления ротора к активному. Это можно сделать, увеличив магнитную проницаемость материалов магнитопроводов и уменьшив зазор или, не меняя электрофизические свойства материалов, увеличить пропорционально все размеры АД. На рис. 4 показана скоростная характеристика потребляемой активной мощности, а на рис. 5 – механическая характеристика АД, все размеры которого в три раза больше размеров АД, поперечное сечение которого изображено на рис. 1.

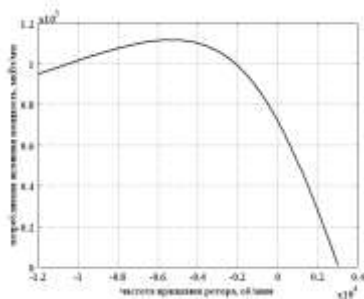


Рис. 2. Скоростная характеристика потребляемой активной мощности

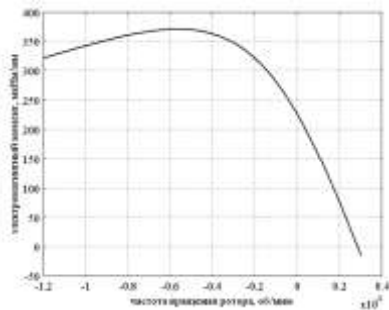


Рис. 3. Механическая характеристика АД

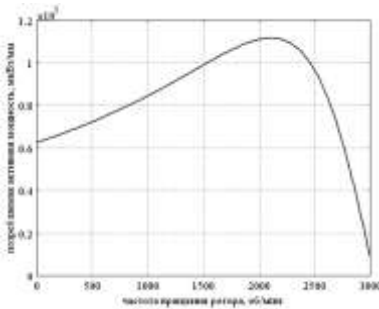


Рис. 4. Скоростная характеристика потребляемой активной мощности

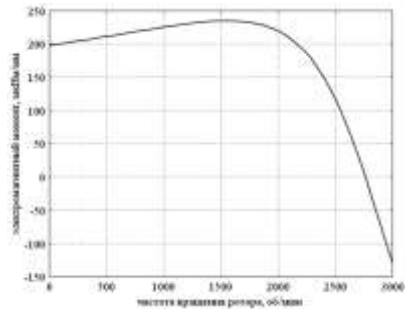


Рис. 5. Механическая характеристика АД

Авторами рассчитаны также характеристики других конструкций АД.

Все полученные авторами результаты моделирования не противоречат известным в электромеханике фактам. П-Ф методы моделирования процессов электромеханического преобразования энергии весьма полезны для комплексного проектирования электроприводов в целом, включая электромашинную и электронную часть.

Литература

1. Копылов И.П. Математическое моделирование электрических машин. — М.: Высшая школа, 2001. — 588 с.
2. Шмелёв В.Е., Сбитнев С.А. Пространственно-фазовое моделирование электромеханических процессов в машинах с постоянными магнитами в системе конечноэлементных расчётов FEMLAB. — Электротехника, 2004, № 8. — с. 50–54.

УДК 621.313

В.Ю. НЕЙМАН, д.т.н. профессор,
О.В. РОГОВА, аспирант
(НГТУ), г. Новосибирск

Принципы построения конструктивных схем электромагнитных приводов для бытового компрессорного оборудования

Несмотря на давнее промышленное использование компрессорного оборудования, стремление осуществить непосредственный привод за счет исключения из общей кинематической цепи промежуточных преобразовательных и вспомогательных звеньев сохраняет свою актуальность и в настоящее время. Создание новых эффективных конструкций линейных двигателей открывает новые возможности для их использования в компрессорном оборудовании.

Из значительного количества типов электрических двигателей возвратно-поступательного движения наибольшее применение в приводе компрессоров получили электромагнитные двигатели. [1].

Данный тип двигателей отличает исключительная простота, компактность конструкции, они имеют только одну движущуюся деталь – якорь, поэтому обладают высокой надежностью и низкой стоимостью.

По физическому принципу действия приведенные варианты схем, классифицированные по ряду признаков, представляют собой устройства объемного действия. Для нагнетания газа в электромагнитных компрессорах, как правило, используют рабочие органы диафрагменного, мембранного или поршневого типов.

В таблице отражена тенденция преимущественного применения на практике основных видов схем электромагнитных компрессоров. Изучение и сопоставление других возможных разработок электромагнитных компрессоров показывает, что в частном случае варианты принципиальных схем соответствуют приведенной классификации. Например, в частном случае якорь двигателя может одновременно являться поршнем компрессора [2, 4], а вместо возвратного элемента пружинного типа использоваться мембранный [5, 6]. Мембранные, как правило, используются в компрессорах с малой величиной хода, но при этом обеспечивают строгую линейность движения рабочего органа. Упругие элементы пружинного типа устанавливаются в основном в компрессорах с большим ходом поршня.

Отличительной особенностью всех представленных конструкций, которая позволяет отнести все нижеуказанные компрессоры к линейным, является то, что рабочий орган каждого из них является одновременно частью двигателя и совершает возвратно-поступательные движения в одной плоскости, обеспечивая сжатие и нагнетание рабочей среды.

Обобщая результаты выполненных исследований можно сделать вывод о том, что приведенные в таблице конструктивные схемы компрессоров можно классифицировать по ряду признаков: по количеству используемых катушек электромагнитного двигателя, по способу возврата якоря и способу процесса всасывания и нагнетания газа (энергией катушек или упругого элемента), по способу действия (односторонний или двухсторонний), а также по наличию типа рабочего органа (диафрагменный, мембранный или поршневой).

По приведенной выше классификации в настоящее время сложно судить о предпочтительности использования вариантов схем, так как в своем большинстве они являются или единично созданными или находятся на уровне изобретений. Интерес к подобным конструкциям периодически проявляется, о чем, например, свидетельствует промышленный выпуск холодильников с линейным электромагнитным приводом компанией LG, которая в 2001 году первой вывела на рынок готовые линейные компрессоры. К 2015 году компания LG намерена увеличить объемы использования третьего поколения линейных компрессоров до 50%.

Таблица. Конструктивные решения линейных электромагнитных компрессоров

№ п/п	Вариант принципиальной схемы компрессора	Классификация
1.		<p>Диафрагменный, одностороннего действия с однокатушечным электромагнитным двигателем и пружиной</p>
2.		<p>Поршневой, одностороннего действия с однокатушечным электромагнитным двигателем и пружиной</p>
3.		<p>Диафрагменный, одностороннего действия с двухкатушечным электромагнитным двигателем и пружиной</p>
4.		<p>Поршневой, одностороннего действия с двухкатушечным электромагнитным двигателем и пружиной</p>
5.		<p>Симметричный, диафрагменный, двухстороннего действия с двухкатушечным электромагнитным двигателем</p>
6.		<p>Симметричный, поршневой, двухстороннего действия с двухкатушечным электромагнитным двигателем</p>
7.		<p>Динамически уравновешенный, поршневой, двухстороннего действия с однокатушечным электромагнитным двигателем</p>
8.		<p>Динамически уравновешенный, поршневой, двухстороннего действия с двухкатушечным электромагнитным двигателем</p>

В заключение следует отметить, что благодаря применению линейных электромагнитных двигателей отпадает необходимость применения кинематических звеньев, преобразующих вращательное движение в поступательное. Использование подобных двигателей в совокупности с соответствующей системой управления рабочих органов позволит повысить эффективность работы и вывести компрессорное оборудование на новый качественный уровень.

Литература

1. Ряшенцев Н.П. Электропривод с линейными электромагнитными двигателями/ Н.П. Ряшенцев, Г.Г. Угаров, В.Н., Федонин, А.Т. Малов // Электропривод с линейными электромагнитными двигателями. – Новосибирск: Наука, 1981. – 150с.
2. А.с. №857542 СССР, МПК F04B35/04. Компрессор/ Н.И. Финченко, А.Н. Мирошниченко – № 2781599/25-06; Заявл. 19.06.79; Опубл. 23.08.81, Бюл. №31 – 2 с.: ил.
3. Смелягин А.И. Синтез и исследование машин и механизмов с электромагнитным приводом/ А.И. Смелягин. – Новосибирск: Изд-во Новосиб. Ун-та, 1991. – 248 с.
4. А.с. 403875 СССР, МПК F04B31/00 В.Г. Деньгин, Л.Г. Абакумов, А.К. Грезин и др. – №1603264/24-6; Заявл. 23.11.70; Опубл. 26.10.73, Бюл. №43 – 2 с.: ил.
5. А.с. 1000595 СССР, МПК F04B45.04 Электромагнитный мембранный компрессор/ Ю.П. Самохвалов, Ю.И. Тамбовцев – №3227276/25-06; Заявл. 29.12.80; Опубл. 28.02.83, Бюл. №8 – 2 с.: ил.
6. Пат. 2376497 RU, МПК F04B35/04. Линейный компрессор и привод для такого компрессора/ А. Шаде, Я. Г. Шуберт – № 2007121771/06; Заявл. 30.11.05; Опубл. 20.12.09, Бюл. № 35. – 11с.: ил.

УДК 62-531.7

Д.Г. РАНДИН, аспирант
(ГОУ ВПО «СамГТУ») г. Самара

Исследование демпферов на основе магнитореологической жидкости

В последнее время возрастает интерес к «активным» системам виброзащиты транспортных средств на основе магнитореологических демпферов.

Существует большое разнообразие вариантов технической реализации демпферов на основе магнитореологической жидкости (МРЖ). Одна из возможных конструкций демпфера представлена на рисунке 1.

При разработке алгоритма управления «активной» системой виброзащиты с демпфером на основе МРЖ, важной задачей является установить зависимость управляемой переменной, такой как, например, вязкость МРЖ от регулирующего воздействия - величины напряженности внешнего магнитного поля.

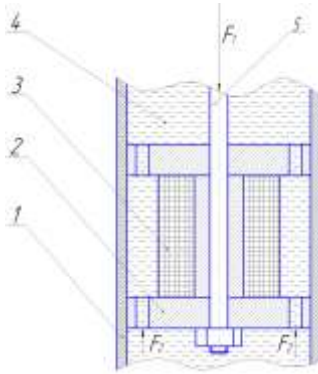


Рис. 1. Конструкция магнитоареологического демпфера:
 1- корпус демпфера; 2 – поршень демпфера; 3 – катушка электромагнита демпфера; 4 – магнитоареологическая жидкость; 5 – шток поршня демпфера;
 F_1, F_2 – силы

Для демпфера, представленного на рисунке 1, сила сопротивления перемещению поршня F_2 , действующая на МРЖ при её прохождении по каналу поршня демпфера, на основании закона Паскаля зависит от силы F_1 , приложенной к штоку поршня демпфера:

$$F_2 = \frac{F_1 \cdot S_2}{S_1}, \quad (1)$$

где S_1 - площадь поршня демпфера; S_2 - площадь канала поршня демпфера.

Сила F_2 сопротивления перемещению определяется как конструкцией самого поршня, так и вязкостными свойствами МРЖ. Для среды «магнитоареологическая жидкость – канал поршня демпфера» сила F_2 пропорциональна эффективной вязкости $\eta_{эф}$ жидкости и скорости v относительного перемещения поршня и МРЖ (скорости сдвига) [1]:

$$F_2 = \eta_{эф} \cdot v = (\eta_0 + \eta_{II}) \cdot v, \quad (2)$$

где η_0 - вязкость жидкой основы МРЖ; η_{II} - приращение вязкости МЖ при наложении поля, определяемое по выражению

$$\eta_{II} = 1,5 \cdot \eta_0 \cdot c_v \cdot \frac{\xi - \text{th } \xi}{\xi + \text{th } \xi} \cdot \sin^2 \alpha, \quad (3)$$

где c_v - объемная доля частиц магнетика в МРЖ;

α - угол между векторами напряженности поля и скорости сдвига жидкости;

ξ - коэффициент функции Ланжевена, определяемый по выражению

$$\xi = \mu_0 \cdot m \cdot \frac{H}{(kT)} . \quad (4)$$

где m - магнитный момент частицы; k - постоянная Больцмана;

T - температура

Переменная H в выражении (4) представляет собой значение напряженности внешнего поля. На рисунке 2 переменная H действует на участке дросселирующего канала поршня демпфера (участки « $c-d$ » и « $g-h$ »).

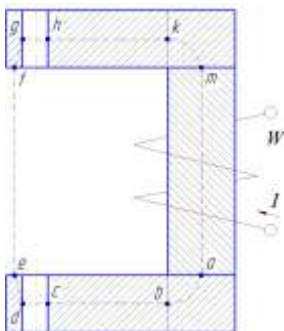


Рис. 2. Магнитная система демпфера: $a, b, c, d, e, f, g, h, k, m$ – точки магнитной цепи; I – ток; W – число витков катушки

Чтобы найти связь между регулирующим воздействием (ток катушки) и регулируемой переменной (вязкость МРЖ) необходимо рассчитать параметры магнитной цепи в соответствии с законом полного тока:

$$\oint Hdl = I \cdot W , \quad (5)$$

Управление током катушки может осуществляться за счёт изменения напряжения на зажимах катушки. Инерционность связей между регулирующим воздействием и регулируемой переменной, в процессе управления магнитореологическим демпфером, отображает структурная схема, представленная на рисунке 3.



Рис. 3. Структурная схема: $W_1(p)$, $W_2(p)$, $W_3(p)$ - передаточные функции

Эквивалентная передаточная функция для линеаризованной модели магнитожидкостного демпфера как объекта управления

$$W(p) = W_1(p) \cdot W_2(p) \cdot W_3(p). \quad (6)$$

Полученная передаточная функция (6) может быть использована для исследования «активных» систем виброзащиты на основе магнитожидкостных исполнительных устройств.

Литература

1. Орлов, Д.В. Магнитные жидкости в машиностроении. – М.: Машиностроение, 1993.

УДК 621.313

Ю.Б. КАЗАКОВ, д.т.н., профессор,
Е.А. ШУМИЛОВ, ст. преподаватель (ИГЭУ),
Д.О. ЧУЯНОВ, ст. преподаватель
(Сф СамГТУ) г. Самара

Исследование внешних электромагнитных полей асинхронного двигателя при питании широтно-импульсно модулированным напряжением

Асинхронный двигатель (АД), как и любое другое работающее электротехническое устройство, создает внешние электромагнитные поля [1, 2]. Плотность размещения электротехнических устройств возрастает, влияние внешних электромагнитных полей на работу других устройств усиливается, что становится проблемой их электромагнитной совместимости.

Внешние электромагнитные поля оказывают влияние и на обслуживающий персонал. Наиболее чувствительны к электромагнитным полям центральная нервная, сердечно-сосудистая, гормональная и репродуктивная системы человека. Органы человека имеют собственные частоты колебаний в диапазоне от 4 до 60 Гц, что совпадает с излучениями электротехнических устройств промышленной частоты. По Российским санитарным нормам предельно-допустимая напряженность электрического поля частотой 50 Гц не должна превышать 500 В/м в местах постоянного пребывания людей. В США предельно-допустимая индукция магнитного поля частотой 50 Гц не должна превышать 0,2 мкТл.

Исследование влияния работы друг на друга частотно-регулируемых АД через питающую сеть проведено в [3]. Однако оценка внешних электромагнитных полей для таких устройств не проводилась. Особенно актуальна эта проблема при питании АД широтно-импульсно модулированным (ШИМ) напряжением [4], исследование которой ранее

также не выполнялось. Если при работе АД от сети с синусоидальным напряжением частоты 50 Гц такую же частоту будут иметь и его внешние электромагнитные поля, то при работе АД от преобразователей с ШИМ напряжения внешние магнитные поля будут иметь широкий частотный спектр. Таким образом, исследование внешних электромагнитных полей асинхронного двигателя при его питании от преобразователя с ШИМ напряжением ранее не выполнялось и является актуальным.

Внешние электромагнитные поля АД создаются токами в обмотке статора. Частотный спектр тока статора зависит от типа АД, нагрузки и параметров преобразователя. Спектральный анализ тока был выполнен на основе имитационной модели асинхронного частотно-регулируемого электропривода в среде Simulink пакета Matlab. Анализ проводился для АД мощностью 550 Вт и синхронной частоты вращения 1000 об/мин. Несущая частота преобразователя составляла 3000 Гц, модулирующая - 50 Гц. Временные зависимости выходного напряжения инвертора и фазного тока статора, представленные на рис. 1.

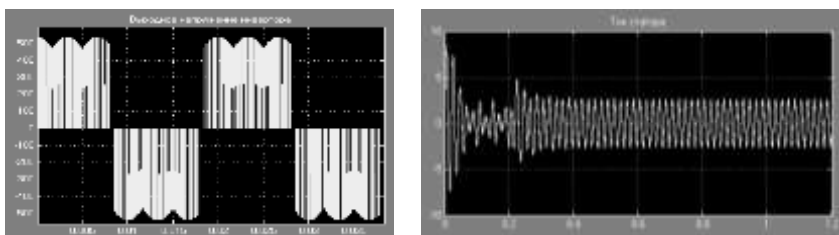


Рис. 1. Осциллограммы выходного напряжения инвертора и тока статора

Гармонический анализ позволил определить составляющие тока статора (табл. 1).

Таблица. Гармонический состав тока статора

Коэффициент гармоник 6,74%					
№ гармоники	1	5	7	11	13
Амплитуда, А	2,51	0,09	0,06	0,01	0,01
Фаза, °	0,0	107,9	0,0	0,0	94,7

Моделирование двумерных внешних нестационарных электромагнитных полей АД при работе с ШИМ напряжения осуществлялось методом конечных элементов в пакете Elcut по заданному закону изменения тока. На рис. 2 представлено распределение линий внешнего электромагнитного поля такого АД при работе в номинальном режиме.

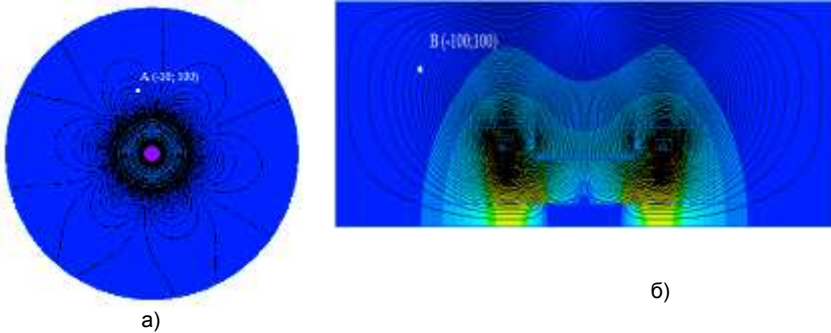


Рис. 2. Распределение линий внешнего электромагнитного магнитного поля АД в поперечном (а) и в продольном (б) сечениях

Наибольшая индукция изменяющегося во времени внешнего магнитного поля в точке А (-30мм; 100 мм, рис. 2, а) в поперечном сечении АД, находящейся на удалении 47,4 мм от поверхности корпуса достигает 4,3 мкТл. Основными источниками внешнего магнитного поля в АД являются лобовые части обмоток. Наибольшая индукция изменяющегося во времени внешнего магнитного поля в точке В (-100мм; 100 мм, рис. 2, б) в продольном сечении АД, находящейся на удалении 46,4 мм от поверхности корпуса достигает уже 340 мкТл.

Такое различие в результатах двухмерного моделирования, хотя и по разным сечениям АД, требует применения трехмерного моделирования. Такая задача была решена с помощью пакета Ansoft Maxwell. Трехмерное внешнее магнитное поле от лобовых частей обмотки статора АД представлено на рис. 3. Наибольшие индукции близки значениям, полученным в двухмерной модели продольного сечения АД.

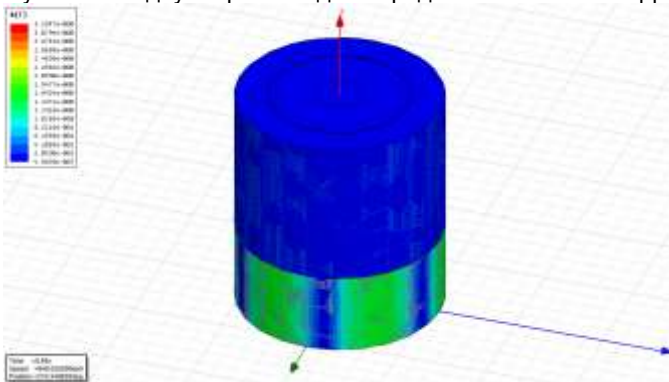


Рис. 3. Трехмерное внешнее магнитное поле от лобовых частей обмотки АД

Таким образом, осуществлено моделирование и исследование внешних электромагнитных полей асинхронного двигателя при питании широтно-импульсно модулированным напряжением.

Литература

1. **Сотников В.В.:** Развитие теории внешнего магнитного поля асинхронных двигателей, способов его снижения и измерения: автореф. дис. на соиск. учен. степ. д-ра техн. наук: специальность 05.09.01 / Марийский государственный технический университет. – Йошкар-Ола, 2002. – 38 с.
2. **Жумангулов К.К.:** Внешние магнитные поля электромеханических преобразователей электротехнических комплексов: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук: специальность 05.09.03 / Жумангулов Куанышбай Калтаевич; НАО «Алматинский институт энергетике и связи». – Алматы, 2006. – 41с.
3. **Курнышев, Б. С., Фомин П.А.** Электромагнитная совместимость регулируемых асинхронных электроприводов / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». - Иваново, 2005.-100 с.
4. **Казаков Ю.Б., Е.А. Шумилов.** Необходимость исследования электромагнитной совместимости частотно-регулируемых электроприводов с учетом взаимного влияния физических полей // Проблемы электротехники, электроэнергетики и электротехнологии: сб. трудов. – Тольятти, 2009. – С. 298-301.

УДК 621.313.84

Ю.Б. КАЗАКОВ, д.т.н., профессор,
В.П. ШИШКИН, к.т.н., профессор,
Д.С. КОРНИЛОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Численное моделирование теплового состояния и условий охлаждения магнитоэлектрического торцевого генератора

Для ветроэнергетических установок небольшой мощности (1.5-10 кВт) разработана методика проектирования торцевых синхронных генераторов (ТСГ) [1]. Торцевая конструкция электрических машин зачастую обеспечивает меньшие массогабаритные показатели, конструктивную совместимость с механизмом, удобство эксплуатации и сборки [2]. Выполнены электромагнитные расчеты ТСГ разных мощностей и частот вращения.

Завершающей стадией разработки ТСГ является проведение исследований теплового состояния и условий охлаждения. При тепловом расчете возникает необходимость совместного решения уравнений, описывающих распределение температуры стенок теплообмена и температуры теплоносителя. Распределение плотностей тепловых потоков на поверхностях охлаждаемых частей электрической машины зависит от распределения температур стенок и теплоносителя, которое само определяется плотностями тепловых потоков в машине. ТСГ по

сравнению с цилиндрическими машинами обладает, как правило, лучшими условиями теплоотвода и охлаждения за счет более развитой внешней поверхности. В то же время потери в области внутреннего диаметра приходится на меньшие объем и площадь охлаждения, одновременно наиболее интенсивное охлаждение достигается в зоне внешнего диаметра. Это вызывает неравномерность теплового поля и радиальную неравномерность нагрева обмоток. Превышение температуры внутренних лобовых частей обмотки статора над средней температурой статора может достигать 10-20%. Оценка надежности изоляции обмотки якоря по средней температуре может оказаться неверной. В известной литературе [3 и др.] корректной методики теплового расчета ТСГ найдено не было. Это явилось побудительной причиной данной работы.

Для обеспечения достоверности анализа теплового режима и условий охлаждения ТСГ были проведены тепловые расчеты на основе методов эквивалентных тепловых схем (ЭТС) [3], конечно-элементного двумерного моделирования [5, 6] в осесимметричной постановке в пакете ELCUT и конечно-объемного трехмерного моделирования в пакете FlowVision. В среде SolidWorks создана 3D-модель ТСГ. На ее основе разработана схема сборки ТСГ. Одновременно 3D-модель явилась базой для разработки моделей на основе методов ЭТС, конечных элементов и конечных объемов.

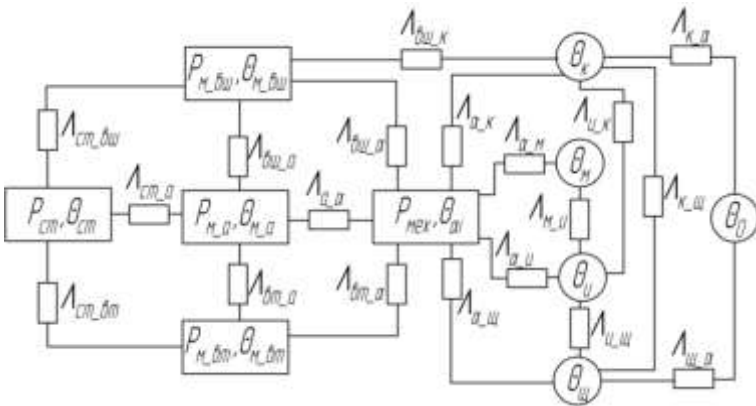


Рис. 1. Эквивалентная тепловая схема замещения ТСГ

Эквивалентная тепловая схема замещения ТСГ представлена на рис. 1. Схема содержит тепловые сопротивления следующих элементов: сердечника статора с температурой $\Theta_{ст}$, внешней лобовой части обмотки с температурой $\Theta_{м_вш}$, активной части обмотки с температурой

$\Theta_{м_в}$, внутренней лобовой части обмотки с температурой $\Theta_{м_вт}$, воздуха внутри ТСГ с температурой $\Theta_{аі}$, корпуса с температурой $\Theta_{к}$, магнита с температурой $\Theta_{м}$, индуктора с температурой $\Theta_{и}$, щита с температурой $\Theta_{щ}$. Учтены источники тепловыделений: потери в стали статора $P_{ст}$; потери в меди обмотки статора $P_{м}$, которые подразделяются на потери во внешних лобовых, активных и внутренних лобовых частях; механические и добавочные потери $P_{мех}$. Щит и корпус рассматриваются как связанные между собой элементы.

Для визуализации тепловых полей, а также для исключения погрешностей расчета, связанных с заменой распределенных проводимостей и источников теплоты на сосредоточенные, было проведено моделирование теплового поля в пакете ELCUT.

Для корректного теплового расчета необходимо учитывать движение воздуха внутри и снаружи машины и осуществляемый им теплоперенос. На основе результатов конечно-объемного моделирования теплового поля и поля скоростей потоков воздуха в FlowVision уточнены пути теплоотвода, рассчитаны коэффициенты теплоотдачи α , которые использованы в методах ЭТС и конечных элементов.

В результате проведенных аэродинамических и тепловых расчетов получены поля распределения температур в ТСГ (табл. 1), тепловых потоков, скоростей потоков воздуха внутри и снаружи ТСГ, обозначены достоинства и недостатки конструкции с точки зрения условий охлаждения, выработаны предложения по усовершенствованию конструкции ТСГ и улучшению теплового состояния.

Таблица 1. Сравнительные результаты тепловых расчетов

Элемент ТСГ	Средняя по объему температура, °С		
	Метод ЭТС	Моделирование в ELCUT	Моделирование в FlowVision
Сердечник статора	123.2	125.7	-
Катушка (нижняя лобовая часть)	119.0	114.8	115.2
Катушка (верхняя лобовая часть)	112.0	107.8	108.3
Левый магнит	74.3	68.8	64.2
Правый магнит		69.3	64.4
Левый индуктор	71.7	67.4	63.5
Правый индуктор		67.9	63.7
Левый щит	69.4	66.6	63.3
Правый щит		67.1	63.4
Неподвижный вал	-	66.0	64.5
Левый подшипник	-	65.4	64.0
Правый подшипник	-	66.1	63.7
Подвижный вал	-	64.1	44.0
Внутренний воздух	81.4	77.5	75.0
Окружающий воздух	-	43.3	41.7

Таким образом, выполнено численное моделирование движения воздушных потоков и теплового состояния магнитоэлектрического торцевого генератора, решена задача сопряженного конвективного теплообмена с учетом рассчитанного поля скоростей воздушных потоков, подогрева и теплоемкости теплоносителя.

Литература

1. Шишкин В. П. Автоматизированное проектирование торцевых магнитоэлектрических генераторов переменного тока: Учеб. пособие / ГОУ ВПО "ИГЭУ им. В.И. Ленина". Иваново, 2006. 68 с.
2. Игнатов В. И., Вильданов К.Я. Торцевые асинхронные двигатели интегрального изготовления. М.: Энергоатомиздат, 1988. 304 с: ил.
3. Сипайлов Г.А., Санников Д.И., Жадан В.А. Тепловые, гидравлические и аэродинамические расчеты в электрических машинах: Учеб. для вузов. М.: Высш. шк., 1989. 239 с.
4. Ши Д. Численные методы в задачах теплообмена: Пер. с англ. М.: Мир, 1988. 544 с.
5. ELCUT: Руководство пользователя / Препринт ПК TOP. С.-Петербург, 2007. 162 с.
6. Казаков Ю.Б. Конечно-элементное моделирование сопряженного теплообмена в электрических машинах // Вестник ИГЭУ. 2005. № 3. С. 38-42.

УДК.621.313

А.К. ГРОМОВ, к.т.н., профессор,
А.В. ЛИХАЧЕВА, ассистент
(ИГЭУ)

Уточненный анализ режима несимметричного асинхронного пуска явнополюсного синхронного двигателя при несимметрии в цепях статора

Как правило, электрические машины переменного тока работают в условиях несимметрии фазных цепей. Такие условия определяются режимами системы, в том числе аварийными, когда работа электромеханического преобразователя энергии необходима для обеспечения жизнеспособности энергетической установки.

Для правильного использования электрических машин необходимо уметь рассчитывать допустимую продолжительность данного несимметричного режима и величину длительной несимметрии.

Асинхронный пуск синхронного двигателя при несимметричных условиях остается малоизученным. Несимметрия представляется условиями на зажимах машины – несимметрия приложенных напряжений и несимметрия предвключенных сопротивлений.

Уточненный анализ асинхронного пуска явнополюсного синхронного двигателя сложен и при симметричных условиях, поскольку необходимо рассматривать многосвязанные в магнитном отношении контуры статора и ротора машины [1]. Асинхронный пуск обуславливает значительные и неравномерно распределенные токи в стержнях демпферной системы, соответствующие перегревы и деформации ее элементов.

Пуск при несимметричных условиях сопровождается явлениями, которые значительно усложняют его анализ. Здесь, в первую очередь, следует отметить влияние составляющих электромагнитного момента.

Несимметричные условия на зажимах обмотки статора являются причиной образования спектра временных гармонических токов в электрических контурах машины, поскольку токи статора прямой и обратной последовательностей порождают прямо и обратно вращающиеся поля, которые наводят в обмотках машины ЭДС соответствующих частот.

Ряды гармонических токов симметричных составляющих представлены частотами $k_s = 1 \mp 2k(1-s)$, а ряды токов составляющих прямого f и обратного b вращения – частотами, $k_r = 1 \mp (2k+1)(1-s)$ где, $k=0,1,2,\dots$, s – скольжение по основной гармонической прямо вращающегося поля.

Уравнения напряжений в координатных осях $d, q, 0$:

$$\|u\| + \|e\| = \{\|Z_H\| + \|Z_M\|\} \|i\|, \quad (1)$$

где сопротивления внешних цепей и машины:

$$\|Z_H\| = \left\| \begin{array}{ccc} Z_A(p) & 0 & 0 \\ 0 & Z_B(p) & 0 \\ 0 & 0 & Z_C(p) \end{array} \right\|, \quad (2)$$

$$\|Z_M\| = \left\| \begin{array}{ccc} Z_d(p) & -nx_q(p) & 0 \\ nx_d(p) & Z_q(p) & 0 \\ 0 & 0 & Z_0(p) \end{array} \right\|. \quad (3)$$

Сопrotивления нагрузки (2), представленные в исходной системе координат (А,В,С), зависят только от частоты токов. Эквивалентные сопротивления машины (3) рассчитываются с учетом действительной конструкции демпферной системы, насыщения стали на путях потоков рассеяния от токов этой системы, вытеснения тока и температуры. Здесь они записаны в системе координат d,q,0; n – текущее значение скорости вращения ротора.

При подстановке гармонических токов в (1), группировке слагаемых одинаковой частоты и приравнивании каждой группы нулю, получается система уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \dot{U}_{fk} &= \{ \xi_0 [j(k+n)] + r_{a(k+n)} + j(k+n)x_c \dot{I}_{fk} + \\ &+ j(k+n)x_{pf} (jk) \dot{I}_{bk} + \xi_2 [j(k+n)] \dot{I}_{b(k+2n)} + \\ &+ \xi_1 [j(k+n)] \dot{I}_{0(k+n)} \} \\ \dot{U}_{bk} &= \{ \xi_0 [j(k+n)] + r_{a(k-n)} + j(k-n)x_c \dot{I}_{bk} + \\ &+ j(k-n)x_{pb} (jk) \dot{I}_{fk} + \xi_1 [j(k-n)] \dot{I}_{f(k-2n)} + \\ &+ \xi_2 [j(k-n)] \dot{I}_{0(k-n)} \} \\ \dot{U}_{0k} &= \xi_2 (jk) \dot{I}_{f(k-n)} + \xi_1 (jk) \dot{I}_{b(k+n)} + [\xi'_0 (jk) + Z_0(jk)] \dot{I}_{0k} \end{aligned} \right\} (4)$$

Переменные в системе (4) представлены в координатах f,b,0; x_c и x_p – соответственно полусумма и полуразность частотных характеристик машины по продольной и поперечным осям; $\xi_{1,2,0}$ – комбинации параметров внешних цепей (уравнения (2)).

Решив систему, находим токи всех цепей машины, потокосцепления, частотные характеристики, составляющие электромагнитного момента, время пуска, перегревы обмоток. Анализ проводится в принятой в [1] системе о.е..

Литература

1. **Талалов И.И.** Параметры и характеристики явнополюсных синхронных машин.
– М.: Энергия, 1978. – 264 с.

УДК 621.316.433
УДК 621.31

А.И. ТИХОНОВ, д.т.н., профессор;
А.В. ИВАНОВ, соискатель,
(ИГЭУ)

Комбинированная модель токоограничивающего реактора из ленты

Одной из проблем расчета токоограничивающего реактора из ленты является расчет его параметров с учетом эффекта вытеснения тока. В [1, 2] рассмотрена модель фазной обмотки реактора с воздушным сердечником, на которой было показано, что вследствие вытеснения тока добавочные потери в обмотке могут в два и более раз превышать основные потери. Дальнейшее развитие данной модели предполагало возможность исследования с ее помощью взаимного влияния фазных обмоток друг на друга. Схема замещения трехфазного реактора, каждая обмотка которого состоит из NS концентров, разбитых условно на nK расчетных секций, приведена на рис. 1. Каждая секция в k -й колонке s -го слоя (концентра) m -й галеты представлена сопротивлением R_{skm} и наводимой в ней ЭДС

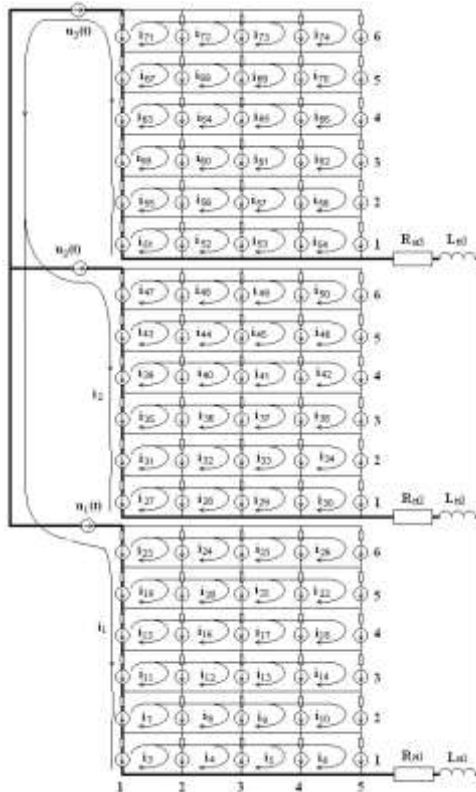


Рис. 1. Схема замещения реактора, состоящего из 3-х галет

$$e_{m,s,k} = -\frac{d\Psi_{m,s,k}}{dt} = -\sum_{q=1}^n \frac{\partial \Psi_{m,s,k}}{\partial i_q} \cdot \frac{di_q}{dt}, \quad (1)$$

где $\Psi_{m,s,k}$ - потокосцепление расчетной секции; i_q - ток q-го контура.

Расчет осуществляется методом контурных токов. Количество уравнений определяется как

$$n = (nk - 1) \cdot ns \cdot nf + nf - 1. \quad (2)$$

Первые $nf-1$ контуров проходят через источник ЭДС $U_m(t)$, первые секции каждого слоя m -й обмотки, источник ЭДС $U_{nf}(t)$ и первые секции каждого слоя последней nf -й обмотки. Другие контуры образованы первой ветвью слоя и остальными ветвями данного слоя катушки.

Для преобразования системы уравнений, описывающих схему замещения реактора (см. рис. 1), в символьный вид при нулевых начальных условиях воспользуемся заменой оператора дифференцирования

$p = \frac{d}{dt}$ символьным оператором $j\omega$. После преобразований система

уравнений принимает вид:

$$[Z] \cdot [i] = [\dot{U}], \quad (3)$$

где $[Z]$ – квадратная матрица полных сопротивлений; $[i]$ – вектор контурных токов; $[\dot{U}]$ – вектор правых частей.

Элементы матрицы $[\dot{U}]$ вычисляются как:

$$\dot{U}_p = \begin{cases} \dot{U}_p - \dot{U}_{nf} & \forall p < nf \\ 0 & \forall p \geq nf \end{cases} \quad (4)$$

Элементы матрицы $[Z]$ вычисляются как:

- при $p < nf$

$$\begin{aligned}
 Z_{p,q} = & \left| \sum_{s=1}^{ns} j\omega \left(\frac{\partial \Psi_{p,s,1}}{\partial i_q} - \frac{\partial \Psi_{nf,s,1}}{\partial i_q} \right) + \right. \\
 & + \left(j\omega L_{Hq} + R_{Hq} + \sum_{s=1}^{ns} R_{p,s,1} \right) \forall \{q | q = p\} + \\
 & + \left(j\omega L_{Hnf} + R_{Hnf} + \sum_{s=1}^{ns} R_{nf,s,1} \right) \forall \{q | q < nf\} + \\
 & + R_{nf,fs(q),1} \forall \{q | q > nf \wedge fm(q) = nf\} - \\
 & - R_{p,fs(q),1} \forall \{q | q > nf \wedge fm(q) = p\} \\
 & \left. \right| \quad (5)
 \end{aligned}$$

- при $nf \leq p < nf + (nf - 1)(nk - 1)ns$

$$\begin{aligned}
 Z_{p,q} = & \left| \frac{\partial \Psi_{fm(p),fs(p),fk(p)}}{\partial i_q} - \frac{\partial \Psi_{fm(p),fs(p),1}}{\partial i_q} + \right. \\
 & + R_{fm(p),fs(p),fk(p)} \forall \{q | q = p\} - \\
 & - R_{fm(p),fs(p),1} \forall \{q | q = fm(p)\} + \\
 & + R_{fm(p),fs(p),1} \forall \{q | fm(q) = fm(p) \wedge fs(q) = fs(p)\} \\
 & \left. \right| \quad (6)
 \end{aligned}$$

- при $p \geq nf + (nf - 1)(nk - 1)ns$

$$\begin{aligned}
 Z_{p,q} = & \left| \frac{\partial \Psi_{nf,fs(p),fk(p)}}{\partial i_q} - \frac{\partial \Psi_{nf,fs(p),1}}{\partial i_q} + \right. \\
 & + R_{nf,fs(p),fk(p)} \forall \{q | q = p\} + \\
 & + R_{nf,fs(p),1} \forall \{q | q < nf\} + \\
 & + R_{nf,fs(p),1} \forall \{q | fm(q) = nf \wedge fs(q) = fs(p)\} \\
 & \left. \right| \quad (7)
 \end{aligned}$$

Каждая фазная обмотка может быть разбита на сегменты, соединенные друг с другом параллельно. С точки зрения математического аппарата каждый сегмент может выступать в роли самостоятельной обмотки. Отличие расчета обмоток разных фаз состоит только в приложенном к ним напряжении. Поэтому приведенный математический аппарат применим для общего случая обмотки реактора, состоящего из nf отдельных сегментов.

В частности, данный аппарат был применен для расчета сегментированного реактора с чередующимися обмотками. При этом реактор содержит три фазы, каждая из которых разделена на два параллельно соединённых сегмента, расположенных соосно, чередуясь с сегментами других фаз так, что между двумя сегментами одной фазы находятся два сегмента других фаз. Благодаря применению сегментирования обмоток удается снизить влияние эффекта вытеснения тока, уменьшив на одну треть расход активных материалов.

Литература

1. **Тихонов А.И., Иванов А.В.** Использование библиотеки моделирования магнитного поля при расчете реактора из алюминиевой ленты. - "Вестник ИГЭУ", 2009, Вып. 3, с. 25-28.
2. **Тихонов А.И., Иванов А.В.** Расчет и производство токоограничивающих реакторов из алюминиевой ленты / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 116 с.

УДК 621.31

А.В. СТУЛОВ, аспирант,
А.И. ТИХОНОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Разработка разветвленной тепловой цепи обмоток из ленты

В настоящее время существует два подхода к тепловому расчету электромеханических устройств. Первый основан на методе тепловых цепей, второй – на численных методах расчета теплового поля. В последнем случае используется метод конечных элементов, предполагающий разбиение расчетной области на малые элементы и построение на основе этого разбиения системы алгебраических уравнений.

Полевые методы более точны, но время расчета больше по сравнению с цепными методами. В то же время метод тепловых цепей обычно дает большую погрешность.

Поэтому актуальной является задача разработки модели, которая может объединить достоинства обоих методов. Одним из перспективных путей можно считать метод, основанный на построении разветвленных электрических схем замещения тепловых процессов, рассчитываемых с использованием современных систем численного моделирования электрических цепей.

Разветвленные тепловые цепи позволяют получить решение, приближающееся по точности к полевым методам. В то же время они позволяют более удачно, чем в полевых методах, учесть имеющиеся симметрии, снизив порядок системы уравнений, к которой сводится задача.

Принцип построения разветвленной тепловой цепи рассмотрим на примере обмотки токоограничивающего реактора из ленты (рис. 1). Представим обмотку в виде N концентр, разделенных воздушными каналами, разбитых мысленно на M сегментов, каждое из которых состоит из W витков. При протекании тока в сегменте выделяется тепло, количество которого можно рассчитать по методике, изложенной в [1].

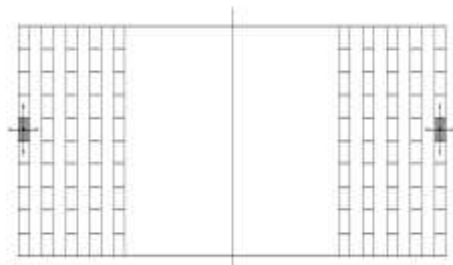


Рис.1. Эскиз катушки реактора

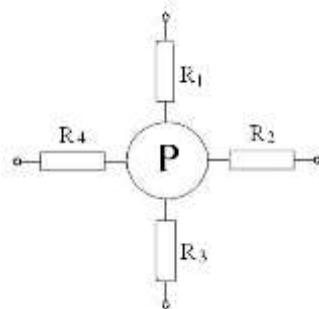


Рис.2. Элемент разветвленной тепловой цепи.

Сегмент можно представить в виде источника теплотерь P и совокупности тепловых сопротивлений (рис. 2), которые вычисляются как:

$$R_1 = R_3 = \frac{h}{2\lambda_{Al} S_{Al}}, \quad (1)$$

$$R_2 = \frac{b}{\lambda_r (S_c - S_b)} + \frac{1}{\alpha S_b}, \quad (2)$$

$$R_4 = \frac{b}{\lambda_r (S_c + S_n)} + \frac{1}{\alpha S_n}, \quad (3)$$

где h – высота кольца; λ_{Al} – удельная теплопроводность алюминия; $S_{Al} = \pi D \delta_{Al} W$ – площадь алюминия в радиальном сечении концентр; δ_{Al} – толщина алюминиевой ленты; D – средний диаметр концентр; b – толщина концентр; $S_c = \pi D h$ – поверхность сегмента по среднему диаметру; S_b – внутренняя поверхность охлаждения сегмента; S_n – наружная поверхность охлаждения сегмента. Так как концентр состоит из чередующихся слоев алюминия и изоляции, то его удельную теплопроводность в радиальном направлении находим как теплопроводность слоеного тела

$$\lambda_r = \frac{b}{\frac{w \cdot \delta_{Al}}{\lambda_{Al}} + \frac{(w+1) \cdot \delta_{ins}}{\lambda_{ins}}}, \quad (4)$$

где δ_{ins} – толщина изоляции; λ_{ins} – удельная теплопроводность изоляции.

Учет свободной конвекции в канале проводится с помощью теплового сопротивления

$$R_k = \frac{h}{\lambda_{экр} S_k}, \quad (5)$$

где эквивалентный коэффициент теплопроводности вычисляется как

$$\lambda_{экр} = \lambda_f \varepsilon_k = \lambda_f \cdot \begin{cases} 1 \forall Ra_f < 10^3, \\ 0,105 \cdot Ra_f^{0,3} \forall 10^3 < Ra_f < 10^6, \\ 0,4 \cdot Ra_f^{0,2} \forall 10^6 < Ra_f < 10^{10}. \end{cases} \quad (6)$$

Здесь ε_k – коэффициент конвекции – поправка, учитывающая усиление теплообмена вследствие свободной конвекции; λ_f – табличное значение коэффициента теплопроводности текучей среды; S_b – сечение охлаждающего канала.

Коэффициент конвекции определяется величиной критерия Рэлея:

$$Ra = Gr \cdot Pr, \quad Pr = \frac{\nu}{a}, \quad Gr = \frac{g \cdot R^3}{\nu^2} \beta \cdot \Delta T, \quad (7)$$

где Pr – критерий Прандтля (приводится в справочниках в зависимости от температуры); Gr – критерий Грасгофа; ν и a – характеристики молекулярного переноса импульса и теплоты; g – ускорение свободного падения; R – определяющий размер (в нашем случае $R=H$); ΔT – модуль разности температур между стенкой и флюидом; β – коэффициент объемного расширения флюида; ν – кинематический коэффициент вязкости.

Теплопотери P в каждом сегменте корректируются с учетом тепловых потоков за счет лучеиспускания по методике, изложенной в [2].

Элемент разветвленной тепловой цепи, включающий в себя два концентратора, разделенных воздушным каналом (рис. 3,а), представлен на рис.3,б; на рис. 3,в приведена электрическая схема замещения данной тепловой цепи, которая строится и рассчитывается в среде Simulink.

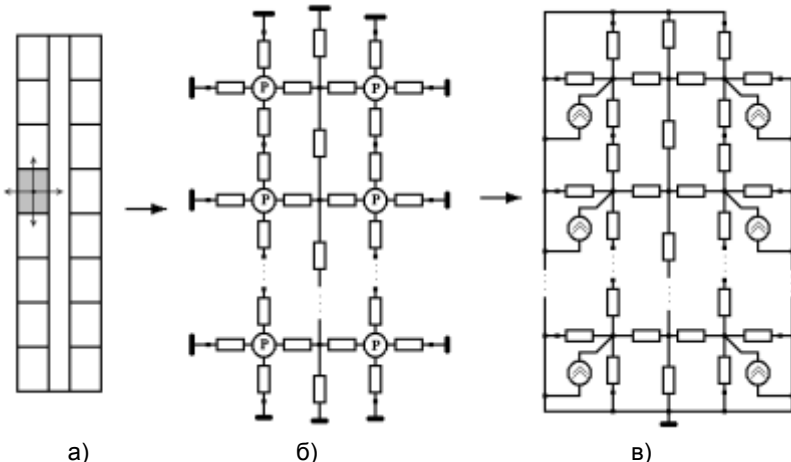


Рис.3. Два концентрических обмотки реактора из ленты (а), элемент разветвленной тепловой цепи (б) и электрическая схема замещения тепловых процессов (в)

Литература

1. Тихонов А.И., Иванов А.В. Расчет и производство токоограничивающих реакторов из алюминиевой ленты / ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 116 с.
2. Руководящий документ РД16 472-88. Трансформаторы сухие общего назначения. Тепловой расчет / Разработчики: С.И. Сисуненко, Ю.С. Гитин, В.В. Боднар, Е.Ф. Иванков, М.С. Барбеицкая. – 1980. – 44 с.

УДК 621.313

Д.В. РУБЦОВ, ст. преподаватель
А.И. ТИХОНОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Усовершенствование конструкции магнитоэлектрического однофазного ветрогенератора на основе анализа физических полей

Использование ветроустановок для получения электрической энергии делает задачу создания простого в эксплуатации генератора актуальной. Основным требованием также является технологичность процесса изготовления и невысокая стоимость ветрогенератора торцевой конструкции.

Для ветрогенератора была разработана методика моделирования физических процессов с прямым обращением к библиотеке конечно-

элементного расчета магнитного поля. На первом этапе происходит предварительный расчет геометрии и параметров ветрогенератора по инженерной методике, основанной на приближительном расчете магнитного поля по средней силовой линии. Для новых конструкций электрических машин такой расчет может нести в себе существенную погрешность.

Данные, полученные по инженерной методике, являются входными параметрами для подсистемы генерации конечно-элементной модели. Меняя параметры, например, количество зубцов и полюсов, а также их размеры, можно получать и исследовать модели серии однотипных устройств. Отдельным параметром задавалось положение ротора относительно статора (угол поворота). Конечно-элементная модель представляет собой двухмерную развертку торцевой машины по средней цилиндрической поверхности.

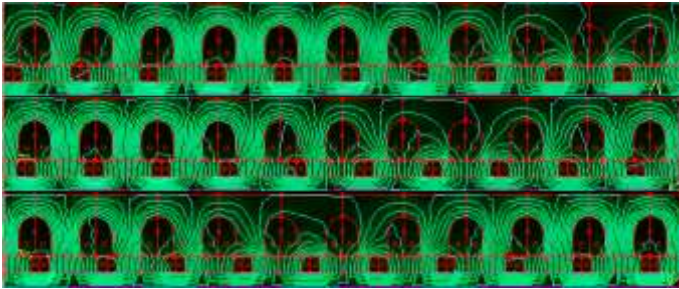


Рис. 1. Изменение КЭ модели и картины магнитного поля при перемещении ротора

На следующем этапе происходит перемещение определенных массивов модели относительно друг друга. Таким образом, организуется процесс вращения ротора, при этом перегенерации подвергается область воздушного зазора и ротора (рис. 1). Снова происходит расчет магнитного поля, результаты поступают на вход подсистемы обработки данных и вход системы перегенерации конечно-элементной модели.

Совершив ряд итераций, получаем полную динамическую картину магнитного поля генератора в режиме холостого хода. При этом расчет по этой методике будет учитывать не только фактор нелинейности магнитных характеристик стали и взаимовлияние магнитных полей, создаваемых различными обмотками и постоянными магнитами, но и конструктивные особенности активной области машины.

Процедуры, позволяющие организовать численный эксперимент, реализованы в средах MatLab и MathCad с использованием подключаемой библиотеки конечно-элементного моделирования, разработанной на кафедре Электромеханики ИГЭУ.

С использованием модели было проведено исследование зависимости числа катушек и способов их укладки на выходное напряжение генератора. Серия численных экспериментов проводилась для 6 и 10 полюсной машины с соответствующими числами пазов на статоре 4-11 для 6 полюсов и 9-14 для 10 полюсов (рис. 2). Для каждого шага определялась величина потокосцепления обмотки статора с полем ротора - ψ . В результате формировалась кривая зависимости $\psi(\alpha)$, где α – угол поворота ротора. Численное дифференцирование кривой $\psi(\alpha)$ дает величину ЭДС, наводимую в обмотках статора.

В частности, на рис. 2-3. приведены картины изменения потокосцеплений и ЭДС однофазного генератора при различных сочетаниях количества пазов статора и полюсов ротора. Анализ этих картин позволяет определить оптимальное сочетание пазов статора и полюсов ротора с точки зрения отсутствия эффекта «магнитного залипания» и величины ЭДС, наводимой в обмотке статора.

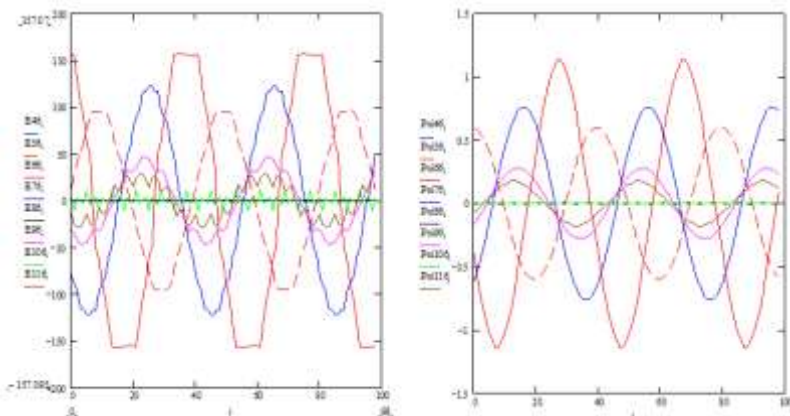


Рис. 2. Кривые изменения ЭДС и потокосцепления для 4,5,6,7,8,9,10,11 пазов и 6 полюсов

С применением результатов методики проведения численного эксперимента была откорректирована и распространена на широкий класс задач (высокоскоростные генераторы, конструкция генератора с полюсами на роторах по обеим сторонам статора, конструкция генератора с гладким статором) инженерная методика расчета.

Работа развивается в направлении совмещения конечно-элементной модели и модели электрической цепи (с использованием пакета Simulink). Это позволит провести численные эксперименты в режимах работы под нагрузкой, короткого замыкания и т.д.

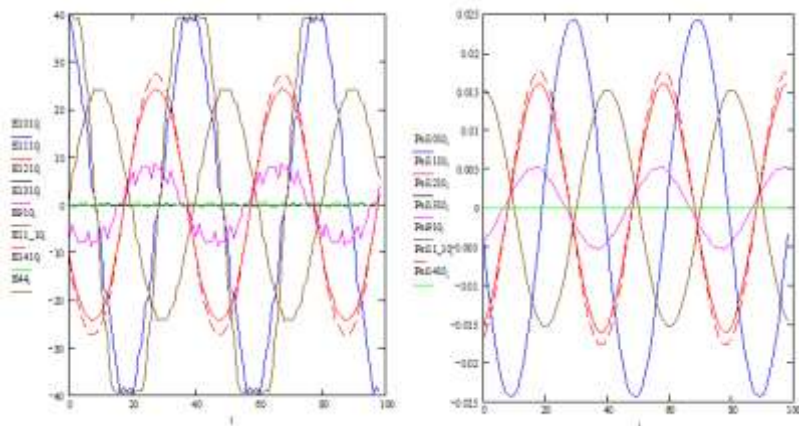


Рис. 3. Кривые изменения ЭДС и потокосцепления для 9,10,11,12,13,14,15 пазов и 10 полюсов

Моделирование работы генератора в динамических режимах ставит также задачу расчета квазистационарного магнитного поля с в устройствах с постоянными магнитами с учетом вихревой составляющей и гистерезиса. Разрабатывается комбинированная модель, позволяющая совмещать расчеты статического магнитного поля без учета вихревой составляющей с электрическими схемами замещения массивных сред.

Использование многопроцессорной техники (или графических процессоров CUDA) поможет ускорить процесс расчета конечно-элементной модели и провести работы по оптимизации геометрии машины.

УДК 621.313

И. М. ЛАШМАНОВ, ст. преподаватель,
А.И. ТИХОНОВ, д.т.н.,
Ю.Б. КАЗАКОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Моделирование коммутации коллекторных электрических машин в динамических режимах работы

Коммутационная надежность остается основной проблемой коллекторных машин (КМ), работающих в динамических режимах, с перегрузками, с частыми включениями и реверсированиями, особенно для неявнополюсных машин постоянного тока (НП МПТ) с распределенными обмотками индуктора и при работе на переменном токе.

Актуальной является задача расчета ЭДС в коммутируемых секциях с учетом особенностей конструкции КМ. Перспективным методом расчета является комбинирование численных моделей электрической цепи и магнитного поля машины, где модель поля используется для расчета параметров электрической цепи на каждом шаге интегрирования ее по времени. При этом основная сложность, возникающая при моделировании коммутации, состоит в постоянном изменении схемы электрической цепи в ходе расчетного процесса, вызванном переключениями секций ОЯ на коллекторе при его перемещении.

Для расчета параметров электрической цепи КМ использована динамически подключаемая библиотека конечно-элементного моделирования магнитного поля. С помощью этих функций в среде MathLab организована численная модель процессов коммутации.

Электрическая схема замещения КМ с учетом коммутации при числе пар полюсов $p = 2$ в общем случае представлена на рис. 1.

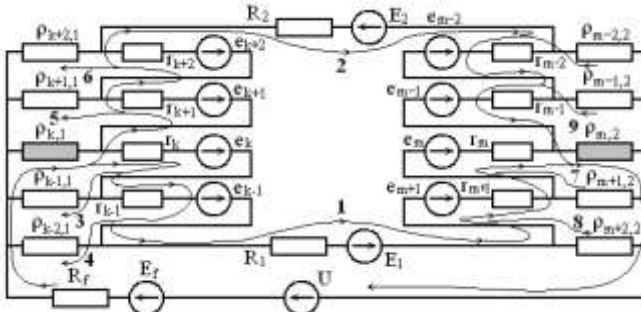


Рис. 1. Схема замещения КМ (R_1, R_2 – сопротивления параллельных ветвей обмотки якоря; E_1, E_2 – ЭДС, наводимые в параллельных ветвях ОЯ; $\rho_{i,g}$ – сопротивление контакта между i -й коллекторной пластинкой и щеткой из g -й группы; I_s, e_s – сопротивление и ЭДС s -й секции; R_f, E_f – сопротивление и ЭДС обмотки возбуждения; U – напряжение сети)

Так как по мере поворота якоря электрическая цепь КМ перестраивается, система дифференциальных уравнений, описывающих динамику машины, должна формироваться на каждом шаге интегрирования.

Алгоритм формирования системы дифференциальных уравнений включает следующие шаги:

1. Формирование списков P_g пластин коллектора, перекрываемые щетками (в простой волновой обмотке все щетки, чередуясь, делятся на две группы по p щеток в каждой).
2. Формирование списков C_g секций, замкнутых щетками g -й группы накоротко.
3. Формирование списков B_v номеров секций, входящих в параллельные ветви ОЯ (простая волновая ОЯ содержит две ветви).
4. Два первых контура (по методу контурных токов) проходят через контакты с наименьшим сопротивлением $\rho_{k,1}$ и $\rho_{m,2}$, определяемых по спискам P_g , источник напряжения U и параллельные ветви ОЯ (см. рис. 4).
5. Остальные контуры проводятся в пределах каждой щеточной группы сопротивления $\rho_{k,1}$ или $\rho_{m,2}$ и остальные контакты данной группы. Направление каждого контура выбирается так, чтобы в контактах $\rho_{k,1}$ и $\rho_{m,2}$ оно совпадало с направлением контуров 1 и 2. Количество таких контуров n_g в пределах каждой g -й щеточной группы равно количеству короткозамкнутых секций в g -й группе, номера которых сохранены в списках C_g .
6. Короткозамкнутые секции в каждой группе делятся на две подгруппы C_{gv} с количеством элементов n_{gv} , хранящие номера секций, расположенных по отношению к сопротивлениям $\rho_{k,1}$ и $\rho_{m,2}$ со стороны v -х ветвей ОЯ (рис. 4).
7. Формирование списков номеров контуров K_{gv} , образованных секциями из списка C_{gv} .
8. Формирование подмножеств K_{gvs} списков K_{gv} , из которых исключаются первые $s'-1$ элементов, где s' – порядковый номер, с которым контурообразующая секция s присутствует в списках C_{gv} и K_{gv} .
9. Формирование подмножеств C_{gvs} , состоящих из первых s' элементов списка C_{gvs} .

Для расчета ЭДС секций используется конечно-элементное моделирование магнитного поля, функции которой используются непосредственно в алгоритме интегрирования системы уравнений динамики КМ. Значения токов в секциях и обмотке возбуждения, а также угол поворота якоря берутся из расчета системы уравнений. После расчета магнитного поля библиотека возвращает потокоцепления секций и обмотки возбуждения.

Расчет матрицы правых частей F и матрицы коэффициентов M осуществляется на каждом t -м шаге цикла интегрирования.

Алгоритм интегрирования состоит из следующих шагов:

1. Определенные на t -м шаге интегрирования контурные токи пересчитываются в токи в цепи ОЯ, параллельных ветвей ОЯ и коммутирующих секций.
2. Рассчитываются элементы вектора правых частей F .
3. Значения токов пересылаются в полевую модель, рассчитывается магнитное поле, определяются потокосцепления ОВ и всех секций ОЯ на t -м шаге интегрирования, основной поток.
4. Каждому контурному току дается приращение. Рассчитывается магнитное поле и в секциях ОЯ и в ОВ определяются приращения потокосцеплений. Рассчитываются элементы матрицы коэффициентов M .
5. Якорь поворачивается на угол $\Delta\alpha$ при неизменных контурных токах, вновь рассчитывается магнитное поле, и определяются приращения потокосцеплений секций и ОВ. Рассчитываются элементы матрицы M .
6. Рассчитывается вектор производных по времени от интегрируемых величин. Определяется вектор интегрируемых величин.
7. Элементы вектора интегрируемых величин пересчитываются в реальные величины, характеризующие процессы на $t+\Delta t$ -м шаге интегрирования.
8. Рассчитывается электромагнитный момент.
9. Процесс повторяется, начиная с пункта.

Приведенный математический аппарат позволяет осуществить расчет динамического режима КМ с учетом процессов в коммутирующих секциях, особенностей конструкции магнитной системы и формы питающего напряжения.

В среде MatLab разработана программа, позволяющая формировать и решать систему дифференциальных уравнений, описывающих динамику КМ с учетом процессов коммутации. Индуктивные параметры секций находятся из расчета магнитного поля. Потокосцепление секции определяется углом поворота ротора, токами якоря в параллельных ветвях, возбуждения и коммутируемых секций. Расчет поля и переформирование системы осуществляется на каждом шаге интегрирования. Для отладки алгоритма расчета разработана подсистема, позволяющая в интерактивном режиме визуально проверять правильность формирования всех списков.

Разработка версии метода Монте-Карло для моделирования теплового поля

Датой рождения метода Монте-Карло принято считать 1949 г., когда американские ученые Н. Метрополис и С. Улам опубликовали статью «Метод Монте-Карло», в которой систематически его изложили. Название метода связано с названием города Монте-Карло, где в игорных домах играют в рулетку – одно из простейших устройств для получения случайных чисел, на использовании которых основан этот метод. Широкое распространение метод Монте-Карло получил только после появления быстродействующих вычислительных машин. Программы для расчётов по методу Монте-Карло на ЭВМ сравнительно просты и, как правило, позволяют обходиться без большого объема оперативной памяти. С развитием компьютерной техники и появлением высокопроизводительных процессоров расчеты становились все значительней.

Так как одной из наиболее распространенных версий метода Монте-Карло является метод блужданий по сетке, наиболее естественным приложением этого метода является моделирование тепловых полей путем имитации их потоком виртуальных частиц, осуществляющих броуновское движение. В настоящее время такой подход к моделированию тепловых полей не получил должного развития. Рассмотрим процесс теплообмена путем теплопроводности.

Согласно основному закону теплопроводности количество тепла Q , передаваемого за единицу времени через произвольную изотермическую поверхность S_0 , пропорциональна антиградиенту температуры \mathcal{G} :

$$\bar{q} = \frac{d\bar{Q}}{dS_0} = -\lambda \bar{\nabla} \mathcal{G} = -\lambda \left(\frac{\partial \mathcal{G}}{\partial x_0} \bar{i} + \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial y_0} \bar{j} + \frac{\partial \mathcal{G}}{\partial z_0} \bar{k} \right), \quad (1)$$

где \bar{q} – плотность теплового потока; λ – удельная теплопроводность материала; x_0, y_0, z_0 – размеры в системе координат оригинала.

В свою очередь тепловой поток определяется теплотермиями dP в данной элементарной области dV_0 , которые распространяется по всем направлениям от этой области. Если задано распределение плотности теплотермия по объему

$$p = \frac{dP}{dV_0}, \quad (2)$$

то для данной области оригинала V_0 справедлива теорема Гаусса для тепловых процессов:

$$P = \int_{V_0} p dV_0 = \iint_{S_0} \vec{q} dS_0, \quad (3)$$

или в дифференциальной форме

$$p = \vec{\nabla} \cdot \vec{q} = \frac{\partial q_x}{\partial x_0} + \frac{\partial q_y}{\partial y_0} + \frac{\partial q_z}{\partial z_0}. \quad (4)$$

Уравнение броуновского движения виртуальных частиц в дифференциальной форме имеет следующий вид:

$$\vec{\varphi} = -\eta \vec{\nabla} p = -\eta \left(\frac{\partial p}{\partial x_m} \vec{i} + \frac{\partial p}{\partial y_m} \vec{j} + \frac{\partial p}{\partial z_m} \vec{k} \right), \quad (5)$$

где $\vec{\varphi}$ – плотность потока частиц; p – плотность частиц в элементарной области dV ; η – коэффициент проницаемости среды; x_m, y_m, z_m – линейные размеры в модельной системе координат. При этом

$$p = \frac{1}{dV_m} \sum_{i=1}^{dN} G_i, \quad (6)$$

где G_i – вес i -й частицы, находящейся в области модели dV_m , dN – количество частиц в области модели dV_m .

Проницаемость среды η определяет вероятность перехода частицы из одной подобласти с проницаемостью η_1 в другую с проницаемостью η_2 . Если $\eta_1 \leq \eta_2$, то частица свободно делает шаг в выбранном направлении. Если $\eta_1 > \eta_2$, то частица переходит во вторую среду лишь с вероятностью η_2 / η_1 .

Плотность потока частиц можно вычислить как

$$\vec{\varphi} = \frac{1}{dt \cdot dS_m} \left(\sum_{i=1}^{dN_+} G_i - \sum_{i=1}^{dN_-} G_i \right) \vec{n}, \quad (7)$$

где dN_+ – количество частиц, прошедших через элементарную поверхность dS_m за время dt в направлении нормали \vec{n} к поверхности dS_m ; dN_- – количество частиц, прошедших через элементарную поверхность dS_m за время dt в направлении, обратном к направлению нормали \vec{n} ; G_i и G_j – веса частиц, проходящей через поверхность dS_m .

В свою очередь поток частиц определяется заданной удельной скоростью зарождения частиц

$$\dot{G} = \frac{dn}{dt} = \frac{dN \cdot G}{dt \cdot dV_m}, \quad (8)$$

равной количеству частиц dN , нарождающихся в единицу времени в каждой элементарной области, отнесенному к объему области dV_m .

Таким образом, для заданной области V_m справедлива теорема Гаусса для потока виртуальных частиц

$$\Phi = \int_{V_m} \dot{G} dV_m = \iiint_{S_m} \vec{\varphi} dS_m, \quad (9)$$

или в дифференциальной форме

$$\dot{G} = \vec{\nabla} \cdot \vec{\varphi} = \frac{\partial \varphi_x}{\partial x_m} + \frac{\partial \varphi_y}{\partial y_m} + \frac{\partial \varphi_z}{\partial z_m}. \quad (10)$$

Уравнение (1) изоморфно с уравнением (5), уравнение (4) изоморфно с уравнением (10). Введем масштабные коэффициенты:

$$m_q = \frac{\varphi}{q}, \quad m_\lambda = \frac{\eta}{\lambda}, \quad m_g = \frac{\rho}{g}, \quad m_p = \frac{\dot{G}}{p}, \quad m_l = \frac{x_m}{x_o} = \frac{y_m}{y_o} = \frac{z_m}{z_o}. \quad (11)$$

Из анализа уравнений (1), (5), (4) и (10) следует, что два явления – теплопередача и диффузия виртуальных частиц – будут подобны при выполнении следующих условий:

$$\frac{m_\lambda m_g}{m_q m_l} = 1, \quad \frac{m_q}{m_p m_l} = 1. \quad (12)$$

Из анализа размерностей следует, что три масштабных коэффициента можно выбрать произвольно, например m_λ , m_p , m_l . Оставшиеся два коэффициента можно вычислить как

$$m_g = \frac{m_p m_l^2}{m_\lambda}, \quad m_q = m_p m_l. \quad (13)$$

Каждая подобласть модели геометрически подобна соответствующим подобластям оригинала. В расчетной области модели задаются подобласти, соответствующие источникам теплотерьер оригинала. Фиксируя потоки виртуальных частиц и плотности их распределения, в соответствии с выражениями (11) можно рассчитать значения тепловых потоков и температур в локальных областях оригинала.

Теплообмен между поверхностью твердого тела с температурой ϑ_n и охлаждающей средой с температурой $\vartheta_{охл}$ описывается законом:

$$q_{то} = \alpha(\vartheta_n - \vartheta_{охл}), \quad (14)$$

где α – коэффициент теплоотдачи с поверхности. Данный процесс имитируется путем лимитирования количества частиц, способных выйти за пределы твердого тела в пределах текущего такта времени:

$$\varphi_{\text{то}} = \frac{1}{dt \cdot dS_m} \sum_{i=1}^{dN_{\text{то}}} G_i \leq m_q \cdot \alpha(\vartheta_n - \vartheta_{\text{охл}}), \quad (15)$$

где $dN_{\text{то}}$ – количество частиц, которым разрешается выйти за пределы твердого тела через элементарную поверхность dS_m за время dt .

УДК 519.24

А.С. ШМЕЛЕВ, аспирант,
А.И. ТИХОНОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Разработка версии метода Монте-Карло для моделирования двумерного магнитного поля на треугольной сетке

В математике существует направление, связанное с методом Монте-Карло, основанное на использовании теории вероятностей при решении задач физики. Его преимущество проявляется при решении задач большой размерности. Особую актуальность этот метод приобретает в связи с развитием многопроцессорной вычислительной техники. Моделирование по методу Монте-Карло строится на совокупности правил, регламентирующих поведение элементов модели во времени.

Рассмотрим версию метода Монте-Карло для расчета двумерного магнитного поля.

Предположим, что в сечении проводника с плотностью тока j (рис. 1) за время dt в каждой элементарной области dS рождается dN частиц, каждая из которых имеет вес G_i и движется в дальнейшем хаотично с постоянным шагом в плоскости расчетной области. Тогда скорость нарастания плотности частиц в проводнике

$$\dot{G} = \frac{1}{dt dS} \sum_{i=1}^{dN} G_i = m_i j, \quad (1)$$

где m_i – масштаб по току. Под весом частицы понимается изначально заданный коэффициент, учитывающий величину тока в проводнике. В двумерной задаче вес может быть положительным или отрицательным в зависимости от направления тока, породившего частицу.

Поток частиц через участок контура dL определится как

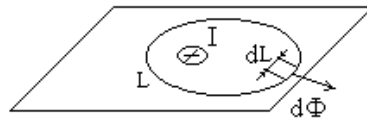


Рис. 1. Имитация магнитного поля

$$d\Phi = \bar{\varphi} d\bar{L} = \frac{1}{dt dL} \left(\sum_{i=1}^{dN_+} G_i - \sum_{j=1}^{dN_-} G_j \right) \bar{n} d\bar{L} = \frac{1}{dt} \left(\sum_{i=1}^{dN_+} G_i - \sum_{j=1}^{dN_-} G_j \right), \quad (2)$$

где $\bar{\varphi}$ – плотность потока частиц через участок контура dL ; dN_+ – количество частиц, выходящих за пределы контура через участок dL за время dt ; dN_- – количество частиц, входящих в контур через данный участок за это же время; \bar{n} – вектор нормали к участку контура dL .

Поток частиц через контур L описывается теоремой Гаусса:

$$\Phi = \oint_L \bar{\varphi} d\bar{L} = \frac{1}{dt} \left(\sum_{i=1}^{N_+} G_i - \sum_{j=1}^{N_-} G_j \right) = \int_S \dot{G} dS, \quad (3)$$

где N_+ – количество частиц, выходящих за пределы контура L за время dt ; N_- – количество частиц, входящих в контур L за это же время; S – площадь контура, охваченного контуром L .

Для уменьшения погрешности, связанной с аппроксимацией границ раздела сред воспользуемся треугольной аппроксимацией расчетной области. В пределах треугольного элемента индукция, напряженность магнитного поля, магнитная проницаемость и плотность тока считаются постоянными. Рассмотрим элементарный треугольный участок площадью S_Δ . Выражение (3) для него принимает вид:

$$\frac{1}{dt} \sum_{k=1}^3 \left(\sum_{i=1}^{dN_{k+}} G_i - \sum_{j=1}^{dN_{k-}} G_j \right) = \dot{G}_\Delta S_\Delta, \quad (4)$$

где k – номер стороны треугольного элемента.

Магнитное поле в двухмерной задаче описывается уравнением:

$$\oint_L \bar{H} d\bar{l} = \int_S j dS, \quad (5)$$

где H – напряженность магнитного поля; j – плотность тока.

Для элементарной треугольной области (5) принимает вид

$$\sum_{k=1}^3 H_{Lk} L_k = j_\Delta S_\Delta, \quad (6)$$

где L_k – длина k -й стороны треугольного элемента; H_{Lk} – проекция вектора напряженности магнитного поля на данную сторону треугольника; j_Δ – плотность тока в элементе.

Уравнения (4) и (6) изоморфны. Условие подобия в нашем случае сводится к требованию выполнения отношения

$$\frac{m_H m_l}{m_i} = 1. \quad (7)$$

Здесь $m_H = \varphi/H$, $m_l = \dot{G}/j$ и $m_i = L_m/L_o$ – масштабные коэффициенты; L_m и L_o – линейные размеры в модели и оригинале. Двое из мас-

штабов могут быть выбраны произвольным образом, например, m_i и m_j . Тогда масштаб по напряженности магнитного поля m_H находится из (7).

Определив из модели поток виртуальных частиц через k -ю сторону треугольника можно вычислить напряженность магнитного поля:

$$H_{Lk} = \frac{\varphi_k}{m_H} = \frac{1}{m_H} \frac{1}{dt \cdot L_k} \left(\sum_{i=1}^{dN_{k+}} G_i - \sum_{j=1}^{dN_{k-}} G_j \right). \quad (8)$$

Задав $u_m = 0$, расставим значения скалярного магнитного потенциала u в вершинах треугольного элемента (рис. 2):

$$u_n = u_m + \left(H_{mn} - \frac{j_{\Delta} S_{\Delta}}{P_{\Delta}} \right) L_{mn}, \quad u_k = u_m - \left(H_{km} - \frac{j_{\Delta} S_{\Delta}}{P_{\Delta}} \right) L_{km}, \quad (9)$$

где P_{Δ} – периметр треугольника.

Напряженность магнитного поля в пределах треугольника определяется как

$$\vec{H}_{\Delta} = -\vec{\nabla} u, \quad (10)$$

$$H_{\Delta x} = -\frac{\partial u_{\Delta}}{\partial x} = -\frac{1}{2S_{\Delta}} \sum_{i=1}^{i=3} c_{\Delta i} u_{\Delta i},$$

$$H_{\Delta y} = -\frac{\partial u_{\Delta}}{\partial y} = -\frac{1}{2S_{\Delta}} \sum_{i=1}^{i=3} b_{\Delta i} u_{\Delta i}. \quad (11)$$

Здесь площадь треугольника

$$S_{\Delta} = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^{i=3} a_{\Delta i}, \quad (12)$$

$u_{\Delta i}$ – значение скалярного магнитного потенциала в i -м угле треугольника; коэффициенты $a_{\Delta i}$, $b_{\Delta i}$ и $c_{\Delta i}$ определяются координатами i -го угла треугольника $x_{\Delta i}$, $y_{\Delta i}$ (углы нумеруются против часовой стрелки):

$$a_{\Delta i} = x_{\Delta j} y_{\Delta k} - x_{\Delta k} y_{\Delta j}, \quad b_{\Delta i} = y_{\Delta j} - y_{\Delta k}, \quad c_{\Delta i} = x_{\Delta k} - x_{\Delta j},$$

$$j = \begin{cases} i + 1 \forall i + 1 \leq 3 \\ i - 2 \forall i + 1 > 3 \end{cases}, \quad k = \begin{cases} i + 2 \forall i + 2 \leq 3 \\ i - 1 \forall i + 2 > 3 \end{cases}. \quad (13)$$

Система расчета магнитного поля имитирует поток частиц, излучаемых областями с током. После завершения всех переходных процессов фиксируются потоки частиц в элементарных областях модели, на основании чего по (8)-(11) рассчитываются напряженности магнитного поля.

При переходе частицы с весом $G_{исх}$ из i -го элемента с магнитной проницаемостью μ_i в j -й элемент с проницаемостью $\mu_j > \mu_i$, она делится на две частицы, весом

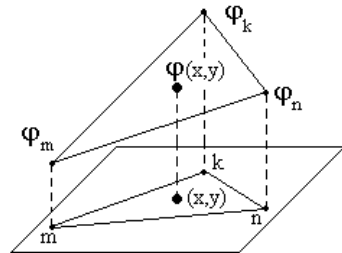


Рис. 2. Линейная аппроксимация поля треугольными элементами

$$G_j = \frac{G_{\text{исх}} \mu_i}{\mu_j}, \quad G_i = G_{\text{исх}} - G_j. \quad (14)$$

Частица с весом G_i остается в i -м элементе, а частица с весом G_j переходит в j -й элемент. При $\mu_j \leq \mu_i$ частица свободно переходит из i -го элемента в j -й. Величина магнитной проницаемости μ в каждом элементе рассчитывается исходя из величины H_Δ , рассчитанной по (10)-(11).

Граничные условия Дирихле реализуются, когда частицы выходят за границы расчетной области. Граничные условия Неймана соответствуют непроницаемой для частиц границ расчетной области.

Следует отметить, что в отличие от метода конечных элементов разбиение расчетной области на треугольные элементы необходимо осуществлять только для нелинейных сред, магнитная проницаемость которых меняется от одной точки к другой. Линейные среды триангулировать необязательно.

УДК 519.688

И.А. КОПНЕВ, студент,
А.И. ТИХОНОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Разработка виртуального стенда для моделирования электрических цепей

В настоящее время для изучения процессов, происходящих в различных сферах деятельности человека, нарастает тенденция использования виртуальных аналогов реальных систем. Это связано, как с вопросами удобства, скорости и эффективности, так и с точки зрения экономической эффективности. Одной из таких задач является виртуализация процесса создания и расчета электрических цепей.

Электрическая цепь представляет собой совокупность приборов, которые имеют по несколько клемм, благодаря которым они соединяются в некотором порядке посредством электрических проводов. Электрические приборы могут быть различными по размерам, функциям, сложности внутреннего представления. Но любую электрическую цепь можно свести к модели, которая будет заключать в себе совокупность связанных элементов пяти базовых типов: источника тока, источника ЭДС, емкости, индуктивности и сопротивления. Такая модель, составленная лишь из базовых элементов, трудна для восприятия человеком ее реального прототипа. В связи с этим, при создании виртуального стенда, предлагается разделение моделей на физическую, визуальную и математическую модели.

Визуальная модель представляет собой виртуальный планшет, на который помещаются приборы, приближенные по внешнему виду к реальным: резистор, реостат, источник тока, конденсатор, измерительный прибор и др. Визуальные приборы имеют клеммы, через которые они связываются друг с другом при помощи электрических проводов. У визуальных приборов можно менять настройки, задавать значения параметров, менять способ отображения, включать и их в электрическую цепь и удалять из нее.

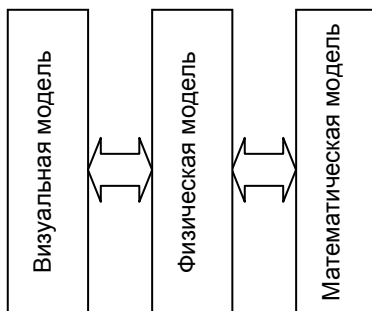


Рис. 1. Архитектура системы

Физическая модель является совокупностью элементов пяти базовых типов, связанных между собой. Физическая модель образуется при создании визуальной модели, за счёт эквивалентных схем замещения. Так, например, реостат представляет собой два сопротивления, однофазный трансформатор – две индуктивно связанные катушки индуктивности. Подобным образом можно представить любой прибор, в том числе и электрические машины.

Математическая модель строится для непосредственного расчета электрической цепи. При ее построении проводится анализ на подцепи (на одном стержне могут быть несколько несвязанных между собой цепей), выделение ветвей, построение матрицы соединений, на основе которой формируется система обыкновенных дифференциальных уравнений, описывающих динамику процессов в электрической цепи. Аналогичным образом анализируются механические цепи, построенные из каскадов соосных электромеханических устройств.

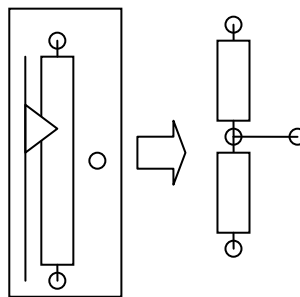


Рис.2. Схема замещения реостата (пример)

При организации архитектуры системы подобным образом, она становится гибкой и легко расширяемой. Допускается как добавление новых методов и способов расчета, так и создание новых приборов, при минимальном изменении структуры системы. Расширение приборной базы системы происходит без изменения ее программного кода.

Работа стенда осуществляется путем имитации реального физического эксперимента в интерактивном режиме. При «подаче напряжения» на электрическую цепь происходит создание математической модели, после чего осуществляется интегрирование по времени сформированной системы дифференциальных уравнений. При этом на каждом шаге цикла интегрирования в зависимости от предыдущего состояния осуществляется расчет параметров элементов цепей. Это необходимо для учета нелинейности характеристик элементов (например, вольтамперных характеристик) или формирования закона изменения этих параметров во времени (например, для источников переменного тока).

Для формирования системы дифференциальных уравнений используется метод переменных состояния. Данный метод совмещает в себе возможности метода контурных токов и метода сечений и наиболее удобен для расчета переходных процессов.

Для создания кроссплатформенной версии виртуального лабораторного стенда была выбрана среда интегрированная разработки Qt Creator и язык Qt (расширенный C++). Это позволит адаптировать приложение в большинстве современных операционных систем путём простой компиляции программы для выбранной операционной системы без изменения исходного кода. Кроме того Qt включает в себя все основные классы, которые могут потребоваться при разработке прикладного программного обеспечения, начиная от элементов графического интерфейса до классов для работы с сетью, базами данных и XML.

УДК 621.313

В.Н. КАРАУЛОВ, к.т.н., доцент,
И.А. ПАЛИЛОВ, магистрант
(ИГЭУ)

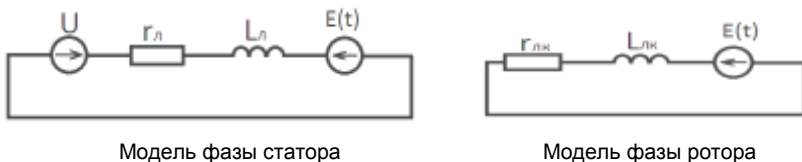
Моделирования электромеханических процессов в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором на основе расчетов электромагнитного поля

Благодаря развитию вычислительной техники сфера применения вычислительных методов быстро расширяется. Одно из лидирующих мест занимает метод конечных элементов (МКЭ). Первоначально ориентированный на решение задач прочности, МКЭ все активнее используется и в других областях исследований, в частности, для решения задач, связанных с распространением электромагнитных волн в различных средах [1]. К этому классу задач можно отнести задачу моделирования электромеханических процессов в электрических машинах.

Полевые модели дают более полное представление о процессах, происходящих при электромеханическом преобразовании энергии, позволяют учесть нелинейность материалов, двустороннюю зубчатость магнитопровода, движение ротора, несимметрию питающего напряжения, индуцированные вихревые токи, потери в проводниках и в стали.

Расчет процессов в электрической машине с использованием трехмерной модели электромагнитного поля требует немалых вычислительных мощностей. Однако учитывая то, что основные электромагнитные процессы происходят в активной зоне машины, и то, что поле практически неизменно вдоль аксиальной оси машины в пределах её активной части (скос пазов отсутствует), достаточно рассмотрения плоскопараллельной модели поля. При этом электромагнитное поле в торцевых частях машины должно учитываться с помощью цепных моделей фаз статора и ротора.

При моделировании асинхронного двигателя можно принять допущение, что фазы обмотки статора питаются отдельно друг от друга; фазы беличьей клетки замкнуты накоротко независимо друг от друга. В этом случае цепные модели фаз статора и ротора имеют вид.



Здесь $E(t)$ – напряжение фазы, получаемое в ходе расчёта мгновенного состояния электромагнитного поля в активной части асинхронной машины; $\Gamma_{л}$ и $L_{л}$ – активное сопротивление и индуктивность лобовых частей фазы статора, U – напряжение сети, питающее фазу статора. ЭДС и параметры в цепной модели фазы ротора определяются аналогично.

Полевая модель активной зоны машины, электромагнитный момент, действующий на ротор, уравнение движения ротора и цепные модели фаз должны рассчитываться совместно. Такими возможностями обладают современные программы моделирования электромеханических процессов в преобразователях энергии.

Представленный подход был использован для моделирования электромеханических процессов в асинхронном двигателе с короткозамкнутым ротором (мощность 3 кВт, синхронная частота вращения 3000 об/мин). Результаты моделирования процесса пуска двигателя без нагрузки на валу представлены на рис. 1-3. На рис. 1 показаны токи в фазах обмотки статора; на рис. 2 – частота вращения ротора; на рис. 3 – распределение магнитного поля по поперечному сечению активной зоны машины в один из моментов времени.

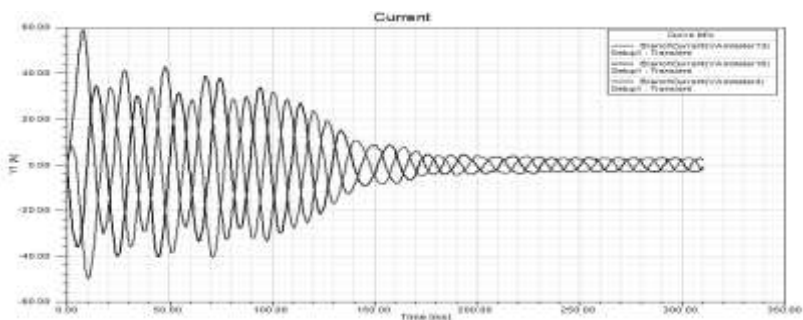


Рис. 1. Токи в фазах обмотки статора при пуске асинхронного двигателя

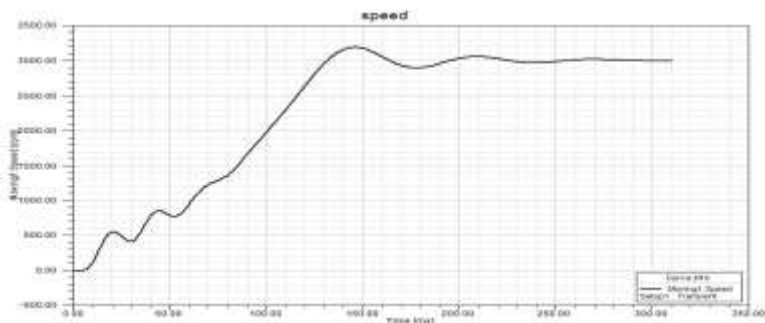


Рис. 2. Кривая разгона асинхронного двигателя

В начале пуска асинхронного двигателя токи в фазах статора несимметричны. В одной из фаз наблюдается ударное значение тока. Разгон двигателя продолжается порядка 200 мс. Установившиеся токи фаз определяют ток холостого хода.

Результаты моделирования электромеханических процессов в асинхронном двигателе в пусковом режиме, в режиме холостого хода и в номинальном режиме работы сопоставлены с расчетами, выполненными на основе электрической и магнитной схем замещения асинхронного двигателя [2]. Расхождение при анализе симметричных режимов работы составляет не более 5%.

Расчёты позволяют оценить затраты энергии при пуске двигателя; перегревы обмоток и магнитопровода; возможность запуска при различном характере механической нагрузки; позволяют анализировать работу двигателя в пусковых и установившихся режимах при несимметрии и несинусоидальности питающего напряжения (питание двигателя от преобразователя частоты).

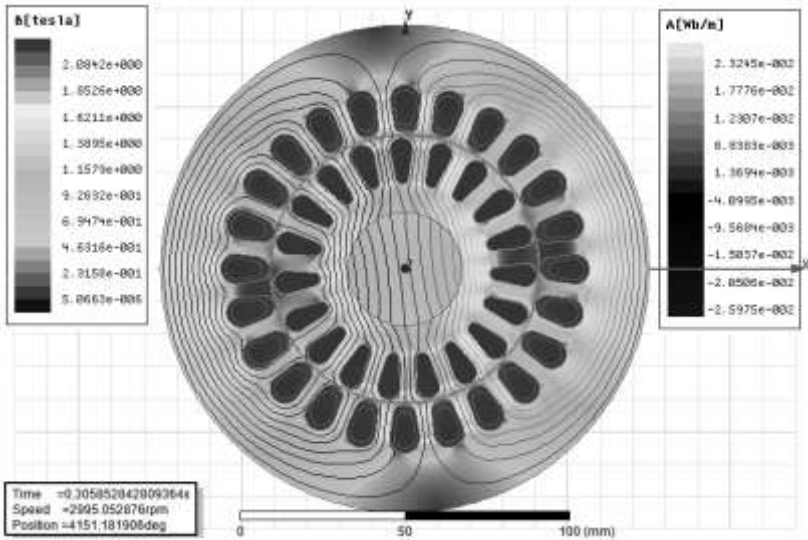


Рис. 3. Распределение магнитного поля по поперечному сечению активной зоны машины в один из моментов времени

Литература

1. Демирчян К.С., Чечурин В. Л. Машинные расчеты электромагнитных полей. - М.: Высш. шк., 1986. - 240 с.
2. Копылов И.П. Проектирование электрических машин. — М.: Энергия, 1980. 495с.

УДК 621.313

В.Н. КАРАУЛОВ, к.т.н., доцент,
Б.М. ПАПУЛИН, магистрант
(ИГЭУ)

Синтез и оптимизация проектных решений электрической машины генетическим методом

Оптимизация проектных решений – необходимый этап проектирования электрической машины (ЭМ). Проектное решение определяет ряд показателей, характеризующих технические, производственные, экономические и эксплуатационные свойства электрической машины. Проектные решения ЭМ отличаются количеством зубцов в сердечниках, формой пазов, размерами проводников, маркой электротехнической

стали, величиной магнитной индукции в участках магнитопровода, величиной плотности тока в проводниках и другими. Показатели ЭМ сложным образом зависят от множества дискретно изменяющихся и от множества непрерывно изменяющихся величин, составляющих конкретное проектное решение ЭМ. Эти факторы существенно ограничивают возможность применения к решению данной задачи классических методов оптимизации. В то же время, оптимальное проектное решение ЭМ практически невозможно найти лишь в результате сопоставления показателей возможных проектных решений. Для этого потребовалось бы слишком много времени.

Для решения задачи оптимизации проектных решений ЭМ необходимо использовать метод, в котором проектные решения синтезируются на основе сопоставления показателей ограниченного количества предшествующих проектных решений. Затем применяется процедура отбора перспективных проектных решений и на их основе синтезируются новые проектные решения. Процедуры синтеза и отбора чередуются и повторяются до тех пор, пока наблюдается улучшение проектных решений. Оптимальное проектное решение обеспечивает требуемую величину показателей, указанных в техническом задании, и имеет предельное значение критерия оптимизации. Описанный подход реализует генетический метод оптимизации.

Работа генетического алгоритма аналогична процессу естественного отбора в живой природе [1]. Проектное решение ЭМ (ряд независимых переменных, однозначно определяющих проект машины) представляет собой генотип. Показатели машины, определяемые в результате поверочного расчета, представляют собой фенотип. Вместе генотип и фенотип представляют отдельно взятый индивид. Семейство индивидов с различными генотипами и соответствующими фенотипами, образует популяцию. Популяция индивидов (проектных решений ЭМ) может быть представлена в виде матрицы, показанной на рис. 1. Отдельному индивиду соответствует строка матрицы, составленная из независимых переменных генотипа и показателей фенотипа.

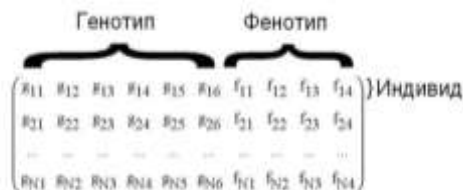


Рис. 1. Популяция индивидов (проектных решений ЭМ).

Первое поколение популяции может быть сформировано путём выбора случайной величины каждого гена (столбец генотипа в матрице популяции)

из заданного отрезка его возможных значений. Крайние точки отрезка назначаются на основе рекомендаций методики проектирования ЭМ и ограничений технического задания. Отрезок должен включать число, соответствующее оптимальному проектному решению ЭМ.

Структурная схема генетического алгоритма представлена на рис. 2. На этапе синтеза новой популяции индивидов (новых проектных решений) происходит скрещивание различных особей – новый индивид берёт часть генотипа от одной особи, и часть – от другой. При этом вероятность участия в скрещивании каждой особи определяется значением её «приспособленности». Для полученных в результате скрещиваний генотипов рассчитываются соответствующие фенотипы. Затем определяется приспособленность каждого индивида, и уничтожаются все самые неприспособленные. Таким образом, поддерживается численность популяции, что необходимо для обеспечения быстрого действия метода. Для предотвращения обеднения «генофонда» выполняются мутации – случайные изменения генов индивидов. В результате работы алгоритма отбираются гены, обеспечивающие индивиду максимальную приспособленность.

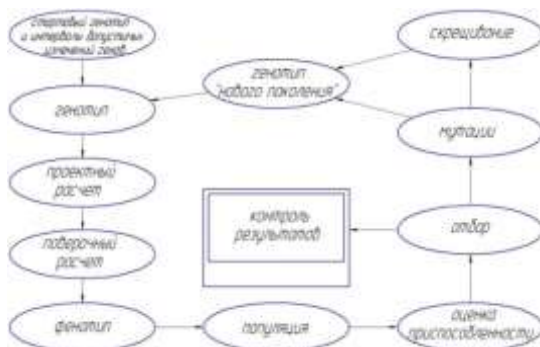


Рис. 2. Структурная схема генетического алгоритма

Сходимость канонического генетического алгоритма к глобальному экстремуму доказана в теореме Холланда. Применение генетического метода позволяет получить проектное решение, которое в поставленных условиях улучшить уже невозможно. Такое проектное решение соответствует изображающей точке, принадлежащей множеству Парето в многомерном пространстве показателей, ограниченном поверхностями ограничений.

Модификации генетических алгоритмов обусловлены различными подходами к оценке приспособленности особи. С точки зрения математики, любая модификация канонического генетического алгоритма должна подлежать тщательной проверке. Однако при решении технических задач,

строгое математическое обоснование не требуется. Достаточно получить существенный эффект от работы программы оптимизации.

Возможность эффективной работы генетического метода при решении задачи оптимизации проектных решений ЭМ проверена на учебных курсовых проектах. При проектировании асинхронных короткозамкнутых двигателей в качестве критерия оптимизации выбрана машинная постоянная Арнольда. Применение программы оптимизации приводило к уменьшению постоянной Арнольда на 20-30%. Стоит отметить, что многократная оптимизация одного проекта из разных начальных точек давала одинаковые результаты. Это позволяет с достаточной уверенностью утверждать, что авторская модификация генетического метода обеспечивает нахождение глобального минимума.

Программа оптимизации проектных решений была использована для уменьшения массы активных материалов при модернизации тягового асинхронного двигателя мощностью 170 кВт, выполняемой по заказу ООО «ЭлектроТяжМаш-Привод» (г. Лысьва). Уменьшение массы составило 15%. При этом были сохранены рабочие, пусковые и тепловые свойства машины и учтены технологические ограничения. Конструкция машины осталась прежней.

Применение генетического метода для оптимизации проектных решений ЭМ позволяет решать классические задачи проектировщика: снижение стоимости ЭМ, повышение энергоэффективности ЭМ, проектирование ЭМ со специфическими свойствами.

Литература

1. Курейчик В.М. Генетические алгоритмы. Обзор и состояние // Новости искусственного интеллекта. 1998. №3.

УДК 621.31

Л.Н. БУЛАТОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Варианты модели расчета переходных процессов в асинхронной машине с обращением к расчету поля

Развитие компьютерных технологий сделало возможным применение методов расчета электромеханических устройств, использование которых ранее было затруднительно ввиду значительных требований к расчетным мощностям. Теперь, с широким распространением, в частности, технологий многопроцессорных вычислений, изучение и развитие таких методов стало актуальным. К ним, в частности, относится расчет процессов в электромеханических устройствах с помощью комбинированной модели, объединяющей в себе расчет поля и расчет

электрической цепи. В такой модели расчет поля используется для получения матриц взаимных индуктивностей контуров с током и механических усилий. Эти матрицы затем используются в уравнениях, составленных на основе теории цепей, для расчета искомых величин.

В ходе исследования возможности использования результатов конечно-элементного моделирования поля для расчета переходных процессов в электромеханических устройствах был предложен и опробован ряд вариантов модели, отличающихся принципом использования результатов конечно-элементного расчета, этапом, на котором осуществляется конечно-элементный расчет, необходимым количеством расчетов поля, и принимаемыми допущениями.

Одним из вариантов модели является модель с серией предварительных расчетов магнитного поля. При выборе этого варианта необходимо принять следующие допущения:

1) обмотки статора и ротора симметричны, токи статора и ротора создают в зазоре синусоидальную НС;

2) картина магнитного поля определяется только величиной и направлением результирующей намагничивающей силы (НС) машины и не зависит от того, какими именно обмотками создается эта намагничивающая сила.

В результате серии предварительных расчетов происходит получение матриц значений потокоцеплений в зависимости от компонентов намагничивающей силы машины и угла поворота ротора (в случае построения модели другого электромеханического устройства вместо угла поворота ротора используется механическая характеристика, свойственная этому устройству – поступательное движение, изменение зазора и т.д.). Полученные зависимости $\Psi_p = f(F_x, F_y, \alpha)$ затем аппроксимируются трехмерными сплайнами, и используются для расчета приращений потокоцеплений машины при изменении токов статора и ротора и угла поворота ротора. При этом компоненты намагничивающих сил обмоток при известных токах находятся по формулам:

$$\left. \begin{aligned} F_{xj} &= \sum_{k=1}^{Ns_j} F_{xjk} = \sum_{k=1}^{Ns_j} i_j W_{kj} \cdot \cos(p\varphi_{kj}) \\ F_{yj} &= \sum_{k=1}^{Ns_j} F_{yjk} = \sum_{k=1}^{Ns_j} i_j W_{kj} \cdot \sin(p\varphi_{kj}) \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

Такой метод расчета подходит для электромеханических устройств, все обмотки которых охватывают приблизительно одну и ту же магнитную цепь. В асинхронной машине влияние намагничивающих сил обмоток статора и ротора слишком неравновесное, что выливается в серьезную погрешность при использовании этого метода в чистом виде. Эта проблема может быть решена путем получения и использования пятимерных сплайнов потокоцеплений обмоток, получаемых на основе

зависимостей $\Psi_p = f(F_{xs}, F_{ys}, F_{xr}, F_{yr}, \alpha)$, где F_{xs}, F_{ys} – компоненты намагничивающей силы, создаваемой обмотками статора, F_{xr}, F_{yr} – компоненты намагничивающей силы, создаваемой обмоткой ротора. При использовании этого метода необходимо выбирать достаточно маленький шаг по компонентам намагничивающей силы и углу поворота, чтобы учесть зубчатость статора и ротора.

Другим видом модели является модель расчета с обращением к конечно-элементному расчету поля на каждом шаге итераций по времени. В этом варианте на каждом шаге в конечно элементную модель закладываются текущие токи обмоток и угол поворота ротора. Затем, каждому j -му току, а затем и углу поворота, поочередно дается приращение, после чего рассчитывается магнитное поле и определяется приращение потокосцепления каждой k -й обмотки $\Delta\Psi_k$ вследствие приращения величины j -го тока/угла поворота. Таким образом, при выборе этой модели для расчета переходного процесса всегда используется реальная картина поля с учетом насыщения, и, следовательно, автоматически учитывается зубчатость статора и ротора.

Этот метод дает максимальную точность. С другой стороны, очевидно, что расчет этим методом связан со значительными временными затратами, поскольку на каждом шаге итерации необходимо производить большое количество расчетов поля. Одним из вариантов решения проблемы может стать использование технологии параллельных вычислений, позволяющей проводить все расчеты поля на каждой итерации одновременно. Использование технологии параллельных вычислений значительно сокращает общее время расчета, однако оно все же остается значительным (15-20 минут на расчет пуска асинхронной машины), поскольку время расчета каждой итерации все же остается пропорциональным длительности как минимум одного конечно-элементного расчета поля.

В связи с этим был проведен анализ возможности сокращения времени расчета при использовании вышеописанного метода. Самым очевидным способом ускорения расчета является увеличение шага по времени. Однако в ходе серии пробных расчетов было замечено, что при выборе достаточно большого шага процесс расчета дает слишком большую погрешность и получение результатов становится невозможным. Существует еще одна возможность сокращения общего времени расчета - рассчитывать матрицу индуктивностей один раз за несколько итераций, а в промежутках использовать уже рассчитанную, но скорректированную с учетом изменения токов и угла поворота матрицу. Корректировка матрицы занимает значительно меньше времени, чем конечно-элементный расчет. Процедура корректировки матрицы состоит из двух этапов:

1. Пересчет элементов матрицы, изменяющихся в связи с изменением угла поворота ротора. Процесс пересчета заключается в выборе рядов

элементов, распределенных по периодическому закону, и пересчете значений этих элементов с учетом изменения угла поворота ротора.

2. Расчет значений приращения потокосцепления при изменении угла поворота ротора. Значения потокосцеплений на следующем шаге итераций рассчитываются при известной матрице приращений потокосцеплений при изменении искомых величин и известным приращениям искомых величин по формуле:

$$\Psi_i^{t+1} = \Psi_i^t + \sum_{k=1}^N \frac{\partial \Psi_i}{\partial i_k} \cdot di_k + \frac{\partial \Psi_i}{\partial \alpha} \cdot d\alpha. \quad (2)$$

Приращения потокосцеплений по углу поворота могут рассчитываться либо путем прямого пересчета значений потокосцепления при изменении угла поворота, либо упрощенно. Упрощенный расчет строится на базе предположения о том, что значения потокосцеплений стержней ротора изменяется с периодичностью, пропорциональной числу пар полюсов и числу пазов на роторе. Основываясь на этом, приращения потокосцеплений рассчитываются на основе разложения массива значений потокосцеплений в стержнях ротора в ряд Фурье, выделения соответствующих гармоник, и последующего дифференцирования получившихся периодических зависимостей.

Серия расчетов асинхронной машины с высотой оси вращения 112 мм с короткозамкнутым ротором и последующее сравнение результатов с кривыми, полученными опытным путем, показало, что расчет с использованием трехмерных сплайнов не дает достаточно точных результатов, что обуславливает необходимость использования пятимерных сплайнов. При этом получение матрицы приращений потокосцеплений из сплайнов дает наибольшую скорость расчета. Точность расчета пуска машины при обращении к конечно элементному расчету на каждой итерации велика, однако расчет этим методом требует значительных затрат времени. Упрощенный метод расчета с периодическим обращением к конечно-элементной модели дает значительное повышение скорости расчета, при этом точность расчета остается приемлемой. Это делает его применение целесообразным.

САПР трансформаторов из аморфной стали

На сегодняшний день состояние энергетики характеризуется ростом потребляемых мощностей. Передача электрической энергии на большие расстояния требует использование надёжного электроэнергетического оборудования, поскольку суммарная установленная мощность трансформаторов 5-6 раз превышает установленную мощность генераторов.

Важнейшими задачами трансформаторостроения являются повышение надёжности трансформаторов, уменьшение потерь энергии, экономия активных, изоляционных и конструктивных материалов. Известно, что работа силового электрооборудования всегда сопровождается нежелательным, но неизбежным процессом выделения тепловой энергии в элементах конструкции. Если оценивать стоимость потерь за весь срок службы трансформатора, то она составит гораздо больше чем стоимость нового трансформатора.

Система автоматизированного проектирования (САПР) позволяет не только оптимально спроектировать трансформатор по заданным параметрам, но и сделать любую кастомную модель, (под конкретного заказчика) от англ. customer-потребитель, клиент.

В настоящее время в «Центре по проектированию и повышению надёжности электрооборудования» при ИГЭУ разрабатывается методика проектирования для масляных и сухих трансформаторов с сердечником из электротехнической и аморфной стали. Также собирается информация о свойствах аморфных сталей, проводится анализ рынка трансформаторов из аморфной стали, разрабатывается дистанционная система проектирования для расчетов и конструирования трансформаторов с магнитной системой из аморфной стали, планируется реализовать автоматизированное выполнение расчётно-пояснительных записок.

В энергосистемах эффективно применяются прогрессивные способы диагностики оборудования, позволяющие определять состояние трансформатора без вывода его из работы, на базе «Центре по проектированию и повышению надёжности электрооборудования» при ИГЭУ разработана и широко используется в городах России и ближнего зарубежья программа диагностики силового электрооборудования «Диагностика + ». Новая система проектирования будет учитывать конструкционные особенности размещения диагностического оборудования на трансформаторе с магнитной системой из аморфной стали.

Практически все электромагнитные, механические и потребительские свойства аморфной стали превосходят аналогичные свойства

анизотропной электротехнической стали, применяемой в современных трансформаторах, за исключением индукции, составляющей 1,5 Тл и коэффициента заполнения.

Несмотря на то, что плотность аморфных сплавов на 1-2 % ниже плотности кристаллических аналогов, прочность их выше в 7-10 раз. Более высокая прочность связана с тем, что в аморфной стали отсутствуют такие дефекты, как дислокации и границы зерен, свойственные кристаллическому состоянию. Их называют вакансионноподобными дефектами. Эти пустоты имеют вид узких щелей, и в них не может разместиться атом. Наличие таких дефектов сильно затрудняет диффузию (проникновение атомов) через аморфные металлические слои. Беспорядок расположения атомов в виде ближнего порядка оказывает сильное влияние на электропроводность металлических стекол. Их удельное электрическое сопротивление в 3-5 раз выше, чем у кристаллических аналогов. Это связано с тем, что при движении электронов через непостоянную структуру аморфной стали они испытывают больше столкновений с ионами, чем в кристаллической решетке. Для большинства аморфных сплавов температура кристаллизации находится в пределах 650-1000 К. При комнатной температуре аморфные сплавы могут сохранять структуру и свойства в течение 100-105 лет.

Производство трансформаторов с сердечником из аморфной стали в России пока еще не налажено, однако в настоящее время многие заводы, планируют в скором времени перейти на массовый выпуск таких устройств.

Проектирование распределительных трансформаторов малой мощности с магнитной системой из аморфной стали позволяет снизить удельные потери на 30-40 % процентов (в некоторых конкретных случаях гораздо больше), существенно повысить КПД трансформатора и в некоторой степени увеличить экономический и улучшить экологический фактор.

Что бы получить эти же 30-40% полезной мощности, которые уходят в потери, турбине на станции необходимо выработать дополнительное количество энергии, равное этим потерям, и передать к трансформатору, а это выбросы в атмосферу углекислого газа и дополнительные операции по передаче энергии. Опыт использования распределительных трансформаторов малой мощности с сердечником из аморфной стали в зарубежных странах это уже доказал.

Математическое описание бесколлекторного двигателя в неподвижной системе координат

Бесколлекторные двигатели широко применяются в составе электроприводов механизмов подачи металлорежущих станков, приводных устройств машин испытательной техники, промышленных роботов, а также во многих других автоматизированных объектах машиностроения. Бесколлекторный двигатель представляет собой синхронную электрическую машину с возбуждением от постоянных магнитов. Управление такими двигателями обычно осуществляется в замкнутых электромеханических системах на основе информации, поступающей с датчика положения ротора.

Математическое описание процессов преобразования энергии в синхронных электрических машинах приводится, как правило, во вращающейся системе координат d, q , жестко связанной с ротором [1]. Уравнения синхронного двигателя с постоянными магнитами в координатной системе d, q имеют следующий вид:

$$\left\{ \begin{array}{l} u_d = \frac{d\psi_d}{dt} + R_s i_d - \psi_q \omega_{эл}, \\ u_q = \frac{d\psi_q}{dt} + R_s i_q + \psi_d \omega_{эл}, \\ \psi_d = L_s i_d + \Psi_{пм}, \\ \psi_q = L_s i_q, \\ M_{эм} = \frac{m}{2} p_n \Psi_{пм} i_q, \\ J_{пр} \frac{d\omega}{dt} = M_{эм} - M_c, \end{array} \right. \quad (1)$$

где $u_d, u_q, i_d, i_q, \psi_d, \psi_q$ – напряжения, токи и потокосцепления обмоток статора по осям d, q ; R_s, L_s – активное сопротивление и полная индуктивность обмотки фазы статора; $\Psi_{пм}$ – потокосцепление, обусловленное наличием постоянных магнитов; m – число фаз; p_n – число пар полюсов двигателя; $M_{эм}$ – электромагнитный момент; M_c – момент сопротивления; $J_{пр}$ – приведенный момент инерции ротора и исполнительного механизма; $\omega_{эл}, \omega$ – угловые скорости ротора, $\omega_{эл} = p_n \omega$.

Во многих случаях для исследования переходных процессов целесообразно использовать математическое описание двигателя в неподвижной относительно статора системе координат α, β .

На основе уравнений системы (1) и формул координатных преобразований, связывающих переменные в осях d, q и α, β [2], записываются уравнения синхронного двигателя с постоянными магнитами в системе координат α, β :

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{\alpha} = \frac{d\psi_{\alpha}}{dt} + R_s i_{\alpha}, \\ u_{\beta} = \frac{d\psi_{\beta}}{dt} + R_s i_{\beta}, \\ \psi_{\alpha} = L_s i_{\alpha} + \Psi_{\text{пм}} \cos \varphi_{\text{эл}}, \\ \psi_{\beta} = L_s i_{\beta} + \Psi_{\text{пм}} \sin \varphi_{\text{эл}}, \\ M_{\text{эм}} = \frac{m}{2} p_n \Psi_{\text{пм}} (i_{\beta} \cos \varphi_{\text{эл}} - i_{\alpha} \sin \varphi_{\text{эл}}), \\ J_{\text{пр}} \frac{d\omega}{dt} = M_{\text{эм}} - M_c, \end{array} \right. \quad (2)$$

где $u_{\alpha}, u_{\beta}, i_{\alpha}, i_{\beta}, \psi_{\alpha}, \psi_{\beta}$ – напряжения, токи и потокосцепления обмоток статора по осям α, β ; $\varphi_{\text{эл}}$ – угол положения ротора, $d\varphi_{\text{эл}}/dt = \omega_{\text{эл}}$.

Работа синхронного двигателя с постоянными магнитами в режиме бесколлекторного двигателя реализуется формированием напряжений обмоток статора по осям α, β в соответствии с законом управления

$$\left\{ \begin{array}{l} u_{\alpha} = (-U_m) \sin \varphi_{\text{эл}}, \\ u_{\beta} = U_m \cos \varphi_{\text{эл}}, \end{array} \right. \quad (3)$$

где U_m – амплитуда фазных напряжений двигателя при непрерывном управлении.

Совместное рассмотрение выражений (2) и (3) позволяет получить математическое описание бесколлекторного двигателя в неподвижной системе координат α, β . Следует отметить, что в случае двухфазной электрической машины координатная система α, β совпадает с естественной системой координат, а напряжения и токи обмоток статора по осям α, β являются фазными напряжениями и токами.

Предложенная математическая модель позволяет выполнить расчет переходных процессов в бесколлекторном двигателе, работающем как под нагрузкой, так и при ее отсутствии, а также исследовать влияние параметров двигателя на характер переходных процессов.

Литература

1. **Осин, И.Л.** Электрические машины. Синхронные машины : учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / И.Л. Осин, Ю.Г. Шакарян ; под ред. И.П. Копылова. – М. : Высшая школа, 1990. – 304 с.
2. **Ковач, К.П.** Переходные процессы в машинах переменного тока : пер. с нем. / К.П. Ковач, И. Рац. – М. ; Л. : Госэнергоиздат, 1963. – 744 с.

УДК 62-83:531.7

А.М. ШУРЫГИН, к.т.н., доцент,
М.Н. ШУРЫГИН, к.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Электронное устройство для настройки импульсно-фазовых электроприводов

Современные электроприводы с микропроцессорным управлением представляют собой высокотехнологичное оборудование, основанное на использовании двигателей переменного и постоянного тока, измерительных преобразователей перемещения с высокой разрешающей способностью и последних достижений в области электроники, например, таких как интеллектуальные силовые модули и специализированные микроконтроллеры для встраиваемых систем управления.

Среди множества известных способов построения электроприводов переменного и постоянного тока можно выделить направление, ориентированное на применение микропроцессорных импульсно-фазовых систем управления с контуром фазовой синхронизации. Такие электроприводы характеризуются использованием аппаратных средств для формирования и обработки частотных сигналов, основаны на принципе сравнения задаваемого и регулируемого углов положения ротора приводного двигателя и позволяют обеспечить высокую точность стабилизации угловой скорости.

Управление импульсно-фазовыми электроприводами обычно осуществляется с помощью устройств ЧПУ или персональных ЭВМ. Однако при настройке электропривода более удобным часто оказывается портативное электронное устройство, обеспечивающее обмен информацией с электроприводом по последовательному каналу связи.

Предлагаемое устройство содержит печатную плату с расположенным на ней однокристальным микроконтроллером AT89C51 фирмы Atmel, клавиатуру из восьми клавиш и дисплей, реализованный на основе трех одноразрядных семисегментных цифро-буквенных светодиодных индикаторов. Поддержка работы устройства осуществляется с помощью программы-монитора, коды которой размещаются во внутренней flash памяти микроконтроллера. Устройство обеспечивает ввод команд с клавиатуры, индикацию введенных команд на дисплее, фор-

мирование команд управления импульсно-фазовым электроприводом и передачу сформированных команд на электропривод по последовательному интерфейсу RS-232.

В зависимости от назначения команда управления электроприводом может иметь двухбайтовый или однобайтовый формат. Возможна передача команд настройки регулятора электропривода, задания скорости и направления вращения ротора приводного двигателя, а также некоторых специальных команд. После получения команды электропривод передает на устройство ответный байт. При отсутствии ответа индицируется сообщение об ошибке.

УДК 537.84:532.135

А.М. ШУРЫГИН, к.т.н., доцент,
М.Н. ШУРЫГИН, к.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Магнитореологический виброизолятор с переменными характеристиками

Анализ диссипативного поведения магнитореологического виброизолятора (МРВИ), выполненного на основе магнитореологической суспензии (МРС), позволяет сделать вывод, что с точки зрения колебательного процесса МРС обладает как вязкостным, так и гистерезисным трением.

Типовая конструкция МРВИ представляет собой стальной корпус, заполненный МРС и являющийся одновременно магнитопроводом, с размещенными в нем подвижным сердечником и электромагнитной системой. При колебаниях подвижного сердечника, выполненного из магнитомягкого материала, магнитный поток определяется величиной сигнала, подаваемого на обмотку управления. При этом изменяются диссипативно-жесткостные свойства МРС, что приводит к изменению силовых и частотных характеристик МРВИ.

Коэффициент потерь, характеризующий вязкие свойства МРС, определяется соотношением

$$\eta = 2\pi(R_2^2 - R_1^2) \frac{\rho\lambda\omega}{m}, \quad (1)$$

где R_2 и R_1 – внешний и внутренний радиусы канала движения МРС, ρ – плотность МРС, λ – длина волны при работе на некоторой фиксированной частоте, ω – частота внешнего возмущения, m – масса виброизолируемого объекта.

Для каждой частоты коэффициент потерь η имеет соответствующее значение. Поскольку этот коэффициент прямо пропорционален частоте

ω), вязкостное демпфирование МРС на высоких частотах более эффективно, чем на низких.

Перспективная конструкция виброизолятора представляет собой стальной цилиндр, внутри которого размещается наборный поршень, состоящий из стальных сердечников и обмоток возбуждения магнитного поля. В зазоре между поршнем и цилиндром находится МРС. Введение дополнительного зазора с МРС между поршнем и штоком позволяет увеличить усилие демпфирования.

Расчет электромагнитных характеристик МРВИ, а также параметров его магнитной системы в своей основе предполагает решение задачи расчета осесимметричного стационарного магнитного поля. Задача ставится как нелинейная и решается численным методом, позволяющим практически без упрощений учесть реальную геометрию расчетной области, а также неоднородность и нелинейные свойства сред.

УДК 621.313

Ю.Б. КАЗАКОВ, д.т.н., профессор,
Ю.И. СТРАДОМСКИЙ, к.т.н., доцент,
В.А. ФИЛИППОВ, магистр
(ИГЭУ)

Расчет силы, действующей на немагнитное тело в магнитной жидкости в присутствии неоднородного магнитного поля

В магнитной жидкости (МЖ), находящейся в неоднородном магнитном поле, возникает физический эффект выталкивания немагнитных тел в область слабого поля. Этот эффект используется в гидростатических магнитожидкостных сепараторах (МЖС) [1÷3]. В рабочем зазоре МЖС (рис. 1) с помощью формы полюсных наконечников формируется неоднородное магнитное поле по высоте зазора в направлении оси $у$. Между полюсными наконечниками помещается МЖ с плотностью ρ и намагниченностью M . Давление в МЖ вблизи точек 1 и 2 равно внешнему давлению

$$p_1 = p_0, \quad p_2 = p_0. \quad (1)$$

Изменение давления в МЖ относительно внешнего давления характеризуется выражением

$$p = p_0 + \Delta p_{\Gamma} + \Delta p_M, \quad (2)$$

$$\Delta p_{\Gamma} = \rho \cdot g \cdot (y_2 - y), \quad \Delta p_M = u_M - u_{M2},$$

где Δp_r и Δp_m – приращение давления соответственно за счет гравитационных и магнитных сил, действующих на МЖ. Со стороны МЖ на погруженное в нее немагнитное тело с внешней поверхностью σ и объемом V в направлении оси y действует сила

$$F_y = -\int_{\sigma} p \bar{e}_y \cdot d\sigma = F_A + F_{My}, \quad (3)$$

$$F_A = \rho \cdot g \cdot V, \quad F_{My} = -\int_{\sigma} u_m \bar{e}_y \cdot d\sigma.$$

Она состоит из двух составляющих: первая - сила Архимеда F_A , вторая

– магнитная сила F_{My} , которая зависит от распределения удельной магнитной энергии МЖ u_m на поверхности частицы. В свою очередь

$$u_m = \mu_0 \int_0^H MdH \quad (4)$$

зависит от распределения напряженности H в объеме МЖ.

Путем изменения тока в обмотке возбуждения электромагнита можно регулировать величину магнитной силы F_{My} . Естественно, на частицу

с плотностью $\rho_{\text{ч}}$ действуют сила тяжести $\bar{F}_T = -\rho_{\text{ч}} \cdot g \cdot V \cdot \bar{e}_y$. В МЖС

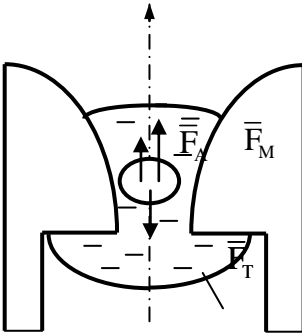


Рис.1. Рабочий зазор гидростатического МЖС

для более легких немагнитных частиц с плотностью $\rho_{\text{л}}$ должно выполняться условие их всплывания, а для более тяжелых частиц с плотностью $\rho_{\text{т}}$ – условие погружения:

$$\rho_{\text{л}} \cdot g \cdot V < (F_{My} + F_A), \quad \rho_{\text{т}} \cdot g \cdot V > (F_{My} + F_A). \quad (5)$$

Для обеспечения высокой точности сепарации профиль полюсных наконечников МЖС должен быть выбран из условия $F_{My} = \text{const}$. Магнитная сила F_M зависит от распределения напряженности H в объеме МЖ. Немагнитная частица имеет магнитную проницаемость вакуума μ_0 , которая меньше проницаемости МЖ $\mu_{\text{ж}}$. Это приводит к изменению картины распределения напряженности H и удельной магнитной энергии u_m вблизи немагнитной частицы. В результате возникает механизм влияния величины объема V и формы немагнитного тела на значение

F_M . Выражение для F_M в (3) учитывает все эти обстоятельства и является, по-видимому, наиболее точным. Часто для расчета F_M используется соотношение [1÷3]

$$\bar{F}_M = \bar{f}_M \cdot V, \quad \bar{f}_M = \mu_0 \cdot M \cdot \nabla H, \quad (6)$$

в котором намагниченность M магнитной жидкости и градиент напряженности ∇H берутся в точке расположения центра немагнитного тела при условии отсутствия его в МЖ. Это справедливо, если наличие немагнитного тела не изменяет картину распределения напряженности H в рабочем зазоре МЖС.

С целью сравнения формул (3) и (6) было проведено расчетное исследование. На основании расчета методом конечных элементов плоскопараллельного поля в рабочем зазоре МЖС, заполненного МЖ с $M_S=17$ кА/м, определялась удельная сила f_M для тела прямоугольного сечения шириной b , высотой h и единичной длины, расположенного на линии симметрии.

Таблица 1. Зависимость удельной магнитной силы, действующей на немагнитное тело, от его объема

h , мм	3	4	5	6	7	8	10
b , мм	4	6	8	10	12	14	19
V , мм ³	12	24	40	60	84	112	190
f_M , кН/м ³	76,78	76,67	78,54	81,27	84,27	88,21	102,77

Таблица 2. Зависимость удельной магнитной силы, действующей на немагнитное тело, от его объема при изменении только вертикального размера

h , мм	4	5	6	7	8	9
b , мм	6	6	6	6	6	6
V , мм ³	24	30	36	42	48	54
f_M , кН/м ³	76,67	75,19	74,06	72,74	70,88	68,59

Результаты расчетов показывают явную зависимость f_M от формы и размера тела. Неоднозначность зависимости объясняется характером распределения давления внутри МЖ. В горизонтальном направлении r увеличивается от линии симметрии к полюсам. Поэтому при увеличении размера b сила возрастает (табл. 1, кривая 1 на рис.2). При $b=\text{const}$ с увеличением высоты тела сила уменьшается (табл. 2, кривая 2 на рис.2). Результаты по обеим формулам (3) и (6) совпадают при малых размерах тела, когда оно мало изменяет картину распределения напряженности H в МЖ.

Литература

1. **Берковский, Б.М.** Магнитные жидкости / Б.М. Берковский, В.Ф. Медведев, М.С. Краков – М.: Химия, 1989. – 240с.
2. **Баштовой, В.Г.** Введение в термомеханику магнитных жидкостей / В.Г.Баштовой, Б.М.Берковский, А.Н.Вислович – М.: ИВТАН, 1985. – 188с.
3. **Гогосов, В.В.** Промышленные сепараторы на магнитных жидкостях / В.В.Гогосов, Р.Д.Смолкин, В.С.Крохмаль и др. // Магнитная гидродинамика. – 1994. – №1. – С.111-120.

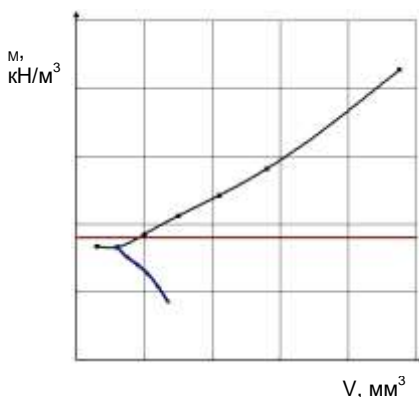


Рис. 2. Графики зависимостей удельной магнитной силы от размера немагнитного тела: 1 – при изменении размера по обеим осям, 2 – при изменении размера только по оси y , 3 – значение полученное по (6).

УДК 621.

И.М. АРЕФЬЕВ, к.х.н., ст. преподаватель,
Т.А. АРЕФЬЕВА, вед. инженер,
Ю.Б. КАЗАКОВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Магнитная жидкость для высокотемпературного вакуумного магнитожидкостного герметизатора

Магнитные жидкости (МЖ) представляют собой коллоидные системы однодоменных магнитных частиц (дисперсная фаза), диспергированных в жидкости-носителе (дисперсионная среда) [1]. Достаточно широко МЖ применяют в магнитожидкостных герметизаторах (МЖГ). Преимущество этих устройств – возможность реализовать режим гидродинамической смазки в рабочем зазоре герметизатора с надежной герметизацией зазора [2]. В настоящее время магнитожидкостные герметизаторы широко используются в химическом, биологическом, высоковакуумном технологическом оборудовании.

Поскольку рабочим телом в МЖГ является магнитная жидкость, к ней предъявляются особые требования. Магнитная жидкость должна быть коллоидально и термостабильной, вакуумной, а также обладать необходимым набором технических параметров (намагниченность насыщения, плотность, вязкость). С целью обеспечения этих требований для высокотемпературного вакуумного МЖГ была синтезирована и исследована магнитная жидкость МКС 350-40, технические параметры которой приведены в табл. 1.

В качестве жидкости-носителя при синтезе магнитной жидкости использовалась вакуумная высокотемпературная силоксановая жидкость.

Таблица 1. **Технические характеристики МЖ МКС 350-40**

Объемная доля магнетита, %	Намагниченность насыщения, кА/м	Плотность, г/см ³	Пластическая вязкость, Па·с
9,7	37	1,40	1,63

На первом этапе исследований была определена коллоидальная стабильность МЖ, как главный критерий ее качества и возможности практического применения. С этой целью использовался метод замены несущей среды [3]. Методика и результаты эксперимента приведены в [4]. Исследование показало, что синтезированная МЖ МКС 350-40 обладает коллоидальной стабильностью, т.е. сохраняет свои характеристики во времени при отсутствии внешнего воздействия.

Важнейшими характеристиками МЖ, обуславливающими их использование в МЖГ, являются диапазон рабочих температур и вакуумные свойства. Диапазон температур эксплуатации МЖ обуславливается, с одной стороны, температурными характеристиками жидкости-носителя, с другой, – энергиями адсорбционных взаимодействий молекул поверхностно-активных веществ с активными центрами на поверхности частиц дисперсной фазы и сродством ПАВ с жидкостью-носителем. Вакуумные характеристики МЖ обуславливаются вакуумными свойствами жидкости-носителя.

При длительном температурном воздействии в магнитных жидкостях могут протекать следующие процессы:

1. Десорбция молекул поверхностно-активных веществ с поверхности частиц дисперсной фазы с последующим объединением частиц в агрегаты и выпадением осадка, что приводит к расслоению магнитной жидкости.

2. Полимеризация как десорбированного поверхностно-активного вещества, так и жидкости-носителя.

3. Термоокислительная деструкция жидкости-носителя, что приводит к изменению свойств самого носителя и, как следствие, к изменению свойств магнитной жидкости, и другие.

Все эти процессы приводят к существенному изменению вязкости магнитных жидкостей. Поэтому вязкость является той характеристикой, по динамике изменения которой во времени можно делать заключение о возможности эксплуатации МЖ при той или иной температуре в течение длительного промежутка времени.

Исследования проводились при температурах 100 и 150 °С в течении 1000 часов при каждой температуре. Через каждые 100 часов измерялась пластическая вязкость магнитной жидкости. Временная динамика изменения пластической вязкости при длительном температурном воздействии на МЖ МКС 350-40 представлена на рис. 1.

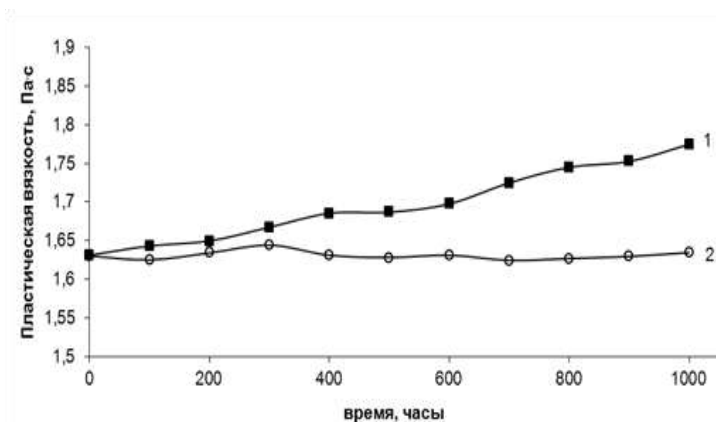


Рис. 1. Динамика изменения пластической вязкости при длительном температурном воздействии на МЖ МКС 350-40: 1 – при 150 °C, 2 – при 100 °C

После длительной термообработки МЖ подвергалась центрифугированию. Выпадения осадка из агрегированных частиц дисперсной фазы, полностью или частично лишенных защитных оболочек, не наблюдалось. Это позволяет констатировать, что десорбции молекул поверхностно-активного вещества с поверхности частиц дисперсной фазы не происходит ни при одной из температур. Термоиспытания также показали, что вязкость МЖ МКС 350-40 практически не изменяется в течение 1000 часов термообработки при 100 °C. После 1000 часов термообработки при 150 °C вязкость увеличивается не более чем на 10 % относительно исходной величины.

Температура начала термоокисления для силоксановой жидкости со среднечисловой молекулярной массой $1300 \div 2000$, которая использовалась при синтезе МЖ МКС 350-40, составляет 150 °C [5]. Поэтому при 100 °C для МЖ вязкость не меняется при длительном термическом воздействии. При 150 °C вязкость МЖ возрастает вследствие увеличения динамической вязкости жидкости-носителя за счет термоокисления, инициирующегося при этой температуре. Однако, как показывает эксперимент, после тысячеклового воздействия пластическая вязкость изменилась незначительно. Испытания МЖ МКС 350-40 в магнитожидкостных герметизаторах, эксплуатирующихся при температурах $130 \div 160$ °C, показывают, что прирост вязкости МЖ на 10 %, не связанный с процессами десорбции и агрегации, существенно не влияет на работу МЖГ. Таким образом, магнитную жидкость МКС 350-40 можно использовать в течение длительного времени в качестве рабочего тела в высокотемпературных вакуумных МЖГ при температурах, как минимум, до 150 °C.

Литература

1. **Розенцвейг Р.** Феррогидродинамика: Пер. с англ. – М.: Мир. 1989. – 356 с.
2. **Магнитные жидкости** в машиностроении / Д.В. Орлов, Ю.О. Михалев, Н.К. Мышкин и др.; под ред. Д.В. Орлова, В.В. Подгоркова. – М.: Машиностроение. 1993. – 272 с.
3. **Фертман В.Е.** Магнитные жидкости: Справ. Пособие – Мн.: Высш. шк. 1988. – 184 с.
4. **Метод** определения коллоидальной стабильности магнитных жидкостей по результатам измерений вязкостных и магнитных свойств в процессе коагуляции и повторной пептизации / И.М. Арефьев, Т.А. Арефьева, Ю.Б. Казаков // 14-я Международная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям: тез. докл. ИГЭУ – Плес, Россия. 2010. – С. 114-118.
5. **Соболевский М.В.**, Скороходов И.И., Гриневич К.П. и др. Олигоорганосилоксаны. Свойства, получение, применение – М.: Химия. 1985. – 264 с.

УДК 537.84: 621.03

Н.А. МОРОЗОВ, к.т.н., доцент;
С.А. НЕСТЕРОВ, студент
(ИГЭУ)

Магнитопроводящее кольцо в кольцевом зазоре с магнитной жидкостью

Цилиндрические магнитные системы широко распространены в электромагнитных устройствах. Магнитный поток имеет в воздушном зазоре таких систем в основном радиальную составляющую, а в теле элементов проходит в осевом или в азимутальном направлениях. Во всех случаях применения цилиндрических магнитопроводов встаёт вопрос о возникающих между элементами радиальных усилиях при эксцентриситете воздушного зазора. Этой проблеме посвящено много работ, в которых она решается с различной степенью точности и сложности расчёта.

Всегда интересно иметь достаточно простое инженерное решение проблемы для конкретного вида конструкции. Такие решения получают при анализе изменения магнитной проводимости зазора в магнитной системе при увеличении эксцентриситета. В работах [1, 2] показано, что для ферромагнитных цилиндрических элементов, один из которых может смещаться относительно другого, возникают значительные силы одностороннего магнитного тяжения. Эти силы могут вызвать такое давление в точке касания элементов, что с большой вероятностью возникнет сухое трение при их смещении друг относительно друга.

Одним из путей повышения эффективности магнитожидкостных устройств является создание между магнитопроводящими элементами кольцевых зазоров. Зазоры заполняются магнитной жидкостью, а в ней

перемещаются подвижные немагнитные или магнитные элементы. В этих условиях проблема проявления эксцентриситета подвижного элемента относительно неподвижных стенок кольцевого зазора существенно усложняется.

В работе рассматривается положение ферромагнитного кольца в кольцевом зазоре, образованном цилиндрическими стенками из магнитопроводящего материала. Магнитное поле проходит сквозь зазор и расположенное в нём ферромагнитное кольцо в радиальном направлении. Магнитная система образована дисковыми полюсами и цилиндрическим корпусом, что позволяет говорить в пределах толщины полюса о плоскомеридиональном поле.

Магнитный поток при отсутствии смещения кольца распределяется в зазоре симметрично и проходит из диска через магнитную жидкость в кольцо и далее опять через зазор с магнитной жидкостью в корпус системы и далее замыкается по магнитопроводу с катушкой намагничивания. При смещении кольца и появлении эксцентриситета происходит перераспределение магнитного потока в дисковом полюсе, кольце и корпусе системы. Для диска смещение кольца приводит к диаметрально противоположным уменьшению зазора с одной стороны и увеличению зазора с другой стороны. Для корпуса изменение зазоров происходит в обратном порядке.

В результате элементарный магнитный поток из диска через зазор с магнитной жидкостью переходит в кольцо, проходит часть пути по кольцу в азимутальном направлении и затем через заполненный магнитной жидкостью зазор, но уже другой величины, переходит в корпус системы. Если в простых цилиндрических системах, состоящих из двух магнитопроводящих цилиндров, при эксцентриситете допустимо ещё не учитывать насыщение магнитопровода, то в рассматриваемом случае это невозможно. Ограниченная толщина кольца и азимутальное прохождение в нём магнитного потока предопределяют необходимость учёта его насыщения. При этом следует учесть и перераспределение магнитного потока в диске, особенно при его ограниченной толщине, что может быть вызвано конкретными конструктивными требованиями. Таким образом, наиболее простым путём анализа положения ферромагнитного кольца в кольцевом зазоре является моделирование с учётом геометрии магнитной системы, кольца и кривых насыщения материалов деталей и магнитной жидкости.

Была составлена модель и проведено моделирование в системе ANSYS, её электромагнитной версии, положения ферромагнитного кольца в заполненном магнитной жидкостью зазоре, образованном цилиндрическими магнитными стенками, между которыми создаётся магнитное поле катушкой намагничивания постоянного тока, в которой значение тока не меняется. На рис. 1 приведено распределение магнитного поля при значении зазоров между кольцом толщиной 5 мм и цилиндрическими стенками

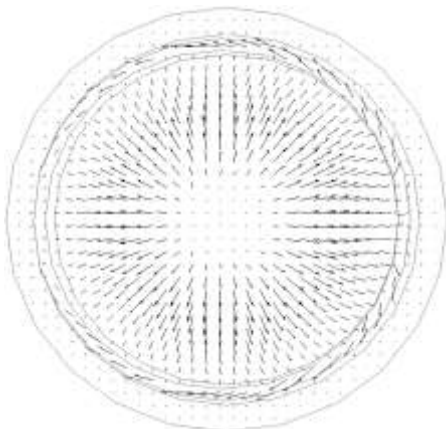


Рис. 1. Распределение магнитного поля в кольце при эксцентриситете

равными 2 мм в случае симметричного расположения для случая относительного эксцентриситета, равного 0,9.

Из рисунка видно, что при эксцентриситете кольца поток в системе перераспределяется заметно и появляется разница в насыщении участков магнитной цепи. Считалось при моделировании, что сама система и кольцо выполнены из стали марки 3, магнитная жидкость марки С2-40М имела намагниченность насыщения 47 кА/м, задавалась кривой намагничивания, как и детали магнитной системы.

При симметричном кольце относительно зазора имелись следующие значения магнитной индукции в элементах системы: диск – 0,8 Тл, кольцо – 0,16 Тл и в корпусе – 0,07 Тл. Значения магнитной индукции показывают, что только диск в центральной его части имеет некоторое насыщение. При относительном эксцентриситете 0,9 появляется заметная разность насыщения участков диска и кольца: в диске $B_{\text{мин}} = 0,7$ Тл, $B_{\text{макс}} = 0,87$ Тл, а в кольце $B_{\text{мин}} = 0,2$ Тл, $B_{\text{макс}} = 0,75$ Тл.

Моделирование магнитного поля подтверждает заметное влияние на его распределение в зазоре системы насыщения кольца при его смещении. Кроме перераспределения поля и связанного с ним изменения насыщения участков магнитной цепи при наличии эксцентриситета кольца возникает сила одностороннего магнитного тяжения, которая прижимает подвижное кольцо к неподвижным элементам и затрудняет его перемещение относительно их. Результаты расчёта сил одностороннего тяжения полученные из моделирования распределения магнитного поля при смещении кольца представлены на рис.2.

Из кривых видно, что с учётом насыщения кольца сила тяжения заметно меньше, чем при бесконечной магнитной проницаемости материала кольца. Наличие магнитной жидкости увеличивает силу тяжения на 30 – 40 %. До значений относительного эксцентриситета, равном 0,7, силы тяжения практически линейно зависят от него и только затем резко увеличиваются.

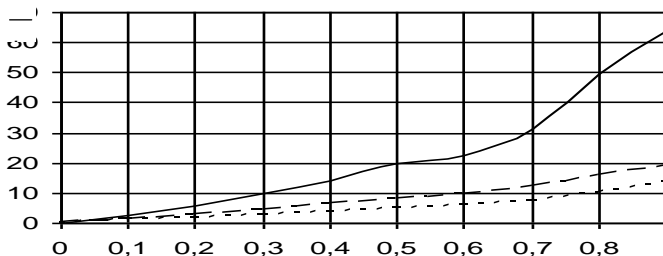


Рис. 1. Силы одностороннего магнитного тяжения кольца от относительного эксцентриситета зазора: — магнитная проницаемость материала кольца бесконечная, - - - сталь 3, ···· без МЖ в зазоре.

Литература

1. Морозов Н. А. Оценка использования в демпфирующих системах с нанодисперсной магнитной жидкостью немагнитных подвижных элементов / Н. А. Морозов, А.В.Радчук. – II Всероссийская науч. конф. «Физико-химические и прикладные проблемы магнитных дисперсных наносистем» 14–17 сентября 2009, г. Ставрополь.– сб. науч. тр. ГОУ ВПО СГУ, 2009. – С. 253 – 255.
2. Радчук А.В. Применение нанодисперсной магнитной жидкости в прямоходовых демпфирующих устройствах. / А.В.Радчук Н.А.Сабанеев, Н.А.Морозов. – Избранные труды, XX1 Международная инновационно-ориентированная конференция «МИКМУС-2009», 16 – 18 ноября 2009, ИМАШ РАН,. – М.: ИМАШ РАН, 2010. – С. 111 – 118.

Движение магнитной жидкости в зазоре с чередующейся полярностью полюсов

Магнитная жидкость (МЖ) сочетает в себе магнитные свойства и текучесть под действием внешних сил или перепадов давления. Вязкость МЖ является сложной зависимостью от силы магнитного поля и градиента сдвига в жидкости при её движении относительно неподвижных границ. Структурирование магнитной твёрдой фазы при помещении МЖ в магнитное поле ведёт к изменению начального касательного напряжения сдвига слоёв МЖ, что также влияет на её эффективную вязкость при течении в областях, где значения магнитного поля отличны от нуля.

При анализе работы МЖ устройств часто приходится сталкиваться с необходимостью учёта вязкостных сил при течении МЖ в магнитном поле между неподвижными стенками под действием внешнего перепада давления или сдвиговое течение при относительном движении одной стенки зазора с МЖ относительно другой. Точное определение вязкостных сил сопротивления течению МЖ связано с нахождением сил вязкостного трения в данном малом объёме среды в зависимости от градиента сдвига, значения магнитной индукции в нём и свойств МЖ, потому что касательное напряжение сдвига имеет сложную зависимость от этих величин. Затем предстоит трудное интегрирование сложного выражения. Такой подход возможен при численном решении задачи для конкретных геометрических данных и представляет собой сложную задачу [1].

Определение вязкостных сил сопротивления движению твёрдого тела в МЖ устройствах бывает необходимо часто. При этом МЖ переходит из одной области с распределённым магнитным полем в другую, в которой распределение поля может быть похожим, но иметь другие значения магнитной индукции. Рассмотрим движение пластины относительно системы чередующихся магнитных полюсов, зазор между которыми заполнен МЖ. Данная область показана на рис.1. Пластина 1 перемещается относительно системы полюсов 2 со скоростью v , которая в зазоре δ создаёт в жидкости 3 градиент сдвига γ , $\gamma = v/\delta$. Между полюсами располагается немагнитная проставка 4.

Для качественного и приближённого количественного анализа степени сопротивления движению пластины удобно было бы считать, что магнитное поле над полюсом и между полюсами имеют пусть разные, но неизменные значения. Тогда силы сопротивления движению можно найти как сумму сил, действующих на пластину со стороны МЖ в области полюса и межполюсного промежутка. Сами силы могут быть найдены по известным магнитной индукции, градиенту сдвига и кривым, характеризующим магнито-реологические свойства данного типа МЖ.

На рис. 2 показано распределение модуля магнитной индукции в зазоре при магнитопроводящем материале пластины.

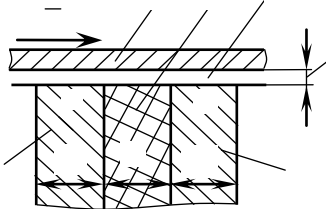


Рис.1. Схема движения МЖ

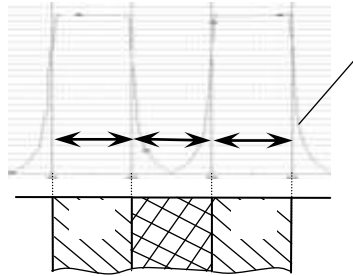


Рис.2. Картина магнитного поля в зазоре системы

Из представленной картины распределения поля, полученной путём моделирования расчётной области в системе Elcut видно, что если под полюсом допустимо считать поле неизменным, то между полюсами это абсолютно недопустимо. Следовательно для упрощения анализа следует усреднить поле в межполюсном пространстве. Как показывают картины распределения магнитной индукции (рис. 3, рис. 4), магнитное поле в зазоре системы при немагнитной пластине имеет сложный характер не только между полюсами, но и под полюсами системы. Поэтому усреднение поля для получения упрощенных выражений расчёта сопротивления движению пластины должно проводиться в обеих областях.

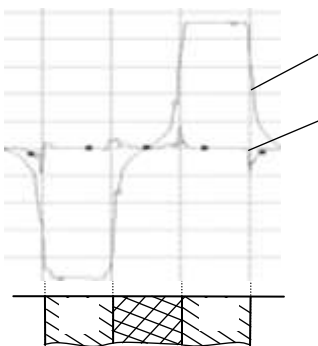


Рис. 6. Распределение осевой B_z и нормальной B_n магнитной индукции для ферромагнитной пластины

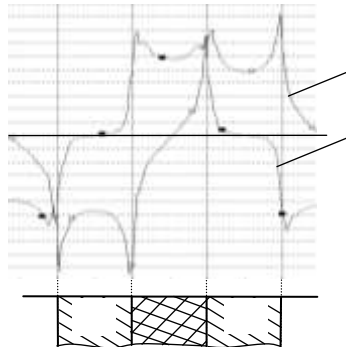


Рис. 5. Распределение осевой B_z и нормальной B_n магнитной индукции для немагнитной пластины

По результатам моделирования системы были получены кривые распределения магнитной индукции под полюсами и в межполюсном пространстве для пластины из магнитного и немагнитного материала.

Характер распределения нормальной и тангенциальной составляющих магнитной индукции поля видны из рис. 3, 4. Распределение магнитного поля моделировалось для разных значений магнитной индукции под полюсами и разной ширины междуполюсного пространства b_m относительно ширины полюса b_n , $b_m / b_n = 1$ и 2.

По полученным кривым распределения магнитной индукции под полюсом и в междуполюсном пространстве находились аналитические зависимости распределения индукции в виде полинома второй степени, $V = a x^2 + b x + c$. Коэффициенты a и b характеризуют характер изменения магнитной индукции, а коэффициент c равен минимальному значению индукции на исследуемом участке. Затем находилось среднее квадратичное значение (СКЗ) индукции на данном промежутке. Для упрощения пользования полученными результатами были найдены отношения СКЗ индукции к минимальным её значениям. Полученные коэффициенты представлены в виде зависимостей от минимальной магнитной индукции на участке для разных относительных значений междуполюсного пространства (рис. 5).

Из кривых видно, что под полюсами системы СКЗ магнитной индукции не зависят от относительной ширины междуполюсного пространства, которое существенно влияет на СКЗ и расчётные коэффициенты на участке между полюсами. Для удобства пользования в инженерном расчёте следует определить эти коэффициенты для промежуточных значений относительной ширины пространства между полюсами.

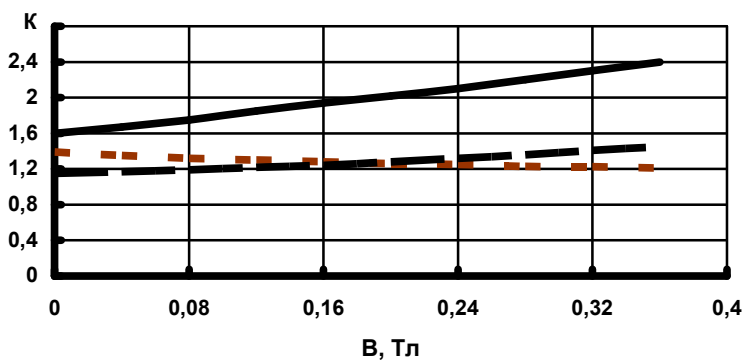


Рис. 5 Коэффициенты приведения поля: под полюсом - - - $b_n = 10$ мм; между полюсами — $b_m/b_n = 2$; - - - $b_m/b_n = 1$

Литература

1. Герметизаторы на основе нанодисперсных магнитных жидкостей и их моделирование / Ю.Б. Казаков, Н.А. Морозов, Ю.И. Страдомский, С.М. Перминов; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени Ленина». – Иваново, 2010. – 184 с.

УДК 621.538

С.М. ПЕРМИНОВ, к.т.н., с.н.с.,
 зав. ПНИЛ ПФГД,
 А.С. ПЕРМИНОВА, студент
 (ИГЭУ) г. Иваново

Исследование магнитожидкостного уплотнения немагнитного вала классического типа

Магнитожидкостные уплотнения (МЖУ) представляют новый самостоятельный класс уплотнений, отличительной особенностью которого является высокий уровень герметичности, что позволяет использовать их для передачи вращательного движения даже в вакуумные среды.

МЖУ делятся на два основных типа: для магнитных и немагнитных валов. В МЖУ с магнитным валом, вал выполняется из материала с высокой магнитной проницаемостью, магнитный поток уплотнения замыкается через вал, что позволяет сосредоточить в герметизируемом магнитной жидкостью зазоре высокую энергию магнитного поля. В МЖУ с немагнитным валом, вал немагнитный и не влияет на основной поток магнитной системы, здесь существует проблема концентрации магнитной энергии в уплотняемом зазоре между валом и магнитной системой.

Известна классическая конструкция МЖУ немагнитного вала [1], в которой магнитное поле концентрируется между разноименными полюсными приставками у поверхности немагнитного вала (рис.1). Несмотря на то, что уплотнение известно не один десяток лет, в настоящее время отсутствуют данные о свойствах и технических характеристиках уплотнения. В данной работе ставится задача исследовать магнитное поле и максимальную удерживающую способность МЖУ немагнитного вала.

В уплотнении кольцевой аксиально намагниченный постоянный магнит 1, служит источником магнитного поля. К торцевым поверхностям магнита примыкают полюсные приставки 2. Полюсные приставки на обращенных друг к другу поверхностях имеют выступы 3, которые концентрируют магнитный поток системы около поверхности немагнитного вала 4. В эту зону повышенной напряженности поля вводится магнитная жидкость 5. Магнитная жидкость в поле создает вокруг немагнитного вала магнитожидкостное кольцо, которое способно удерживать определенный перепад давлений

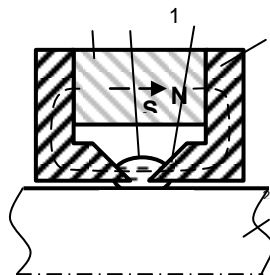


Рис. 1. 1 – магнит,
 2 – полюсные приставки,
 3 – концентраторы, 4 – вал,
 5 – МЖ

$$\Delta p = \mu_0 \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} M dH \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная проницаемость воздуха, H_{\min} – напряженность поля на свободной поверхности магнитожидкостного кольца со стороны низкого давления, H_{\max} – максимальная напряженность поля внутри магнитожидкостного кольца.

Магнитное поле в рабочем зазоре уплотнения определяется многими факторами: геометрией магнитной системы и ее отдельных элементов, магнитными свойствами используемых материалов – магнита, полюсных приставок, магнитной жидкости, которые имеют нелинейный характер, величиной рабочего зазора и т.д. Исследование магнитного поля МЖУ немагнитного вала проводилось на основе математического моделирования магнитных полей. Магнитное поле рассчитывалось методом конечных элементов. Использовалась сетка с треугольными элементами переменной густоты. Размеры элементов менялись в 10^3 раз при переходе от области минимального зазора между полюсными приставками к границам расчетной области. Свойства материала постоянного магнита задавались в виде кривой размагничивания (для КС-37 это прямая линия), свойства материала полюсных приставок - в виде кривой намагничивания стали (Ст.3). Магнитные свойства жидкости при расчете магнитного поля не учитывались.

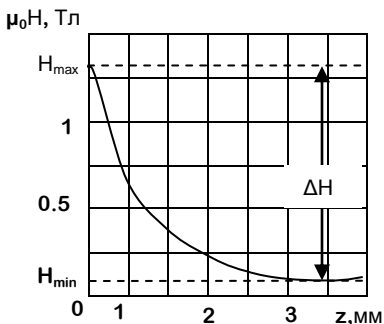


Рис. 2. Распределение напряженности поля по поверхности вала

Ее удерживающая способность определяется разностью экстремальных значений напряженности на свободных поверхностях магнитожидкостной пробки в зазоре ΔH .

При увеличении зазора между валом и магнитной системой уменьшается напряженность поля на поверхности вала. Наиболее

ощутимо снижается максимальная напряженность поля H_{\max} (рис.3). Так при изменении рабочего зазора δ от 0,05 до 0,2 мм максимальная напряженность поля снизилась на 46%, а минимальная на 3%. Поэтому при создании МЖУ с целью повышения удерживаемого перепада давлений необходимо стремиться к уменьшению рабочего зазора.

При зазорах меньше 0,05 мм на кривых распределения напряженности появляются горбы, лежащие напротив острых кромок концентраторов полюсных приставок.

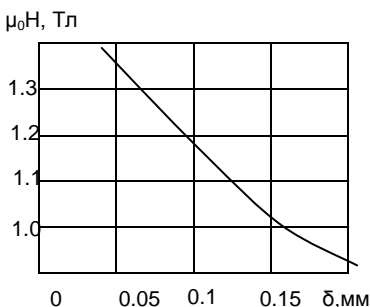


Рис. 3. Зависимости максимальной напряженности поля от величины зазора

Появление горбов на кривой приводит к возникновению второго дополнительного магнитожидкостного кольца в режиме критического перепада. Дополнительное кольцо дает прибавку к удерживаемому перепаду давлений, в рассматриваемом варианте МЖУ прибавка составила 18%.

На максимальную напряженность поля в рабочем зазоре влияет величина зазора между концентраторами полюсных приставок δ_1 . Для каждой величины

рабочего зазора δ можно найти оптимальное значение δ_1 при, котором H_{\max} на поверхности вала максимальна.

На максимальную напряженность поля на поверхности вала влияет форма концентраторов полюсных приставок. Так выполнение площадки t на острие концентратора повысило максимальную напряженность поля на поверхности вала при рабочем зазоре 0,05 мм на 7,5%, а закругление внутренней кромки добавило еще около 2%.

МЖУ немагнитного вала имеет одно магнитожидкостное кольцо. Объем жидкости, направляемый в это кольцо для удержания максимального критического перепада давлений на порядок выше, чем в МЖУ магнитного вала. Это объясняется тем, жидкость расходуется на заполнение не только зазора между полюсными приставками и валом, но и на заполнение пространства между концентраторами полюсных приставок, где напряженность магнитного поля высокая. При введении магнитной жидкости в уплотнение она в первую очередь заполняет зону высокой напряженности поля между концентраторами полюсных приставок и только после этого рабочий зазор.

Литература

1. Фертман В.Е. Магнитные жидкости – естественная конвекция и теплообмен. Мн., «Наука и техника», 1978, 207 с.

Кромочные эффекты в магнитном поле

Согласно теории магнитного поля напряженность поля в плоскопараллельном воздушном зазоре между двумя магнитопроводящими поверхностями можно определить по формуле

$$H = \Delta\varphi/\delta, \quad (1)$$

где $\Delta\varphi$ - разность скалярных магнитных потенциалов, рассматриваемых поверхностей, δ - величина зазора между поверхностями (рис.1) [1,2]. На краю зазора напряженность поля определяется по той же формуле, но δ заменяется на l - длину силовой линии, проходящей через рассматриваемую точку пространства. Данные расчеты дают приближенные значения напряженности близкие к действительным, за исключением зоны, прилегающей к кромке А, образующейся при пересечении

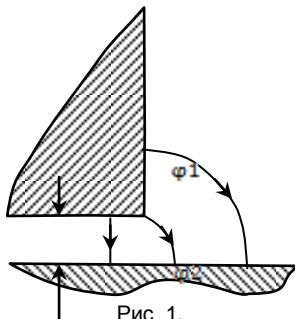


Рис. 1.

двух поверхностей полюса. Экспериментальные исследования показали, что здесь наблюдается повышенная напряженность магнитного поля. Эксперимент проводился следующим образом. В пермеамetre, между квадратными полюсами с размерами 100×100 мм устанавливался зазор 34 мм. На обмотку пермеамetra подавался постоянный ток, в зазоре создавалось магнитное поле. Магнитное поле исследовалось датчиком Холла, расположенном на щупе. Размеры датчика 2×1.5×0.8 мм. Щуп передвигался вдоль поверхности полюса с помощью механизма, обеспечивающего постоянство положения плоскости датчика относительно поверхности полюсов. Исследовалось распределение индукции поля по оси зазора и у поверхности полюса. Около кромки полюса наблюдается всплеск напряженности магнитного поля. Если значение индукции на поверхности полюса составляло 0.4 Тл, то около кромки датчик Холла фиксировал максимальное значение индукции 0.72 Тл. Так как поле здесь резко неоднородное, а размеры датчика не точечные, то полученные кривые распределения напряженности поля следует считать приближенными, подтверждающими факт существования повышенной напряженности около кромки полюса. Более точное исследование кромочного эффекта выполнялось методом математического моделирования магнитного поля в зазоре. Поле в зазоре рассчитывалось методом конечных элементов. Материал полюса задавался в виде кривой намагничивания стали Ст.3. Расчетная сетка имела переменную густоту, в области кромки сторона элементов составляла 0.001

мм, на границах области – 0.05 мм, количество узлов сетки около 282000, при размерах расчетной области 15×10 мм.

На рис.2 показаны кривые распределения индукции магнитного поля в зазоре на различном расстоянии от плоскости полюса в области кромки. В непосредственной близости от кромки поверхности наблюдается всплеск индукции магнитного поля. Индукция магнитного поля здесь превышает значение индукции поля в равномерном зазоре более чем в 2 раза. При удалении от кромки напряженность поля быстро убывает и на некотором расстоянии от полюса следов кромочного эффекта не наблюдается. Кромочный эффект в электротехнических устройствах до настоящего времени не использовался, но на его основе могут быть созданы принципиально новые системы. Примером может служить магнитожидкостное уплотнение немагнитного вала нового типа [3]. Создаваемый постоянный магнитом поток замыкается между полюсными приставками. Часть потока проходит через толщину немагнитного вала и рабочие зазоры между полюсными приставками и валом (рис. 3). У острых кромок кольцевых элементов полюсов создается резко неоднородное магнитное поле повышенной напряженности. Магнитная жидкость втягивается в зоны, где поле имеет максимальную напряженность и образует кольца. Кромки элементов расположены около поверхности вала, поэтому магнитожидкостные кольца перекрывают зазор и препятствуют прохождению через него уплотняемой среды.

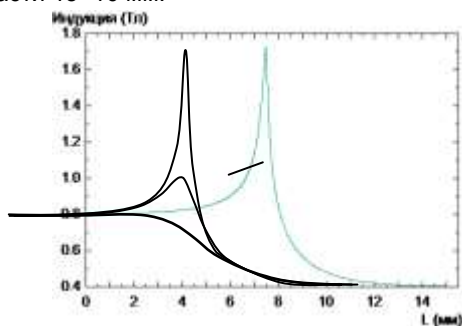


Рис. 2. Распределение напряженности в зазоре. 1 – на расстоянии 0.05 мм от поверхности полюса, 2- на расстоянии 0.5 мм, 3 - на расстоянии 3 – мм

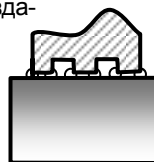


Рис. 3.

Литература

1. Буль О.Б. Методы расчета магнитных систем электрических аппаратов. М. 2005.
2. Вольдек А.И. Электрические машины. Л., «Энергия», 1974, 840 с.
3. Перминов С.М., Магнитожидкостное уплотнение немагнитного вала. Заявка на изобретение №2010116562 от 26.04.10. МПК F 16 J 15/40.

УДК 621.538

С.М. ПЕРМИНОВ, к.т.н., с.н.с., зав. ПНИЛ ПФГД

Магнитожидкостная катушка индуктивности

Катушки индуктивности широко применяются в электротехнике и радиотехнике. Катушка индуктивности обычно представляет собой спираль из одножильного или многожильного изолированного провода, намотанного на цилиндрический, тороидальный или прямоугольный каркас из диэлектрика. Основным параметром катушки индуктивности является её индуктивность, которая определяет, какой поток магнитного поля создаст катушка при протекании через неё тока силой 1 ампер. Индуктивность катушки пропорциональна линейным размерам катушки, квадрату числа витков намотки.

Для увеличения индуктивности применяют сердечники из магнито-проводящих материалов. Наиболее широкое применение нашли сердечники, выполненные в виде ферромагнитного цилиндра, помещенного в катушку. Сердечники увеличивают магнитный поток катушки и соответственно и индуктивность катушки. Отрицательным следствием применения сердечника является повышение внутренних потерь катушки. Причина в том, что большинство ферромагнитных материалов электропроводны и в переменном магнитном поле в них наводятся вихревые токи, что приводит к нагреванию катушки. Потери катушки с сердечником увеличиваются с ростом частоты питающего напряжения.

Известен новый магнитный материал – магнитная жидкость, которая не электропроводна, кроме этого обладает текучестью. Сочетание таких свойств позволяет отойти от традиционных принципов конструирования электротехнических устройств, и предложить новые технические решения.

По своим магнитным свойствам магнитные жидкости существенно проигрывают электротехническим сталям, пермаллою, ферритам. Максимальная относительная магнитная проницаемость магнитных жидкостей, как правило, не превышает 10. Магнитные свойства жидкости нелинейно зависят от напряженности магнитного поля. Магнитные жидкости одна от другой отличаются величиной намагниченности насыщения, которая определяется концентрацией частиц твердой магнитной фазы в жидкости носителе. Предельная достигнутая намагниченность насыщения жидкости составляет 100 кА/м.

Возможность использования магнитной жидкости в качестве магнитопровода в катушках индуктивности до настоящего времени не рассматривалась. Магнитная жидкость позволяет выполнить магнитопровод не совсем обычным способом. Свойство текучести жидкости позволяет без труда разместить катушку в магнитной жидкости. Катушка в магнитной жидкости будет иметь два преимущества: повышенную индуктивность и улучшенный теплоотвод от катушки. Первый положительный результат обуславливается тем, что магнитная проницаемость

жидкости выше магнитной проницаемости воздуха, второй обусловлен тем, что теплопроводность жидких сред в 5-7 раз выше теплопроводности воздуха.

Для ответа на вопрос, на сколько возрастет индуктивность катушки при погружении ее в магнитную жидкость, методом конечных элементов рассчитывалось магнитное поле катушки индуктивности заданной геометрии (показаны на рис. 1), сначала в воздухе, затем в магнитной жидкости. Разность магнитных потоков катушки, расположенной в магнитной жидкости и в воздухе, будет соответствовать увеличению индуктивности при погружении катушки в магнитную жидкость.

На рис.1 показана расчетная область. Модель осесимметричная. Использовалась расчетная сетка, состоящая из треугольных элементов. Шаг дискретизации - 1 мм, количество узлов сетки равнялось 16457. Векторный магнитный потенциал на внешних границах области и нормальная составляющая индукции на оси z принимались равными нулю. Число витков катушки - 300, исходная плотность тока -1 А/мм^2 . Расчеты проводились для жидкости с намагниченностью насыщения 50 кА/м . ее магнитные свойства задавались в виде экспериментальной зависимости намагниченности от напряженности поля.

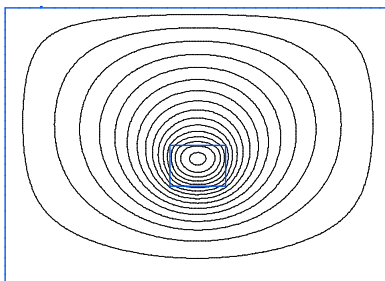


Рис.1. Картина распределения линий магнитного потока катушки индуктивности, находящейся в воздухе

На рис.1 представлена картина распределения линий магнитного потока катушки индуктивности, находящейся в воздухе, полученная в результате проведенного расчета. Расположение линий магнитного потока соответствует принципам распределения магнитного поля, что подтверждает правильность заложенных исходных данных. Величина магнитного потока составила $\Phi = 26.92 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$. Расчет магнитного поля катушки, размещенной в магнитной жидкости (рис.2), показал увеличение магнитного потока по сравнению с катушкой в воздухе. Магнитный поток катушки в магнитной жидкости составил $\Phi_{\text{МЖ}} = 54.65 \cdot 10^{-6} \text{ Вб}$. Прибавка магнитного потока составила 102%, то есть индуктивность катушки при погружении в магнитную жидкость увеличилась практически в двое.

Большой интерес представляет сравнение данной магнитожидкостной катушки с катушкой, имеющей цилиндрический сердечник, изготовленным, допустим, из пермаллоя. У пермаллоя максимальная относительная магнитная проницаемость приближается к 100000, а индукция насыщения может

достигать 1.5 Тл. На рис.2 показана геометрия сердечника и его расположение относительно катушки. Здесь же показана картина распределения линий магнитного потока катушки с сердечником. По сравнению с катушкой, расположенной в воздухе, сердечник дал увеличение магнитного потока на 58%. На первый взгляд подозрительно низкий результат, если сравнивать магнитную проницаемость магнитной жидкости и пермаллоя. Но противоречий здесь нет. В катушке с сердечником магнитный поток основную часть пути проходит по воздуху, относительная магнитная проницаемость которого равна 1, и только незначительную часть пути по сердечнику. Магнитожидкостная катушка имеет индуктивность на 35% выше, чем катушка с сердечником из пермаллоя.

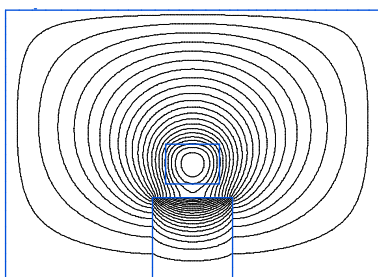


Рис.2. Картина распределения линий магнитного потока катушки индуктивности с сердечником из пермаллоя, находящейся в воздухе

Второе преимущество магнитожидкостной катушки – повышенная нагрузочная способность. Под нагрузочной способностью катушки понимается максимально допустимый ток в катушке. Чем выше ток, тем больше внутренние тепловыделения катушки, соответственно, и температура катушки. Для каждого электротехнического устройства существует предельно допустимая температура нагрева. Если улучшается теплоотвод, температура катушки снижается, следовательно, максимальный ток можно увеличивать. Так как катушку со всех сторон омывает магнитная жидкость, теплопроводность которой в 5-7 раз выше воздуха, то соответственно, можно повысить и максимально допустимый ток, насколько, зависит от конкретного исполнения катушки.

Выводы:

1. Предложен новый тип катушки индуктивности - магнитожидкостной, который имеет преимущества перед известными разновидностями катушек.
 2. Численное моделирование магнитных полей показано, что магнитожидкостная катушка имеет индуктивность вдвое выше катушки, расположенной в воздухе, и на 35% катушки с незамкнутым сердечником из пермаллоя.
 3. Предлагаемая катушка обладает повышенной нагрузочной способностью
- УДК 621.538

С.М. ПЕРМИНОВ, к.т.н., с.н.с., зав. ПНИЛ ПФГД,
А.С. ПЕРМИНОВА, студент
(ИГЭУ) г. Иваново

Магнитожидкостное уплотнение немагнитного вала кромочного типа

В настоящее время известно магнитожидкостное уплотнение немагнитного вала (МЖУНВ), в котором магнитное поле, создаваемое кольцевым постоянным магнитом, концентрируется между разноименными полюсными приставками у поверхности немагнитного вала [1]. В зону повышенной напряженности магнитного поля вводится магнитная жидкость, образующая вокруг вала магнитожидкостное кольцо, перекрывающее зазор между неподвижными полюсными приставками и вращающимся валом. Магнитожидкостное кольцо по удерживающей способности сравнимо с кольцом МЖУ магнитного вала. При необходимости удержания перепада давлений в одну атмосферу, на валу следует установить несколько ступеней, при этом уплотнение приобретает внушительные размеры и переходит в разряд неконкурентоспособных. В то же время у МЖУНВ есть свои положительные качества: уплотняемый вал не имеет одностороннего магнитного притяжения при эксцентриситете, что не дает дополнительной нагрузки на подшипники. Силы, возникающие со стороны магнитной жидкости, стремятся центрировать вал относительно магнитной системы.

В работе [2] предложен новый способ герметизации зазора между двумя поверхностями из магнитопроводящего и немагнитного материала с помощью магнитной жидкости. На магнитопроводящей поверхности выполняют элементы-концентраторы в виде канавок, зубцов, выступов с острыми кромками, поверхности располагают так, чтобы острые кромки элементов были максимально приближены к немагнитной поверхности, в зазор между поверхностями вводят магнитную жидкость, после чего на зазор накладывают магнитное поле. На основе данного способа разработано магнитожидкостное уплотнение немагнитного вала [3], исследование характеристик которого представляет как научный, так и практический интерес. Уплотнение устроено следующим образом. К торцевым поверхностям постоянного магнита 1 примыкают полюсные приставки 2, охватывающие вал 3 (рис. 1). На поверхностях полюсных приставок 2, обращенных к валу 3, выполнены кольцевые элементы-концентраторы 4, имеющие острые кромки, обращенные к поверхности вала. Магнитная жидкость введена в зазор между валом и полюсными приставками и образует отдельные магнитожидкостные кольца 5, расположенные в области кромок кольцевых элементов 4. Уплотнение работает следующим образом. Постоянный магнит 1 в уплотнении служит источником магнитного поля. Создаваемый им магнитный поток проходит через полюсные приставки 2 и замыкается через все окружающее пространство между ними (рис.2). Поток, замыкающийся между полюсными приставками, можно разбить на две составляющие: поток, проходящий снаружи и поток, проходящий внутри магнитной системы. Внут-

ренный магнитный поток является рабочим. Он проходит через толщу немагнитного вала и рабочие зазоры между полюсными приставками и валом. Рабочий поток мал по сравнению с потоком, в системе с магнитопроводящим валом. Но и этим незначительным потоком можно управлять и обеспечивать уплотнительный эффект зазора.

Выполнение на поверхностях полюсов, обращенных к валу, различных концентраторов - зубцов, выступов, канавок, практически не влияют на величину общего магнитного потока, но перераспределяет его около поверхности полюсов. На рисунке 3 показана картина распределения линий магнитного потока в области зубца полюсной приставки, из которой видно, что у острия зубца напряженность поля будет повышенной, у основания зубца – близкой к нулю.

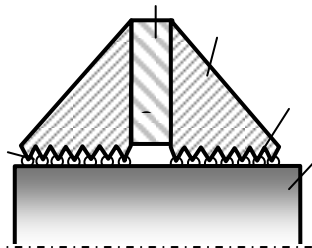


Рис. 1.

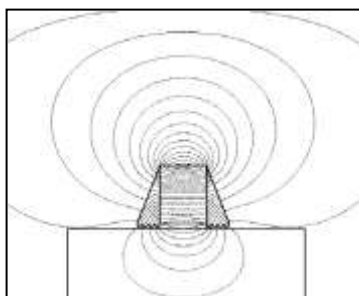


Рис. 2.

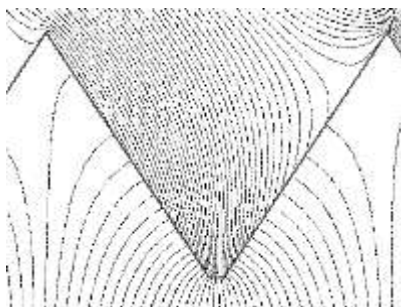


Рис. 3.

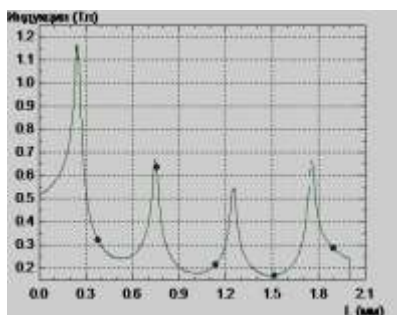


Рис.4.

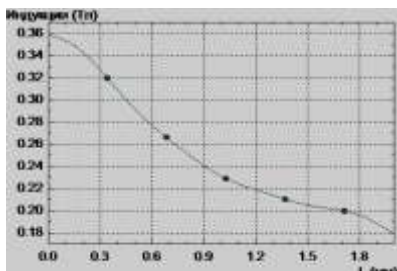


Рис. 5.

На рис. 4 изображено распределение напряженности магнитного поля на прямой, проходящей вдоль поверхности полюсной приставки, что соответствует распределению напряженности вдоль поверхности вала. Характер распределения напряженности похож на распределение напряженности в зазоре МЖУ с магнитным валом. Напряженность магнитного поля быстро убывает при удалении от кромки зубца в любом направлении и выравнивается. На рисунке 5 показано распределение напряженности поля на прямой, отстоящей на 0.4 мм от кромок зубцов, от пиков не остались видимых следов.

В МЖУНВ магнитная жидкость втягивается в зоны, где поле имеет максимальную напряженность и образует кольца с повышенным внутренним давлением. Уплотнение устроено таким образом, что кромки элементов расположены около поверхности вала, поэтому магнитожидкостное кольцо перекрывает зазор и препятствует прохождению через него уплотняемой среды. Каждое магнитожидкостное кольцо способно воспринимать перепад давлений, который определяется по формуле:

$$\Delta p = \mu_0 \int_{H_{\min}}^{H_{\max}} M dH \quad (1)$$

где μ_0 – магнитная постоянная. M – намагниченность магнитной жидкости, H_{\max} и H_{\min} – максимальная и минимальная напряженности магнитного поля на границах магнитожидкостного кольца в момент удержания его максимального перепада давлений. Перепад давлений, удерживаемый уплотнением, определяется суммой перепадов давлений всех магнитожидкостных колец в зазоре.

Особенностью данного типа МЖУНВ является быстрое снижение напряженности поля при удалении от кромки зубца, отсюда вытекает вывод, что необходимо стремиться к уменьшению минимального зазора между полюсной приставкой и валом. Размеры элементов на поверхностях полюсов - зубцов, выступов, канавок, можно делать значительно компактнее, по сравнению даже с элементами в МЖУ магнитного вала. В МЖКНВ вместо одного магнитожидкостного кольца создается ряд колец, которые обеспечивают

суммарный удерживающий уплотнением перепад давления в разы выше по сравнению с известными типами уплотнений.

Литература

- 1.Фертман В.Е. Магнитные жидкости – естественная конвекция и теплообмен. Мн., «Наука и техника», 1978, 207 с.
- 2.Перминов С.М. Способ герметизации зазора между двумя поверхностями из магнитопроводящего и немагнитного материалов с помощью магнитной жидкости. Патент на изобретение РФ 2397380. Оpubл. в Б.И. №23, от 20.08.2010 МПК F 16 C 39/06.
3. Перминов С.М., Магнитожидкостное уплотнение немагнитного вала. Заявка на изобретение №2010116562 от 26.04.10. МПК F 16 J 15/40.

УДК 621.538

С.М.ПЕРМИНОВ, к.т.н., с.н.с.,
зав. ПНИЛ ПФГД
(ИГЭУ) г. Иваново

Магнитожидостный вариометр, принцип действия

К числу элементов, без которых невозможно построить радиоприемник, телевизор, магнитофон и многие другие радиоприборы, относятся катушки. Их важнейшей характеристикой является индуктивность. Катушки выполняются с постоянной или регулируемой индуктивностью. Катушки, у которых индуктивность может регулироваться в широких пределах, служат для плавной настройки контуров и называются вариометрами. В настоящее время известно три типа вариометров: с подвижной катушкой, с переменным числом витков катушки, с перемещающимся магнитным сердечником.

Вариометр с подвижной катушкой. На (рис.1) показано схематическое изображение устройства вариометра с подвижной катушкой. Вариометр обычно состоит из двух катушек, соединенных последовательно. Наружная катушка неподвижная и называется статором, а внутренняя катушка может вращаться на оси и называется ротором.

Индуктивность вариометра при вращении подвижной катушки изменяется вследствие изменения взаимной индуктивности между катушками. Если они расположены под прямым углом, то их магнитные поля не действуют друг на друга. В этом положении

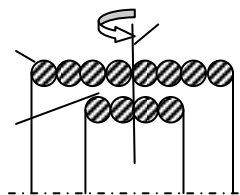


Рис. 1. Вариометр с подвижной катушкой:
1 – наружная катушка,
2 – внутренняя катушка,
3 - ось вращения.

взаимная индуктивность равна нулю и полная индуктивность равна сумме индуктивностей катушек. При соосном расположении катушек, когда токи в катушках идут в одном направлении, магнитное поле усиливается и общая индуктивность возрастает, если токи в катушках идут навстречу друг другу и магнитное поле ослабляется. Таким образом, при вращении подвижной катушки на 180° получается плавное изменение индуктивности от минимального до максимального значения.

Для изменения индуктивности в больших пределах стараются приблизить витки ротора к виткам статора. В лучших конструкциях удается получить изменение индуктивности в 8 раз. Иногда производят переключение катушек вариометра с последовательного соединения на параллельное, дающее уменьшение индуктивности. Недостатком вариометров с подвижной катушкой является относительная сложность конструкции и то, что при уменьшении индуктивности весь провод катушек остается включенным в контур.

Вариометр с переменным числом витков катушки. Изменение индуктивности в широких пределах здесь осуществляется плавным изменением числа витков катушки. Для этого используется катушки, имеющие ползунок с контактным роликом или пружинной щеткой, который перемещается вдоль катушки по виткам. Таким образом, в контур вводится необходимое число витков, подбирается нужная индуктивность. Недостатки такого вариометра обусловлены конструкцией - ползунок не дает хорошего контакта и замыкает накоротко соседние витки.

Ферровариометры. Катушки, в которых индуктивность изменяется перемещением магнитного сердечника, называются ферровариометрами (рис.2). При внесении магнитопровода в катушку силовые линии магнитного поля концентрируются в магнитопроводе, его сопротивление магнитному потоку значительно меньше, чем у воздуха.

В результате магнитный поток, а следовательно, и индуктивность катушки увеличиваются, что позволяет уменьшить число витков, а значит,

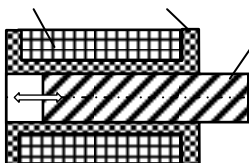


Рис.2. Ферровариометр:
1 – катушка,
2 – каркас,
3 – подвижный магнитный сердечник.

и сопротивление катушки постоянному току. Кроме того, используя магнитопроводы, удается значительно уменьшить размеры катушек и очень простым способом (перемещением магнитопровода) осуществить регулировку их индуктивности. Поскольку катушки с магнитопроводами, как правило, работают в цепях переменного тока применять сплошные магнитопроводы из обычных магнитных материалов нельзя. Под действием переменного магнитного поля в сплошном магнитопроводе, который можно рассматривать как множество короткозамкнутых витков, возникают вихревые токи, которые нагревают магнитопровод. Чтобы уменьшить эти потери, маг-

нитопроводы катушек, работающих в диапазоне звуковых частот, набирают из отдельных тонких изолированных пластин, изготовленных из специальных электротехнических сталей или пермаллоя.

В области радиочастот стальные магнитопроводы, даже набранные из очень тонких пластин, неприменимы, так как потери на вихревые токи недопустимо велики. Магнитопроводы для катушек, предназначенных для работы на радиочастотах, изготавливают из специальных материалов: магнитодиэлектриков и ферритов. В магнитодиэлектриках мельчайшие частички вещества, содержащего в своем составе железо, равномерно распределены в массе какого-либо диэлектрика (бакелита, стирола, аминопласта). Наиболее широко применяют магнитопроводы из альсифера (сплав алюминия, кремния и железа) и карбонильного железа.

Ферриты, получившие широкое распространение в последние три десятилетия, представляют собой твердые растворы окислов металлов или их солей, прошедшие специальную термическую обработку (обжиг). Получающееся при этом вещество — полупроводниковая керамика — обладает очень хорошими магнитными свойствами и малыми потерями даже на очень высоких частотах.

Для подстройки катушек на частотах выше 15... 20 МГц часто применяют магнитопроводы из так называемых немагнитных материалов (меди, алюминия и т. п.). Возникающие в таком магнитопроводе под действием магнитного поля катушки вихревые токи создают свое поле, противодействующее основному, в результате чего индуктивность катушки уменьшается.

Магнитожидостный вариометр.

Принцип действия магнитожидостного вариометра представлен на рис.3. Катушка индуктивности 1 размещена в сосуде из немагнитного материала 2, в котором существует возможность регулирования уровня магнитной жидкости 3. Когда уровень жидкости в сосуде мал, катушка находится в воздухе и ее индуктивность имеет минимальное значение, когда сосуд заполнен, катушка полностью находится в магнитной жидкости и ее индуктивность максимальна. Регулирование уровня магнитной жидкости в сосуде позволяет плавно менять индуктивность катушки.

С целью оценки диапазона регулирования индуктивности магнито-

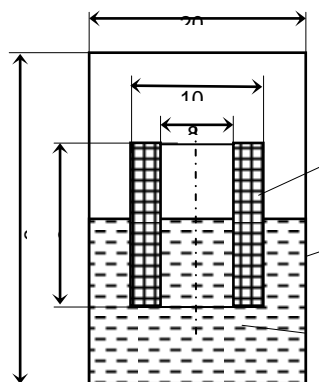


Рис. 3. Магнитожидостный вариометр:

- 1 – катушка, 2 – сосуд,
- 3 – магнитная жидкость

жидкостного вариометра был выполнен численный эксперимент. Индуктивность катушки соответствует величине магнитного потока катушки при токе в 1 А. В эксперименте рассчитывался магнитный поток катушки при различном уровне магнитной жидкости в сосуде. Расчет выполнялся методом конечных элементов. Геометрия катушки и сосуда показаны на рис.3. В расчетах использовалась экспериментальная кривая намагничивания магнитной жидкости с намагниченностью насыщения 50 кА/м. Исследование показало, что рассматриваемый магнитожидкостный вариометр позволяет плавно менять индуктивность катушки в два и более раз.

УДК

А.С. ЗАЙЦЕВ, магистрант
(ИГЭУ) г. Иваново

Эффективное использование ресурсов ПК при оптимизации трансформатора

В настоящее время такое направление как «Оптимизация» все более активно развивается и внедряется в различные сферы деятельности. Это развитие тесно связано с развитием вычислительной техники и основано, в первую очередь, на возможности осуществления персональным компьютером (ПК) большого количества операций в единицу времени и как следствие перебор большого количества различных вариантов, на что человеку потребовалось бы гораздо больше времени.

Однако, при работе со сложными и большими объектами, к каким можно отнести и трансформатор, даже при работе на современном ПК возникает нехватка вычислительных ресурсов. Процесс оптимизации становится весьма длительным. Это особенно неприятно на стадии отладки и настройки программ, сопровождающейся частыми ее запусками.

В данном случае стояла задача эффективного использования ресурсов ПК при оптимизации трансформатора и сокращение времени вычислительного процесса. Оптимизация проводится возможностями генетических алгоритмов, реализованных в среде Matlab [1, 2].

Были выделены три направления по сокращению времени вычислений:

1. Велась работа по поиску оптимальной (с точки зрения экономии ресурсов) структуры алгоритма.

Этому требованию, как и требованиям рассмотренным ниже, отвечает так называемый коэволюционный алгоритм, в основе которого лежит параллельная (островная) модель генетического алгоритма (ГА) с турнирным методом перераспределения ресурсов между подпопуляциями [3, 4].

Для нас основным достоинством этого метода является наличие процесса перераспределения ресурсов между подпопуляциями в пользу более эффективной из них.

В результате, по мере работы алгоритма количество вычислений будет сокращаться одновременно с регрессией худших подпопуляций, что приведет к выигрышу времени.

При ГА из двух популяций выигрыш во времени составляет порядка 12 % по отношению к аналогичному алгоритму без перераспределения ресурсов. При четырех популяциях выигрыш составляет порядка 20 %.

2. Второе направление связано с компиляцией отдельных участков кода алгоритма оптимизации при помощи Matlab Compiler в C/C++ совместимые .dll библиотеки [5].

Поскольку при компиляции участков кода получить полноценное работоспособное приложение невозможно, то для подтверждения утверждения о том, что компиляция способна повысить скорость вычислений была проведена компиляция приложения по прогнозу цен на стоимость либо самого трансформатора, либо отдельных его комплектующих.

Разработчики Matlab утверждают, что после компиляции приложения реально получить прирост в скорости работы порядка 10-20 раз по сравнению со скоростью работы соответствующего m-файла. Однако это справедливо при оперировании со скалярными величинами и при допущении «идеальности» написанного вами кода. При доминировании матричных операции Matlab становится более приемлемой и быстрой средой для работы.

В нашем случае в выбранном примере удалось получить четырехкратный выигрыш во времени !

3. Распараллеливание алгоритмов оптимизации при помощи стандартов параллельного программирования на языке C/C++ [6-9].

Основной целью предыдущих двух направлений была подготовка к успешному и наиболее простому с точки зрения пользователя и проектировщика распараллеливанию алгоритма. Простота заключается в том, что после разработки параллельного приложения даже при изменении исходного проектного расчета трансформатора или внесении поправок в алгоритм оптимизации от проектировщиков не требуется владение языком C/C++, достаточно лишь следуя инструкциям произвести повторную компиляцию измененного файла, что требуется довольно редко.

Параллельное программирование позволяет запустить процесс оптимизации целевой функции каждой популяцией независимо во времени (параллельно), для чего из среды C/C++ производится обращение к скомпилированным ранее в Matlab библиотекам и запуск их на «своем» процессоре, что ведет к значительному росту производительности вычислительной системы. Обычная архитектура ПК позволяет работать лишь в последовательном режиме.

Распараллеливание ведется по стандарту OpenMP, который предназначен для программирования многопоточных приложений на многопроцессорных системах с общей памятью, то есть речь идет об использовании обычного домашнего ПК, а не кластерных или графических вычислительных систем.

Следует отметить так же то, что написанная на этом стандарте программа будет полноценно работать и на одноядерном ПК только в последовательном режиме, чего не позволяют такие стандарты как MPI (кластерные системы) и CUDA (графические вычислительные системы).

Параллельное программирование – наиболее бурно развивающееся направление, которое оказывается незаменимым при моделировании сложных систем и процессов. Интеграция принципов параллельного вычисления в традиционные объекты исследований электромеханики позволит исследовать наиболее сложные для расчетов и моделирования направления, такие как тепловые процессы, электромагнитные поля, оптимизация и т.д.

Литература

1. Ларичев, О.И. Методы поиска локального экстремума овражных функций / О.И. Ларичев, Г.Г. Горвиц. – М.: Наука, 1989
2. Крючин, О.В. Параллельные методы нахождения минимума овражных функций / О.В. Крючин. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2009
3. Жуков В.Г. Исследование эффективности коэволюционного алгоритма генетического программирования // В.Г. Жуков, С.Н. Ефимов, Е.С. Семенкин / “Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ)”: Сб. тр. VI Всерос. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во ТГУ, 2006. – С. 71-75.
4. Сергиенко, Р.Б. Разработка турнирного метода перераспределения ресурсов между подпопуляциями в коэволюционном алгоритме // Р.Б. Сергиенко / “Информационные технологии и математическое моделирование (ИТММ)”: Сб. тр. VI Всерос. науч.-практ. конф. – Томск: Изд-во ТГУ, 2006. – С. 52-61.
5. Смоленцев, Н.К. Создание Windows-приложений с использованием математических процедур MATLAB / Н.К. Смоленцев. – М.: ДМК-Пресс, 2008
6. Воеводин, В.В. Параллельные вычисления / В.В. Воеводин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2002
7. Воеводин, В.В. Вычислительная математика и структура алгоритмов / В.В. Воеводин. – М.: Изд-во МГУ, 2006
8. Якововский, М.В. Распределенные системы и сети / М.В. Якововский. – М.: МГТУ «Станкин», 2000
9. Громов, Ю.Ю. Языки Си и С++ для решения инженерных задач / Ю.Ю. Громов, С.И. Татаренко. – Тамбов: Изд-во ТГТУ, 2001

УДК 621.313

А.С. КОБЕЛЕВ, к.т.н., начальник расчетно-теоретического сектора
(ОАО «НИПТИЭМ») г. Владимир
Л.Н. МАКАРОВ, д.т.н., генеральный конструктор
(ООО «РУСЭЛПРОМ») г. Москва

Выбор внешнего диаметра сердечника статора для энергоэффективных асинхронных двигателей

В настоящее время продолжает сохраняться разгармонизация увязки мощности к габаритным и присоединительным размерам между странами Евросоюза (увязка CENELEC или увязка ГОСТ Р51689 II) и странами постсоветского пространства (так называемая увязка СЭВ или ГОСТ Р51689 I).

Организационно рассогласованная увязка СЭВ в СССР принята при создании серии 4А, и была вызвана желанием получить в тех же габаритах номинальную мощность на одну–две ступени больше, чем в увязке CENELEC. При этом активных материалов на электромагнитное ядро уходило не намного меньше, поскольку машинную постоянную не обманешь, и сердечники становились длиннее. Заметим, что начиная с определенной длины машина начинает работать «на собственные нужды», и дальнейшее увеличение КПД при допустимой кратности пускового тока K_f становится чрезвычайно сложным (анализ данного вопроса будет изложен в отдельной публикации). Разумеется, переход на новую увязку сопровождался многочисленными оптимизационными расчетами [1], однако КПД в исследуемых вариантах не превышал современный стандартный уровень IE1. Переход от серии 4А к серии АИР еще более уменьшил внешний диаметр статора $D_{ас}$, см. табл.1, в которой представлены внешние диаметры ряда фирм, а номинальная мощность указана для $2p=4$ (представлена старшая мощность). Итак, рассогласование увязок было оправдано для уровня КПД, соответствующего стандартной энергоэффективности IE1 по IEC 60034–30. Однако оно оказалось неудачным в современной ситуации, для обеспечения высокой IE2 и высшей энергоэффективности IE3 габаритов 80–132, а также 180. Для габаритов 160 и 200–250 существуют проблемы при переходе к высшей энергоэффективности IE3; вопрос о IE2 решается удовлетворительно [2]. По-видимому, решение о переходе от диаметра 313 мм, 4А, к диаметру 295 мм, АИР, (габарит 180) оказалось самым неудачным: машина габарита 180 получила статус «тяжелой», «неудобной» и, как правило, не обеспечивала даже декларируемый КПД IE1. Вместе с тем, уменьшение диаметра позволило увеличить высоту нижних ребер станины и несколько улучшить охлаждение: при неизменном диаметре $D_{ас}$ превышение температуры обмотки Θ_{cu} снижается на 2–5 °С.

Таблица 1. Габариты, внешние диаметры и номинальные мощности узязок ИЕС и СЭВ

H, мм	D _{ас} , мм						P _н , кВт	
	4А	5А	АИР	ВЕМ	ИЕС	АВВ	СЭВ	ИЕС
80	131	131	132		120	130	1,5	0,75
90	149		150		135	150	2,2	1,5
100	168		163		150	168	4,0	3,0
112	191	191	184	176	170	185	5,5	4,0
132	225	225	215	206	200	221	11	7,5
160	273	260	260	255	240	256	18,5	15
180	313	295	295	288	270	287	30	22
200	349	327	327	322	300	323	45	30
225	392	368	368	362	340	364	55	45
250	437	427	437	410	375	410	90	55
280	520	490	490	465	420	460	132	90
315	520	530	530	520	500	520	200	200
355	590	590	600	600	580	600	315	355

Обратимся к табл. 1. Рассмотрим несколько позиций для диаметров серии 5А (уязка СЭВ) и диаметров, принятых фирмой АВВ (уязка ИЕС). Так, для габарита 80 мм $D_{ас\ АВВ} \approx D_{ас\ 5А}$. При этом старшая мощность $2p=4$ уязки ИЕС в два (!) раза меньше, чем в уязке СЭВ. Этим объясняется фатальная трудность получения машин ИЕЗ габарита 80 мм уязки СЭВ. Мощность 1,5 кВт у АВВ реализована на $D_{ас}$, большем соответствующего диаметра СЭВ на 15 %. Причем, зарубежными разработчиками обсуждается возможность дальнейшего увеличения $D_{ас}$ уязки ИЕС младших габаритов для обеспечения энергоэффективности ИЕЗ. Для габарита 132 мм также $D_{ас\ АВВ} \approx D_{ас\ 5А}$. При этом старшая мощность $2p=4$ уязки ИЕС в 1,5 раза меньше, чем в уязке СЭВ. Этим объясняется чрезвычайное удорожание машин ИЕЗ габарита 132 мм уязки СЭВ, см. таблицу 3. Мощность 11 кВт у АВВ реализована на $D_{ас}$, большем соответствующего диаметра СЭВ на 14 %. Несмотря на то, что подобная тенденция присутствует и на габаритах 180, 200, 250, 280, за счет электромагнитной оптимизации в габаритах 250, 280 удается получить удовлетворительные решения для класса ИЕЗ. Последний тезис опосредовано подтверждают сами зарубежные фирмы, выполняя в близких к СЭВ диаметрах габаритов 315, 355 мм двигатели повышенной мощности. Причем фирма SIEMENS достигает в габарите 315 мм номинальной мощности 315 кВт, т.е. на две ступени больше, чем в уязке СЭВ! (Возможность выполнить в габарите двигатель повышенной мощности гарантированно обеспечивает выполнение в данном габарите двигателя высокой энергоэффективности).

Наглядную связь между D_{as} и КПД дает табл. 2. В ней также представлены старшие мощности для $2p=4$. Рассмотрим несколько позиций. Так, для габарита 80 мм уязки IEC стандартного класса энергоэффективности IE1 необходимым является КПД 72,1 %, в то время как для уязки СЭВ требуется КПД 77,2 % (!); для IE3 82,5 % и 85,3 % соответственно. Для габарита 132 IEC стандартного класса энергоэффективности IE1 необходимым является КПД 86,0 %, в то время как для уязки СЭВ требуется КПД 87,6 %; для IE3 90,4 % и 91,4 % соответственно. С учетом вышеотмеченной близости диаметров D_{as} уязок СЭВ и IEC зарубежных фирм становится ясной сложность обеспечения высоких показателей энергоэффективности младших и средних габаритов по СЭВ. Для старших габаритов, начиная с 225 мм, разница в КПД между уязками IEC и СЭВ может быть «выбрана» за счет электромагнитной оптимизации без значительного удорожания решений для IE3.

Таблица 2. Габариты, внешние диаметры и КПД уязок IEC и СЭВ

H, мм	R _n , уязка СЭВ	D_{as} , 5A	R _n , уязка IEC	D_{as} , ABB	IE1	EFF2	IE2	EFF1	IE3
80	-	-	0,75	130	72,1	-	79,6	-	82,5
	1,5	131	-	-	77,2	78,5	82,5	85,0	85,3
112	-	-	4,0	185	83,1	84,2	86,6	88,3	88,6
	5,5	191	-	-	84,7	85,4	87,0	89,2	89,6
132	-	-	7,5	221	86,0	87,0	88,7	90,1	90,4
	11,0	225	-	-	87,6	88,4	89,8	91,0	91,4
160	-	-	15	256	88,7	89,4	90,6	91,8	92,1
	18,5	260	-	-	89,3	90,0	91,2	92,2	92,6
180	-	-	22	287	89,9	90,5	91,6	92,6	93,0
	30,0	295	-	-	90,7	91,4	92,3	93,2	93,6
200	-	-	30	323	90,7	91,4	92,3	93,2	93,6
	45,0	327	-	-	91,7	92,5	93,1	93,9	94,2
225	-	-	45,0	364	91,7	92,5	93,1	93,9	94,2
	55,0	368	-	-	92,1	93,0	93,5	94,2	94,6
250	-	-	55,0	410	92,1	93,0	93,5	94,2	94,6
	90,0	427	-	-	93,0	93,9	94,2	95,0	95,2
280	-	-	90,0	460	93,0	93,9	94,2	95,0	95,2
	132,0	490	-	-	93,5	-	94,7	-	95,6
315	-	-	200	520	94,0	-	95,1	-	96,0
	200	530	-	-	94,0	-	95,1	-	96,0

Проанализируем таблицу 3. Выпускаемый типоразмер AIPM132S4 соответствует стандартному классу энергоэффективности IE1. Реализация энергоэффективности IE3 в диаметре D_{as} возможна только при крайне дорогом технологическом мероприятии – изготовлении клетки ротора из медного сплава; дополнительно требуется применение более

дорогой стали 2412. Удорожание машины – на 75 %. При реализации энергоэффективности IE3 в «удобной» увязке IEC не требуется применение заливки медью и более дорогой стали. Удорожание машины – всего на 39 %, что ниже достигаемого зарубежными фирмами (около 50–60 %). Выпускаемый типоразмер AIPM132M4 не соответствует даже стандартному классу IE1. Реализация энергоэффективности IE3 в диаметре D_{as} возможна также только при выполнении клетки ротора из медного сплава; дополнительно требуется применение более дорогой стали 2412. Удорожание машины – на 85 %. При реализации энергоэффективности IE3 в «удобной» увязке IEC не требуется применение заливки медью. Удорожание машины всего на 32 %.

Таблица 3. Себестоимость электромагнитного ядра типоразмеров 2=4 габарита 132 мм для разных уровней энергоэффективности

Типоразмер	D_{as} , мм	L_s , мм	Саст, %	Примечания
AIPM132S4 (IE1)	225	115	100	2212
7AVER132S4ie3	225	135	175	Cu, 2412
7AVEC160S4ie3	260	120	139	2212
AIPM132M4 (IE1–)	225	160	100	2212
7AVER132M4ie3	225	200	185	Cu, 2412
7AVEC160M4ie3	260	140	132	2412

Возникает вопрос: насколько могут быть увеличены внешние диаметры сердечников при сохранении увязки СЭВ? Очевидно, такое увеличение ограничивается практически полным изъятием зазора между неоребранным низом станины и уровнем поверхности, на которой крепятся лапы двигателя исполнения IM10XX. По нашим оценкам возможные увеличения диаметров ΔD_{as} таковы:

H , мм	112	132	160	180	200	225	250	280	315
ΔD_{as} , мм	3	5	14	17	20	25	13	10	25

Таблица иллюстрирует, что в проблемных габаритах 112 и 132 мм потенциал увеличения диаметров слишком мал, а вот в 180 мм – достаточно высок (по сути, это возврат к диаметру серии 4A).

Выводы.

Реализация асинхронных двигателей класса энергоэффективности premium (IE3) младших габаритов, а также габарита 180 мм в увязке СЭВ (ГОСТ P51689 I) сопряжена с чрезмерным удорожанием стоимости электромагнитного ядра. Для габарита 180 мм целесообразно вернуться к внешнему диаметру серии 4A.

До обязательного перехода на IE3 (2015 г.) еще есть достаточно времени, поэтому в электромашиностроительном сообществе целесообразно инициировать переход к единой Европейской увязке CENELEC.

Литература

5. **Гурин Я.С., Кузнецов Б.И.** Проектирование серий электрических машин. - М.: «Энергия». 1979.
6. **Кобелев А.С. Макаров Л.Н.** Особенности разработки активных частей асинхронных электродвигателей класса энергоэффективности «premium» / Сборник научных трудов IV Международной научно-технической конференции EECES-2011. Екатеринбург. УрФУ. 2011. С. 32–38.

УДК 621.313.2

С.А. ГАНДЖА, к.т.н., доцент
(ЮУрГУ) г. Челябинск

Вентильные электрические машины с аксиальным магнитным потоком. Анализ, синтез, внедрение в производство

Электроприводы малой и средней мощности на базе вентильных электрических машин широко применяются как в системах общепромышленного применения, так и в изделиях специального назначения (космос, медицина, робототехника, вооружение). Традиционно для этих целей используются вентильные электрические машины с радиальным магнитным потоком.

В последнее время для этих электроприводов все чаще применяются вентильные электрические машины с аксиальным магнитным потоком (ВМАП). Эти электрические машины активно развиваются, формируя новый класс вентильных электроприводов.

Следует отметить, что, не смотря на острую необходимость практического внедрения, теоретические исследования по анализу и синтезу электрических машин этого класса носят эпизодический, разрозненный характер. Как правило, разработчики анализируют одну конструкцию для специального привода. Результаты этих исследований достаточно сложно трансформировать на другой конструктивный тип. Оптимизации подвергаются только отдельные узлы и детали, например статор или ротор. Методики проектирования слабо ориентированы на разработку систем автоматизированного проектирования и, так называемую, сквозную технологию с минимальным объемом документооборота. Таким образом, существующее противоречие между практической потребностью во внедрении и недостаточно развитой теорией анализа

и синтеза является основным источником дальнейшего развития электрических машин этого класса, что определяет **актуальность научных исследований в этой области.**

Основная проблема проектирования ВМАП как класса приводов заключается в следующем. С одной стороны ВМАП имеют большое количество конструктивных исполнений. С другой стороны при проектировании возникает большое количество проектных ситуаций, когда по условиям проектирования геометрические размеры определенных узлов и деталей или могут быть включены в процесс оптимального перебора или должны быть исключены из этого процесса. Необходимо разработать инструмент анализа и синтеза ВМАП, который учитывал бы как большое количество конструктивных исполнений, так и большое количество проектных ситуаций. То есть, в отличие от существующих методик, которые из проектной области выбираю только один оптимальный вариант для одного исполнения, то есть решают задачу оптимизации одного уровня для одной конструкции, необходимо разработать метод проектирования, который бы охватывал по возможности наибольшую область проектирования, то есть позволял для различных конструктивных исполнений выполнять оптимизационные расчеты разных уровней. Реализация такого метода составляет основную научную проблему.

Для ее решения необходимо последовательно решить следующие **задачи:**

1. Исследовать различные варианты коммутации для многофазных ВМАП
2. Разработать методику анализа ВМАП.
3. Разработать методику оптимального проектирования, которая учитывала бы различные проектные ситуации, возникающие на практике.
4. Выбрать метод оптимизации, определить критерии оптимальности.
5. Разработать программные средства для анализа и синтеза ВМАП, ориентированные на сквозную технологию.
6. Разработать методику инженерного проектирования

В течении ряда лет кафедра электромеханики и электромеханических систем ЮУрГУ занимается решением этих задач. Результаты этих исследований в области теории и инженерной практики представляются в данной статье.

Большое количество конструктивных модификаций ВМАП можно классифицировать по форме активных элементов, создающих электромагнитный момент. Классификация конструкций ВМАП представлена на рис.1.

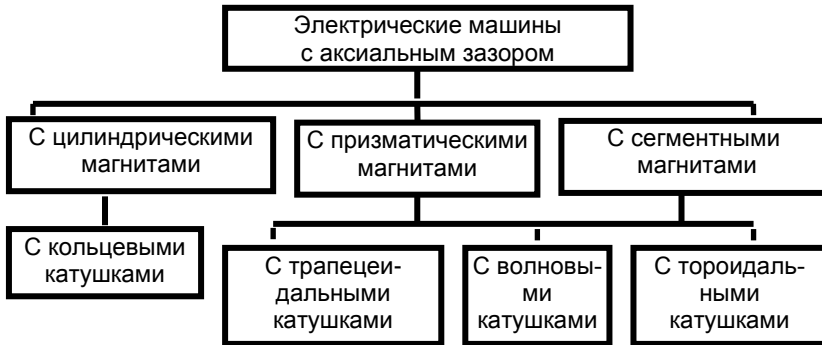


Рис. 1. Классификация конструктивных исполнений ВМАП

Не смотря на большое количество возможных конструктивных исполнений, среди них можно выделить три основных. Для простоты обращения к ним обозначим их как модель 1 (индуктор с цилиндрическими магнитами, якорь с кольцевыми катушками), модель 2 (индуктор с сегментными магнитами, якорь с трапециевидальными катушками), модель 3 (индуктор с сегментными магнитами, якорь с тороидальными катушками). Трехмерные модели и эскизы магнитных систем для указанных исполнений, приведены на рис. 2.

Электромагнитная мощность будет зависеть от выбранного типа коммутации, электромагнитных нагрузок, частоты вращения, геометрических размеров и особенностей конструкции. Из всех возможных вариантов коммутации для многофазной обмотки ограничимся рассмотрением дискретной двухполупериодной коммутации при всех подключенных фазах (180-градусная коммутация) и при одной отключенной фазе (180-180/m)-коммутации (m-число фаз).

Для всех базовых моделей были получены дифференциальные выражения для элементарных моментов и после интегрирования выражения для электромагнитной мощности.

Электромагнитная мощность для модели 1, модели 2, модели 3 для (180-180/m)-градусной коммутации:

$$P_{ЭМ \text{ mod}1(180-180/m)} = \frac{\pi^2}{60} A_{ср} B_{ср} n D_{ср}^2 L_k K_{\text{mod}1(180-180/m)} K_{эф(180-180/m)}$$

$$P_{ЭМ \text{ mod}2(180-180/m)} = \frac{\pi^2}{60} A_{ср} B_{ср} n D_{ср}^2 L_k K_{\text{mod}2(180-180/m)} K_{эф(180-180/m)}$$

$$P_{\text{эм mod3(180-180/m)}} = \frac{\pi^2}{60} A_{\text{ср}} B_{\text{ср}} n D_{\text{ср}}^2 L_{\text{к}} K_{\text{mod3(180-180/m)}} K_{\text{эф(180-180/m)}}$$

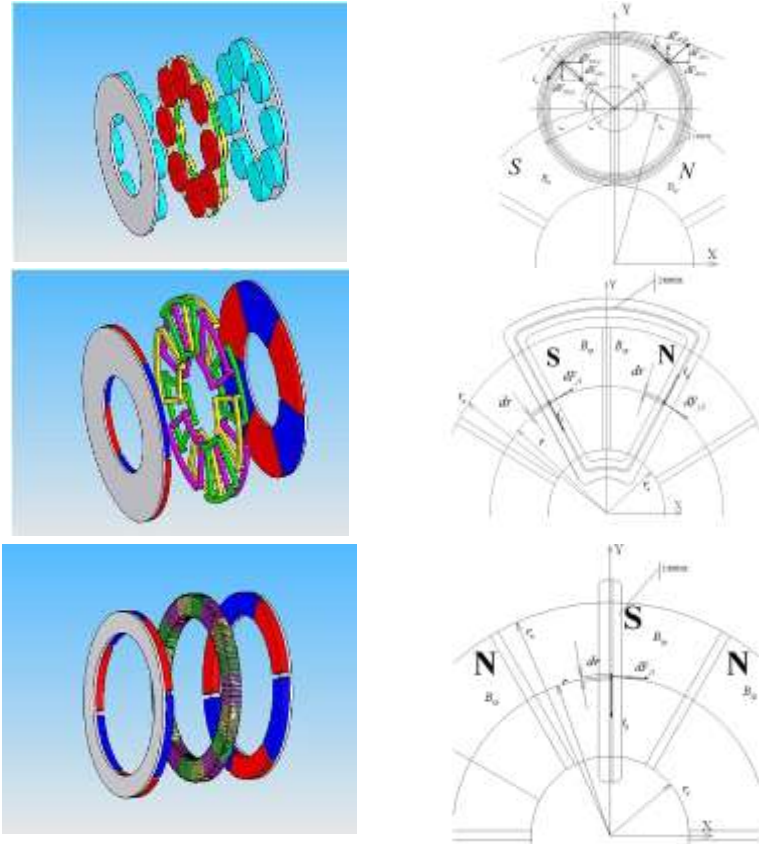


Рис.2. Трехмерные модели и эскизы магнитных систем для основных конструктивных исполнений

Электromagnитная мощность для модели 1, модели 2, модели 3 для 180-градусной коммутации:

$$P_{\text{эм mod1(180)}} = \frac{\pi^2}{60} A_{\text{ср}} B_{\text{ср}} n D_{\text{ср}}^2 L_{\text{к}} K_{\text{mod1(180)}} K_{\text{эф180}}$$

$$P_{ЭМ \text{ mod}2(180)} = \frac{\pi^2}{60} A_{ср} B_{ср} n D_{ср}^2 L_{к} K_{\text{mod}2(180)} K_{эф180}$$

$$P_{ЭМ \text{ mod}3(180)} = \frac{\pi^2}{60} A_{ср} B_{ср} n D_{ср}^2 L_{к} K_{\text{mod}3(180)} K_{эф180}$$

Здесь $A_{ср}$ - линейная нагрузка на среднем диаметре кольца, $B_{ср}$ - средняя индукция на полюсном делении, n – частота вращения, $D_{ср}$ - средний диаметр кольца, $L_{к}$ - толщина кольца, $K_{\text{mod}1(180-180/m)}$, $K_{\text{mod}1(180)}$, $K_{\text{mod}2(180-180/m)}$, $K_{\text{mod}2(180)}$, $K_{\text{mod}3(180-180/m)}$, $K_{\text{mod}3(180)}$ - безразмерные коэффициенты, характеризующие особенности конструкций для разных типов коммутации, $K_{эф(180-180/m)}$, $K_{эф(180-180/m)}$ - безразмерные коэффициенты эффективности эффективности якорной обмотки для разных типов коммутации.

Сравнительный анализ показывает, что наиболее эффективной по электромагнитной мощности является модель 3 для всех типов коммутации. Данные аналитические выражения составили основу **математической модели** расчета ВМАП.

Математическая модель используется для реализации задачи **многоуровневой оптимизации**. Критериев оптимальности может быть несколько, но в зависимости от проектной ситуации для оптимизации выбирается один. В качестве критериев оптимальности приняты показатели качества, получившие наибольшее распространение на практике: минимальная масса активных материалов, минимальный объем магнитной системы, минимальная масса постоянных магнитов. В качестве **метода оптимизации** выбран метод, сочетающий в себе **детерминированный метод покоординатного спуска (Гаусса—Зейделя)** при движении к экстремуму с **методом однопараметрической оптимизации Фибоначчи**, при выборе длины шага поиска.

В проектной системе определены следующие уровни оптимизации:

- полная габаритная оптимизация;
- габаритная оптимизация при фиксированном числе пар полюсов;
- габаритная оптимизация при фиксированном наружном диаметре;
- габаритная оптимизация при фиксированном внутреннем диаметре;
- габаритная оптимизация при фиксированной наружной длине;
- габаритная оптимизация при фиксированном наружном и внутреннем диаметре;
- оптимизация при фиксированном наружном, внутреннем диаметре и наружной длине (в заданных габаритах);
- габаритная оптимизация при заданных размерах постоянного магнита.

Для каждого уровня оптимизации определены система констант, ограничений, независимых переменных и показателей качества. С учетом разных критериев оптимальности получается 16 вариантов оптимизации.

Поверочный расчет вписался в систему, как самый низкий уровень при полностью фиксированных размерах.

Разработанная проектная система позволяет реализовывать до 320 проектных ситуаций (16 вариантов оптимизации для 20 конструктивных исполнений), что охватывает все практические варианты технических заданий.

Для оценки результатов оптимального проектирования разработана **система анализа**, которая включает в себя профессиональные программные средства по оценке магнитного и теплового поля (Ansys), трехмерного твердотельного моделирования для визуализации полученной геометрии (Solidworks), анализ схмотехнических решений для электронной части (Microcap). Процедуры этого анализа встроены в проектную систему. При этом построение трехмерных моделей и визуализация результатов расчета происходит в автоматическом режиме. Фрагменты этого анализа представлены на рис. 3.

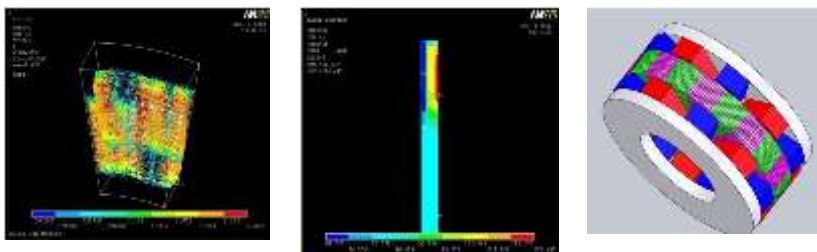


Рис.3. Фрагменты анализа магнитного поля, теплового поля, результат трехмерного твердотельного моделирования

Разработанный программный комплекс ориентирован на сквозную технологию разработки ВМАП и может в качестве составной системы быть включен в системы автоматизированного проектирования более высокого уровня. Программный комплекс использован для разработки инженерной методики проектирования ВМАП. Основу методики составили номограммы по выбору основных размеров, которые получены по результатам оптимизационных расчетов.

Разработка программного комплекса была инициирована практической потребностью. На кафедру электромеханики и электромеханических систем поступает большое количество запросов на проведение НИОКР и внедрение в реальное производство нового класса приводов на базе ВМАП.

В качестве примера приведем коммерческий проект «Генератор для ветроэнергетической установки с вертикальной осью вращения». Задача проекта заключалась в разработке серии электрических генераторов для ветроэнергетических установок с вертикальной осью вращения мощностью 1.0-30 кВт. Заказчиком проекта выступила американская корпорация Empire Magnetics Ins. Непосредственным исполнителем проекта было научно-производственное предприятие ООО «ГРЦ – Вертикаль». В качестве генератора в проекте используется ВМАП модели 2. По проекту был изготовлен ряд ветроэнергетических установок с применением описанного программного комплекса. На рис. 4 изображен генератор и ветроэнергетическая установка 3 кВт.



Рис. 4. Генератор и ветроэнергетическая установка 3 кВт

Проект имеет награды отечественных выставок с международным участием. Он включен в каталог «Инновационный потенциал Челябинской области».

Таким образом, разработанный на базе теоретических исследований кафедры электромеханики и электромеханических систем программный комплекс является эффективным инструментом анализа и синтеза электроприводов нового класса на базе вентильных электрических машин с аксиальным магнитным потоком.

УДК 621.791.01

В.М. МЯКИШЕВ, к.т.н., доцент,
С.А. ЗВЕРЕВ, студент, А.Т. КЛИМОВ, студент,
А.В. ТАНАЕВ студент, С.Н. ЧУГУНОВ, студент, Е.М. ШИШКОВ, студент.
(Самарский Государственный Технический Университет)
г. Самара

Нелинейный источник питания с параллельной обмоткой

Одним из перспективных способов повышения устойчивости мало-амперной сварочной дуги в настоящее время является метод импульсного повышения напряжения на электродах в момент перехода тока через нулевое значение. В настоящее время осуществляется серийный выпуск генераторов импульсов (ГИ-1, ГИ-2), позволяющих обеспечить устойчивое горение сварочной дуги переменного тока при снижении напряжения холостого хода на 25-40%. Однако генераторы импульсов имеют недостаток, а именно наличие зарядного устройства с накопительной ёмкостью.

Улучшение устойчивости горения и энергетических характеристик сварочных трансформаторов может быть достигнуто путем изыскания схем, позволяющих снизить напряжение холостого хода источника питания, и путем разработки способов стабилизации дуги импульсами повышенного напряжения. Можно предложить следующую конструкцию сварочного трансформатора с насыщающимся участком магнитопровода [3], который условно может быть назван нелинейным источником питания (НИП) рис. 1. Применение нелинейной индуктивности позволяет решить ряд технических задач, например, достичь повышения устойчивости горения сварочной дуги, за счёт кратковременного повышения напряжения на дуговом промежутке в момент перехода тока через ноль.

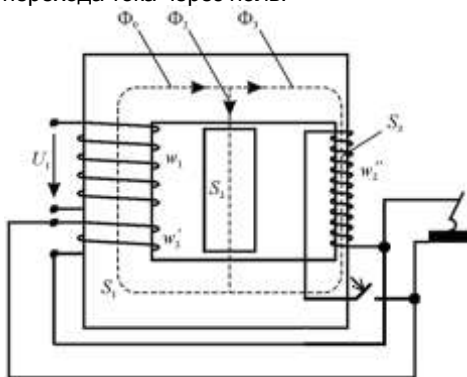


Рис. 1. Принципиальная схема сварочного трансформатора с насыщающимся участком магнитопровода (НИП)

Если обмотки W_2' и W_2'' включены последовательно и согласно, что определяется по режиму холостого хода, то при возрастании величины отношения $\frac{\Phi_2}{\Phi_3}$ (при неизменной величине основного потока Φ_0), оцененных по методу эквивалентных синусоид, напряжение на выходных зажимах трансформатора падает, а при уменьшении величины этого соотношения – возрастает. При встречном включении обмоток W_2' и W_2'' эффект будет обратный, т.е. при возрастании величины отношения $\frac{\Phi_2}{\Phi_3}$ напряжение на выходе трансформатора повышается, а при уменьшении - падает.

Таким образом, обмотку W_2'' можно считать обмоткой «генератора импульсов», причем вырабатываемый им импульс самосинхронизирован с моментом перехода тока через нулевое значение. Следовательно, НИП способен осуществлять функции генератора импульсов, причем отмеченные недостатки генераторов импульсов устраняются.

Параллельное включение обмотки W_2' позволяет значительно увеличить число её витков, а, следовательно, и амплитуду э.д.с., наводимой на ней. Однако параллельное включение имеет тот недостаток, что обмотки W_2' и W_2'' шунтируют друг на друга. Это обстоятельство необходимо учитывать при выборе числа витков обмотки W_2'' . Параллельное включение обмотки W_2'' позволяет снизить сечение провода примерно в 10 раз, а, следовательно, снизить вес активных материалов (меди, алюминия).

Кроме того, параллельное включение обмотки W_2'' позволяет повысить устойчивость горения сварочной дуги. Для сравнения были проведены испытания сварочного трансформатора с параллельной обмоткой.

Опытный образец НИП изготовлен на базе трансформатора СТАН-0 со следующими данными: число витков первичной обмотки - $W_1 = 140$ вит., число витков основной секции вторичной обмотки - $W_2' = 24$ вит., число витков дополнительной параллельной обмотки $W_3 = W_2'' = 200$ вит., напряжение питающей сети $U_1 = 220$ В, частота питающей сети $f = 50$ Гц, сечение насыщающегося участка магнитопровода $S_H = 0,33S_1$. Ниже приводятся некоторые данные этих испытаний в рабочем режиме.

В процессе испытаний регистрировались показания приборов и записывались осциллограммы тока и напряжения при включенной и

отключенной обмотке W_3 . Осциллограммы снимались и с использованием осциллографа МПО-2.

На рис.3 представлены осциллограммы рабочего режима НИП с включенной (б) и выключенной (а) обмоткой W_3 насыщающегося участка магнитопровода.

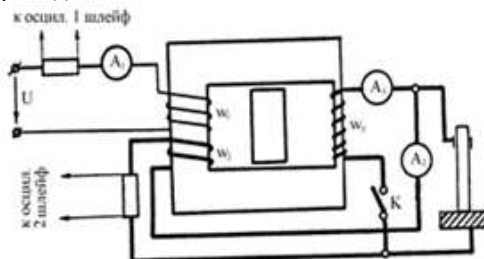


Рис. 2. Схема испытания НИП с параллельной обмоткой в режиме короткого замыкания

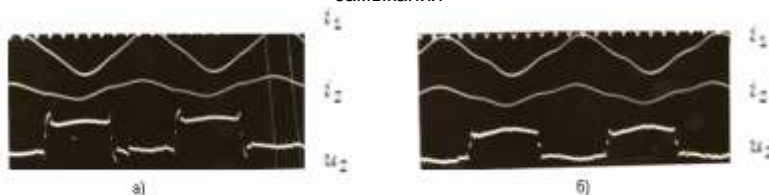


Рис.3 Осциллограммы рабочего режима НИП с включенной (а) и выключенной (б) обмоткой $W_3 = W_2''$

Из сравнения кривых изменения напряжения на дуге видно, что время “перерыва” (зажигания) в горении дуги при отключенной обмотке $t_n = 8 \cdot 10^{-4}$ с., а при включенной обмотке $t_n = 2 \cdot 10^{-4}$ с., причем скорость нарастания напряжения в момент перехода тока через нулевое значение в последнем случае больше, а сама дуга горит значительно “спокойнее”, и напряжение зажигания практически равно напряжению на дуге.

Литература

1. Лесков Г.И. Электрическая сварочная дуга, -М.: Машиностроение, 1970.
2. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. – М.: Машиностроение. – 1966.
3. Мякишев В.М. Сварочный трансформатор с насыщающимся участком магнитопровода. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т. – 2010. – 171 с.
4. Мякишев В.М., Жеваев М.С., Шишков Е.М. Способ определения постоянной времени сварочной дуги. «Электротехника», №2 – 2009, с. 20-23.

УДК 621.3.082.13

В.М. МЯКИШЕВ., к.т.н., доцент, Е.М. ШИШКОВ, студент
 С.А. ЗВЕРЕВ, студент, А.Т. КЛИМОВ, студент,
 А.В. ТАНАЕВ, студент, С.Н. ЧУГУНОВ, студент
 (СамГТУ) г. Самара

О динамике процесса повторного возбуждения сварочной дуги

Процесс повторного зажигания и устойчивого горения сварочной дуги определяются динамическими свойствами системы «источника питания – электрическая дуга». В общем случае оба объекта в динамическом режиме являются нелинейными элементами и их совместный анализ представляет достаточно сложную математическую и экспериментальную задачу. Это обстоятельство приводит к тому, что для анализа динамических процессов, протекающих в дуге во время повторного зажигания, используется несколько математических моделей этой системы.

Как отмечено в [1,2,3], при малых токах для моделирования дуговых процессов удобнее использовать модель О.Майра, а для анализа процессов, протекающих в сварочном трансформаторе, в зависимости от конкретной задачи, могут быть использованы различные модели.

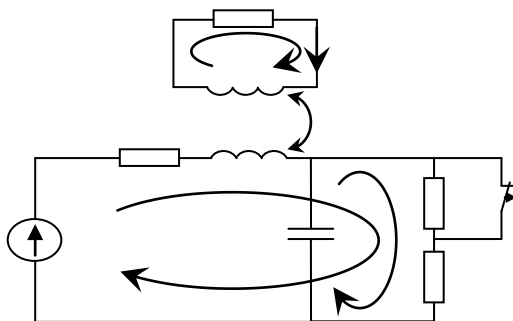


Рис. 1. Схема замещения сварочного трансформатора

На рис.1 представлен один из вариантов схемы замещения сварочного трансформатора с учётом контура вихревых токов, R_B и L_B , паразитной ёмкости C , обусловленной ёмкостью сварочного кабеля и элементами трансформатора, и параметров трансформатора R_0 , R_1 , R и L_1 , где R_1 – эквивалентное входное сопротивление трансформатора относительно выходных зажимов, R – сопротивление столба дуги в

процессе устойчивого горения, R_0 – сопротивление дугового промежутка в процессе повторного зажигания, L_1 – эквивалентная индуктивность сварочной цепи.

В работе [2] указано время восстановления напряжения на дуге после взрыва сварочной перемычки находится в пределах $t_3 = 2 \cdot 10^{-4}$ с. Это время можно считать временем переходного процесса. Известно, что переходный процесс можно считать законченным за $5T_0$, где T_0 – эквивалентная постоянная времени цепи. Исходя из этого можно из экспериментальных данных [2] определить усреднённое значение постоянной времени дугового столба $\tau_0 = 4 \cdot 10^{-5}$ с.

Эти данные с достаточной точностью совпадают с данными, приведёнными в [3]. Здесь же указано, что постоянная времени дугового столба существенно зависит от компонентов элементов, вносимых в дуговой столб (обмазки электродов, флюса, газа и т.п.). Исходя из сказанного, можно считать, что сопротивление дугового столба в процессе повторного зажигания увеличивается по экспоненциальному закону с минимального значения R_0 дугового столба по закону [1,3]

$$R = R_0 \cdot e^{\frac{t}{\tau_0}} \quad (1)$$

Для модели Майра на рис. 2 показаны результаты расчёта кривых восстанавливающегося напряжения в различных масштабах. Сравнивая полученные кривые с аналогичными экспериментальными [2,3,4], можно отметить их хорошее совпадение, что позволяет сделать вывод о приемлемости выбранной схемы замещения сварочного трансформатора и её параметров. В данном случае получена кривая восстанавливающегося напряжения при переходе от установившегося режима горения дуги с сопротивлением $R = 0,14$ Ом (сварочный ток $I = 200$ А) к принуждённому режиму с сопротивлением $R_0 = 100$ Ом, соответствующим режиму погасания дуги.

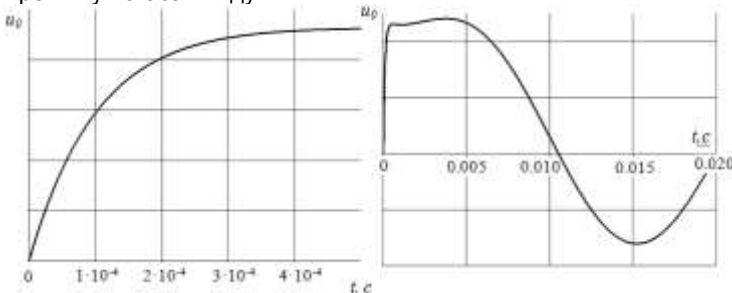


Рис. 2. Изменение напряжения на дуговом промежутке при переходном процессе

С целью анализа процесса повторного возбуждения сварочной дуги проводилась серия расчётов при изменении различных пара-

метров схемы замещения (рис. 1). При каждом изменении параметров повторён расчёт переходного процесса, в результате которого определяем скорость изменения напряжения на дуговом промежутке в момент времени $t = 0$. Расчёт проведён средствами программного комплекса MathCAD и ядра символьных вычислений MuPAD. Результаты представлены на рисунках 3 – 4.

На рис. 3 представлена зависимость изменения скорости нарастания напряжения на дуговом промежутке для различных значений активного сопротивления контура вихревых токов и эквивалентного активного сопротивления сварочной цепи. На рис. 4 представлена аналитическая зависимость изменения напряжения на дуговом промежутке при изменении сопротивления столба дуги по экспоненциальному закону (1).

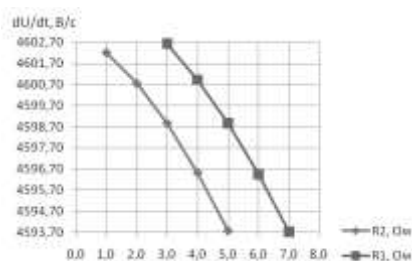


Рис. 3. Скорость изменения напряжения на дуге при изменении значения эквивалентного активного сопротивления R_1 и сопротивления контура вихревых токов R_2 .

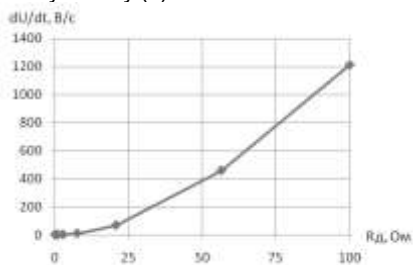


Рис. 4. Скорость изменения напряжения на дуге при изменении значения эквивалентного сопротивления столба дуги по экспоненциальному закону.

Из приведённого анализа следует, что надёжность повторного зажигания и устойчивого горения электрической дуги зависит от согласования динамических свойств источника питания и столба дуги. Если динамические свойства столба дуги, характеризующиеся её постоянной времени, можно считать постоянными при определенных условиях сварки, т.к. они определяются процессами его деионизации, то на динамические свойства источника питания можно оказывать определённое конструктивное влияние. В этой связи считаем целесообразным применение подмагничивания системы, использование генераторов импульсов и искажение формы выходного напряжения сварочного трансформатора.

Литература

1. Залесский А.М. Электрическая дуга отключения. – М.-Л.: Госэнергоиздат. – 1963.
2. Патон Б.Е., Лебедев В.К. Электрооборудование для дуговой и шлаковой сварки. – М.: Машиностроение. – 1966.
3. Мякишев В.М. Сварочный трансформатор с насыщающимся участком магнитопровода. – Самара: Самар. гос. техн. ун-т. – 2010. – 171 с.

УДК 621.321.29

В.И. АФОНИН, О.В. КРУГЛИКОВ,
Р.В. РОДИОНОВ, Ю.В. ЧЕРНЫШЕВ
(ОАО «НИПТИЭМ» г. Владимир)

К вопросу об установленной мощности безредукторных лифтовых приводов

Безредукторный привод лифта обладает рядом преимуществ по сравнению с редукторным приводом: отсутствие редуктора упрощает и удешевляет монтаж и обслуживание привода, экономия электроэнергии составляет порядка 40%, имеется возможность уменьшения размеров машинного отделения, вся электромеханическая система может быть выполнена в двух подшипниковых опорах, за счет снижения уровня шума, плавности хода и точности остановки повышается комфортность поездки [1,2]. Еще одним не менее значимым параметром лифтовых приводов является установленная мощность привода. Установленная мощность определяется полной мощностью привода лифта во время разгона двигателя при опускании порожней или подъеме грузовой кабины:

$$S = \sqrt{3} \cdot U \cdot I, \quad (1)$$

где U - линейное напряжение, В;

I - ток, А.

Исследованиям подвергались лифтовые приводы различных типов:

1. Безредукторный привод с преобразователем частоты;
2. Редукторный привод с преобразователем частоты;
3. Редукторный привод с традиционным двухскоростным асинхронным двигателем.

Результаты исследования полной мощности на лифтах различной грузоподъемности, с различной кратностью полиспаста, а также типами приводов приведены в табл.1. Для оценки пусковых характеристик асинхронных двигателей общего назначения используется кратность пусковой мощности:

$$K_{\Pi} = \frac{S}{P_2}, \quad (2)$$

где S - полная мощность при пуске, кВА;

P_2 - номинальная мощность двигателя, кВт.

Для сравнительного анализа полной мощности приводов в составе лифта введем отношение полной мощности при разгоне к полной мощности в рабочем режиме:

$$K = \frac{S_1}{S_2}, \quad (3)$$

где S_1 - полная мощность при разгоне двигателя привода, кВА;

S_2 - полная мощность при опускании порожней или подъеме грузовой кабины, кВА.

Таблица 1.

Грузоподъемность, кг	400	630	500	500	630
Полиспаст	1:1	1:1	1:2	1:2	1:1
Скорость перемещения, м/с	1	1	1	1	1
Число включений	150	150	200	200	150
Тип двигателя	200L8	13VTR	200M8	200MB6/24	200LC8
Тип привода	1	2	1	3	1
Режим разгона					
Напряжение, В	383	377	371	361	380
Ток, А	14,3	31,4	12,3	83,1	18,8
Подводимая мощность, кВт	6,355	15,56	5,285	29,842	9,015
Полная мощность, кВА	9,486	20,5	7,903	51,958	12,35
Рабочий режим					
Напряжение, В	383	377	371	375	380
Ток, А	10,0	17,2	9,8	12,4	13,4
Подводимая мощность, кВт	4,461	7,784	3,901	5,111	8,591
Полная мощность, кВА	6,633	11,23	6,297	8,034	8,819
отношение полной мощности	1,43	1,83	1,26	6,47	1,41

Исследование полной мощности показало, что для безредукторных приводов с одинаковой кратностью полиспаста отношение полной мощности одинаково. Применение полиспаста позволяет уменьшить установленную мощность на 10-20% для безредукторного привода. Для приводов с одинаковой грузоподъемностью – редукторных с преобразователем частоты и безредукторного привода; отношение отношения полной мощности больше на 20% у редукторного привода. Полная мощность приводов с традиционными двухскоростными асинхронными двигателями больше в 5 раз по сравнению с безредукторными приводами.

Литература

1. Афонин В.И., Кругликов О.В., Макаров Л.Н., Родионов Р.В. Анализ энергоэффективности безредукторного лифтового привода. / Электротехника. №8, 2010. с. 35-40.
2. Афонин В.И., Кругликов О.В., Родионов Р.В., Чернышев Ю.В. Безредукторный лифтовый привод – инновационное энерго- и ресурсосберегающее оборудование. / Известия ТулГУ. Технические науки. Вып.3: Тула. Изд-во ТулГУ, 2010, Ч.4, ISSN2071-6168 с. 9-16

СЕКЦИЯ «МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ»

УДК 621.316.544.1(035.5)

УДК 621.313

А.П. БУРКОВ, к.т.н. с.н.с.,
А.А. СМИРНОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Опыт разработки и исследование характеристик электропривода подачи на базе асинхронного двигателя

Построение современных высокопроизводительных и точных металлорежущих станков невозможно без тщательного проектирования и подбора всех элементов конструкции, в том числе систем ЧПУ и электроприводов.

В результате анализа технических требований к современным электроприводам станков с ЧПУ на базе НТЦ «ИНЭЛСИ» был разработан полностью цифровой векторный асинхронный электропривод подачи и главного движения.

В соответствии с современными требованиями привод содержит в своем составе астатические регуляторы скорости и положения с возможностью компенсаций ошибок слежения за сигналом задания и прямым управлением моментом двигателя. Также в приводе реализована возможность прямого управления моментом без внешних регуляторов скорости или положения. Структура регуляторов приведена на рис.1

Привод поддерживает возможность передачи сигнала управления по стандартному аналоговому каналу управления, а также радиальному дифференциальному высокоскоростному цифровому интерфейсу передачи данных. В качестве цифрового интерфейса в опытном образце использовался интерфейс CAN.

Испытания привода проводились в два этапа. На первом этапе испытания проводились в соответствии с требованиями существующего стандарта на электропривода подачи [1], на втором этапе в соответствии с методикой, предложенной в [2], позволяющей оценить работу привода с точки зрения прямых показателей качества работы системы: статической и динамической точности, повторяемости, динамической жесткости.

Испытания проводились как на холостом ходу, так и с помощью специально разработанного нагрузочного стенда способного формировать и измерять длительный момент нагрузки во всем рабочем скоростном

диапазоне и диапазоне нагрузки $\pm 40\text{Нм}$. Примером полученных характеристик могут служить ЛАЧХ при работе электропривода с регуляторами положения и скорости, приведенные на рис. 2.

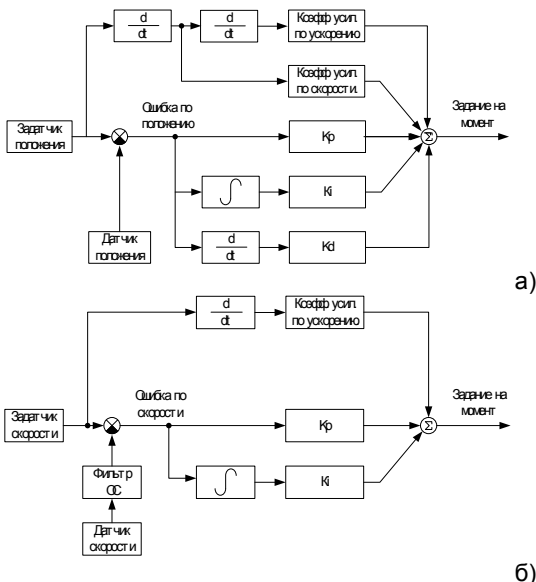
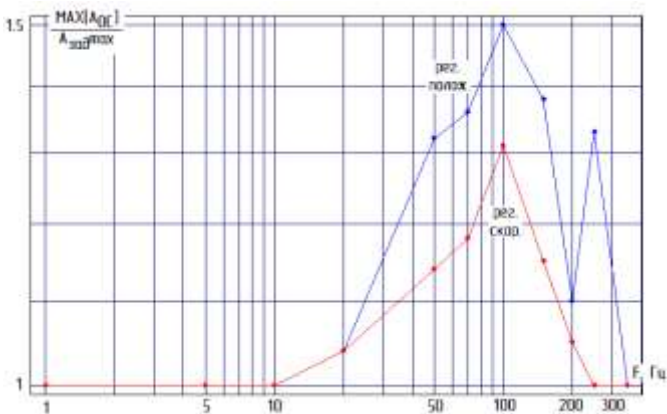


Рис. 1. Структура регуляторов а) положения б) скорости опытного образца электропривода



В результате проведенных испытаний было установлено, что разработанный электропривод полностью удовлетворяет существующим требованиям, и обеспечивает высокие показатели качества согласно методике [2]. Полоса пропускания контура положения 50 Гц, контура скорости 200 Гц. При воспроизведении неразрывных задающих воздействий с неразрывными производными вплоть до ускорения в линейной зоне электропривод обеспечивает малую ошибку слежения независимую от скорости во всем скоростном диапазоне.

Литература

1. **ГОСТ 27803-91.** Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов.
2. **Бурков А.П.,** Красильникьянц Е.В., Смирнов А.А, Салахутдинов Н.В. Современные требования к электроприводам станков с ЧПУ. «Вестник ИГЭУ» 4/2010

УДК 62-83:62-503.53

В.В. ТЮТИКОВ, д.т.н., профессор,
А.И. ВОРОНИН, аспирант,
И.В. ВЕРШИНИН, магистрант
(ИГЭУ)

Методы синтеза САУ по заданным показателям качества

Обеспечение заданных показателей качества переходных процессов в объекте управления является одним из основных требований, предъявляемых к систем автоматического управления (САУ). В теории автоматического управления существует ряд методов, применение которых позволяет обеспечить выполнение этого требования. К их числу, в первую очередь относится модальное управление [1, 2]. Удобство данного метода состоит в том, он позволяет синтезировать САУ различной структуры: с безынерционными регуляторами состояния, использующими информацию о всех переменных состояния объекта управления или с динамическими регуляторами в контуре главной обратной связи, использующими информацию только о выходной переменной состояния. Требуемое качество процессов обеспечивается на основе заданного расположения корней характеристического полинома замкнутой системы. Процедуры расчета регуляторов легко алгоритмируются, и некоторые из них включены в стандартные пакеты программ, например в MATLAB.

Основным недостатком метода является то, что для его применения объект должен обладать свойством полной управляемости по

состоянию (структура с безынерционными регуляторами состояния) или свойством полной управляемости и наблюдаемости (структуры с динамическими регуляторами в контуре главной обратной связи). Более того, даже наличие этого свойства в случае близко расположенных нулей и полюсов не гарантирует возможность синтеза работоспособной САУ, поскольку низкая степень управляемости и/или наблюдаемости приводит к высокой чувствительности синтезированных систем к вариациям параметров объекта управления.

Активно развиваемый в последнее время метод аналитического конструирования агрегированных регуляторов (АКАР) [3] также ориентирован на получение переходных процессов заданного качества. Результатом синтеза является получение структур с безынерционными регуляторами состояния. Применение метода не требует наличия у объекта свойства полной управляемости. Данная особенность является следствием того, структура регулятора определяется в процессе синтеза. Требуемое качество процессов обеспечивается на основе задания для каждой из переменных состояния объекта управления уравнений, описывающих их желаемое движение (обычно дифференциальных уравнений первого порядка). Особенность получаемых регуляторов состоит в том, что каждый внешний регулятор включает в себя как составную часть все внутренние регуляторы. В этом случае очень удобно осуществлять ограничение значений переменных в переходных процессах, поскольку каждый из синтезированных регуляторов может выполнять функцию управления «своей» переменной состояния независимо от других (аналогично методу подчиненного регулирования координат). Недостатком метода является то, что его использование связано с трудоемкими процедурами расчета параметров регуляторов. До настоящего времени не предложено алгоритмов их автоматизации.

В основу АКАР был положен метод структурного синтеза систем автоматического управления [4]. Аналогично АКАР результатом синтеза являются структуры с безынерционными регуляторами состояния, не требуется также наличия у объекта свойства полной управляемости. Требуемое качество процессов обеспечивается на основе задания дифференциального уравнения движения замкнутой системы, порядок которого равен порядку объекта управления. В отличие от АКАР методика структурного синтеза регуляторов легко алгоритмируется и автоматизируется.

Таким образом, использование указанных методов синтеза систем автоматического управления с заданным качеством процессов позволяет проектировщику проводить структурную оптимизацию проектных решений в зависимости от наличия у объекта тех или иных свойств, сложности его описания, необходимости ограничения координат состояния.

Литература

1. **Кузовков Н. Т.** Модальное управление и наблюдающие устройства. – М.: Машиностроение. 1976.
2. **Волгин Л. Н.** Оптимальное дискретное управление динамическими системами / Под ред. П. Д. Крутько. – М.: Наука. Гл. ред. физ.-мат. лит., 1986.
3. **Современная прикладная теория управления: Новые классы регуляторов технических систем** \ под ред. А. А. Колесникова. – Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2000. Ч. 3. 656 с.
4. **Бойчук Л. М.** Метод структурного синтеза нелинейных систем автоматического управления. – М., Энергия, 1971.

УДК 621.313

А.П. БУРКОВ, к.т.н., с.н.с.,
Н.В САЛАХУТДИНОВ ст. преподаватель,
А.А. СМИРНОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Разработка испытательного нагрузочного стенда для электроприводов

Одной из основных характеристик приводов подачи и главного движения станков с ЧПУ, на которую в первую очередь обращают внимания потребители, является работа привода под нагрузкой. Данные испытания входят в набор типовых как в соответствии с существующим стандартом [1], так и в соответствии с методикой [2]. В рамках существующего стандарта нормируется время возвращения к заданной скорости и величина рассогласования по скорости. Согласно методике [2], данные испытания позволяют продемонстрировать возможности привода с позиций прямых показателей качества, а именно, динамическую жесткость привода, то есть способность компенсировать внешнее возмущение по моменту нагрузки.

Основной сложностью при проведении испытаний электропривода под нагрузкой является необходимость обеспечить одинаковый постоянный момент нагрузки в широком диапазоне скоростей. При этом нагрузочный стенд должен иметь максимально линейную характеристику, как силовой, так и измерительной части.

Анализ используемых измерителей момента показал, что доступные по цене нагрузочные стенды либо недостаточно точны, либо не способны измерять момент вращения. В большинстве случаев нагрузка формируется по принципу фрикциона, однако подобные системы не обладают требуемой линейностью и не работают в динамических режимах. В результате был разработан специальный нагрузочный стенд обладающий требуемой точностью и

функциональными возможностями. Структурная схема нагрузочного стенда приведена на рис.1.

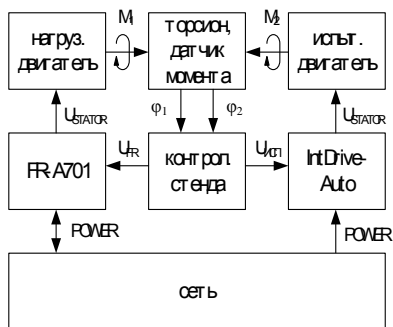


Рис. 1. Структурная схема нагрузочного стенда

Нагрузочный стенд состоит из: испытуемого и нагрузочного асинхронных двигателей мощностью 4 кВт каждый; измерителя момента работающего по принципу торсиона, посредством измерения угла закручивания измерительного вала; испытуемого силового модуля с системой управления IntDrive-Auto; преобразователя частоты FR-A741 для нагрузочного двигателя с возможностью рекуперации энергии в сеть; а также управляющего контроллера стенда.

Благодаря предложенной структуре и аппаратной реализации стенд позволил обеспечить работу нагрузочной машины в широком скоростном диапазоне без необходимости снижения момента нагрузки в длительном режиме. Система обладает высокой линейностью, погрешность задания момента составляет ± 0.1 Нм, погрешность измерения момента составляет ± 0.01 Нм, диапазон измеряемых моментов нагрузки во всем скоростном диапазоне для используемого измерительного вала составляет ± 40 Нм. Стенд предполагает возможность модернизации и испытания приводов мощностью до 11 кВт.

Разработанный стенд позволил провести широких спектр испытаний опытного образца электропривода подачи под нагрузкой.

Литература

1. ГОСТ 27803-91. Электроприводы регулируемые для металлообрабатывающего оборудования и промышленных роботов.
2. Бурков А.П., Красильникьянц Е.В., Смирнов .А.А, Салахутдинов Н.В. Современные требования к электроприводам станков с ЧПУ. «Вестник ИГЭУ» 4/2010

Разработка микропроцессорной системы управления асинхронным двигателем с алгоритмом оптимизации потока машины

Существует множество областей применения двигателей, в которых требуется изменять скорость вращения ротора в широком диапазоне, значительно превышающем номинальное значение. Такие двигатели используют в станках с ЧПУ (токарных, сверлильных) в качестве привода главного движения, а также в городском электрическом транспорте и электровозах. Одним из основных способов достижения двигателем скоростей вращения порядка $4-5 \cdot \omega_{ном}$, увеличения КПД и уменьшения расхода энергии является управление потоком машины.

Для любого электрического двигателя справедливо следующее соотношение:

$$U = I_a \cdot R_a + C_m \cdot \omega, \quad (1)$$

где U – напряжение питания, $I_a \cdot R_a$ – внутреннее падение напряжения, C_m – магнитная постоянная, ω – скорость ротора.

Так как напряжение питания имеет неизменное максимальное значение, а каналы управления скоростью и моментом являются независимыми, то для увеличения скорости вращения двигателя необходимо уменьшать C_m . Наиболее доступным способом изменения магнитной постоянной является управление током намагничивания статора.

В большинстве практических случаев, связанных с регулированием скорости вверх от номинального значения, необходимо уменьшать ток намагничивания статора (а значит и поток ротора) по такому закону, чтобы минимизировать падение момента.

Существуют различные методы управления потоком.

Двухзонное регулирование скорости асинхронного двигателя [1]. В зоне до номинальной скорости вращения регулирование осуществляется изменением амплитуды и частоты напряжения питания. В зоне высоких скоростей – лишь изменением частоты. Ослабление поля используется для уменьшения общего потребляемого тока.

Метод управления асинхронным двигателем с ослаблением поля [2]. На основе взаимодействия тока и напряжения статора в токовой плоскости формируется закон управления потокоцеплением ротора в зависимости от требуемой скорости вращения.

Табличный метод управления потоком машины. Вместо функциональной зависимости скорости ротора от момента берутся

табличные значения. Переходы между точками могут быть реализованы по различным законам: от набора дискретных уровней до интерполяции высокого порядка.

В результате работы проведен сравнительный анализ существующих решений, на основе которого был разработан алгоритм управления потоком машины, оптимальный для применения в приводах подачи и главного движения станков с ЧПУ.

Литература

1. **Козярук А.Е.**, Рудаков В.В. Современное и перспективное алгоритмическое обеспечение частотно-регулируемых электроприводов. - Санкт-Петербург: СПЭК, 2004. 128с.
2. **US006104159A** «Field weakening control method in induction motor», 2000.

УДК 681.3.08

Н.М. ВОРОБЬЕВ, магистрант
(ИГЭУ)

Разработка и исследование структуры цифрового фильтра в канале управления прецизионного электропривода

В настоящее время в промышленности идет активный процесс замены устаревших аналоговых электроприводов на современные цифровые. В результате модернизации возникает проблема согласования аналогового канала управления ЧПУ с цифровым прецизионным электроприводом. Аналоговый сигнал управления подвержен воздействию внешних помех. Будучи оцифрованными, данные помехи оказывают значительное влияние на качество работы прецизионного электропривода. Они приводят к снижению жесткости и робастности прецизионного электропривода. Для снижения мощности помехи применяют аналоговые и цифровые фильтры.

В настоящее время значительное развитие получили цифровые фильтры, благодаря таким основным преимуществам, как:

- Большая гибкость. Цифровой фильтр можно легко запрограммировать и перепрограммировать на выполнение различных функций без изменения оборудования.
- В отличие от аналоговых, производительность цифровых фильтров не зависит от изменений среды, например, от колебаний температуры. Таким образом, цифровые фильтры не требуют периодической подстройки и могут работать в жестких условиях.
- На практике точность, которой можно добиться при использовании аналоговых фильтров, ограничена; например, затухание в полосе подавления нельзя поднять выше 60-70дБ. Точность цифровых

фильтров ограничена только используемой длиной слова и тактом квантования.

У цифрового фильтра есть и свои недостатки, главный из них это проблема конечной разрядности. Цифровые фильтры подвержены шуму квантования АЦП. При использовании рекурсивных фильтров высоких порядков накопление ошибок округления промежуточных вычислений может привести к неустойчивости фильтра.

Исходя из технических требований, предъявляемых к современному цифровому прецизионному электроприводу цифровой фильтр в его аналоговом канале управления должен соответствовать следующим критериям:

- Простота реализации и минимизация вычислительных затрат, а так же возможность реализации фильтра на микросхеме ПЛИС
- Минимальная полоса перехода и максимальное ослабление сигнала помехи в полосе подавления
- Линейная фазовая характеристика

Наиболее подходящими под вышеописанные требования оказались следующие фильтры: рекурсивный фильтр с конечной импульсной характеристикой трансверсальной структуры с окном Блекмона [1], фильтр скользящего среднего и фильтр частотной выборки, с простыми коэффициентами имеющий структуру аperiодического звена.

По вышеприведенным фильтрам были проведены исследования, построены АЧХ, ФЧХ, графики дисперсии шума от коэффициентов фильтра и его структуры. Построен спектр входного сигнала аналогового канала управления при различных заданиях на двигатель, по которому видно, что спектр помехи равномерно распределен по всем частотам, за исключением гармонических составляющих сервоцикла. На рисунке 1, показан сигнал в канале управления и его спектр до и после прохождения фильтра Блекмона по 8 точкам.

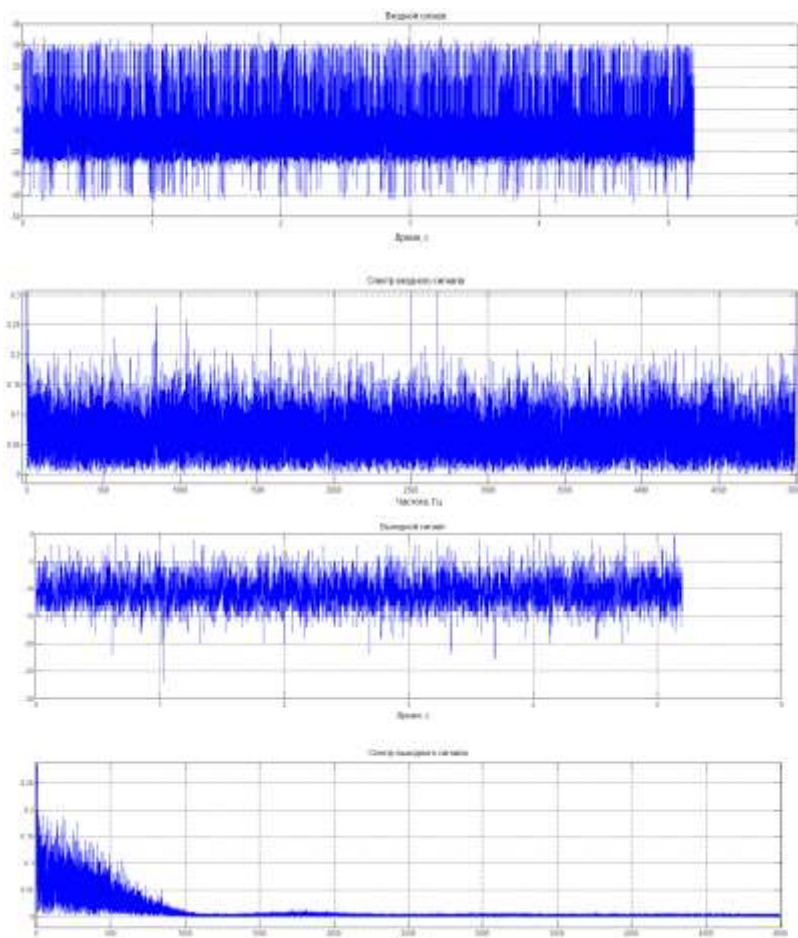


Рис. 1. Спектр входного сигнала и после фильтрации

Литература

1. Айфичер Э. С., Барри Д.У. Цифровая обработка сигнала: практический подход. :Пер. С англ. – М.: Издательский дом "Вильямс".2008

УДК 621.313

В.А. АГАПОВ, ст. преподаватель,
Д.А. НОВОЖИЛОВ, студент
(ИГЭУ)

Микропроцессорная система контроля количества замазливателя, наносимого на сформованную нить

Синтетические химические волокна играют значительную роль в современном мире – это и одежда, и ткани со специальными свойствами, а также различные композиционные материалы и т. д.

В процессе производства, на поверхность сформованной комплексной нити наносят замазливающую препаацию. Это проводится, с целью снижения коэффициента трения нити о детали машины.

Контроль количества, нанесенного на комплексную нить, замазливателя, проводят путем измерения его количества при помощи ручного экспресс метода и дальнейшего изменения подачи замазливателя, произведенного вручную. Время проведения экспресс метода занимает около 20 минут для каждой пробы нити, взятой с готовой паковки. Недостатки данного метода вполне очевидны.

Предлагаемая микропроцессорная система позволит проводить контроль количества наносимого замазливателя, не с конечного продукта(паковки), а непосредственно в процессе его производства, и не при помощи оператора линии, а автоматически. Также система позволит проводить измерение колебаний диаметра комплексной нити.

Принцип работы системы заключается в слежении за диэлектрическими параметрами нити, до и после стадии замазливания.

Система состоит из микропроцессорного управляющего блока(МП), двух емкостных датчиков Д1 и Д2, датчика скорости движения нити (ДСДН), устройства управления(УУ) исполнительным механизмом(ИМ) стадии замазливания. Датчики Д1 и Д2 входят в состав частотозадающих цепей генераторов гармонических сигналов. При прохождении одного и того же участка нити с замазливателем, и без его, через соответствующие ёмкостные датчики генераторы будут выдавать сигналы с разными частотами, причем, эта разность будет зависеть от количества наносимого замазливателя. Датчик скорости движения нити (ДСДН) дает микропроцессору информацию о текущей скорости движения нити, на основании которой микропроцессор производит обработку информации с генераторов гармонических сигналов, при прохождении через ёмкостные датчики одного и того же участка комплексной нити. В результате обработки информации микропроцессор подает команду устройству управления исполнительным механизмом на увеличение, либо на уменьшение подачи замазливателя.

Перед применением система должна быть соответствующим образом запрограммирована, согласно выпускаемому ассортименту и типу, применяемого в производстве, замасливателя.

Функциональная схема предлагаемой микропроцессорной системы изображена на рис.1, а внешний вид емкостного датчика на рис.2.

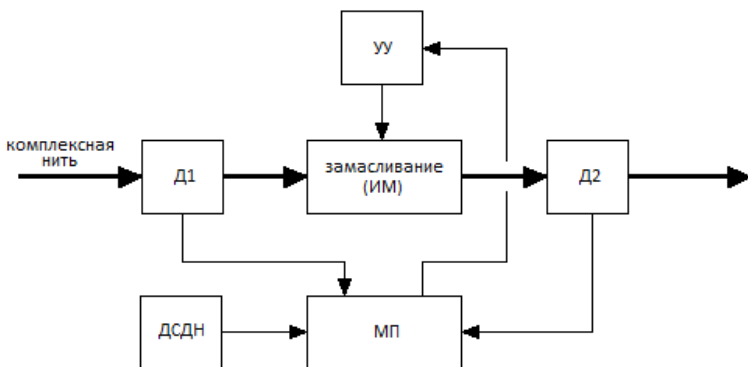


Рис. 1. Микропроцессорная система контроля количества замасливателя (расшифровка обозначений на вышеприведенном рисунке дана в тексте)

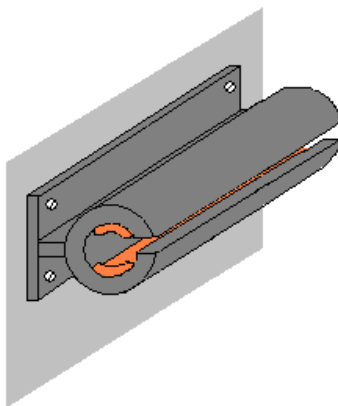


Рис.2 Конструкция ёмкостного датчика

Методы автоматической настройки регуляторов с наблюдателями состояний электромеханических систем

Перспективным путем повышения качества управления сложными электромеханическими системами (ЭМС) является применение регуляторов состояний (РС) различных типов [1]. В частности, при невозможности измерения всего вектора координат объекта управления целесообразно использование регуляторов с наблюдателями состояний (РНС). Структура системы с РНС приведена на рис. 1, где s – переменная Лапласа; u , y , \hat{y} – входной и выходные сигналы объекта и НС; A и A_M , B и B_M , C и C_M – матрицы состояния, входа и выхода объекта и НС с размерностями $n \times n$, $n \times 1$, $1 \times n$; K_M – матрица коэффициентов РС; L – матрица подстройки НС.

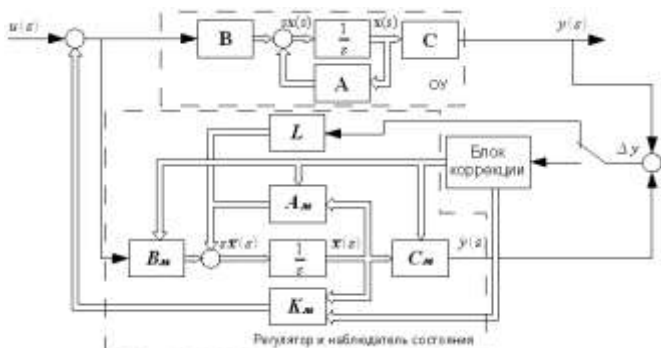


Рис. 1. Структура замкнутой одномерной системы с РНС

В условиях неопределенности параметров объекта управления возникает необходимость автоматической настройки РНС, поскольку синтезированный аналитически регулятор зачастую не обеспечивает заданных свойств системы. Эта задача осложняется большим количеством параметров РНС, а также жесткими требованиями к сходимости и быстродействию применяемых алгоритмов. В результате непосредственное использование методов оптимизации [2] для настройки РНС по заданным показателям качества оказывается малоэффективным.

Предлагаемый метод настройки систем управления с РНС основан на вариации параметров наблюдателя – матриц \mathbf{A}_M , \mathbf{B}_M , и \mathbf{C}_M при разомкнутом контуре подстройки \mathbf{L} . В каждом цикле настройки после изменения параметров НС осуществляется расчет коэффициентов РС методом модального управления для желаемого характеристического полинома $D(s) = s^n + d_{n-1}s^{n-1} + \dots + d_1s + d_0$:

$$\mathbf{K}_M = [a_0 - d_0, a_1 - d_1, \dots, a_{n-1} - d_{n-1}],$$

где a_0, a_1, \dots, a_n – элементы матрицы \mathbf{A}_M наблюдателя, представленного в канонической форме управляемости (КФУ).

Критерием оптимальности при таком методе настройки является среднее по модулю отклонение сигналов объекта и наблюдателя за время переходного процесса kT_0 , T_0 – период квантования:

$$J = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k |y_i - \hat{y}_i|. \quad (1)$$

Наблюдатель с РС здесь играет роль эталонной модели, поскольку его динамика всегда определяется заданным распределением корней характеристического полинома $D(s)$. В результате оптимальной в смысле минимума J настройки система с РНС будет иметь желаемую переходную характеристику, практически совпадающую с эталонной (рис. 2).

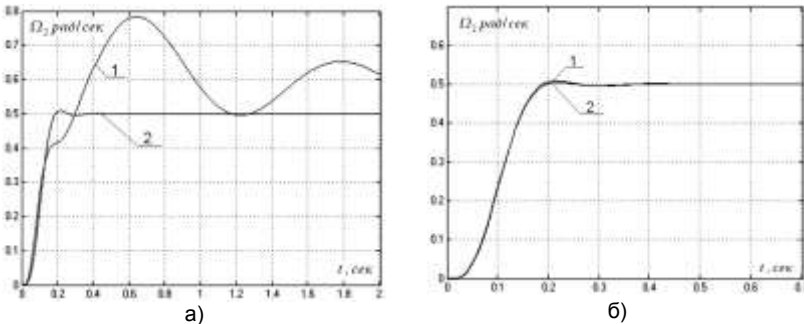


Рис. 2. Переходные процессы в системе с РНС:

а) до настройки; б) после настройки (1 – объект управления; 2 – наблюдатель)

Поиск оптимальных параметров наблюдателя при таком подходе целесообразно проводить с использованием численных алгоритмов, наиболее эффективными из которых в условиях реального времени оказываются методы деформируемого симплекса [2]. Применение критерия (1) позволяет обеспечить четко выраженный экстремум, и как следствие, устойчивую сходимость применяемых алгоритмов.

После окончания настройки на основе полученных матриц A_M , B_M , и C_M , которые являются оптимальными оценками матриц объекта A , B и C , проводится расчет матрицы L методом модального управления [1] и замыкание контура подстройки наблюдателя.

Дальнейшее снижение размерности задачи оптимизации возможно путем использования априорной информации, то есть структуры и ряда известных параметров объекта. Это позволяет варьировать в процессе настройки лишь небольшое количество переменных параметров, например момент инерции J_2 и коэффициент жесткости C_{12} в двухмассовой ЭМС. При таком подходе в каждом цикле настройки осуществляется расчет элементов матриц наблюдателя A_M , B_M , и C_M по передаточной функции объекта управления.

Исследование эффективности предложенных подходов проводилось на примере двухмассовой ЭМС с РНС, имеющей передаточную функцию

$$H_o(s) = \frac{61637}{s^4 + 20 \cdot s^3 + 67,17 \cdot s^2 + 112667 \cdot s + 140,89}$$

Вариация 5-ти параметров НС и расчет коэффициентов РС обеспечивают устойчивую настройку за 150-180 итераций для метода ДФП и 300-340 итераций для метода деформируемого симплекса (рис. 2). Использование априорной информации позволило уменьшить число варьируемых параметров до двух – J_2 и C_{12} . В результате длительность настройки сократилась до 30-35 итераций для метода ДФП и 50-55 для метода деформируемого многогранника (рис.3).

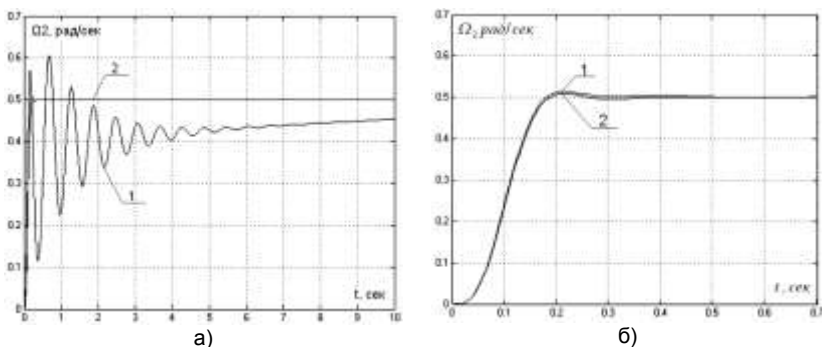


Рис. 3. Переходные процессы в системе с РНС при вариации C_{12} и J_2 а) до настройки; б) после настройки (1 – объект управления; 2 – наблюдатель)

Таким образом, предлагаемый подход позволяет сформировать процедуру настройки системы с РНС, отвечающую требованиям реального времени.

Литература

1. **Тарарыкин С.В.**, Тютиков В.В. Системное проектирование линейных регуляторов состояния. – Теория и системы управления, 1995, №4.
2. **Химмельблау Д.** Прикладное нелинейное программирование. - М.: Мир, 1975.

УДК 612.313

А. С. ЛЕТУНОВСКИЙ, студент
(ИГЭУ)

Исследование алгоритмов формирования задающего воздействия и интерполяции сигнала обратной связи в прецизионном электроприводе

В настоящее время в различные технологические процессы все шире внедряются цифровые прецизионные электропривода. Для получения сигналов обратной связи по положению в них используются преобразователи перемещений. Наиболее широко используются два типа таких преобразователей: фотоэлектрические и электромагнитные [3]. Они позволяют добиться высокой точности позиционирования. Однако вследствие квантования сигнала обратной связи по уровню и по времени возникают ошибки в вычислении скорости на основе данных о положении ротора, которые особенно значительны на небольших скоростях. Самый простой способ решения данной проблемы состоит в увеличении разрядности сигнала обратной связи. Для этого можно использовать более точные преобразователи перемещений, но это может существенно повысить стоимость привода, поэтому такой подход сложно назвать рациональным.

Другим способом увеличения разрядности являются алгоритмы вычисления скорости на основе данных о положении ротора. На практике широко применяются несколько вариантов таких алгоритмов. Одним из них является цифровая фильтрация сигнала скорости. Данный алгоритм позволяет уменьшить ошибки, однако вносит дополнительную задержку, что негативно сказывается на свойствах системы. Алгоритмы с элементами экстраполяции и предсказания избавлены от указанного недостатка [2].

В связи с преимуществами программного способа увеличения разрядности было решено провести исследования в данной области. К ним относятся:

- Анализ и моделирование существующих алгоритмов, определение возможности их реализации и целесообразности применения.

- Создание и моделирование собственных алгоритмов.

Выбор правильного алгоритма формирования задающего воздействия так же важен для систем высокоточного управления движением. В большинстве физически воспроизводимых траекторий движения промежуточные положения нельзя выразить целым количеством дискрет измерителя. Погрешности или возмущения, вызванные квантованием сигнала по уровню, вследствие представления промежуточных точек траектории ближайшими целыми числами могут быть существенными. В системах с упреждающими связями эти ошибки могут быть еще больше, так как в таких системах до 99% сигнала сервоуправления формируется именно упреждающими связями [1]. В качестве упреждающих связей обычно используются сигналы скорости и ускорения по заданию, которые получаются путем численного дифференцирования цифрового сигнала задания. Шум квантования, усиливающийся при дифференцировании, не позволяет увеличить коэффициенты усиления в связях упреждения, что не дает возможности эффективно компенсировать ошибки, вызванные динамическим изменением скорости и ускорения сигнала управления.

Формирование задающего воздействия с помощью специальных алгоритмов позволяет получить сигнал задания с гладкими непрерывными производными, что приводит к минимизации динамических ошибок и увеличению жесткости системы.

В проведенном исследовании были проанализированы достоинства и недостатки подобных алгоритмов, проведено моделирование.

Литература

1. **Curtis S. Wilson** Controller Requirements for High-Precision Motion Applications
2. **Baehr A.** Speed Acquisition Methods for High-Bandwidth Servo Drives, 2004
3. **Гусев Н.В., Букреев В.Г.** Системы цифрового управления многокоординатными следящими электроприводами: Учебное пособие – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2007.

УДК 621.382

А. Н. ИГНАШИН, студент,
А.П. БУРКОВ, к.т.н., с.н.с.,
Н.В. САЛАХУТДИНОВ, ст. преподаватель,
В.Г. КОМИН, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Реализация поддержки интерфейса USB для микроконтроллера NXP LPC3250

Продолжительное время традиционным интерфейсом работы с микроконтроллерами оставался RS-232, которым оснащали свои изделия все производители подобных систем. Основное преимущество данного интерфейса – простота реализации. Однако, в последнее время число устройств с поддержкой RS-232 сокращается ввиду широкого распространения более современного USB. В этих условиях актуальной является задача реализации поддержки USB микроконтроллерами, наиболее распространенными из которых являются сегодня микроконтроллеры на базе ядра ARM.

USB (Universal Serial Bus — универсальная последовательная шина) появилась относительно недавно (первый утвержденный стандарт был принят в 1996 году) и разрабатывалась при участии множества ведущих компаний компьютерной индустрии, как Microsoft, Intel, DEC, IBM, NEC, Northern Telecom и Compaq. Изначально разработанная для возможности использования в самых различных ситуациях, шина позволила решить давнюю проблему конфликта устройств при подключении их к компьютеру, так как контроллер USB занимает лишь одну линию прерывания при любом количестве подключенных к нему устройств (до 127). Кроме того, USB позволяет маломощному устройству получать питание непосредственно через шину.

Сеть USB строится по схеме многозвездной звезды. В сети есть лишь одно управляющее устройство, называемое хостом (как правило, персональный компьютер) и множество ведомых устройств. Все передачи могут производиться только по инициативе хоста. Основная цель стандарта USB состояла в обеспечении пользователям реальной возможности подключения периферийных устройств в режиме Plug&Play. Все это подразумевает стандартные действия, которые должны быть произведены хостом для того, чтобы опознать устройство, которое в свою очередь должно соответствующим образом отреагировать на них.

Для достижения своей главной цели – универсальности, USB может работать в четырех разных режимах, которые отличаются протоколом и приоритетом. Режим для управляющих передач имеет наиболее сложный протокол среди прочих и самый высокий приоритет, используется для конфигурирования устройства. Изохронный режим позволяет доставлять данные в “реальном времени”, когда на каждом временном

интервале требуется передавать строго определенное количество данных. Режим передачи по прерыванию схож с изохронным, но носит более спонтанный характер, а передачи должны обслуживаться не медленнее, чем того требует устройство. Сплошные передачи используются для данных большого размера, им выделяется все оставшееся время на шине и, как следствие, они имеют наиболее низкий приоритет.

Производители отладочных плат, как правило, не поставляют драйверы для поддержки контроллером данного интерфейса ввиду того, что драйвер будет значительно отличаться в зависимости от назначения USB-устройства.

Интерфейс USB реализован на отладочной плате Phytex KPCM-040 на базе микроконтроллера NXP LPC3250 с ядром ARM9. Со стороны компьютера обмен данными поддерживает оболочка, использующая стандартный драйвер HID (Human Interface Device), который является предустановленным для операционных систем Windows.

Для обмена данными с микроконтроллером необходимо инициализировать USB-модуль, который аппаратно реализован с использованием внешнего приемопередатчика ISP1301 и контроллера USB, являющегося частью микросхемы LPC3250. Взаимодействие с контроллером USB осуществляется через набор регистров и систему команд Protocol Engine, которая является специфичной для данной микросхемы и используется для выполнения таких операций как присвоение устройству адреса, статуса, очистка входного буфера и подтверждение готовности данных в выходном буфере. Конфигурирование приемопередатчика ISP1301 осуществляется через интерфейс I2C.

Процедура инициализации USB-модуля включает следующие действия: установка частоты работы I2C; выбор режима функционирования ISP1301, который определяется схемой подключения к микроконтроллеру; настройка системы ФАПЧ для получения частоты 48МГц, необходимой для нормальной работы контроллера USB; разрешение подачи питания и частоты на контроллер USB; присвоение устройству нулевого адреса и разрешение обработки прерываний от контроллера USB; добавление подтягивающего резистора на одну из линий данных USB, который позволит хосту обнаружить подключение устройства к шине.

При обнаружении нового устройства на шине хост должен получить от него информацию о его возможностях и назначении. Этот процесс называется нумерацией и производится в режиме обработки прерывания. Хост несколько раз отсылает устройству конфигурационный пакет фиксированного размера, читая который устройство может узнать, какие именно данные о нем запрашивает хост и отослать ему их в виде структур, называемых стандартными дескрипторами (дескриптор устройства, конфигурации, интерфейса, класса, конечной точки, репорта). Размер и назначение полей дескрипторов жестко определено спецификацией (usb.org).

Дескриптор устройства содержит в себе информацию о самом устройстве и является самым первым дескриптором, который запрашивает хост, далее необходимо по запросам хоста отослать все подчиненные дескрипторы: дескриптор конфигурации, дескриптор интерфейса, дескриптор класса и дескриптор конечной точки. В процессе нумерации хост может запрашивать одни и те же дескрипторы несколько раз, поэтому устройство всегда должно быть готовым отослать соответствующий дескриптор.

Весь обмен данными между хостом и устройством происходит через так называемые конечные точки, которые можно упрощенно рассматривать как буферы с индексами. Контроллер LPC3250 поддерживает до 16 конечных точек. Конечная точка с индексом 0 является обязательной для всех устройств, поскольку именно через нее осуществляется процесс нумерации. Дескриптор конечной точки содержит информацию о максимальном размере пакета для конечной точки, ее направлении и частоте ее опроса хостом. После его получения хост должен выбрать драйвер для управления этим устройством.

Приложениям, не предъявляющим специфических требований к процессу обмена данными, удовлетворяет стандартный драйвер HID. Для того, чтобы хост назначил HID – драйвер для устройства, устройство должно в дескрипторе интерфейса указать, что устройство относится к стандартному классу HID и отправить дескриптор класса (спецификация выделяет стандартные устройств в несколько классов и HID является одним из таких классов) следом за дескриптором интерфейса.

Обмен данными через драйвер HID происходит с помощью репортов. Репорт - это данные определенного формата, который задается с помощью дескриптора репорта. После завершения процесса нумерации, драйвер HID запрашивает этот дескриптор. В отличие от других стандартных дескрипторов, дескриптор репорта не имеет жестко заданного размера и назначения полей, вместо этого он имеет сложную табличную структуру, состоящую из так называемых элементов, количество которых и, следовательно, размер самого дескриптора будет зависеть от назначения устройства и данных, которые оно передает. После получения дескриптора репорта USB-устройство и хост готовы к обмену данными.

Реализация поддержки USB на плате Phytex KPCM-040 позволила отказаться от устаревшего RS-232 и использовать для работы с микроконтроллером более быстрый и универсальный интерфейс.

Литература

1. Агуров П. Интерфейс USB практика использования и программирования. – М.: BHV. 2004 г.

УДК 62-50-83

Е. В. ГРИШИНА, ст. преподаватель,
Л. Г. КОПЫЛОВА, к.т.н., доцент,
С. В. ТАРАРЫКИН, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Компенсация гармонических колебаний момента нагрузки в электромеханических системах

Одной из основных тенденцией современного машиностроения является применение индивидуальных приводных устройств технологических машин и существенное упрощение кинематических передач между электродвигателем и рабочим органом (РО). При этом РО, имеющий значительные габаритные размеры, становится главным элементом механической части электромеханической системы (ЭМС). Его особенности, связанные обычно с погрешностями изготовления и монтажа, проявляются при вращении в виде гармонических пульсаций момента нагрузки

$$M_H = M_0 + M_1 \sin(\Omega t + \varphi_0),$$

где M_0 , M_1 , φ_0 , Ω - соответственно постоянная составляющая, амплитуда колебаний момента, начальный угол и частота вращения РО.

Это подтверждают результаты соответствующих исследований [1-4], выполненных для различных отраслей промышленности методом

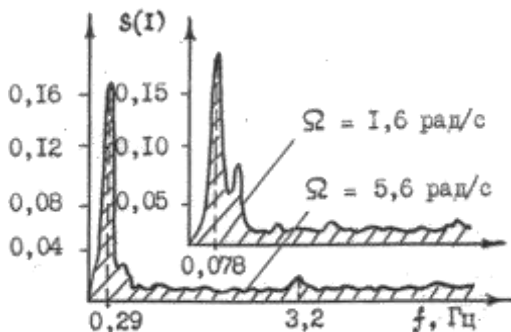


Рис. 1. Спектрограмма тока электродвигателя двухвального агрегата

спектрального анализа флуктуаций тока силовой цепи (рис.1) электроприводов конкретных технологических машин на различных уровнях рабочих скоростей.

Флуктуации момента нагрузки и, как следствие, скорости РО могут вызвать существенные изменения качественных показателей готовой продукции: точности изготов-

ления деталей, геометрических размеров изделий (диаметра волокна или провода, толщины пленки и различных покрытий), весовых параметров материалов (плотности бумаги, ткани и др.), светопропускания оптических световодов и т.п.

Очевидно, что уменьшить влияние флуктуаций момента нагрузки можно путем повышения быстродействия (динамической точности)

систем регулирования скорости. Применение системы подчиненного регулирования с каскадным регулятором (рис. 2, графики 1) позволяет снизить амплитуду пульсаций скорости, вызванных гармоническими колебаниями M_n . Однако дальнейшее уменьшение пульсаций путем повышения коэффициента петлевого усиления становится затруднительным, т. к. приводит к ухудшению качества переходного процесса по управляемому воздействию, повышению токовых форсировок и сокращению линейной зоны работы ЭМС (рис. 2, графики 2).

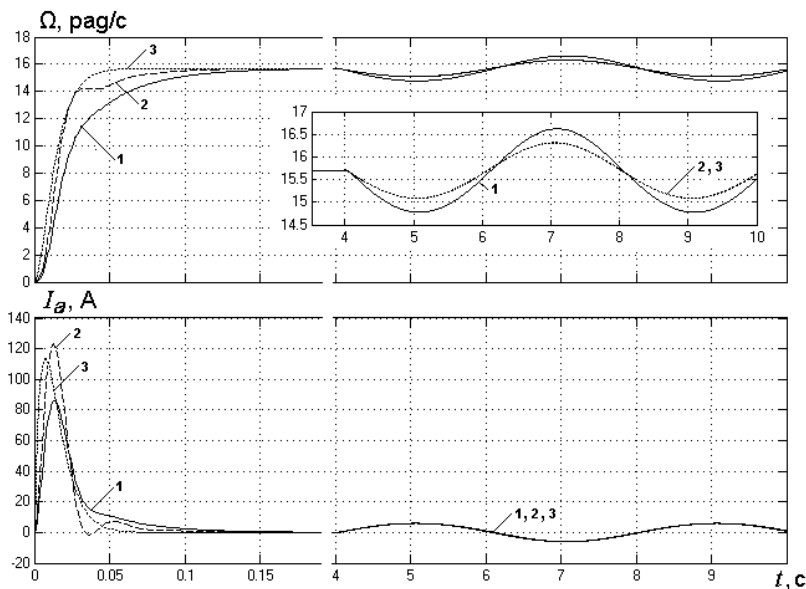


Рис. 2. Переходные процессы системы регулирования скорости

Дополнительные возможности управления дают регуляторы состояния полного порядка, с помощью которых можно получить переходные процессы требуемого качества (рис. 2, графики 3). Однако увеличение динамической точности системы, обеспечивающее снижение пульсаций скорости на всех рабочих частотах, сопровождается возрастанием форсировок тока и еще большим сокращением линейной зоны работы ЭМС ограниченной мощности.

Наиболее рациональная (избирательная) компенсация гармонического воздействия определенной частоты в установившемся режиме работы ЭМС может быть обеспечена при использовании принципа внутренней модели [4-7], согласно которому полином, представляющий собой математическую модель возмущения

$$F(s) = s^2 + \Omega^2$$

где s – комплексная переменная Лапласа, вводится множителем в знаменатель передаточной функции регулятора (рис. 3), а искажение передаточной функции ЭМС по управлению устраняется соответствующим внеконтурным формирователем. При этом выходной сигнал регулятора будет содержать гармоническую составляющую, которая благодаря действию обратной связи обеспечит противофазную компенсацию возмущения.

Использование данного принципа является целесообразным в режимах продолжительной работы ЭМС на заданном уровне рабочей скорости.

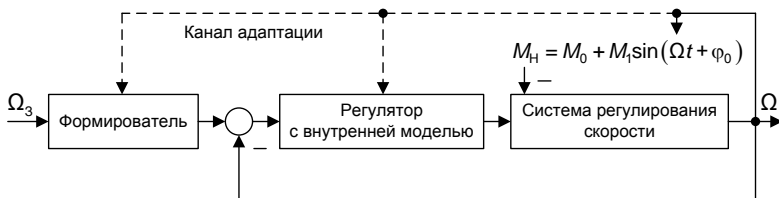


Рис. 3. Структурная схема системы управления

Применение изложенного принципа в системе с каскадным регулированием тока и скорости позволяет существенно улучшить обработку низкочастотного гармонического возмущения с меньшими форсировками ЭМС (рис.4, графики 1). При этом улучшение динамики отработки управляющих воздействий может достигаться введением дополнительных производных в числитель передаточной функции регулятора с внутренней моделью возмущения по принципу полиномиального управления (рис.4, графики 2).

Замена каскадного регулятора регулятором состояния при сохранении форсирующего полиномиального устройства управления с внутренней моделью возмущения в контуре главной обратной связи позволяет обеспечить наиболее высокое качество отработки сигнала задания скорости ЭМС и компенсации пульсаций нагрузки (рис.4, графики 3). Такая система обладает также наименьшей чувствительностью к вариациям параметров объекта и гармонического возмущения.

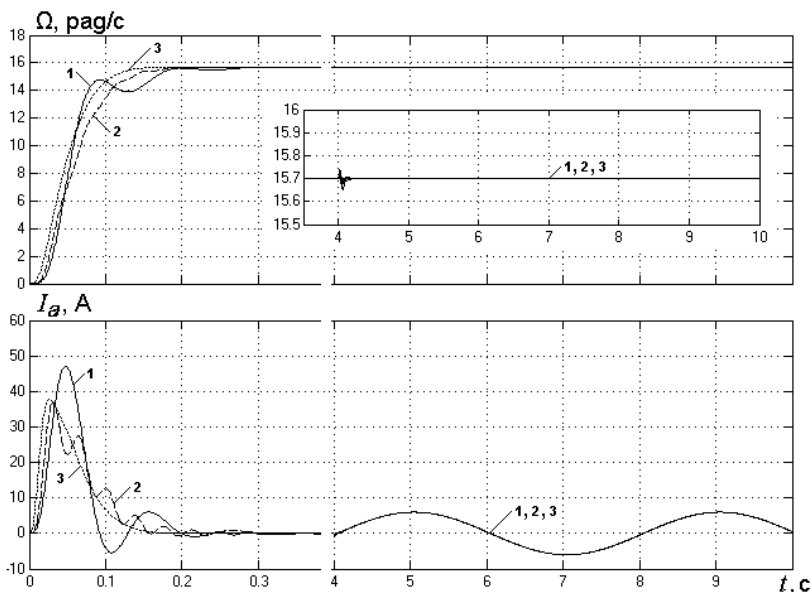


Рис. 4. Переходные процессы системы с внутренней моделью

Таким образом, органичное сочетание принципов внутренней модели, полиномиального «вход-выходного» управления и управления по состоянию ЭМС способствует достижению наиболее высокого технического результата.

Следует отметить, что зависимость частоты гармонического возмущения от угловой скорости РО определяет также необходимость использования принципа адаптации внутренней модели возмущения и формирователя к изменениям скоростного режима ЭМС в широком диапазоне (рис.3).

Литература

1. Шёнфельд Р. Автоматизированные электроприводы / Р. Шёнфельд, Э. Хабигер; пер. с нем.; под ред. Ю.А. Борцова. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отделение, 1985.
2. Селезнева В.В. Вибродиагностика станков по результатам обработки / В.В. Селезнева // Надежность и диагностирование технологического оборудования: Сб. статей / ИНМАШ АН СССР. – М.: Наука, 1987.
3. Тарарькин, С. В. Принципы управляемой синхронизации машин в технологических агрегатах для производства ленточных и волоконных материалов: дис ... д-ра техн. наук: 05.02.13, 05.09.03. – Иваново, 1992.
4. Гудвин Г.К. Проектирование систем управления / Г.К. Гудвин, С.Ф. Гребе, М.Э. Сальгадо. – М.: БИНОМ. Лаборатория знаний, 2004.

5. **Кулебакин В.С.** Об основных задачах и методах повышения качества автоматического регулирования систем / В.С. Кулебакин // Тр. II Всес. совещ. по теории автоматического регулирования. Т. II – М.: Наука, 1965.
6. **Гайдук А.Р.** Основы теории систем автоматического управления: учеб. пособие / А.Р. Гайдук. – М.: Учебно-методический и издательский центр УЧЕБНАЯ ЛИТЕРАТУРА, 2005.
7. **Андриевский Б.Р.** Избранные главы теории автоматического управления с примерами на языке MATLAB / Б.Р. Андриевский, А.Л. Фрадков. – СПб.: Наука, 1999.

УДК 621.3

В.Н. ЕГОРОВ, к.т.н., доцент,
Л.С. ПОЗДНЯКОВ, инженер
(ИГЭУ)

Разработка лабораторного стенда микропроцессорной системы управления силовым преобразователем

Для повышения качества подготовки специалистов в области современных средств силовой электроники с микропроцессорными системами управления необходимо разрабатывать и реализовывать соответствующие действующие образцы таких систем в качестве лабораторных работ.

Системы управления современными силовыми преобразователями тока и напряжения (выпрямители, инверторы, преобразователи частоты и т.д.) выполняют большое количество функций, сложность которых постоянно растет, поэтому и реализуют сейчас такие системы на основе микропроцессорных средств.

Известно, что одна из особенностей цифровых систем импульсно-фазового управления выпрямителей заключается в том, что для повышения плавности регулирования напряжения необходимо либо повышать дискретность системы, либо изменять тактовую частоту задающего генератора. С учетом того, что частота и напряжение питающей сети нестабильны реализация помехоустойчивых систем управления силовыми преобразователями представляет определённые трудности. Однако, современные микроконтроллеры, адаптированные к решению задач управления в реальном времени, например, сигнальные микроконтроллеры с объектно-ориентированной системой команд, позволяют создавать гибкие и универсальные системы управления с возможностью расширения решаемых функций.

Для изучения т.н. «полностью цифровой системы импульсно-фазового управления» тиристорным выпрямителем разработана си-

стема, управляющая всеми функциями силового преобразователя с помощью микропроцессора ATMEGA -16.

Разработанная микропроцессорная система управления реализует:

- непосредственное управление углами отпираания четырёх фототристоров;

- возможность изменения тактовой частоты задающего генератора;

- управление индикацией;

- измерение выходного напряжения и тока нагрузки;

- возможность изменения величины и типа нагрузки силового преобразователя;

- возможность снятия и архивирования различных характеристик

силового преобразователя и его системы управления.

Реализация данной разработки в виде макетного образца позволит работать на его основе лабораторные работы по учебным курсам «Силовая электроника» и «Аппаратное и программное обеспечение МПС».

УДК 621.9.048

Л.С. ПОЗДНЯКОВ, инженер
(ИГЭУ)

Разработка стенда для комплекса лабораторных работ по дисциплине «Микропроцессоры и микроэвм»

На современном этапе развития радиоэлектроники конструирование устройств нельзя представить без использования микроконтроллеров, которые позволяют в несколько раз упростить как сборку устройства, так и его размеры, увеличить вычислительную мощность и уменьшить экономические затраты.

Но изучение микропроцессорных систем не может производиться без практического изучения всех составных узлов и элементов микроконтроллера, так как моделирование не всегда может достоверно ответить на поставленные перед системой вопросы.

Лабораторный стенд включает в себя наборное поле NI ELVIS от компании National Instruments, соединенное с ПК, позволяющее собирать исследуемые схемы и производить измерения всевозможных параметров схемы, снятие осциллограмм рабочих процессов, выработку управляющих и возмущающих сигналов.

Целью разработки лабораторного стенда является проведение комплексного изучения параметров, свойств и возможностей различных микроконтроллеров (Atmega 8/16/32, PIC16F8xx). В процессе изучения производится разработка программного обеспечения для микроконтроллера, моделирование схем на компьютере, и как завершение процесса исследования – сборка предложенных схем с исследованием

работы микропроцессорной системы и сравнение полученных параметров с моделированием.

Разработка и отладка программного обеспечения программного обеспечения осуществляется производится на языке высокого уровня (C++) в средах MicroElectronica, CodeVisionAvr, PonyProg. Для программирования микроконтроллеров используются программаторы JTAG ICE и AVR910 USB.

Моделирование проводится в среде Proteus, которая позволяет произвести исследования как работы целостной микропроцессорной системы, так и различных периферийных устройств в отдельности. Специализированное программное обеспечение позволяет связать модель и реальной собранной микропроцессорной системой для проверки работоспособности различных интерфейсов.

Для комплексного исследования микропроцессорной системы используются различные периферийные устройства:

- кнопки и прерыватели;
- элементы индикации (светодиодные, жидкокристаллические);
- аналого-цифровые преобразователи;
- запоминающие устройства;
- периферийные устройства различных интерфейсов UART, SPI, I2C, 1-wire.
- устройство беспроводной передачи данных.

Для исследования интерфейсов передачи данных используются микросхемы DS1307, DS1305, 18b20, 24c12.

Таким образом, разработанный стенд для лабораторных работ по дисциплине «МИКРОПРОЦЕССОРЫ И МИКРОЭВМ» позволяет проводить комплексное изучение параметров, возможностей различных микроконтроллеров и периферийных устройств.

УДК 62-529

A. NIZOVITSEV,
EU4M - Master in Mechatronics and Micromechatronics Systems,
(Karlsruhe, Germany)

Система обработки инструмента

В последние годы всё большую актуальность приобретает проблема заточки различного типа инструментов, как промышленных, так и бытовых. Спрос на ножи, хирургические инструменты, предметы, используемые в салонах красоты и парикмахерских, постоянно растёт. Мастера ручной заточки не способны справиться со спросом на рынке, что приводит к необходимости в разработке автоматизированных систем.

На мировом рынке представлено большое количество точил, заточных и обрабатывающих станков, которые можно подразделить на два класса:

промышленные и бытовые. Промышленным станкам свойственны большие размеры и стоимость, а бытовым - ограниченная функциональность. Поэтому подчас трудно найти необходимое оборудование для используемого в работе инструмента. Особенно остро эта проблема встает в медицине, в частности в хирургическом оборудовании. Число специализированных станков для заточки скальпелей невелико. Последние разработки в этой области были проведены в конце 80-х в начале 90-х годов 20 века и уже морально устарели. Именно поэтому появляется необходимость в автоматизированном станке, который бы позволил упростить задачу заточки хирургического инструмента.

Выбор в пользу автоматического режима работы в сравнении с ручным сделан по совокупности факторов, в числе которых производительность, точность обработки и экономичность. В большинстве случаев заточка затупившихся скальпелей проводится вручную мастером, что приводит к потере геометрии и оптимальной остроты инструмента, к которой привык хирург. Создание автоматического устройства, которые бы позволило проводить заточку хирургического, и не только, инструмента таким образом, чтобы сохранялась его первоначальная форма, является актуальной и важной задачей.

Такое устройство можно синтезировать на базе станка Tornek T7 [2]. Это настольный заточный станок для профессиональной высококачественной заточки бытового инструмента. В комплекте с Tornek T7 идёт множество приспособлений и аксессуаров, что позволяет без труда производить заточку инструментов практически любой формы, в том числе и хирургических скальпелей.

Принцип действия системы можно описать следующим образом:

- сканирование инструмента с целью получения реальной модели;
- сравнение реальной модели с эталонной моделью;
- формирование алгоритма обработки инструмента в соответствии с результатами сравнения;
- обработка инструмента
- контроль качества обработки (обратная связь)

Перед заточкой необходимо отсканировать скальпель для получения его трёхмерной модели. Сканирование может быть проведено несколькими способами, в числе которых возможно использование 3D-сканеров, что, несомненно, было идеальным решением с точки зрения качества модели и простоты её получения. В то же время, принимая во внимания соотношение «цена-качества» наиболее логичным стало бы использование фотокамеры с высоким разрешением снимка. Таким образом, сканирование целесообразно проводить следующим образом: сначала получить двухмерные модели скальпеля в разных плоскостях, а после перейти от этой модели к трёхмерной. Такой переход может быть осуществлен на программном уровне с помощью существующего на рынке программного обеспечения для цифровой обработки изображений, либо же с помощью разработанного программного кода.

Далее специальное программное обеспечение производит сравнение полученной реальной трёхмерной модели с эталонной моделью, которая хранится в памяти в специальной базе данных в виде трехмерного массива. Такое программное обеспечение может быть реализовано на базе программного комплекса Matlab.

На основании сравнения формируется алгоритм заточки скальпеля. Алгоритм может и не предполагать обработку инструмента в случае, если различия между реальной и эталонной моделями незначительны.

Инструмент обрабатывается в автоматическом режиме, перемещаясь на специальном координатном столе. Алгоритм заточки инструмента определяет заданную траекторию движения. В свою очередь заданная траектория движения будет обрабатываться электромеханической системой, состоящей из трех шаговых двигателей [3]. Принцип управления двигателями – прямой цифровой, реализован на ПЛИС [1]. В результате обработки получим геометрию и оптимальную остроту скальпеля, которая будет соответствовать эталонной модели.

По завершении обработки инструмента должен быть проведен контроль качества, реализация которого может быть проведена несколькими способами, в числе из которых сканирование обработанного инструмента и повторное сравнение реальной и эталонной моделей. В тоже время, такой контроль качества нецелесообразно проводить для каждой обработанной единицы. Более же эффективно проводить одну проверку на 20-30 обработанных единиц.

В итоге такая система позволит производить в автоматическом режиме заточку хирургического инструмента. Система получится универсальной и относительно дешевой, что будет способствовать её распространению среди широкого круга потребителей.

Литература

1. Башарин А.В., Новиков В.А., Соколовский Г.Г. Управление электроприводами: Учеб. пособие. – Л.: Энергоиздат, 1982.
2. Технические характеристики и принцип работы Tormek T7 // <http://www.tormek.com/en/machines/t7/index.php>
3. Шелтинг Г., Байсе А. Электрические микромашины: Учеб. Пособие. – М.: Мир, 1997.

УДК 681.5

D. KUZIKOV,
M.Eng. ISPU (Ivanovo, Russia), Student of EU4M-Consortium,
ENSMM (Besançon, France), HsKa (Karlsruhe, Germany), Diplomand,
Daimler AG (Ulm, Germany)

Разработка автономной системы управления движением к источнику света

В основу проекта была заложена идея создания робота, способного самостоятельно, без участия в процессе управления человека, перемещаться из одной точки в другую. Такая система по своей сути должна представлять робототехническую модель низшего насекомого, соответственно, без заранее определенного алгоритма его движения. Единственным критерием, используемым роботом в процессе поиска направления движения является наличие источника света или яркость такового. Таким образом, робот должен непрерывно сканировать окружающую среду с целью выявления наиболее «яркого» пути и также непрерывно корректировать скорость и направление своего движения.

Структурно реализованную систему можно представить в следующем виде:

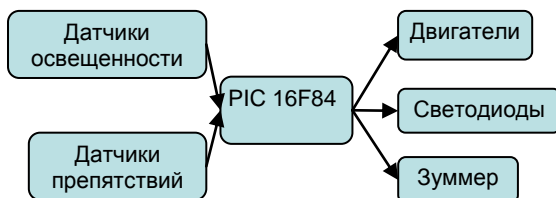


Рис.1. Структурная схема системы

В качестве датчиков освещенности были использованы стандартные фоторезисторы с подключенными параллельно конденсаторами. Через равные промежутки времени заряда выполнялся разряд конденсаторов на микроконтроллер, в результате чего выявлялось положение источника света. Далее с учетом этой информации на соответствующие двигатели подавалась команда. На случай возникновения на пути движения препятствия были предусмотрены два конечных выключателя, при срабатывании которых, на соответствующий двигатель подавался сигнал для его отключения, а на другой – сигнал на работу. В системе предусмотрена также световая (светодиоды) и звуковая (зуммер) индикация.

Фотография готового робота приведена на рис.2.

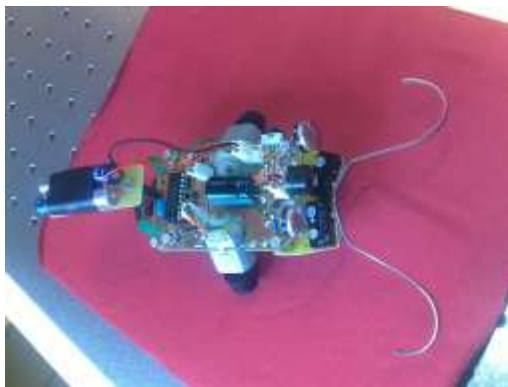


Рис.2. Созданная система

Дальнейшая разработка может быть выполнена с целью создания алгоритма изменения скорости в зависимости от интенсивности источника света, изменения схематической части проекта для возможности смены направления вращения двигателей в режиме реального времени, а также исследования возможностей создания системы идентификации объектов или машинного зрения.

Таким образом была реализована проблема создания роботизированной модели простейших насекомых.

УДК 621.321

А.А. БЕДОВ, магистрант,
Д.А. ТИМОШЕНКО, к.т.н., доцент,
А.Н. ФРОЛОВ, к.т.н., доцент
(ИГХТУ)

Микроконтроллерное устройство оценки эффективности сеанса термопульсации

На протяжении жизни человека от терморецепторов полости носа непрерывно поступает в мозг ундулируемая температурная сигнализация, синхронная с дыханием. Она доставляет в центральные структуры мозга важнейшую информацию и представляет собой один из существенных каналов связи организма с окружающей его средой. Характер дыхания – его частота, глубина, регулярность по-разному изменяются в зависимости от эмоционального состояния человека. В соответствии с изменениями характера дыхания меняется и характер температурной сигнализации из полости носа. Изучая терморегуляцию человека в норме и при патологии,

было обнаружено, что важной рефлексогенной зоной является область покровов лица, окружающая входы в полость носа, и прилегающего к ним участка верхней губы (назолабиальная зона).

Среди немедикоментозных методик лечения неврозов и неврозоподобных состояний различной природы, при лечении больных с атеросклерозом сосудов головного мозга и др. широкое применение нашла методика импульсного теплового воздействия – термопульсация [1].

В существующих моделях термопульсаторов [2] до настоящего времени не ставилась задача по оценке эффективности сеанса термопульсации – оценивалась эффективность нескольких сеансов по отдаленным клиническим проявлениям. Актуальность оценки эффективности каждого сеанса очевидна, поскольку открывается возможность построить термопульсатор, изменяющий параметры теплового воздействия (температуру нагревателя, длительность теплового импульса), с целью развития у человека центрального торможения, проявляющегося в виде сна (дремота, сон) [1].

В данной работе при построении аппаратуры теплового воздействия (термопульсатора) подлежала анализу особенность терморегуляции гомойотермных организмов. В частности, необходимо было рассмотреть особенности расположения тепловых рецепторов назолабиальной зоны человека, строение кожного покрова, временные параметры нервных импульсов, формируемые рецепторами [1,3,4]. Решения поставленной задачи позволило сформулировать требования к исполнительному устройству термопульсатора – термоду. Кроме того, были проведены следующие исследования:

- Математическое моделирование канала «назолабиальная зона – термод»;
- Разработка алгоритмов выделения фаз дыхания;
- Исследование каналов оценки эффективности сеансов термопульсации;
- Разработка термопульсатора на основе однокристалльного микроконтроллера (МК) [5].

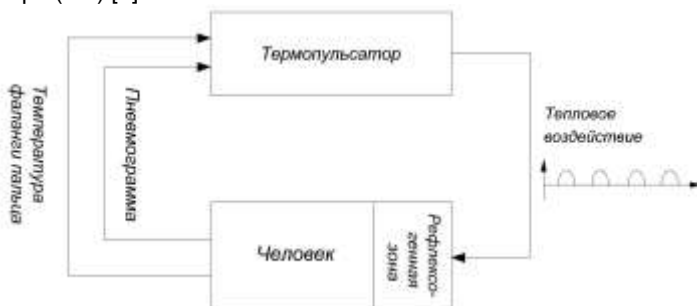


Рис. 1

В схеме (рис.1) «организм человека» представлен как объект управления [6]. Управляющим воздействием на него являются тепловые импульсы, подаваемые во время фазы вдоха на назолабиальную зону лица (участок верхней губы). Выявление термопульсатором фазы вдоха происходит путем измерения температуры воздуха в полости носа

Доказана тесная корреляционная связь между центральным торможением и следующими параметрами:

- повышение поверхностной температуры, например, кисти рук;
- степенью активации симпатического и парасимпатического отделов вегетативной нервной системы (ВНС);

В настоящей работе рассматривается вариант термопульсатора с блоком оценки эффективности каждого сеанса термопульсации на основе методики вариационной пульсометрии, базирующийся на статистическом анализе структуры сердечного ритма, дополненной показателем дыхательной аритмии сердца (ДАС).

Показатель ДАС примечателен тем, что в фазе дыхания «вдох» можно мгновенно оценить активность симпатического отдела ВНС, а в фазе «выдох» - активность парасимпатического отдела ВНС. По росту ДАС судят о повышенном уровне здоровья. При этом показатель ДАС рассчитывают как разность значений пульса на вдохе и на выдохе.

Микроконтроллерное устройство по оценке эффективности сеанса термопульсации входит в состав термопульсатора и включает, кроме микроконтроллера, усилитель электрокардиограммы, снимаемой с запястий рук, с селектором R-зубца. На входы микроконтроллера поступают сигналы пневмограммы, отражающие фазы «вдох-выдох» и R-R интервалов, отражающие структуру сердечного ритма.

На рис. 2 показано место установки маски-термода и датчика температуры воздушного потока.

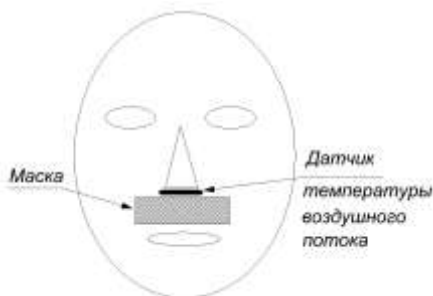


Рис. 2

Эффективность сеанса термопульсации оценивается по следующим алгоритмам:

- одновременно с пневмограммой, из которой выделяются фазы «вдох-выдох», на вход микроконтроллера поступают R-R-интервалы ЭКТ;
- измеряются длительности R-R-интервалов в фазе «вдох» и «выдох»; рассчитывается отношение длительности R-R-интервала, соответствующее фазе «выдох», и длительности R-R-интервала, соответствующее фазе «вдох». Это отношение рассматривается как показатель ДАС;
- наряду с расчетами статистических показателей сердечного ритма (гистограмма, индекс напряженности регуляторных систем и др.) приводится диаграмма изменения показателя ДАС поминутно в течение всего сеанса термопульсации.

Предлагаемый подход к введению вышеприведенных оценок эффективности сеанса термопульсации позволит в последующем выбрать наиболее информативную и высокочувствительную методику.

Литература

1. **Михайлов** Б. И. Применение термопульсации с лечебной целью при сосудисто мозговой недостаточности у больных атеросклерозом и в восстановительном периоде ишемического мозгового инсульта: Автореферат дис. канд. мед. наук. – М., 1980.
2. **Свидетельство** на полезную модель РФ № 12003. Приоритет от 01.03.99.
3. **Мед. Техника** - №1 2002, с.19-21
4. **Чернуха** А.М., Фролов Е.П. Кожа (строение, функция, общая патология и терапия). – М., 1982. – С. 163-168
5. **Евстифеев** А.В.// Микроконтроллеры AVR семейств Tiny и Mega фирмы «Atmel» - М.: Издательский дом «Додэка-XXI», 2004. – 560 с.
6. **Ахутин** В. М. Биотехнические системы. Л., Наука, 1982.

УДК 621.9.048

 Н.М. САПРУНОВА, к.т.н., доцент,
 Т.А. КОЗИНА, аспирант
 (ЮУрГУ) г. Челябинск

Переходные процессы включения в диодах

В связи с широким использованием диодов в схемах преобразователей постоянного напряжения и автономных инверторов напряжения представляет интерес рассмотрение переходных характеристик диодов. Пусть диод переключается в схеме с активной нагрузкой (рис. 1а). Схема замещения диода представлена на рис. 1б.

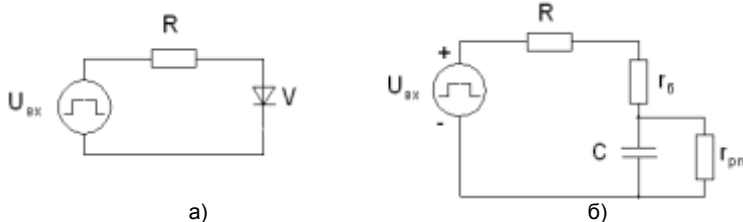


Рис. 1. а) Схема с активной нагрузкой, б) схема замещения диода

При включении диода рассматриваем две составляющие напряжения: напряжение на базе и напряжение на р-п – переходе [1]:

$$\frac{U_b(\theta)}{U_b(0)} = \left[1 - \frac{L}{\omega} \cdot \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \cdot \sqrt{1 - e^{-\theta}} \right] \quad (1)$$

$$\frac{U_{pn}(\theta)}{\varphi_T} = \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \cdot \sqrt{1 - e^{-\theta}}, \quad (2)$$

где $\theta = t/\tau$ – относительное значение времени, τ – постоянная времени диода, I_0 – тепловой ток диода, φ_T – температурный потенциал, L/ω – относительное значение диффузионной длины, L – диффузионная длина, ω – ширина базы.

Обычно входное напряжение больше прямого напряжения диода, поэтому появляется начальный скачек тока, создающий начальное напряжение на базе $U_b(0)$.

Определим условия существования функции $U_b(\theta)/U_b(0)$ из неравенства (3).

$$\frac{L}{\omega} \ln \left(1 + \frac{I_1}{I_0} \right) \cdot \sqrt{1 - e^{-\theta}} < 1, \quad (3)$$

Для значений L/ω в диапазоне 0,1 – 2,0, значений I_1/I_0 в диапазоне $10^4 - 10^6$, значений θ – в диапазоне 0,02-1,5 на рисунке 2 построена

указанная область. Когда $L/\omega = 0,5$, неравенство (3) выполняется при $\theta \leq 0,04$ и $I_1/I_0 = 10^4$. При увеличении $L/\omega > 0,5$, когда ширина базы становится соизмерима с диффузионной длиной, функции $U_b(\theta)/U_b(0)$ не существует. Это означает, что напряжение на диоде определяется p-n – переходом. Соответственно получена функция $U_b(\theta)/U_b(0)$.

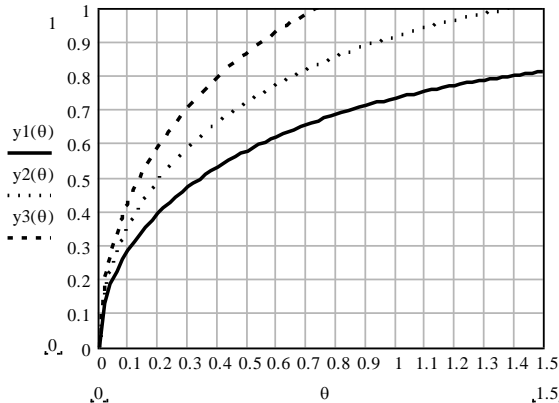


Рис. 2. Область существования функции $U_b(\theta)/U_b(0)$ при $L/\omega = 0,1$: $y_1(\theta)$ – при $I_1/I_0 = 10^4$, $y_2(\theta)$ – при $I_1/I_0 = 10^5$, $y_3(\theta)$ – при $I_1/I_0 = 10^6$

Относительные значения напряжения на базе $U_b(\theta)$, на p-n – переходе U_{pn} и результирующее напряжение на диоде U_d для двух значений I_1/I_0 приведены на рис. 3, 4.

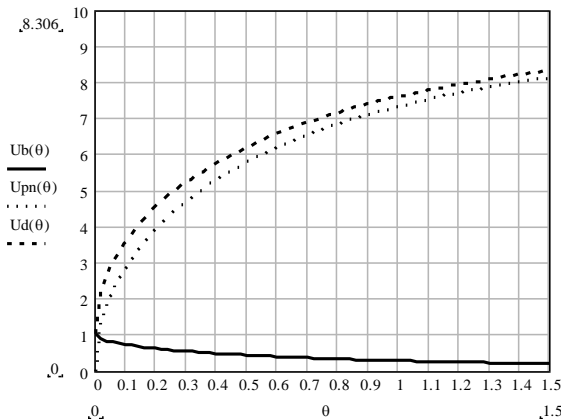


Рис. 3. Относительные значения напряжения на базе $U_b(\theta)$, на p-n –переходе $U_{pn}(\theta)$ и результирующее напряжение на диоде $U_d(\theta)$ при $I_1/I_0 = 10^4$

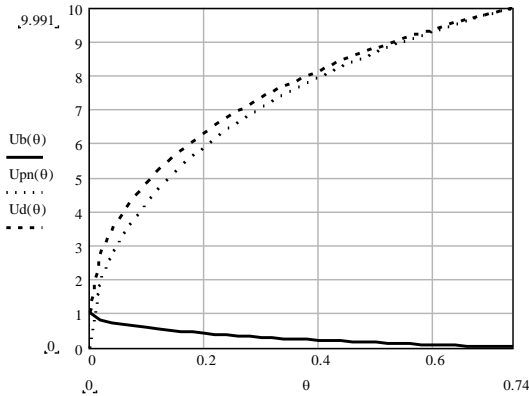


Рис. 4. Относительные значения напряжения на базе $U_b(\theta)$, на p-n –переходе $U_{рп}(\theta)$ и результирующее напряжение на диоде $U_d(\theta)$ при $I_1/I_0 = 10^6$

Экспериментальные исследования переходных процессов проводились для кремниевого выпрямительного диода и диода Шотки. Полученные осциллограммы напряжений и токов аналогичны расчетным зависимостям. У диода Шотки сопротивление базы практически равно нулю, поэтому функция $U_d(\theta)$ и осциллограмма $U_d(t)$ не имеет максимума, как у обычного диода.

Следовательно, использование выражений для переходного режима включения позволяет оценить время установления напряжения и начальный выброс.

Литература

1. Степаненко И.П. Основы теории транзисторов и транзисторных схем. – М.: «Советское радио». 1978.

Система автоматического управления мехатронным модулем прецизионного поворотного стола

В настоящее время в прецизионных координатно – расточных станках, а также других моделях станков широко распространены поворотные столы с передачей движения от исполнительного двигателя к планшайбе посредством редуктора с червячной передачей. В таких редукторах необходим технологический зазор в зацеплении, предназначенный для компенсации термодформаций червяка и червячного колеса. Величина зазора составляет до 15 угловых секунд, поэтому система автоматического управления таким поворотным столом требует сложного алгоритма управления, обеспечивающего односторонний подход к заданной координате, а так же устройства зажима планшайбы при ее позиционировании. Достичь более высоких показателей по точности позиционирования и динамическим показателям качества, предъявляемые к прецизионным поворотным столам, не оставляют возможность использования редукторных конструкций.

Существенно увеличить статическую точность и динамические показатели качества управления поворотным столом позволяет новая конструкция в виде мехатронного модуля, который представляет собой объект автоматического управления процессом движения и позиционирования планшайбы (рис.1).



Рис. 1. Функциональная схема мехатронного модуля

На рис. 1 представлена функциональная схема мехатронного модуля, где введены обозначения: 1 – ротор; 2 – планшайба стола; 3 – корпус модуля с рубашкой жидкостного охлаждения статорных обмоток; 4 – статорные обмотки; 5 – подшипники ротора; 6 – постоянные магниты

ротора. На функциональной схеме мехатронного модуля показано, что передача движения осуществляется прямым приводом, физически исключая наличие зазоров и упругостей, тем самым исключая люфт между планшайбой и электродвигателем. Это позволяет достигать точности позиционирования и динамических показателей качества управления планшайбой в пределах точности датчика положения и упростить алгоритм управления.

Использование мехатронного модуля приводит к нагреванию планшайбы в технологических процессах и при ее позиционировании. В процессе резания ток статора изменяется в соответствии с нагрузочной диаграммой, а в режиме позиционирования (работа двигателя «на упор») изменение тока статора имеет стохастический характер, что приводит к колебаниям температуры статорных обмоток и всего модуля в целом. Это обстоятельство снижает точность воспроизведения заданного закона управления при высокоточной обработке изделий.

В работе рассматривается идентификация мехатронного модуля как объекта системы автоматического управления и предлагается использовать систему автоматического управления (САУ) охлаждения синхронного исполнительного электродвигателя. САУ управляет работой насоса, прокачивающего постоянный объем охлаждающей жидкости через рубашку охлаждения (радиатор) двигателя. Анализ результатов моделирования показывает, что при наличии САУ охлаждения планшайбы, возможно, добиться точности обработки изделий соответствующих классу точности С.

Литература

1. **Ключев В.И.** Теория Электропривода. - Москва энергоиздат. 2001г.
2. **Козьминых Д.В.** Расчет мощности электроприводов с учетом старения изоляции. - Куйбышев 1968г.
3. **Лысов М.С.,** Стариков А.В., Стариков В.А. Линеаризованная математическая модель синхронного электродвигателя при различных способах управления его скоростью. - Вестник самарского технического университета, Самара 2008 №1 (16).

Интегрирующие устройства синхронизации для систем управления вентильными преобразователями

Интегрирующие устройства синхронизации (УС) являются эффективным средством адаптации характеристик вентильных преобразователей (ВП) к нестационарным параметрам источников электроснабжения и повышения надежности работы всего комплекса технологического оборудования в условиях высокого уровня коммутационных искажений напряжения сети [1].

Проведенный на кафедре электропривода ЮУрГУ на базе пакета «Matlab+Simulink» анализ статических и динамических характеристик основных типов интегрирующих УС позволяет сделать следующие основные выводы (табл. 1, рис. 1–4).

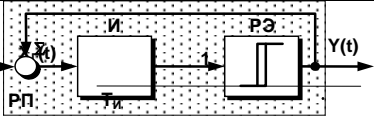
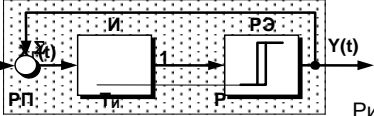
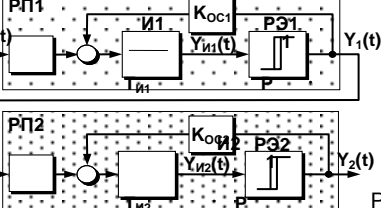
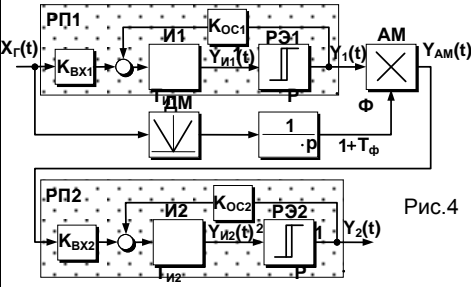
Однокаскадное интегрирующее УС (табл. 1, рис. 1) на базе автоколебательного интегрирующего развертывающего преобразователя (РП) [2], содержащего сумматор Σ , интегратор И и релейный элемент РЭ с симметричной относительно «нуля» петлей гистерезиса, является наиболее простым типом УС, требующим минимум аппаратных затрат при его реализации. УС работает в режиме внешней синхронизации с частотой напряжения сети $X_r(t)$. Глубина синхронизации выбирается на уровне $\bar{A}_r = 4,0 - 6,0$, что оптимально для сочетания в УС достаточно хороших фильтрующих свойств и быстрodeйствия. Данное УС предназначено для трехфазных ВП с «просадками» амплитуды напряжения сети до 25%. В противном случае УС может «вывалиться» из внешней синхронизации, что приведет к переходу РП в режим собственных автоколебаний, влекущим за собой аварийное отключение ВП.

Комбинированное УС (табл.1, рис.2) [3] предназначено для ВП, где предъявляются высокие требования к быстрodeйствию каналов синхронизации. Здесь за счет наличия входного релейного элемента РЭ0, амплитуда выходного сигнала которого не зависит от колебаний амплитуды напряжения сети, глубина синхронизации РП может выбираться на уровне 1,2 – 1,5, что снижает инерционность УС по сравнению с однокаскадным РП (табл.1, рис.1) в 3 – 4 раза.

Пропорционально-дифференцирующее звено Д осуществляет подавление аддитивной ошибки из-за температурного или временного дрейфа уровней амплитуды $\pm A$ выходных импульсов РЭ0. Вместе с

тем, данный тип УС имеет повышенный уровень ошибок замедленной дискретизации (примерно на порядок уступает однокаскадному РП, рис.1), что не позволяет применять его в ВП, работающих с высоким уровнем высокочастотных гармоник напряжения сети. Кроме того, схема на рис. 2 не способна даже частично адаптироваться к колебаниям частоты напряжения сети при изменении глубины синхронизации входного релейного элемента РЭ0.

Таблица 1

Структура устройства синхронизации	Погрешность $\Delta\bar{\alpha}_C$ при $\Delta f_{\Gamma} = \pm 15 \text{Гц}$	
	$\bar{A}_{\Gamma} = 4,0$	$\bar{A}_{\Gamma} = 8,0$
 <p style="text-align: center;">Рис.1</p>	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,063$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,062$	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,038$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,038$
 <p style="text-align: center;">Рис.2</p>	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,075$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,075$	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,050$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,050$
 <p style="text-align: center;">Рис.3</p>	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,138$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,138$	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,119$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,118$
 <p style="text-align: center;">Рис.4</p>	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,117$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,073$	$-\Delta\bar{\alpha}_C = -0,081$ $+\Delta\bar{\alpha}_C = +0,022$

$\bar{A}_Г = |A_Г / A|$ - нормированное значение амплитуды $A_Г$ гармонического сигнала синхронизации $X_Г(t)$ (напряжения сети); $\pm A$ - амплитуда выходных импульсов РЭ1, РЭ2 и РЭ0; $\Delta\bar{\alpha}_C = 1 - \alpha_C / \alpha_C^*$ - нормированное отклонение угла синхронизации α_C^* от его заданного значения α_C ; $\Delta f_Г$ - абсолютное отклонение частоты напряжения сети.
Погрешность $\pm\Delta\bar{\alpha}_C = 0$ при $\Delta\bar{A}_Г = \pm 20\%$.

Последнее качество делает проблематичным возможность ее применения в ВП автономных систем управления.

Каскадные УС (табл.1, рис.3, рис.4) в первую очередь отличаются гибкой структурой, позволяющей применять их для управления ВП с любой фазностью напряжения сети [4]. В структуре УС (табл.1, рис.3) синхронизация РП2 производится выходным сигналом РП1, который в свою очередь синхронизирован напряжением сети. Подобное УС целесообразно использовать в стационарных сетях, где колебания частоты напряжения фактически сведены к нулю.

Введение канала амплитудной модуляции (табл.1, рис.4) [5] на основе амплитудного модулятора АМ, демодулятора ДМ и сглаживающего фильтра Ф частично улучшает работу УС при колебаниях частоты сети, но в целом уровень погрешности работы УС в данном случае превышает аналогичный параметр однокаскадного УС (табл.1, рис.1) примерно в 2 раза.

Таким образом, в каскадных УС достигается определенная «гибкость» их структуры, позволяющая, например, с использованием интервального алгоритма обработки данных синхронизировать с сетью практически любую схему ВП [4]. Однако это достигается ценой ухудшения их метрологических характеристик при колебаниях частоты сети.

Несомненным достоинством всех типов интегрирующих УС является то, что они обладают нулевым уровнем статической ошибки преобразования при нестабильности амплитуды напряжения сети ввиду замкнутого характера своей структуры и наличия интегратора в прямом канале передачи информации.

Литература

1. **Осипов О.И.** Техническое диагностирование автоматизированного электропривода постоянного тока: Дис...докт. техн.наук.- Челябинск: ЧПИ, 1995. -405 с.
2. **Цытович Л.И.** Развертывающий операционный усилитель с перестраиваемой полосой пропускания // Приборы и техника эксперимента.- М.: АН СССР , 1979. - N 4.- С.149-152.
3. **Патент RU № 2400910** Российская Федерация, МПК⁷ H 02 M 1/08. Устройство синхронизации / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, Р.М. Рахматулин. – № 2009113408/09; заявл. 09.04.09; опубл. 27.09.10, Бюл. № 27. – 8 с.

4. **Качалов**, А.В. Интегрирующие устройства синхронизации для систем импульсно-фазового управления вентильными преобразователями / А.В. Качалов, Л.И. Цытович, М.М. Дудкин // Практическая силовая электроника. – 2010. – № 1 (37). – С. 42–51.
5. **Патент** RU № 2383985 Российская Федерация, МПК⁷ Н 02 М 1/08. Устройство синхронизации / Л.И. Цытович, М.М. Дудкин, А.В. Качалов, Р.М. Рахматулин. – № 2008142655/09; заявл. 27.10.08; опубл. 10.03.10, Бюл. № 7. – 13 с.

УДК 621.38

М.Ф. САДЫКОВ, д.ф.-м.н., доцент,
Р.Р. СУЛЕЙМАНОВА, магистрант
(КГЭУ) г. Казань

Модернизация установки для исследования акустооптических процессов в антиферромагнетиках

Целью данной работы является модернизация многофункциональной автоматизированной экспериментальной установки для исследования акустооптических свойств магнитоупорядоченных веществ.

Открытые микропроцессорные системы сбора и обработки данных как наиболее универсальные, позволяющие гибко реагировать на появление новых современных устройств, находят все большее применение в автоматизации экспериментальных научно-исследовательских установок.

Одним из наиболее удачных решений в направлении разработки универсальных систем автоматизации является подход компании National Instruments – технология виртуальных приборов на основе среды графического программирования. В качестве управляющей программы будет использоваться язык графического программирования LabVIEW. В эту систему интегрировано множество различных функций, облегчающих работу с аппаратурой.

Универсальная система, способная к быстрой перестройке и адаптации к конкретному эксперименту, должна удовлетворять следующим взаимосвязанным условиям:

- в основе управления должна лежать программа, которая способна взаимодействовать с аппаратной частью, позволять работать инженеру с базовыми знаниями программирования, быть интуитивно понятной для неспециалиста в программировании, быть наглядной и логически прозрачной;

- аппаратная часть установки должна легко интегрироваться в современные информационные системы, иметь широкий спектр диапазонов и каналов измерения, иметь определенный набор управляющих и измерительных устройств.

Для исследования акустооптических процессов используется оптическая часть установки, состоящая из инфракрасного лазера с источником питания, оптической системы формирования луча, фотоприемника и электромагнита с блоком питания, и акустическая часть, состоящая из системы формирования мощных акустических цугов (генератор, модулятор, усилитель) и супергетеродинного широкополосного приемника на диапазонах 50-800 МГц.

Система мощной акустической накачки (до 30 Вт), основанная на современных недорогих, высокочастотных усилителях, например, таких как RA30H1317M - 130-170 МГц или RA45H4052M - 400-520 МГц.

Установка также позволяет проводить эксперименты по изучению характеристик акустооптического взаимодействия в магнитных кристаллах в постоянном внешнем магнитном поле. Одной из оригинальных частей автоматизированной установки является разработанный нами блок питания электромагнита. Мы использовали линейный регулируемый стабилизатор. Регулирующий элемент состоит из восьми мощных полевых транзисторов, включенных параллельно. Выбранные транзисторы хорошо подходят по напряжению и току.

Для контроля за величиной магнитного поля мы использовали линеаризованный датчик Холла SS94A2D. Этот датчик также интегрирован в автоматизированную систему. Управляющим элементом разработанной автоматизированной установки является персональный компьютер. Ввод и вывод сигналов осуществляется посредством аппаратно-программного комплекса компании NI.

Основой ввода и вывода данных является плата PCI-6221, которая содержит 16 - битный АЦП (аналого-цифровой преобразователь) с 16 - канальным аналоговым коммутатором на входе, частоту дискретизации АЦП можно регулировать вплоть до 250 кГц, кроме того, имеется два 16 - битных ЦАП (цифро-аналоговых преобразователя) и три восьмибитных порта ввода-вывода. Используемая нами плата может работать как самостоятельное устройство или в составе аппаратно-программного комплекса. Для расширения возможностей ввода-вывода информации данная плата была использована в составе аппаратного комплекса SCXI-1000 с дополнительными блоками SCXI-1124 и SCXI-1125. SCXI-1124 – шестиканальный гальванически развязанный 12 - разрядный ЦАП в дополнении к ЦАП расположенным на плате PCI-6221, а SCXI-1125 – восьмиканальный гальванически развязанный предварительный усилитель с переменным коэффициентом усиления от 0,01 до 2000 для АЦП платы PCI-6221.

Программа позволяет изменять скорость сканирования, устанавливать любой диапазон полей и количество точек сканирования, время измерения.

Однако, установка не позволяет получать эхоимпульсные картины, что необходимо для наблюдения дальних звуковых импульсов. Необходимо модернизировать установку, иметь возможность их

накапливать и усреднять, кроме того, время измерения не должно превышать нескольких секунд, так как необходимо снимать серии картин от поля и температуры.

Литература

1. **Ахмадуллин И.Ш.**, Мигачев С. А., Садыков М. Ф., Шакирзянов М. М.: ФТТ 46, 305-307 (2004)
2. **Мигачев С. А.**, Садыков М. Ф., Шакирзянов М. М.: Письма в ЖЭТФ 88, 54-58 (2008)

УДК 004.738

Д.О. САМОЙЛОВ, студент
В.Д. СЕМЕНОВ, профессор, А.Б. УПАЕВ, м.н.с.,
В.А. ФЕДОТОВ, зав. лабораторией
(ТУСУР) г. Томск

Беспроводная система охранно-пожарной сигнализации с комбинацией технологий ETHERNET и ZIGBEE

В последнее время беспроводные технологии приобретают все большую популярность для создания систем охранно-пожарной сигнализации. По результатам обзора [1] можно заключить, что беспроводные системы охранно-пожарной сигнализации (БСОПС) уже представлены на рынке, однако разрабатываемая нами система будет обладать рядом преимуществ по сравнению с существующими. Во-первых, возможность комбинирования проводной (Ethernet) и беспроводной (ZigBee, WiFi) связи позволит повысить скорость передачи данных, снизить энергопотребление. Во-вторых, используемая топология сети позволит применять БСОПС для любых объемно-планировочных решений зданий. В-третьих, система будет легко расширяемой за счет универсальности протокола передачи данных, что позволит быстро адаптировать её для измерения любых физических параметров помещений путем расширения модельного ряда датчиков.

Для передачи данных был выбран современный активно развивающийся протокол ZigBee [2], предназначенный для работы по радиоканалу в частотном диапазоне 2.4 ГГц. Данный диапазон впервые используется для создания подобных систем и при этом имеет ряд преимуществ перед более низкочастотными диапазонами, используемыми в других БСОПС. Частотный диапазон 2.4 ГГц является нелицензируемым, что упрощает процесс коммерциализации системы, и позволяет осуществлять передачу на достаточно высоких скоростях (до 250 кб/с) при достаточной защищенности информации - в протоколе предусмотрен блок шифрования данных с алгоритмом AES-128.

Беспроводная сеть, построенная по технологии ZigBee, состоит из устройств трех типов: координатор, роутер, конечное устройство. Конечным устройством в БСОПС является устройство, состоящее из датчика физической величины (например, датчик дыма, датчик температуры, датчик движения и т.д.) и приемопередатчика. Роутер это своеобразный «удлинитель», передающий данные по сети без изменений. Роутеры могут быть как беспроводными, так и объединенными в проводную сеть по Ethernet. Таким образом, при существенном повышении скорости передачи данных появляется возможность работы с видеосигналами, что позволяет системе наиболее полно выполнять охранные функции. Предусмотрена возможность интегрировать пожарные оповещатели и роутеры для сокращения количества устройств сети, а, следовательно, для упрощения монтажа. Конечное устройство передает данные через ряд роутеров на координатор, который осуществляет контроль работоспособности всей сети. Далее происходит обработка данных приемно-контрольным модулем (ПКМ), включающим в себя координатор. ПКМ отображает на встроенном LCD-дисплее тревожные сообщения (пожар, несанкционированное проникновение в помещение и т.д.), а так же информацию о том, в каком помещении сработал соответствующий датчик. Кроме отображения на LCD, данные передаются на компьютер для последующей обработки программным обеспечением автоматизированного рабочего места оператора. При необходимости объединения в сеть нескольких зданий предусмотрена возможность использования WiFi-модулей (рис.1).

Все существующие на данный момент системы подобного рода узко специализированы и могут быть использованы только для выявления пожара, а разрабатываемая система является достаточно гибкой и может быть адаптирована для контроля влажности, температуры, освещенности и любых других физических параметров помещения в зависимости от применяемых датчиков. Практически она может являться одной из подсистем «Умного дома».

В ходе разработки БСОПС была собрана и протестирована аппаратная часть системы, включающая имитаторы датчиков дыма, роутеры, приемно-контрольный модуль со встроенным координатором. Так же был разработан прототип ПО автоматизированного рабочего места (АРМ) оператора, в окне которого отображается план этажа здания, причем каждому помещению соответствует одно или несколько конечных устройств. В режиме ожидания все изображенные на плане помещения окрашены в зеленый цвет. При поступлении тревожного сообщения о пожаре, проникновении либо отключении устройства от сети соответствующие комнаты окрашиваются в красный цвет и начинают мигать. Тестирование сети, состоящей из 4-х конечных устройств, 5-ти роутеров и ПКМ, производилось на третьем этаже корпуса ФЭТ ТУСУР (рис.2). При имитации пожара в программе АРМ оператора отобража-

лось место его возникновения. В ходе данного эксперимента мы убедились в работоспособности всех устройств системы.

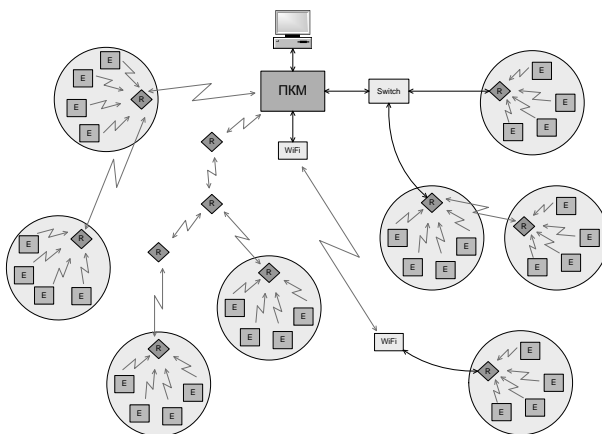
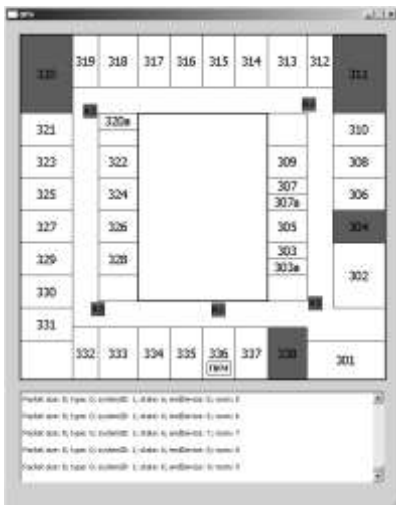


Рис. 1. Структурная схема БСОПС

Рис. 2. Прототип ПО АРМ оператора



На этом был окончен этап эскизного проекта ОКР, и в данный момент выполняется этап технического проекта и разрабатывается рабочая документация.

Литература

1. Рынок ОПС и охранной сигнализации 2009-2010 гг.: прогнозы, цифры, технологии // Каталог «Системы безопасности», 2010. Стр. 58-72.
2. Пушкарев О. ZigBee-модули Maxstream – новые возможности // Новости электроники. 2007. №2

УДК 519.8

С.С. КАКУЕВ, магистрант,
 А.С. РОМАНЕНКО, науч. сотрудник,
 (ОАО «НПЦ «Полюс») г. Томск
 В.Д. СЕМЕНОВ, к.т.н., профессор,
 В.А. ФЕДОТОВ, зав. лабораторией
 (ТУСУР) г. Томск

Модель микропроцессорной системы комплекса управления системой электроснабжения космического аппарата в MatLab

В работе [1] рассмотрена схема замещения структуры комплекса управления системой электроснабжения (КУСЭС) (рисунок 1.1). Актуальна задача построения модели системы управления электроснабжением космического аппарата.

Основной алгоритм работы заключается в поддержании тока аккумулятора в «окне» в соответствии с текущим режимом работы алгоритма. Переключение между режимами производится при достижении напряжения аккумулятора граничных значений. Всего можно выделить 2 режима – «контроль заряда» и «контроль разряда». В СЭС имеется два аккумулятора. СУ последовательно регулирует ток, подключая необходимое количество секций солнечных батарей - параметры m и n (рис. 1.2). УСБ – устройство осуществляющее подключение секций на нагрузку или на аккумулятор.

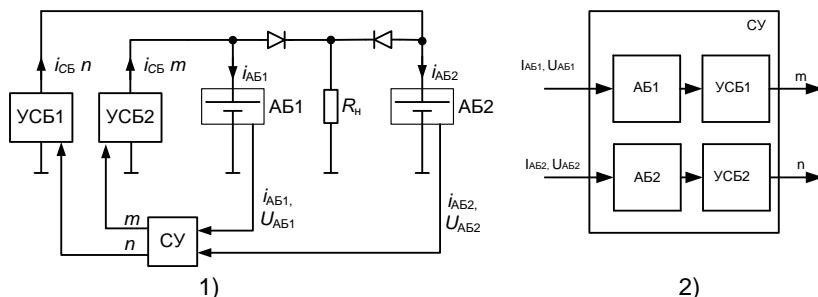


Рис.1. Функциональные схемы замещения: 1 – КУСЭС; 2 – алгоритма работы СУ

Переход от функциональной схемы алгоритма к его модели в MatLab осуществляется по следующему принципу:

1. Каждый функциональный блок представляет из себя параллельное состояние;
2. В каждом блоке определяется количество последовательных состояний в зависимости от логики работы;

3. Связи между блоками представляют из себя вызов так называемых событий от исходного блока к блоку-приемнику;

4. Входные сигналы представляют из себя входные порты модели СУ и представляются в модели как постоянные переменные, обновляемые независимо от нее;

5. Выходные сигналы представляют из себя выходные порты модели СУ и представляются в модели как переменные, обновляемые в алгоритме работы модели;

6. Операции действия блока выполняются при возникновении события или условия перехода между состояниями блока.

Логика работы блоков АБ1 и АБ2, УСБ1 и УСБ2 аналогична друг другу, поэтому рассмотрим построение блоков АБ1 (АБ1 в модели) и УСБ1 (USB1 в модели).

В блоке АБ1 (Рисунок 2.1) выделено два состояния – «Контроль разряда АБ» (St_dch) и «Контроль заряда АБ» (St_charge). В начальный момент времени MatLab переходит в состояние по умолчанию St_dch . Переход от состояния St_dch к состоянию St_charge осуществляется по возникновению условия низкого напряжения ($Uab1 < Umid$). Обратный переход осуществляется по возникновению условия перенапряжения АБ ($Uab1 \geq Umax$). Операции действия этих состояний осуществляются через периоды Tkv путем срабатывания встроенного в MatLab оператора временной логики (operator for Event-based temporal logic) $after(Tkv, sec)$. После срабатывания данного оператора определяется действие блока АБ1 в зависимости от показаний датчика тока АБ ($Iab1 < -dl$ или $Iab1 > 0$ или, иначе, т.е. при $Iab1 = 0$). Действие блока АБ1 – вызов события в блоке USB1 (отключение ключа – $\{send(OFF, USB1)\}$, подключение ключа – $\{send(ON, USB1)\}$).

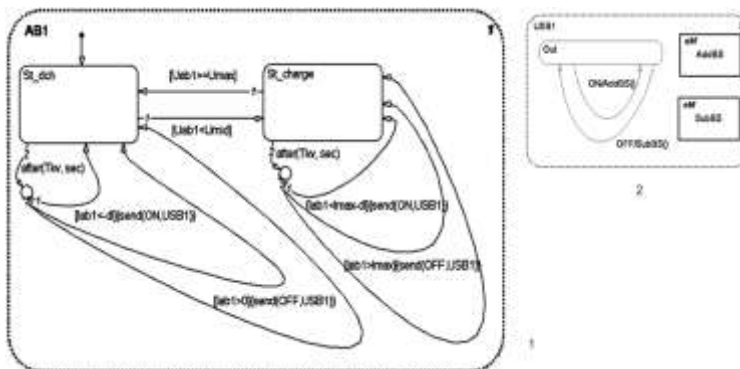


Рис. 2. Диаграммы состояний модели 1 – блока АБ1; 2 – блока УСБ1.

В блоке УСБ1 можно выделить только одно основное состояние Out (рис. 2.2). Операции действия блока выполняются при возникновении

события ON или OFF. При возникновении события ON вызывается функция обработки подключения очередного ключа AddBS, и при возникновении события OFF вызывается функция обработки отключения очередного ключа SubBS.

Для проверки адекватности работы модели МП СУ, в составе модели СЭС были заданы возмущающие воздействия в виде циклограмм токов секций солнечной батареи и нагрузки (рис. 3.1). Отклик МП СУ на возмущающие воздействия представлен в виде количества секций (рис. 3.2):

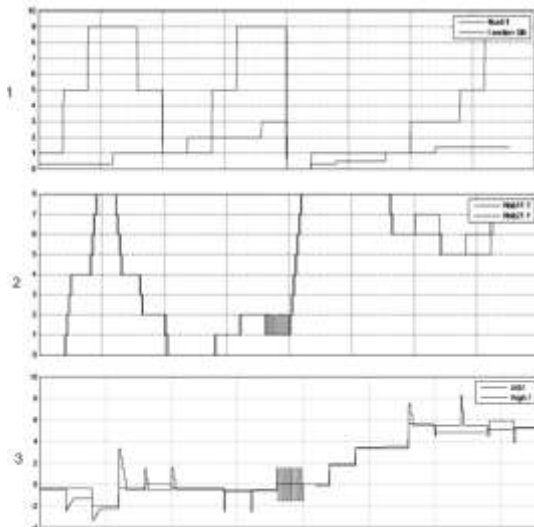


Рис. 3. Осциллограммы модели:

1 – Циклограмма тока нагрузки и солнечных батарей; 2 – Количество подключенных секций СБ; 3 – Ток первой аккумуляторной батареи.

На рисунке 3.3 представлено отображение тока аккумулятора полученного экспериментально и тока аккумулятора при моделировании. Интервал моделирования разбит на два участка: «период разряда» и «период заряда», в которых система управления регулирует ток, для попадания в требуемые «окно заряда» и «окно разряда».

На основании проведенного анализа можно утверждать, что построенная модель МП СУ отражает исходный алгоритм работы с достаточной точностью.

Литература

1. Романенко А.С., Какуев С.С. Моделирование комплекса управления системой электроснабжения малого космического аппарата. / Разработка, производство, испытания и эксплуатация космических аппаратов и систем. Материалы н-т конф. молодых спец-ов ОАО «ИСС» им. Ак. М.Ф. Решетнева», Железногорск – 2011. С. 145-146.

УДК 681.3:378.1

Л.В. АХМЕТВАЛЕЕВА, к. п. н., доцент,
А.П. КАРПОВ, студент, А.В. ВАСИЛЬЕВ, студент
(КГЭУ), г. Казань

Совершенствование технологии отладки встраиваемых систем

Инновационная направленность обучения в техническом вузе требует поиска новых подходов к применению новых технологий при изучении современных электронных устройств, микропроцессорных и встраиваемых систем управления. Диапазон использования микроконтроллеров в современной технике, во встраиваемых системах безграничен: промышленная автоматика, бытовая техника, медицинская и контрольно-измерительная аппаратура, системы автоматического управления, робототехника и т.п. Процесс проектирования, программирования и отладки встраиваемых систем на базе современных микроконтроллеров трудоемкий процесс и требует от разработчика комплексного подхода к их реализации.

На кафедре Промышленная электроника Казанского государственного энергетического университета создана лаборатория проектирования и исследования систем управления на базе универсальных микроконтроллеров MC68HC908GP32 семейства Motorola. Конструирование и программирование микроконтроллерных устройств выполняется на стандартном комплекте оборудования.

Существуют различные технологии и средства отладки. Различаются они используемыми в процессе отладки аппаратными средствами. При наличии опыта и значительного задела практической работы с микроконтроллерами конкретного семейства целесообразно использование, так называемой, технологии отладки в системе, когда работоспособность разрабатываемой системы проверяется на конечном аппаратном решении.

Существует и другой подход к процессу проектирования и отладки микроконтроллерных систем – технология макетирования аппаратных средств, наличие полнофункционального образца, пригодного для испытаний на объекте, на стандартном комплекте оборудования. Данная технология особенно эффективна при освоении нового семейства микроконтроллеров. Ее преимущество заключается в использовании отлаженных производителем плат, которые позволяют сразу приобретать новые знания и навыки, не сомневаясь в работоспособности аппаратной части. К ним относятся специальные платы, которые принято называть платами развития (EVB) или стартовым набором разработчика (Starter Kit).

Стартовый набор разработчика - аппаратные средства поддержки разработки, содержит изготовленный в промышленных условиях лабо-

раторный макет с исследуемой микросхемой в типовом включении и сопроводительную документацию. Исследуемый микроконтроллер загружен демонстрационной версией программы и предусмотрена возможность занесения собственных программ разработчика.

В состав каждого лабораторного стенда входит исследуемый микроконтроллер, набор стандартных периферийных устройств: двухстрочный жидкокристаллический дисплей, 12-кнопочную клавиатуру, пьезо-керамический звукоизлучатель, светодиодный индикатор, датчик температуры, а также стандартный интерфейс отладки MON08, позволяющий подключать макет к последовательному порту ПК для программирования изучаемого микроконтроллера и отладки программ. Также имеются порт обмена по интерфейсу RS-232, шесть доступных пользователю каналов 8-разрядного АЦП и датчик угла поворота. Стенд наглядно демонстрирует возможности функционирования и исследования режимов работы микроконтроллера и используется для проведения лабораторных практикумов по изучению микропроцессорной техники, практического освоения их программирования, средств и методов отладки микропроцессорных систем на базе однокристальных микроконтроллеров. В качестве инструментального средства разработки и отладки программного обеспечения на языке ассемблера используется интегрированная среда *WIN IDEICS08*. Как показывает опыт, не все режимы работы и возможности данного микроконтроллера реализуются и можно исследовать на данном отладочном комплексе.

Наша разработка представляет собой модернизацию аппаратных и программных средств отладочного комплекса по проектированию встраиваемых систем на MC68HC908GP32 семейства Motorola с целью оптимизации их отладочных функций. Разработка включает:

- создание библиотеки схемных решений отдельных модулей - плат расширения;

- создание библиотеки стандартных программ архитектурных возможностей, приема, передачи, обработки данных и обслуживания периферийных устройств.

Периферийные модули или платы расширения для отладочного комплекса представляют собой различные аппаратные решения, которые позволяют реализовать задачи отображения цифровой информации, и осуществлять вывод либо ввод информации в микроконтроллерную систему. Аппаратные модули, предназначенные для отображения информации, включают: устройство светодиодной индикации, которое представляет собой линейку светоизлучающих диодов, много-разрядный семисегментный индикатор, а также графический жидкокристаллический индикатор *MT-12232D-2FLW* с ЖКИ-контроллером *SED1520DOA*. В состав решений, реализующих ввод-вывод информации, входит генератор тестовых воздействий, предназначенный для тестирования режимов работы модуля таймера-счетчика *TIM*, модулей последовательной передачи данных *SPI* и *SCI*, а также модуля анало-

гово-цифрового преобразователя *ADC*. Также разработано решение, осуществляющее управление мощной нагрузкой посредством электромагнитного реле.

Библиотека стандартных программ представляет собой комплекс отлаженных и оформленных в виде подпрограмм, реализующие ресурсы микроконтроллера: система команд, форматы данных, методы и способы адресации данных; функциональные возможности микроконтроллера; алгоритмы обработки массивов данных; взаимодействие с внешними устройствами. Разработаны программы сортировки данных, подключения матричной клавиатуры по прерыванию, опроса состояния двоичных ключей, прием данных от датчиков, выдачи данных на исполнительные устройства дискретного действия, отображения данных на цифровых индикаторах различных типов; реализующие временные функции: с использованием модуля процессора событий *TIM*, а также организации отсчетов временных интервалов методом программных задержек; управления режимом ШИМ- модуляции. Все стандартные подпрограммы библиотеки разработаны и отлажены на лабораторном стенде по проектированию управляющих устройств на микроконтроллерах *MC68HC908GP32* семейства *Motorola*, и совмещенного с ним интегральной среды разработки *Win IDE* по структуре интегрированных средств отладки.

Модернизация отладочного комплекса актуальна и востребована при изучении особенностей архитектуры, режимов работы внутренних модулей данного микроконтроллера, основных приемов, методов и способов программирования на языке ассемблера. Новый комплекс применим как для формирования начальных навыков проектирования и программирования микроконтроллерных устройств, так и при разработке и исследовании более сложных встраиваемых систем управления на основе стандартных отладочных аппаратных платформ.

Применение технологии отладки активизирует процесс обучения, наглядность реальных процессов проектирования и программирования систем управления повышает интерес и мотивацию студентов, раскрывает их творческий потенциал.

Литература

1. **Крейдл Х.** Куприс Г., Ремизевич Т.В., Панфилов Д.И. Работа с микроконтроллерами семейства *HC(S)08*: пособие для студентов технических вузов; под ред. Д. И. Панфилова. – М.: Издательство МЭИ, 2005.
2. **Ремизевич Т.**, Соколов М. Проектирование встраиваемых микроконтроллерных систем с использованием *Reference Design* от *Freescale/Motorola*. Электронные компоненты. №7. 2004.
3. **Бородин В.** Технологии и средства разработки встраиваемых систем на основе микроконтроллеров с архитектурой *ARM* / В. Бородин // *Chip New*. – 2009. – №1. – С.14-16.

Повышение качества электродной продукции за счет самонастраивающихся систем управления

Серийный выпуск электродов относится к классу сложного, ответственного процесса, влияющего на качественные и количественные показатели сварного шва и в итоге на стоимость готового изделия. От состояния электродной продукции зависят все металлоемкие отрасли производства.

Одним из главных этапов в изготовлении электродов является сушка и прокатка. Нарушение режимов термообработки, некачественное проявление могут привести к высокой остаточной влажности покрытия, низкой прочности и трещинам. Это увеличивает объем бракованной продукции и вызывает множественные дефекты сварных швов [1].

На заводах по изготовлению сварочных электродов для сушки и прокатки до сих пор применяется двухпозиционный или пропорционально-интегрально-дифференциальный (ПИД) регулятор. В условиях разной загруженности печи, разных программ термообработок, нелинейностей предложенные алгоритмы работы приводят к низкому качеству управления и в свою очередь к большому проценту брака.

В условиях постоянно меняющихся параметров объекта (электрической печи) для выполнения требований высокого качества единственно правильным решением будет использование самонастраивающихся систем.

Такая система была разработана на базе «Мультипроцессного комплекса цифрового управления технологическими установками» [2] и испытана в лабораторных и в реальных промышленных условиях. За основу взят астатический регулятор состояния. Для восстановления переменных состояния используется цифровой наблюдатель. Параметры объекта управления определяются по рекуррентному методу наименьших квадратов (РМНК).

Разработанное программное обеспечение представляет собой набор узкоспециализированных и взаимодействующих между собой программ. Набор может расширяться, часть программ является взаимозаменяемой. В качестве средств межпроцессного взаимодействия используется разделяемая память и семафоры System V. К настоящему моменту реализованы и апробированы следующие программы:

- диспетчер;
- цифровой астатический регулятор состояния;
- цифровой наблюдатель полного порядка;
- идентификатор;
- цифровой ПИ-регулятор;

- программа управления;
- цифровая модель объекта управления;
- программа связи с реальным объектом.

Процесс «идентификатор» реализован в трех вариантах: «пассивный идентификатор», «идентификатор с однократным срабатыванием», «динамический идентификатор».

«Пассивный идентификатор» предполагает, что параметры объекта и коэффициенты регулятора состояния с наблюдателем определены заведомо и указаны в теле программы как глобальные переменные, так что процесс осуществляет только инициализацию указанных параметров в разделяемой памяти.

«Идентификатор с однократным срабатыванием» осуществляет идентификацию объекта управления с последующим расчетом астатического регулятора и наблюдателя на первом наклонном участке заданного движения системы. Роль параметра данного процесса играет время идентификации. Во время работы идентификатора регуляторы функционируют в пассивном режиме, а на объект подается управляющее воздействие разной амплитуды и длительности. После «раскачки» вычисляются по РМНК параметры объекта, коэффициенты астатического регулятора и наблюдателя. Далее разрешается работа регулятора, а процесс идентификации и настройки завершается.

«Динамический идентификатор» работает в темпе с процессом. Идентификация в замкнутом контуре осуществляется с помощью «скользящего окна» по РМНК. Размер окна выступает в качестве параметра командной строки.

Благодаря работе идентификатора и подстройке коэффициентов регулятора и наблюдателя состояния обеспечиваются требуемые показатели качества тепловой обработки электродов.

Результаты проведенных экспериментов подтверждают эффективность применения цифровых самонастраивающихся систем.

Исполняемые файлы могут быть записаны в промышленные контроллеры с поддержкой Linux, что существенно снижает стоимость системы управления, повышает гибкость и функциональность.

Литература

1. Сидлин З.А. Производство электродов для ручной дуговой сварки. – Киев: Экотехнология, 2009. – 464 с.
2. Олоничев В.В., Смирнов М.А., Староверов Б.А. Мультипроцессный комплекс цифрового управления технологическими установками. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2011611749. © М.: РОСПАТЕНТ, 2011.

УДК 621.316.925

А.Л. КУЛИКОВ, д.т.н.,
 А.Н. КЛЮКИН, аспирант
 (НГТУ, ОАО «ФСК ЕЭС» – Нижегородское ПМЭС)
 г. Нижний Новгород

Статистические алгоритмы токовых защит дальнего резервирования

Резервирование действия релейной защиты (РЗ) является одним из важных способов повышения надежности электроснабжения потребителей и функционирования электроэнергетических систем (ЭЭС). Дальнее резервирование обладает большей полнотой резервирования и требует меньших капиталовложений в сравнении с ближним резервированием.

Имитационное моделирование (ИМ) является наиболее мощным инструментом анализа и исследования ЭЭС. ИМ позволяет проводить эксперименты в условиях невозможности и/или нецелесообразности проведения таковых на реальном объекте. Применение статистического (методом Монте-Карло) ИМ позволяет получать распределение контролируемых величин в ЭЭС. При соблюдении условий адекватности модели, а также необходимого числа экспериментов (репрезентативность выборки) статистическое ИМ может послужить экспериментальной и прикладной методологией.

На примере одного информационного признака (амплитуды тока) в [2] на участке сети 110кВ Нижегородской энергосистемы (рис.1) показано, что применение стохастических алгоритмов в значительной степени может повысить чувствительность максимальных токовых защит (МТЗ) дальнего резервирования (более чем в 6 раз).

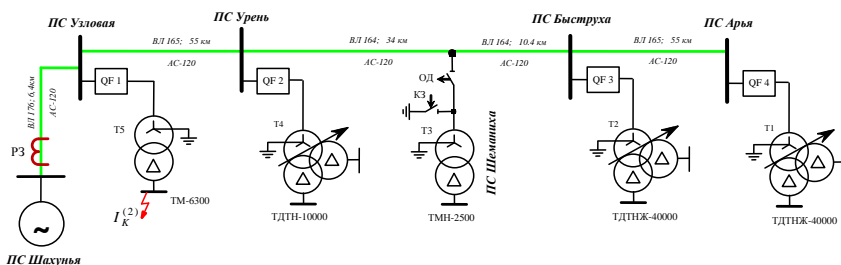
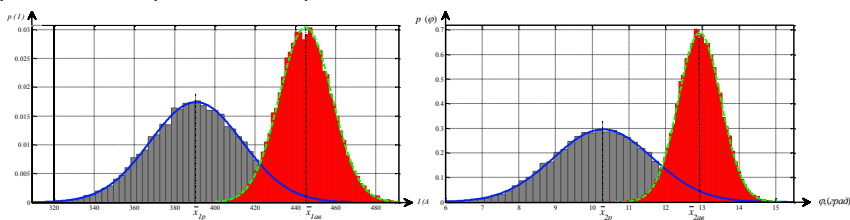


Рис. 1: Участок сети 110кВ Нижегородской энергосистемы

Использование только амплитуды тока не позволяет выявить все удаленные КЗ, входящие в зону действия дальнего резервирования МТЗ, так как не обладает достаточной информационной полнотой. В

качестве второго признака принят аргумент тока. Распределения и аппроксимации амплитуды и аргумента тока для рабочих режимов и режимов КЗ приведены на рис. 2.



а) б)
Рис. 2: Распределение рабочих (—) и аварийных (---) токов:
а) амплитуда, б) фаза

Распределения амплитуды и аргумента тока имеют общую область значений для обоих параметров, а распознавание таких режимов невозможно.

Для выявления минимальных аварийных режимов на фоне максимальных нагрузочных разработан статистический алгоритм, реализующий:

1. накопление информации, заключенной в величинах рабочих токов и токов КЗ;
2. межэлементное нормирование параметров;
3. компенсацию коррелированных частей параметров тока.

Разработана структурная схема алгоритма цифровой РЗ.

Вычислительный алгоритм основывается на расчете статистики $\ln l$

$$\ln l = \frac{1}{1-\rho^2} \cdot \left\{ y_1^2 \cdot \left(\frac{1}{\sigma_{1p}^2} - \frac{1}{\sigma_{1ав}^2} \right) + y_2^2 \cdot \left(\frac{1}{\sigma_{2p}^2} - \frac{1}{\sigma_{2ав}^2} \right) - 2 \cdot y_1 \cdot y_2 \cdot \left(\frac{1}{\sigma_{1p} \cdot \sigma_{2p}} + \frac{1}{\sigma_{1ав} \cdot \sigma_{2ав}} \right) \right\} + \left\{ \left(\frac{y_1 \cdot x_{1ав}}{\sigma_{1ав}^2} - \frac{y_1 \cdot x_{1p}}{\sigma_{1p}^2} + \frac{y_2 \cdot x_{2ав}}{\sigma_{2ав}^2} - \frac{y_2 \cdot x_{2p}}{\sigma_{2p}^2} + \rho \cdot \left(\frac{y_1 \cdot x_{2p}}{\sigma_{1p} \cdot \sigma_{2p}} + \frac{y_2 \cdot x_{1p}}{\sigma_{1p} \cdot \sigma_{2p}} - \frac{y_1 \cdot x_{2ав}}{\sigma_{1ав} \cdot \sigma_{2ав}} - \frac{y_2 \cdot x_{1ав}}{\sigma_{1ав} \cdot \sigma_{2ав}} \right) \right) \right\}$$

где y_1, y_2 – измеряемые параметры тока (амплитуда и фаза); $\sigma_{1p}, \sigma_{1ав}, \sigma_{2p}, \sigma_{2ав}$ – дисперсии параметров тока в рабочем и аварийном режимах; $x_{1p}, x_{1ав}, x_{2p}, x_{2ав}$ – математические ожидания параметров тока (амплитуды и фазы) в рабочем и аварийном режимах, ρ – коэффициент корреляции.

Распределение статистики $\ln l$ для рабочих и аварийных режимов (рис.3) свидетельствуют об однозначном разделении режимов. В каче-

стве порогового значения может быть выбрано значение $\ln l = 0$, а процедура сравнения сводится к определению знака статистики $\ln l$.

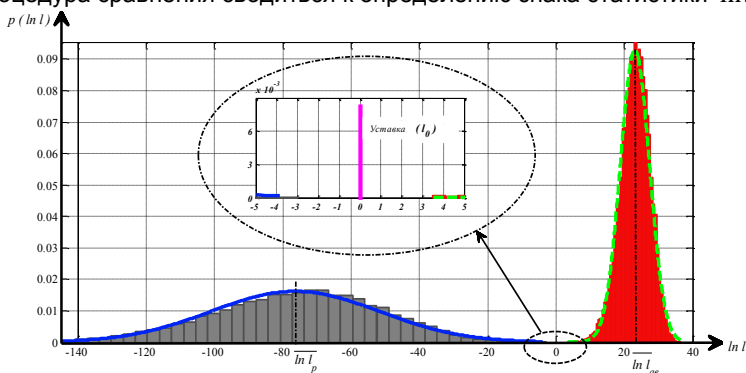


Рис. 3: Распределение статистики $\ln l$ для рабочих (—) и аварийных (---) режимов

Предлагаемые статистические способы цифровой токовой защиты позволяют значительно повысить чувствительность защит дальнего резервирования. Такие алгоритмы применимы в существующих терминалах РЗ и не требуют их конструктивных изменений и значительных финансовых затрат.

Литература

1. Шеннон Р. Имитационное моделирование систем – искусство и наука. – М.: Мир, 1978.
2. Куликов А.Л., Клюкин А. Н. Совершенствование токовых защит дальнего резервирования на основе статистической информации//Труды академии электротехнических наук Чувашской республики. 2010. №1.
3. Крамер Г. Математические модели статистики. – М.: Мир, 1975.
4. Леман Э. Проверка статистических гипотез. – М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1979.
5. Шнейерсон Э. М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.

Структура терминального программного обеспечения системы ЧПУ IntNC

Развитие систем числового программного управления (СЧПУ) металлорежущих станков предъявляет повышенные требования к программному обеспечению (ПО) взаимодействия с пользователем. Современные системы, как правило, строятся по двухкомпьютерной схеме с использованием контролера движения и терминального устройства, представленного промышленным компьютером. Наличие в качестве терминального устройства отдельного компьютера с полноценной операционной системой позволяет создавать развитое ПО, повышающее конкурентные возможности системы в целом.

В рамках разработки СЧПУ IntNC была предложена и реализована следующая структура ПО терминального уровня (рисунок 1). Она включает несколько модулей, каждый из которых используется для решения своего спектра задач.

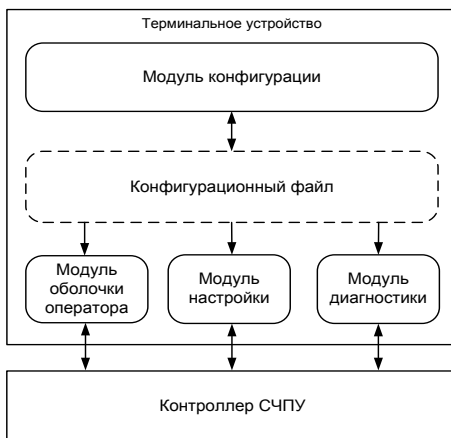


Рис. 1. Структура терминального ПО СЧПУ IntNC

Модуль конфигурации предоставляет пользователю механизмы для настройки и параметрической привязки СЧПУ к станку, осуществляемой с помощью табличного и диалогового интерфейсов. Данный модуль может запускаться автономно на произвольном компьютере. Таким образом, системный интегратор может получить сконфигурированную СЧПУ на объекте управления в сжатые сроки.

Модуль диагностики служит для выявления проблем функционирования СЧПУ и быстрой локализации неисправностей, а также для оценки состояния механической части станка. Он содержит средства отображения состояния входных и выходных сигналов системы, статуса задействованных координатных систем и осей, графиков токов и ошибок слежения при движении. Также данный модуль предоставляет терминальный доступ к контроллеру СЧПУ и возможности по отображению и изменению как отдельных переменных, так и программ, используемых для управления электроавтоматикой.

Модуль настройки предоставляет единый механизм настройки и оценки качества электропривода, путем задания ряда тестовых воздействий, характерных для станочного оборудования. Он содержит развитые средства отображения графиков токов двигателей, задающего воздействия и ошибок слежения, что позволяет получить количественные и качественные характеристики переходных процессов. Также он имеет набор средств для отладки программ управления электроавтоматикой станка.

Модуль оболочки оператора необходим для эффективной реализации основных функций СЧПУ, состоящих в обеспечении процесса обработки путем выполнения управляющих программ (УП). Он обладает интуитивно-понятным интерфейсом, содержит средства по проверке и моделированию УП с графическим отображением траектории движения, обеспечивает привязку инструмента и задание корректоров, отображает координаты осей и скорости шпинделя, предоставляет возможности шаблонного программирования.

Структура ПО предусматривает наличие правил иерархического доступа, защищающих системные настройки от несанкционированного изменения персоналом.

Для связи модулей разработан механизм, основанный на использовании единого конфигурационного файла. Этот файл содержит полное описание станка, включающее:

- количество осей и шпинделей;
- тип и параметры электропривода;
- набор G-кодов для программ движения;
- перечень используемых плат ввода-вывода аналоговых и дискретных сигналов;
- программы управления электроавтоматикой;
- набор сообщений об ошибках и аварийных ситуациях.

Файл имеет структуру XML-документа, что обеспечивает его переносимость на различные программные платформы. Для работы с этим файлом разработан набор прикладных функций, объединенных в класс, который используется каждым программным модулем. Данный класс может использоваться сторонним ПО, расширяющим функциональность системы, с целью предоставления ему полной информации об объекте управления.

Методика настройки электропривода подачи станков с ЧПУ

Современные системы ЧПУ для металлорежущего оборудования имеют большой набор параметров, характеризующих настройку динамики, точности, быстродействия и защитные функции электроприводов подачи. Производители сопровождают системы ЧПУ набором документации в основном с описанием этих параметров. При этом прослеживается отсутствие общих инструкций к их настройке, что усложняет задачу наладчика.

В этих условиях актуальным является определение методики настройки электроприводов, учитывающей особенности основных режимов работы станка и электроприводов.

Наиболее распространенным алгоритмом управления электроприводами в современных системах ЧПУ является ПИД регулятор с упреждающими связями по скорости K_{VFF} , ускорению K_{AFF} и трению K_{FFF} . В представленной ниже методике предлагается настраивать коэффициенты регулятора, величину умножения пропорционального коэффициента в заданной зоне ошибки слежения по положению, а также параметры задатчика управляющего воздействия (рис. 1) в разных режимах работы станка.

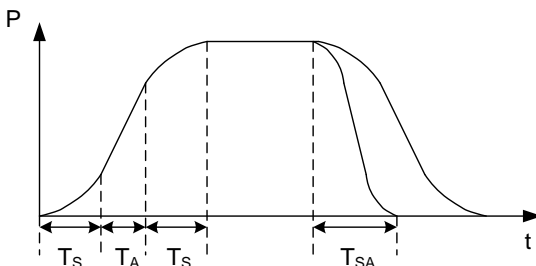


Рис. 1. Параметры задатчика управляющего воздействия

Перед процедурой настройки необходимо выделить основные характеристики в зависимости от типа, класса точности станка и деталей, планируемых к обработке:

- точность перемещений по каждой оси,
- максимальные скорости по осям при интерполяции,
- динамику перемещений,
- скорости быстрого хода,

- быстродействие и стабильность удержания заданной координаты (по ГОСТ 27803 и ГОСТ 27843).

Предлагаемая методика настройки электроприводов осей подачи состоит из несколько этапов:

1. *Расчёт защитных ограничений по току:*

- токовая отсечка (максимальная величина задания по току),
- время-токовая защита.

2. *Настройка электропривода без нагрузки:*

- Регулятор тока - настраивается ступенчатым задающим воздействием.

При использовании асинхронного двигателя в качестве задающего сигнала необходимо использовать намагничивающую составляющую, которая не создает момент на валу и не приводит к его вращению.

- Регулятор положения - получение исходных значений коэффициентов (K_{Γ} , $K_{и}$, $K_{д}$) заданием ступенчатого воздействия на вход контура позиционирования.

3. *Ручной режим:*

- *Ручные толчковые перемещения* - настройка коэффициентов регулятора положения и параметров задающего воздействия (T_A , T_S) на всех скоростных диапазонах режима. Кроме того, необходимо определить предельные параметры разгона до максимальной скорости (скорости быстрого хода), при которых не происходит аварийной перегрузки электропривода и не превышает максимальная допустимая ошибка слежения.

- *Перемещения от штурвала* - получение оптимальных параметров быстродействия задающего сигнала (T_A , T_S). Заниженное быстродействие при привязке детали оператором может привести к браку изделия. Завышенное быстродействие приводит к значительным импульсным перегрузкам по току при движении на скорости ≥ 0.1 мм/дискр.

- *Аварийное торможение* - определение максимальной величины торможения (T_{SA}), при которой сохраняется работоспособность электропривода, нет перегрузок по току, ошибка слежения не превышает допустимое значение.

4. *Программный режим* - предполагает настройку электроприводов при параболическом законе изменения задания. При этом скорость и ускорение меняются плавно. Настраиваются коэффициенты упреждающих связей (K_{VFF} , K_{AFF} , K_{FFF}) и величина умножения пропорционального коэффициента в заданном диапазоне ошибки слежения за положением.

5. *Компенсация люфта* в кинематической передаче. Настраивается величина люфта и скорость его выборки. Для избегания ударов, компенсируемая величина должна быть меньше фактической величины люфта.

Приведенная методика учитывает основные параметры настройки электропривода и оси системы ЧПУ, позволяет достичь оптимальных характеристик станка и избежать аварийных перегрузок электропривода. Указанная последовательность действий наладчика применима к большинству современных систем ЧПУ.

Язык программирования робототехнических комплексов IntLANG

Использование робототехнических комплексов (РТК) в производственных задачах требует наличия программных средств, позволяющих проводить разработку и отладку управляющих программ (УП), предназначенных для реализации требуемых технологических операций. Основным его компонентом является язык программирования (ЯП).

Главной проблемой при создании ЯП РТК является отсутствие единого стандарта, описывающего набор средств, которые он должен предоставлять. Поэтому при разработке языка IntLANG были проанализированы возможности, предоставляемые современными системами управления (СУ) манипуляционными роботами (МР), такими как KUKA, Fanuc, Motoman.

По итогам анализа был определен набор функций, требуемый для создания УП. Язык IntLANG предоставляет следующие категории операций:

- задание перемещений по требуемой траектории с выбранными параметрами (скорость, ускорение);
- преобразование координат точек траектории перемещения между различными видами координатных систем;
- взаимодействие с аппаратным обеспечением БУ и периферийных устройств;
- организация сложных управляющих программ с элементами алгоритмического программирования;
- взаимодействие с библиотекой подпрограмм.

Основными принципами, положенными в основу при создании языка, являются модульность и открытость.

Модульность позволяет разработчику создавать собственные библиотеки подпрограмм и компонентов, включающие наиболее часто используемые алгоритмы.

Открытость заключается в предоставлении конечному пользователю набора возможностей, позволяющих при разработке УП максимально использовать функциональность СУ МР.

Использование средств алгоритмического программирования дает возможность создавать УП, обладающие разветвленной структурой, позволяющей реализовать сложные технологические операции и организовать взаимодействие с различными компонентами РТК.

УДК 66.087.065

В.Л. КОТОВ, к.т.н., доцент,
(ИГХТУ) г. Иваново
Н.Ю. КОВКОВА., к.т.н.
(ОАО «ВОДОКАНАЛ») г. Иваново

Цитратный электролит электроосаждения легкоплавкого припоя олово-индий

В электротехнической и радиотехнической промышленности широко используется контактно-реактивная пайка легкоплавкими припоями на основе олова с индием, который предварительно наносятся на паяемые поверхности электролизом. Существующие электролиты на основе солей Sn^{2+} имеют низкую устойчивость, даже при наличии в них специальных органических добавок. Вместе с тем в литературе имеются сведения об успешном соосаждении олова с индием, из кислых и щелочных электролитов на основе солей Sn^{4+} , устойчивость которых обеспечивается оксикислотами.

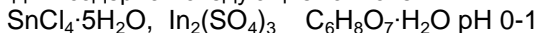
Перспективным путем повышения устойчивости электролита, улучшения качества осадков может стать применение нестационарного электролиза. Применение периодического тока снижает изменение кислотности приэлектродного слоя и тем больше, чем длительнее пауза между импульсами тока, за время которой состав электролита в приэлектродном слое выравнивается и приближается к составу объема электролита.

Ион Sn^{4+} устойчив в сильно кислых растворах, а ион In^{3+} устойчив до pH 3. Поэтому для создания электролитов осаждения их сплава пригодны соли этих металлов, обладающие высокой растворимостью, устойчивые в рабочем диапазоне pH, анионы которых не осложняют течение анодного и катодного процессов. С этой точки зрения наиболее подходящими являются хлориды олова и сульфат индия.

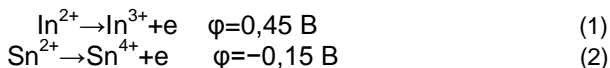
Для сближения потенциалов выделения ионов сплавообразующих металлов и для предотвращения изменения кислотности в процессе электролиза, в качестве лиганда можно использовать лимонную кислоту.

Присутствие в электролите даже небольшого ее количества позволяет повысить катодный выход по току и уменьшить размер зерна осадка. В кислой среде она образует устойчивые комплексные соединения с ионами сплавообразующих металлов, что препятствует возникновению труднорастворимых соединений Sn^{4+} и потери электролитом устойчивости.

Учитывая вышеизложенное, электролит для электроосаждения сплава олово-индий содержит следующие компоненты:



Увеличение концентрации индия в электролите приводит к увеличению его содержания в сплаве, как при электролизе постоянным током, так и периодическим. В последнем случае состав сплава зависит от длительности импульса: чем короче импульс, тем меньше содержание индия, что, вероятно, связано с увеличением длительности безтокового промежутка, во время которого промежуточные продукты восстановления окисляются до исходного состояния по реакциям (1,2).



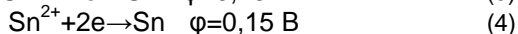
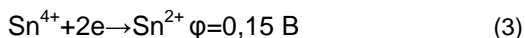
Вероятно, окисляются преимущественно ионы индия, т.к. реакция (1) протекает легче.

Изменение соотношения концентраций разряжающихся ионов в пользу другого компонента сплава меняет механизм катодного процесса, об этом говорит различный характер зависимости состава сплава от плотности тока. Содержание индия в сплаве, полученном из электролита с концентрацией сульфата индия 80 г/л, с ростом плотности тока монотонно растет, а из электролита с концентрацией 166 г/л проходит через максимум. При электролизе постоянным током, независимо от концентрации индия в растворе, выход по току сплава -100%, а при электролизе периодическим током выход по току не превышает 80 %, хотя видимого выделения водорода не наблюдается.

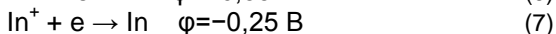
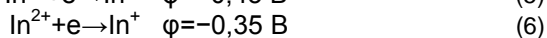
Увеличение температуры электролита сдвигает потенциал катода в сторону более положительных значений. При этом происходит перераспределение парциальных токов разряда участников катодной реакции за счет индия в пользу олова. Например, при температуре электролита 25⁰С и плотности тока 3 А/дм² значения парциальных токов разряда индий и оловосодержащих ионов близки; при температуре 50 °С и той же плотности тока, доля тока, идущая на разряд оловосодержащих ионов, почти в три раза больше доли тока, идущей на разряд индийсодержащих ионов, что и приводит к обогащению сплава оловом.

Эффективные энергии активации парциальных процессов, найденные температурно-кинетическим методом, и их зависимости от поляризации показали что тормозящей стадией разряда оловосодержащих ионов является диффузия из объема раствора в зону реакции. Восстановление индийсодержащих ионов сопровождается кинетическими ограничениями, связанными с наличием химической поляризации; лимитирующей стадией, процессов не сопровождающихся выделением металлов, также является присоединение электрона. Несмотря на то, что характер зависимости эффективной энергии активации от потенциала поляризации совпадает с указанным Горбачевым, ее величина имеет завышенные значения. Увеличение обусловлено, вероятно, стадийностью восстановления

ионов сплавообразующих металлов. Разряд ионов олова по данным Кудрявцева протекает в две стадии:



Разряд ионов индия по данным Латимера идет по схеме:



Появление ионов промежуточных степеней окисления изменяет состав приэлектродного слоя, а значит и потенциал катода. Это изменение потенциала легко наблюдать при нестационарном электролизе, когда разряд ионов чередуется с безтоковыми промежутками, во время которых подача электронов от внешнего источника прекращается и выведенная из равновесия система стремится возвратиться в исходное состояние. В момент включения поляризующего тока наблюдаются повторяющиеся форму тока значительные колебания потенциала, достигающие 120 мВ, которые в течении 1-5 минут уменьшаются до установившегося значения,

При изменении соотношения концентраций солей олова и индия в электролите, до значения при котором потенциал катода определяется оловосодержащими ионами, характер изменения потенциала становится иным. В момент включения тока поляризация составляет не более 20 мВ, в течении 5 секунд увеличивается до 60-70 мВ и через 15 секунд достигает установившегося значения. В этом случае в околочатодном пространстве, видимо, происходит накопление ионов Sn^{2+} , об этом свидетельствует изменение потенциала в паузу между импульсами поляризующего тока. За время паузы он не возвращается к стационарному значению, для достижения которого требуется значительно больший промежуток времени.

После отключения поляризующего тока потенциал довольно длительное время держится практически неизменным, на уровне предшествующем выключению, а затем быстро падает до стационарного. Время задержки потенциала зависит от плотности тока, длительности паузы между импульсами и формы тока. Задержка потенциала происходит вследствие накопления в прикатодной области ионов компонентов сплава промежуточных степеней окисления. Длительность задержки возрастает при увеличении концентрации этих ионов. После их исчезновения, в результате окисления, потенциал быстро падает до стационарного значения. По всей видимости, в околочатодном пространстве накапливаются ионы Sn^{2+} , т.к. в экспериментах с большим

содержанием соли олова время достижения стационарного потенциала увеличивается.

Таким образом в прикатодном слое образуется пленка электролита, который отличается от состава объема раствора. Эти различия зависят от режима электролиза и сказываются на распределении компонентов сплава по толщине покрытия, в котором возникает градиент состава, примерно в 60% по индию на толщине в 8 мкм. Рентгенофазовые исследования показали, что осаждающийся сплав представляет собой механическую смесь, а его состав, в диапазоне плотностей тока 2-3,5 А/дм², соответствует эвтектическому и имеет температуру плавления 117-120⁰ С. Электролит был устойчив в хранении и эксплуатации в течении наблюдавшихся двух лет.

СЕКЦИЯ «ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ»

УДК 621.9.01

А.С. ОРЛОВ, ст. преподаватель,
В.А. ПОЛЕТАЕВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Исследование упрочнения режущих инструментов импульсной магнитной обработкой

При изготовлении режущего инструмента должна решаться задача повышения его срока службы. Режущий инструмент работает с высокой нагрузкой, поэтому испытывает большой износ рабочей части.

В настоящее время в промышленности применяют магнитную обработку для упрочнения режущего инструмента. Для исследования влияния упрочнения сверл импульсной магнитной обработкой была сконструирована и изготовлена экспериментальная установка.

Экспериментальная установка (рис. 1) представляет собой поворотный стол 11, который прикреплен к столу 13 двумя болтами 12.

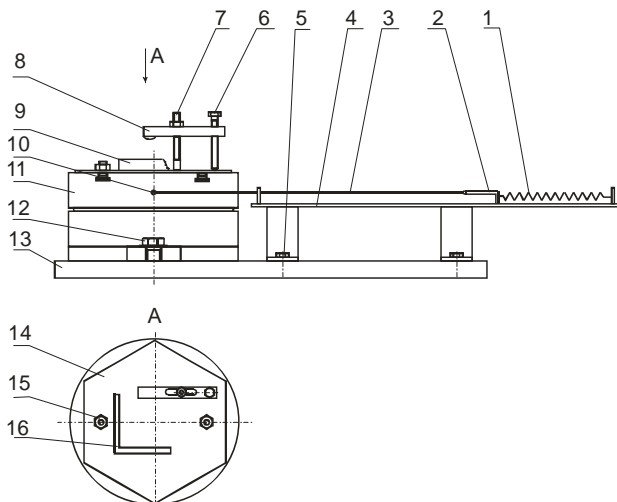


Рис.1. Экспериментальная установка: 1 – пружина; 2 – ползун; 3 – трос; 4 – планка; 5 – основание; 6 – болт; 7 – гайка; 8 – консоль; 9 – угол; 10 – болт; 11 – поворотный стол; 12 – болт; 13 – основание; 14 – пластина; 15 – болт.

Верхняя часть поворотного стола может свободно вращаться, а нижняя неподвижна. С помощью болта 10 к поворотному столу прикреплен трос 3. Другой конец троса прицеплен к ползуну 2. На ползуне также имеется стрелка, показывающая текущее его положение относительно планки 4. Ползун прикреплен к планке пружиной 1. На планке имеются деления, которые пронумерованы. При повороте поворотного стола трос начинает накручиваться на круглый стол, таща за собой ползун, который показывает стрелкой на приложенный в данный момент к столу момент в Н/м. Тем самым определяется крутящий момент при сверлении.

С помощью болтов 15 и Т-образных пазов сверху на поворотный стол прикрепляется приспособление для установки и закрепления заготовок. Приспособление состоит из угла 9, в который ставится круглая заготовка в виде диска, и зажимного элемента в виде консоли 8, упорного болта 6 и зажимной гайки 7.

Испытаниям подвергаются сверла из быстрорежущей стали марки Р6М5 диаметром 6 мм. Производилось сверление глухих отверстий глубиной 30 мм в стали с содержанием углерода 0,35% на вертикально-сверлильном станке 2Н135 с автоматической подачей. Для охлаждения применялась СОЖ.

Напряженность магнитного поля при упрочняющей обработке составляла 450 кА/м. Количество импульсов на каждое сверло – 3, длительность импульса – 0,1 с, промежуток между импульсами – 1 с.

На рис. 2 показан график зависимости момента резания M от количества просверленных отверстий.

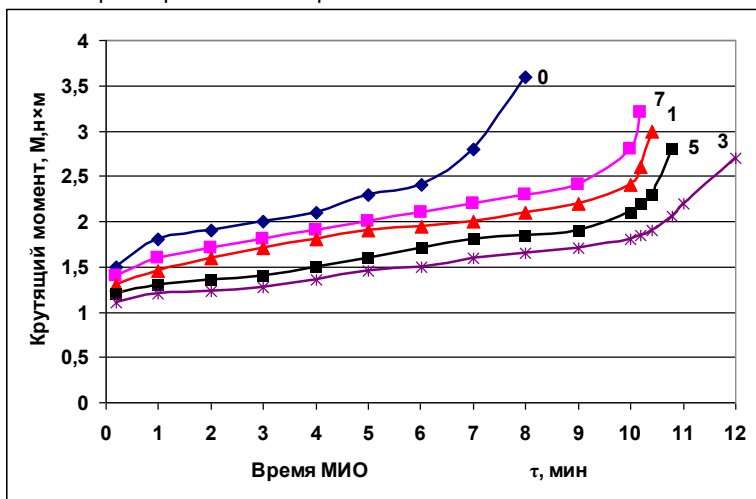


Рис. 2. Зависимость момента резания M от количества импульсов магнитной обработки: 0 – без импульсной магнитной обработки; 1 – один импульс; 3 – три импульса; 5 – пять импульсов; 7 – семь импульсов

На рис. 3. показаны фотографии износа фаски режущей кромки сверла.

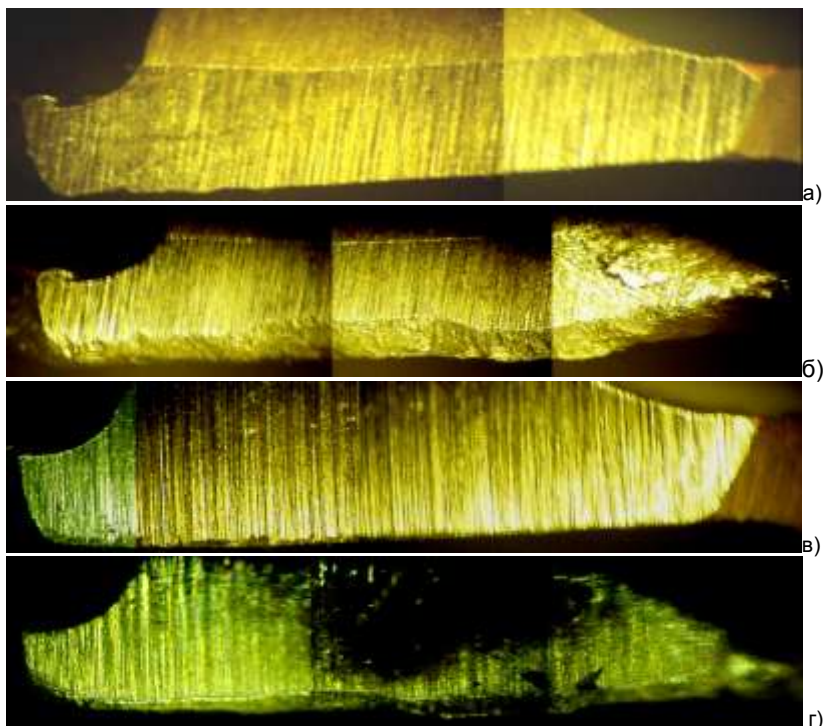


Рис. 3. Фотографии износа фаски режущей кромки сверла: а – без износа, б – износ без МИО; в – без износа; г – после износа с МИО (ув.Х 140)

Анализ рис. 2 и 3 показывает, что обработка импульсным магнитным полем приводит к увеличению стойкости сверла в 1,5 раза.

Литература

1. **Преображенский А.А.** Теория магнетизма, магнитные материалы и элементы. М.: Высшая школа, 1972. 460 с.
2. **Барон Ю.М., Сенчило И.А.** Изменение эксплуатационных характеристик поверхностей инструментов из быстрорежущих сталей в результате их перемангничивания // Труды Ленинградского политехнического института, вып. 109, 1980. с. 177 – 181.

Компетентностный подход в подготовке специалиста

Повышение качества образования является актуальной проблемой. Современный рынок труда оценивает качество образования не только суммой усвоенных выпускником учебного заведения знаний и умений, но и опытом его деятельности, и применением полученных им знаний для решения нестандартных задач и проблемных профессиональных ситуаций. Таким образом, востребован на рынке труда специалист не просто знающий, но и с опытом. Предполагается, что компетентностный подход в образовании способен решить возникшую проблему.

Новый образовательный стандарт (ФГОС ВПО третьего поколения), заявивший о компетентностном подходе в образовании, при описании образа специалиста использует понятия «компетентность» и «компетенции» в отличие от используемых «знания», «умения», «навыки» (ЗУН).

Компетентностный подход не отрицает значения знаний, но он акцентирует внимание на способности эффективно использовать полученные знания. У будущего специалиста необходимо формировать компетенции.

Особенность компетенции как образования состоит в том, что в сравнении с другими результатами образование она:

- является интегрированным результатом;
- позволяет расширять целый класс задач (в отличие от элемента функциональной грамотности);
- существует в форме деятельности, а не информации о ней (в отличие от знания);
- переносима (связана с целым классом предметов воздействия), совершенствуется не по пути автоматизации и превращения в навык, а по пути интеграции с другими компетенциями и компетентностями через осознание общей основы деятельности;
- в процессе компетентностного обучения наращивается компетенция, а сам способ действия включается в базу внутренних ресурсов (в отличие от умения);
- проявляется осознанно (в отличие от навыка).

В литературе встречаются различные определения «компетентности» и «компетенции», но видимо, наиболее точно определение дано Н.Ф. Ефремовой.

«Компетентность – это особый тип организации знаний, навыков, умений и фундаментальных способностей, которые позволяют личности быть успешной в определенном виде деятельности». Без знаний компетентности не может быть. Компетентность подразумевает их

интеграцию, перенос, взаимопроникновение, обобщение, в целом высокий уровень эрудиции.

Компетентности не формируются без знаний, которые в свою очередь не проявляются без компетенций и не могут быть эффективно использованы для осуществления продуктивной деятельности.

Таким образом, компетентность – это способность решать задачи, а компетенции – это модель поведения, обеспечивающая эту способность.

Компетенции – это обобщенные и глубокие качества личности, отображающие ее способности наиболее универсально использовать и применять полученные знания, умения и опыт, владеть приемами, действовать и принимать решения в стандартных и нестандартных ситуациях.

Взаимосвязь компетентности и компетенций такова: компетентности – это потенциал специалиста, его знания, умения, навыки, опыт деятельности; компетенции (кинетика и динамика мысли и поступков) – это его действие, понимание проблемы, анализ, поиск решения и деятельность по решению проблемы и достижению результата. Компетентности и компетенции во взаимодействии и обуславливают результат деятельности.

Соотношение ЗУН, личностных качеств (ЛК) и компетенций в векторной форме может быть представлена рис.1.

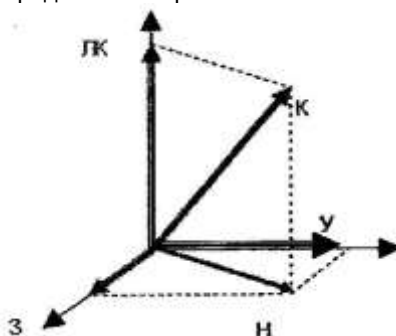


Рис. 1. Соотношение ЗУН, личностных качеств (ЛК) и компетенций в векторной форме

Наиболее сложным в настоящее время представляется отбор базовых компетенций, необходимых выпускнику по конкретной специальности, так как требует совместной работы преподавателей и работодателей. За основу же формирования ФГОС ВПО принята 2-х уровневая классификация компетенций (табл. 1).

Оценку результатов развития компетенций обучающихся наглядно может представлять векторная модель (рис.2).

Таблица 1. Европейская классификация компетенций

	Компетенции	Инструментальные	Системные
I. ОБЩИЕ	1. Социально-личностные – личностные – межличностные – социальные	Формируются на первых курсах обучения, необходимы для усвоения учебной программы.	Результаты обучения формируются на старших курсах, необходимы для практической деятельности
	2. Организационно-управленческие	Способность организовать работу исполнителей в условиях различных мнений.	Готовность к организационно-управленческой работе с коллективом.
	3. Общенаучные	Способность к самообразованию	Умения применять знания.
II. СПЕЦИАЛЬНЫЕ	1. Общепрофессиональные	Владение техническим языком. Навыки применения специальной литературы и других информационных данных (в т.ч. на иностранном языке) для решения профессиональных задач	Способность работать со статистическими данными. Навыки проектирования.
	2. Специализированные и научные	Находить и формулировать проблему, разрабатывать проекты.	Способность обеспечить решение проблемы.

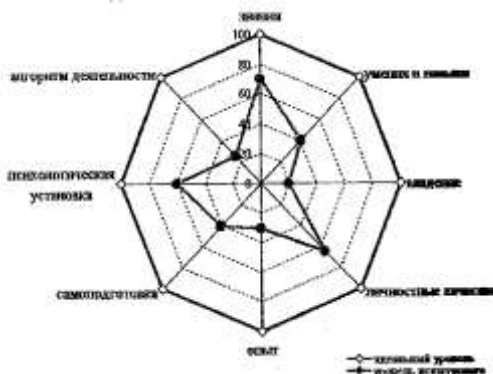


Рис. 2. Векторная модель оценки компетенций

В данной работе сделана попытка «пролить свет» на сущность понятий «компетентность» и «компетенций» по материалам Н.Ф. Ефремовой «Подходы к оцениванию компетенций в образовании».

Особенности чистовой лезвийной обработки металлопластмассовых композиций

В современном машиностроении все шире применяются композиционные материалы, в частности на основе алюминия-полиэтилена. Этот материал получил широкое применение в различных отраслях народного хозяйства (авиация, машиностроение, строительство). Поскольку этот материал листовой, его механическая обработка сводится к его раскрою. Но эта обработка, как и в случае других видов обработок и других материалов, требует своей точности и чистоты поверхности. Здесь возникают ограничения на применяемый инструмент и технологию. Например: ножницы вызывают смятие и утягивание материала, пила не обеспечивает достаточной точности и чистоты поверхности, а абразивный инструмент затирается алюминием. Вероятно, возможно использование технологии штамповки, но, как и в других случаях, только при крупносерийном и массовом производствах. Очевидно, в опытно и мелкосерийном производстве наиболее подходит для получения деталей из этого материала путем фрезерования. На практике же особенности структуры и физико-механических свойств полиэтилена составляющего 80% от композиции вызывает ряд негативных последствий. Такие свойства, как низкие плотность и твердость, не высокая теплостойкость, крайне низкая теплопроводность, интенсивное истирающее воздействие на режущий инструмент требуют отдельного изучения. Полиэтилен, связывающий два алюминиевых листа (толщиной 0,3 мм) является матрицей композита. Низкая теплопроводность полиэтилена (порядка $0,00062 \text{ кал/см}\cdot\text{С}\cdot^\circ$) обуславливает слабый отвод тепла со стружкой обрабатываемого изделия. Количество теплоты, уходящей со стружкой, составляет 55-60%, в изделие - 19%, инструмент - 24%. Для сравнения, при резании металлов, 75-80%, 20-30%, 1-3 % соответственно. Согласно литературным источникам, температура в зоне резания на глубине до 0,15 мм довольно высока, порядка 500-600 °С, а предельно допустимые температуры, вызывающие разложение материала для термопластов - 60-120 °С. Также, в процессе обработки, наличие резких динамических нагрузок способствует образованию расслоений, задиров и других видов разрушений. Это отражается как на качестве поверхности, так и на достигаемой точности. В связи с высоким коэффициентом термического расширения полиэтилена возникает дополнительное трение между материалом и задней поверхностью режущей кромки инструмента [7]. Алюминий в свою очередь обладает очень хорошей теплопроводностью и коэффициентом теплового расширения. Можно было предположить, что различия свойств компо-

нентов композиции будут мешать друг другу, а также давать тепловые деформации, искажающие профиль торца фрезерованной поверхности, что в ходе эксперимента не подтвердилось. Наблюдалась равномерные тепловые деформации по всей глубине материала 0,06-0,062 мм при попутном фрезеровании и 0,065-0,068 мм при встречном. Эксперимент проводился на копировально-фрезерном станке, по специально разработанной методике. В эксперименте было обработано несколько образцов с разными режимами и инструментом. В первом варианте была одноперьевая твердосплавная фреза по алюминию фирмы «сандвик» Ø4 мм, 10000, 15000, 20000, 25000 об/мин и подача 15-20 м/сек - попутное и встречное фрезерование. Во втором - четырехперьевая фреза отечественного производства из быстрорежущего сплава Ø20 мм от 1800-2500 об/мин, подача 0,15-0,20 мм/сек - попутное и встречное фрезерование. В обоих случаях появлялись тепловые дефекты и наличие шероховатости Ra 0,023-0,048 на полиэтилене, что подтверждает высокую концентрацию температуры в зоне резания. В тоже время, на инструмент оказывает влияние упругие деформации, тем более, при повышении температуры, когда материал размягчается. Поэтому, необходимо охлаждать материал во время обработки. Применение СОЖ не рекомендуется т.к. может вызвать отслаивание алюминия от полиэтилена, а так же способствовать появлению вредных газов. Обдув воздухом (тв.=22 °С Р=4 атм.) снизил тепловые деформации до 0.012-0.04 мм при попутном фрезеровании, и до 0.018-0.042 мм при встречном. Таким образом, учитывая низкую теплостойкость и относительно не высокую прочность полиэтилена, рекомендуется вести обработку только остро заточенным инструментом (малые углы заострения, отсутствие ленточек и закруглений режущей кромки) с подачей воздуха в зону резания. Несмотря на мягкость материала, лучше использовать одноперьевую твердосплавную фрезу. Лишние режущие кромки создают дополнительное трение и повышение температуры, а стойкость твердосплавной фрезы в два раза выше быстрорежущей.

Литература

1. **Тихомиров Р. А.** Николаев В. И. Механическая обработка пластмасс. – М.: Машиностроение, Ленинград 1975г., 210 с.
2. **Батрин Л. Е.** Силы резания и чистота обработанной поверхности при точении пластмасс. – В кн.: Новое в резании металлов и пластмасс. Под ред. проф. А. Н. Резникова. Куйбышевское кн. изд-во, 1963г., с. 30-35.
3. **Вадачкоря В. И.** Температурные режимы при резании пластмасс.- «Пластические массы», 1962г., №6.
4. Ред. **К.Крейдер**, перевод с англ. под ред. Портного К.И. Композиционные материалы с металлической матрицей. М. Машиностроение, 1978г., с. 40-44.

Разработка методики и технологии совместного развёртывания хроникелевых сплавов алмазным хонингованием

В конструкции современного газотурбинного двигателя АИ-222-25 для соединения дисков роторов турбин высокого давления, кольца уплотнительного и диска лабиринтного используются конические призонные болты. Двигатель выполнен по двухвальной схеме. Конструкция двигателя выполнена с учётом модульной (блочной) конструкции. Двигатель разделён на 12 основных модулей: колесо рабочее 1-й ступени вентилятора, корпус вентилятора с НА 1-й ступени, колесо рабочее 2-й ступени вентилятора, аппарат направляющий 2-й ступени и аппарат спрямляющий вентилятора, валопровод, главный модуль, коробка приводов, камера сгорания, ротор турбины высокого давления, статор турбины низкого давления, ротор турбины низкого давления, опора турбины. При проведении испытаний двигателей отмечены повышенные уровни виброскоростей в основном в плоскости задней подвески двигателя по частотам вращения роторов высокого и низкого давлений. Основываясь на причины появления вибрации можно сделать вывод, что настоящая технология развёртывания конических отверстий в пакете ротора ТВД с КВД не обеспечивает необходимой точности получения конических отверстий. Анализ существующих сведений о процессе развёртывания показывает, что повышение производительности труда, дальнейшее развитие возможностей процесса алмазного хонингования ограничивается требованиями к качеству обработанных конических отверстий. В этой связи раскрытие процесса формирования поверхности отверстия при хонинговании с учетом явлений, происходящих у корня стружки, прежде всего – образования нароста и влияния на него параметров процесса резания, поможет установить истинное существо явлений, что безусловно, является актуальной задачей. Решение последней способно обеспечить существенное повышение производительности труда и улучшение качества обработки. В этих условиях актуальным является исследование, которое позволило бы определить влияние комплекса факторов на работоспособность алмазных конических хонеров и качество обработанных отверстий и перейти к научно-обоснованному выбору. Целью работы является разработка методики и технологии совместной точной обработки конических отверстий, повышение производительности, снижение себестоимости и улучшение качества обработки отверстий малого диаметра при алмазном хонинговании труднообрабатываемых хроникелевых сплавов и жаропрочных сталей путём вскрытия имеющихся резервов.

УДК 621.002

Л.К. ЧЕРНОВ, аспирант,
В.А. ПОЛЕТАЕВ, д.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Установка для суперфинишной обработки малогабаритных изделий

В настоящее время одним из самых эффективных методов финишной и суперфинишной обработки является галтование. Галтование применяется для быстрой обработки партии сложнопрофильных малогабаритных изделий, не требующих высокого класса точности. Так, например, галтование самый распространенный метод финишной обработки на ювелирном производстве.

Магнитное галтование - галтование основанное на передаче обрабатываемого движения с вала двигателя на обрабатываемую поверхность посредством магнитного поля, индуцируемого постоянными магнитами. Магнитное поле определенной конфигурации и определенной силы способно перемещать при собственном вращении и галтовочный наполнитель, выполненный из магнитного материала, в неподвижном рабочем объеме. Движение потока наполнителя создает усилие на поверхность обрабатываемого изделия.

Общая схема магнитной галтовки представлена на рис. 1

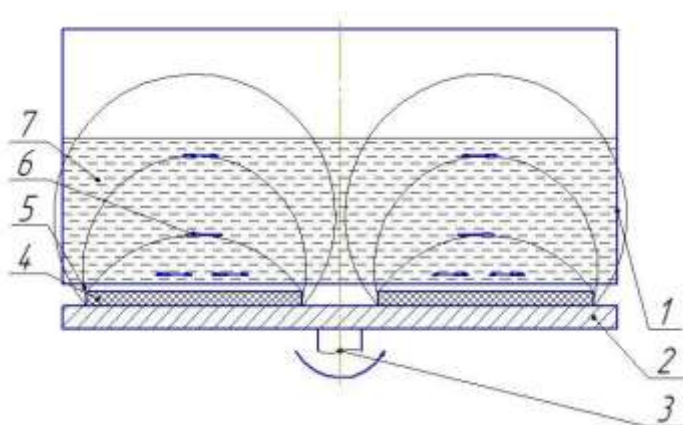


Рис 1. Схема магнитного галтования: 1 – Рабочий объем; 2 – подвижный диск; 3 – передающий вал; 4 – постоянный магнит; 5 – магнитное поле; 6 – галтовочный наполнитель; 7 – смазочно-охлаждающая среда

Представленная на рис. 1 схема, достаточно проста, и вместе с тем имеет ряд недостатков, как то: повышенное время на обработку партии

деталей, возможность беспорядочного скопления наполнителя в центре рабочей области, недостаточно эффективное использование рабочего объема в обрабатывании изделий. В ходе доработки и усовершенствования полезной модели перспективной установки для магнитной галтовки были получены патенты РФ № 97076 и № 97670.

Описанные выше недостатки было предложено решить введением в кинематическую схему установки дополнительной группы индуцирующих поле постоянных магнитов (рис. 2).

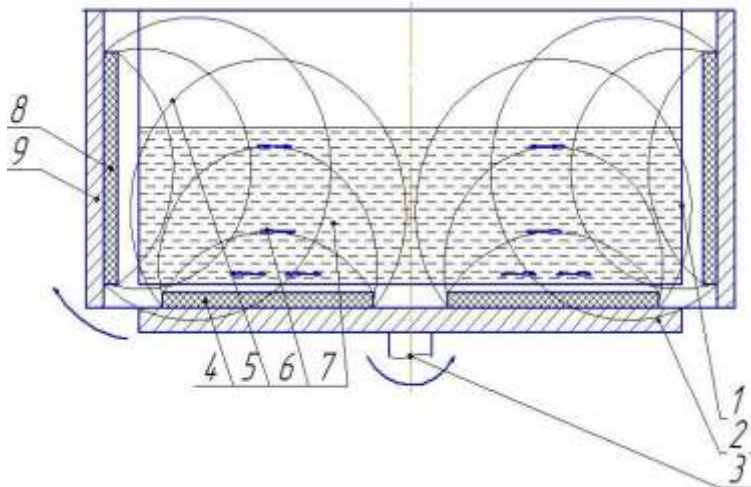


Рис. 2. Усовершенствованная схема магнитного галтования: 1 - рабочий объем; 2 – подвижный диск; 3 – передающий вал; 4 – основные постоянные магнит; 5 – магнитное поле; 6 – галтовочный наполнитель; 7 – смазочно-охлаждающая среда; 8. – дополнительные магниты; 9. – подвижный борт

Дополнительная группа магнитов располагается перпендикулярно относительно основной группы, и следовательно вокруг борта рабочего объема, что позволяет эффективно использовать рабочий объем установки. Чтобы уменьшить время обработки партии деталей борт с дополнительной группой постоянных магнитов вращается в обратном направлении относительно основной группы постоянных магнитов, расположенных на подвижном диске под рабочим объемом.

В ходе разработки конструкционного решения усовершенствованной схемы установки магнитного галтования было принято несколько конструкционных решений, как то: минимальное использование магнитных материалов, во избежание возникновения индуктивных токов, отдельный вал подачи на подвижный диск (основной вал) и на подвижный борт (вспомогательный вал); ременная передача с вала двигателя на основной и вспомогательный валы, открытое установочное место для

рабочего объема, представляющее собой две скрещенные металлические полосы. Конструктивное решение перспективной установки приведено на рис. 3

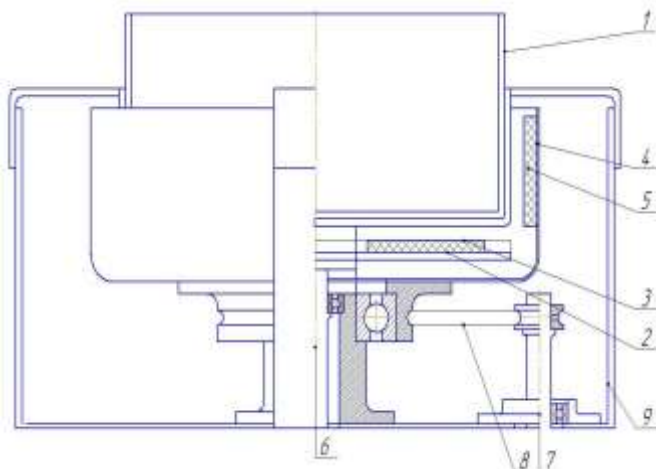


Рис. 3. Конструктивное решение усовершенствованной установки для магнитной галтовки: 1 - рабочий объем; 2 – подвижный диск; 3 – основная группа постоянных магнитов 4. – подвижный борт; 5 - вспомогательная группа постоянных магнитов; 6- основной вал; 7 – вспомогательный вал 8 – ремень передачи.

УДК 544.653.22+546.74

Н.Г. ДЕМЬЯНЦЕВА, ст. преподаватель,
С.М. КУЗЬМИН, к.х.н., доцент
(ИГЭУ)

А.В. БАЛМАСОВ, д.т.н., профессор
(ИГХТУ) г. Иваново

Влияние концентрации электролита на характеристики электрохимической обработки никеля

В современном машиностроении возникают технологические проблемы, связанные с обработкой новых материалов и сплавов (например, жаростойкие, специальные никелевые стали, тугоплавкие сплавы, композиты т.п.), форму и состояние поверхностного слоя которых трудно получить известными механическими методами.

К таким проблемам относится обработка весьма прочных или весьма вязких материалов, тонкостенных нежестких деталей, а также пазов и отверстий, имеющих размеры несколько микронметров; получе-

ние поверхностей деталей с малой шероховатостью, и очень малой толщиной дефектного поверхностного слоя.

В условиях, когда возможности обработки резанием ограничены плохой обрабатываемостью материала изделия, сложностью формы обрабатываемой поверхности, целесообразно применять электрохимическую обработку, основанную на высокоскоростном анодном растворении металлов. Нужную деталь получают удалением металла с заготовки его анодным растворением в таких условиях, когда форма катода-инструмента копируется на заготовке.

На производительность процесса (выход металла по току) и точность формообразования влияют многие факторы: состав электролита, скорость его подачи в зону обработки, величина и вид поляризации анода.

Из предварительных экспериментов было определено, что при обработке никеля в хлоридных электролитах наблюдается высокий выход металла по току (близкий к 100%), но при этом наблюдается низкая точность формообразования.

Применение нитратных электролитов увеличивает точность обработки, но при этом резко уменьшается выход металла по току, ввиду того, что процесс сопровождается выделением кислорода.

В данной работе исследовано влияние концентрации электролита NaNO_3 на производительность процесса растворения никеля (выход металла по току V_T) и точность формообразования (коэффициент формы k) Подробная методика определения этих параметров изложена в работе [1].

Электрохимической обработке подвергали рабочий электрод в виде никелевой фольги толщиной ~ 100 мкм. Процесс проводился в экспериментальной электрохимической ячейке, изображённой на рис. 1, обеспечивающей перемещение электрода – инструмента с заданной скоростью. Электрод – инструмент (катод) представлял собой полую стальную иглу внешним диаметром 2 мм и внутренним 1 мм, через которую в зону обработки подавался электролит со скоростью 1 м/с.

Для проведения процесса электрохимической размерной обработки на электроды подавали постоянное напряжение величиной 10 В. Концентрацию электролита варьировали в диапазоне от 1 до 6 моль/литр.

В проведенной серии экспериментов наблюдалось линейное увеличение выхода металла по току при увеличении концентрации электролита (рис. 2). Однако при этом наблюдалось уменьшение коэффициента формы (рис. 3).

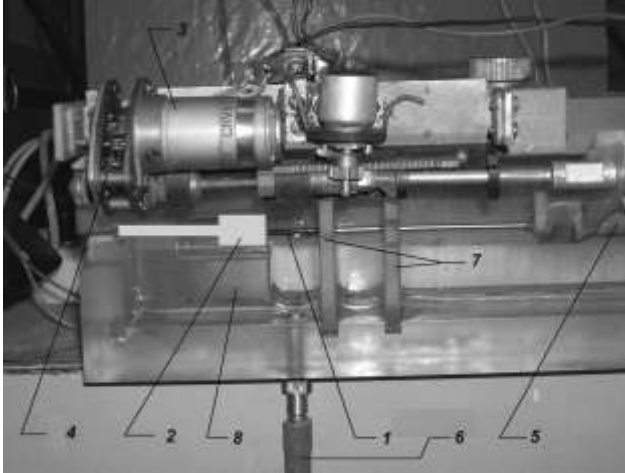


Рис. 1. Фотография электрохимической ячейки:
1 – электрод-инструмент; 2 – рабочий электрод; 3 – двигатель; 4 – редуктор;
5 – впускное отверстие; 6 – выпускное отверстие; 7 – фиксирующие перегородки; 8 – подставка

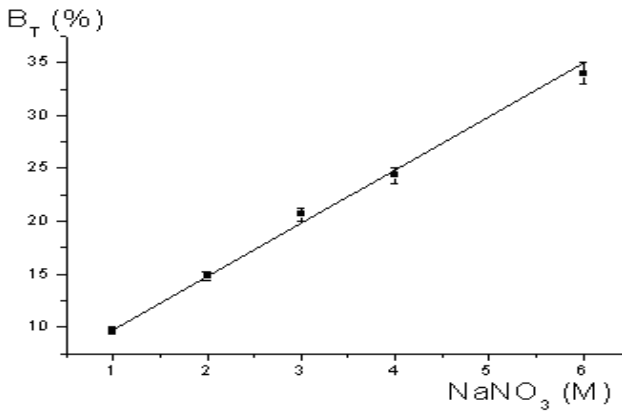


Рис. 2. Зависимость выхода никеля по току V_T от концентрации NaNO_3

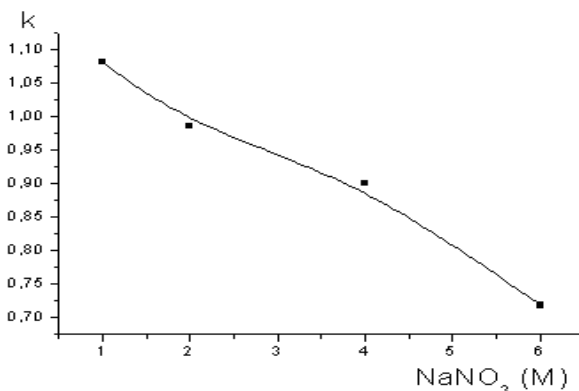


Рис. 3. Зависимость коэффициента формы k от концентрации NaNO₃

Полученные зависимости выхода по току и коэффициента формы от концентрации могут быть объяснены в рамках предположения об анионной активации пассивной плёнки, покрывающей поверхность никеля в растворах нитрата натрия.

Литература

1. Демьянцева Н.Г., Кузьмин С.М., Солунин М.А., Солунин А.М., Лилин С.А. Влияние параметров импульсной поляризации на формообразование никеля. //ЖПХ. 2010. Т. 83. Вып. 2. С.249 – 254.

УДК 621.787.

М.Ю. ВОЛКОВА, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Исследование влияния отделки изделия на формообразование поверхности изделий малой пластики

Процесс изготовления художественного изделия завершает декоративная обработка поверхности металла (отделка). Под отделкой художественного изделия подразумевается целый комплекс различных технологических процессов, которые придают изделию законченный вид. От качества и характера отделки во многом зависит художественная выразительность и целостность изделия.

В процессе отделки можно смягчить или подчеркнуть форму изделия, что больше поможет преподнести художественный образ.

Исследовательская работа проведена на примере изделия, выполненного методом литья по выплавляемым моделям.

Началом работы служил этап анализа внешнего вида полученных отливок (отливки без обработки см. рис. 1), а также выявление дефектов поверхности подлежащих исправлению.



Рис. 1. Отливки элементов изделия

В ходе первоначального анализа было выявлено, что:

- на поверхности отливки имеются дефекты литья, подлежащие исправлению;

- форма «крыла» при литье была получена с учётом технологии (допустимая проливаемость при данном методе 3 мм), что не удовлетворяет эстетическим требованиям;

- были найдены поверхностные дефекты, которые можно было избежать. Но они использованы для проведения экспериментов и изучения поверхности. После анализа внешнего вида была выполнена серия фотографии поверхности отливки (см. рис. 2) при увеличении с помощью микроскопа

На фотографиях чётко видны царапины, поры, трещины как глубокие, так и неглубокие. Повреждение слоя несет не только ущерб эстетическим свойствам изделия, но может вызвать ухудшение коррозионных свойств, попадание определенных веществ вовнутрь изделия может вызвать протекание необратимых химических процессов, которые приведут к разрушению металла, что в свою очередь отразится на внешнем виде изделия.

Поверхность отливок подверглась дальнейшей обработке с целью придать ей эстетический вид, а также улучшить физические и химические свойства.

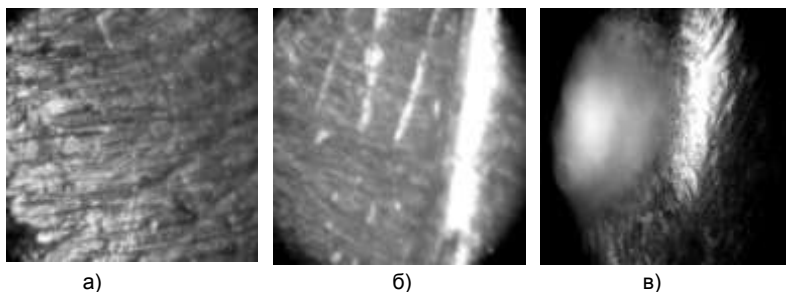


Рис. 2. Фотографии поверхности отливки при увеличении в 1000 раз:
а) часть поверхности детали «крыло»; б) часть поверхности детали «девушка»;
в) часть поверхности детали «листик»

Наиболее распространены два вида механической обработки – декоративное шлифование и полирование. Назначение обоих процессов – сделать поверхность основного металла детали гладкой и блестящей или матовой.

При проводимых исследованиях была поставлена задача: зачистить поверхность от остатков литниковой системы, скруглить края деталей «крыло», убрать видимые трещины и царапины.

При этом детали подверглись предварительной зачистке поверхности напильником, с целью избавиться от грубых дефектов. Затем поверхности были подвергнуты процессу черного шлифования

В результате шлифования поверхность детали стала сравнительно гладкой, причем вес детали уменьшился. Шлифование производилось абразивными кругами, наждачной бумагой, на рабочей поверхности которых сцементированы абразивные зерна.

Шлифование осуществлялось таким образом, чтобы риски от предыдущих переходов легко устранялись при последующей обработке. Правильный выбор шлифовального инструмента имел особое значение.

Так как детали художественной формы достаточно неудобны для обработки на обыкновенных шлифовальных станках, то обработка их ведётся либо вручную, либо на специальном оборудовании. Изменение структуры абразивного слоя шлифовальных кругов является надежным средством повышения их работоспособности и получения более качественной отделки. После шлифования детали обрабатывают кругами, смазанными специальными пастами.

В процессе предварительного (чернового) шлифования деталей удалось добиться: скругления формы; удаления (сглаживания с поверхностью) литниковой системы; с удалением слоя металла с поверхности исчезли мелкие царапины, присутствующее ранее, глубокие – стали меньше.

Для получения после полирования хорошего результата: чистой, ровной, большого класса точности поверхности нужно подвергать предварительной обработке шлифованием, следование всем этапам декоративной обработки приводит к получению желаемых результатов.

На рис. 3. представлена деталь «крыло» после шлифования. При рассмотрении можно заметить, что поверхность стала гладкой, исчезли видимые дефекты.

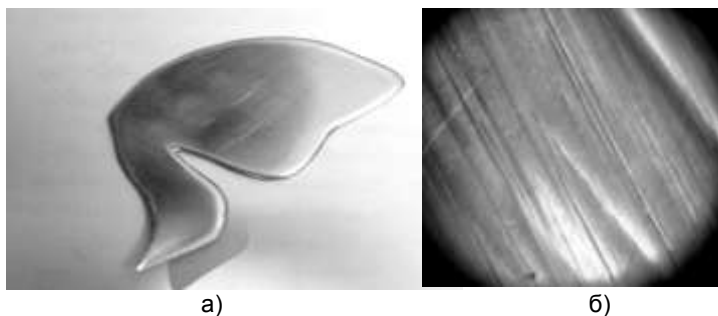


Рис. 3. Деталь «крыло» после чистовой шлифовки: а) внешний вид детали; б) фрагмент детали под микроскопом (ув.×1000)

Полирование производилось кругами различной конструкции, изготовленными из бязи, байки, фланели, шелка, кожи, фетра, войлока и других материалов. Как и при шлифовании, направления полирования чередовались, т. е. сначала наклонно (под углом 30, 45 или 60°) вправо и влево, затем продольно.

Непосредственным результатом полирования явилось уменьшение толщины внешнего деформированного слоя металла вследствие его растворения, изменение микрогеометрии поверхности и возникновение блеска. Полирование оказало влияние на свойства металла, которые связаны с состоянием его поверхности.

В результате исследований выявлено, что изменение состояния поверхности металла в процессе полирования приводит также к повышению стойкости металла против коррозии.

Моделирование изменения текстуры поверхности деталей в процессе магнитно-абразивного полирования

Для детального изучения состояния текстуры поверхности использована методика компьютерного трехмерного моделирования. Моделирование текстуры поверхности позволяет перейти от линейно-выборочного анализа микрорельефа к трехмерному топографическому представлению, исследовать тенденцию поведения микрорельефа. Для построения модели использовалась программная среда трехмерного моделирования 3D Studio MAX.

Построение трехмерной модели осуществлялось в несколько этапов. На первом этапе собиралась параметрическая информация модели. Для этого с исследуемой поверхности снимались профилограммы. Далее, на втором этапе, для возможности обработки при помощи вычислительной техники производилась оцифровка полученных профилограмм. Полученные файлы с оцифровкой профилограмм передавались в среду трехмерного моделирования 3D Studio MAX посредством программного плагина XY-spline. Третьим этапом являлось создание базовой модели поверхности, состоящей из набора сплайнов. На четвертом этапе базовая модель параметризовалась согласно полученным профилограммам и приобрела при визуализации форму поверхности адекватную реальной.

Например, создана модель поверхности, получаемой при магнитно-абразивном полировании (МАП) сплава МНЦ 15-20. Моделировалось состояние поверхности до обработки и через каждые 5 минут обработки. Общее время обработки 15 мин.

Согласно предложенному алгоритму сначала были получены профилограммы поверхности с помощью профилометра-профилографа модели АБРИС-ПМ7 (рис. 1).

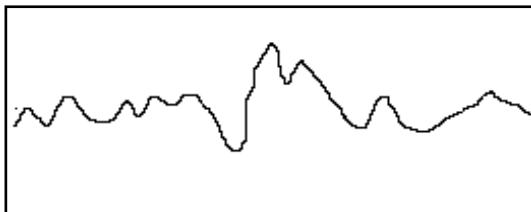


Рис. 1. Изображение профилограммы

С каждого образца снималось шесть профилограмм с шагом сканирования 0,1 мм; длина профилограммы 0,8 мм. Таким образом, профилограммы снимали с площадки длиной 0,8 мм и шириной 0,5 мм.

В виду особенностей программного обеспечения профилографа была возможность получить только растровое изображение профилограмм, поэтому для возможности их обработки средствами вычислительной техники они оцифровывались с помощью программы Grafula 4.0. Данная программа позволяет оцифровывать изображения графиков, профилограмм и т.п.

Для создания трехмерной модели поверхности использовалась базовая модель. Она представляет собой набор сплайнов, расположенных друг относительно друга на расстоянии равном шагу дискретизации. Шаг дискретизации устанавливался равным шагу сканирования профилограмм. Длина сплайнов определялась длиной профилограммы.

Далее осуществлялась параметризация сплайнов. Для этого использовались файлы оцифровки. С помощью программного модуля XY-spline каждый сплайн модели менял свою геометрию в соответствии с массивом координат точек, описывающих соответствующую профилограмму.

Затем осуществлялась визуализация модели. Визуализация проводилась в два этапа. На первом этапе сплайны обтягивались сеткой с размером ячейки на порядок меньше шага дискретизации рис. 2, а. На втором этапе к сетке поверхности применялся «материал», имитирующий металлическую поверхность рис. 2, б.

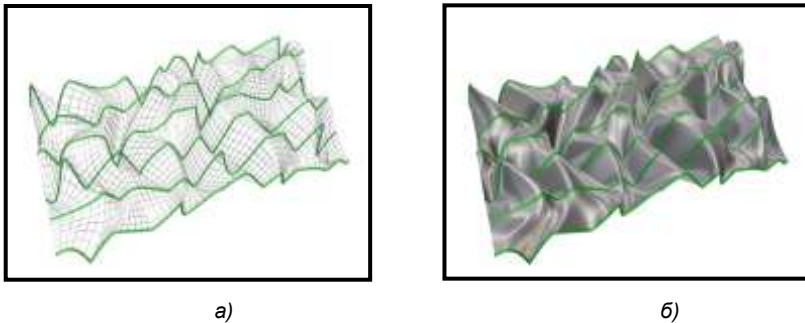


Рис. 2. Визуализация модели поверхности: а – сетчатая модель; б – модель с применением «материала»

В результате моделирования была получена трехмерная модель с шероховатостью и текстурой реальной поверхности образца.

Трехмерные модели поверхности образцов из материала марки МНЦ 15-20 были построены для разного времени обработки: до обработки, после 5, 10 и 15 минут МАП в СОТС марки МС М-4 (рис. 3).

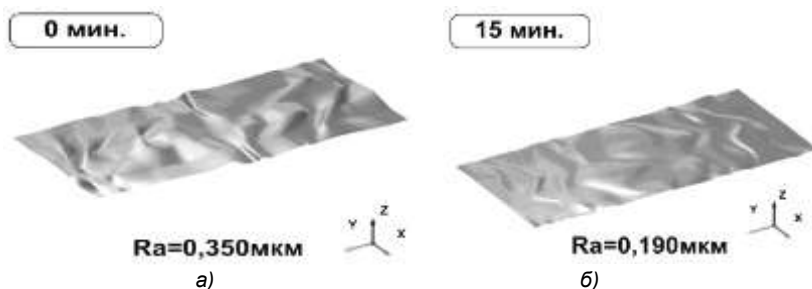


Рис. 3. Моделирование изменения поверхности образца из МНЦ 15-20 при МАП: а – до обработки; б – время обработки 15 мин

Анализ полученных моделей показал, что в результате магнитно-абразивной полировки в первые 10 минут происходит интенсивное сглаживание (снятие) и срезание выступающих микро-вершин поверхности. В течение следующих 5 минут обработка процесс пластического деформирования замедляется. Вероятно, это происходит по причине упрочнения поверхностной структуры в результате микронаклепа. При обработке образцов в течение 20-30 минут значительных изменений текстуры поверхности не наблюдается.

Литература

Павлюкова Н.Л. Повышение эффективности отделочной обработки художественных изделий из медных сплавов свободными абразивами/ Н.Л. Павлюкова, В.А. Полетаев, М.Ю. Волкова; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 100 с.

УДК 669.058

В.В. КИСЕЛЕВ, к.т.н., доцент,
А.В. ТОПОРОВ, к.т.н., ст. преподаватель
(ИиГПС МЧС России) г. Иваново
Е.А. ТОПОРОВА, к.т.н., доцент
(ИГТА) г. Иваново

Разработка прогрессивных смазочных материалов для обеспечения надежности техники

Интенсивно используемая автомобильная техника подвержена негативным воздействиям ряда факторов. Это и неустановившийся режим работы, и реверс, и вибрации, и возможность попадания абразивных частиц в зону контакта трущихся поверхностей, и разнообразие внешних условий эксплуатации, вызванное как переменными нагрузками, так и изменениями в окружающей среде, — все это приводит к

существенному повышению интенсивности изнашивания трущихся поверхностей деталей машин.

Уже длительное время за пределами нашей страны для снижения износа деталей машин начали использовать образующуюся в процессе трения между контактируемыми деталями пленку, образованную мягкими металлами. Достижимое повышение износостойкости может быть объяснено осуществлением в зоне трения явления избирательного переноса. Одним из наиболее экономически выгодных путей повышения надежности и долговечности различных машин и механизмов является улучшение качества смазочных материалов, в первую очередь улучшение их противоизносных и антизадирных свойств. Это может быть достигнуто введением в масла специальных высокоэффективных добавок, реализующих безызносное трение. Авторами проводится активная работа по созданию противоизносных присадок, содержащих в своей основе соли мягких металлов. Ранее была разработана и испытана присадка «Смазочная композиция» [1] на основе солей меди и олова предельных жирных кислот. Присадка предназначена для индустриальных масел общего назначения и трансмиссионных масел. Действие указанной присадки описано в работах [2, 3]. В данной работе приводятся триботехнические показатели новой смазочной композиции на основе солей никеля, олова, меди и кобальта. Указанные металлические компоненты находятся в смазке в ионном виде и способны проходить через системы фильтров. Смазочная композиция предназначена для качественного улучшения триботехнических показателей минеральных и полусинтетических масел и смазок любой вязкости, применяемых в технике любого назначения.

В данной работе для оценки и сравнения разработанных присадок были исследованы зависимость коэффициента трения от приложенной нагрузки, зависимость интенсивности изнашивания от пробега при фиксированной нагрузке и коррозионная активность разработанной смазочной композиции. Эти характеристики определяют границы работоспособности пары трения. Стойкость материалов к изнашиванию в различных средах и при различных режимах трения позволяют выявить ресурс и срок службы узлов трения.

Измерение линейного износа проводили методом «искусственных баз» по заранее нанесенным отпечаткам на твердомере ТКС - 1 М коническим твердосплавным индентором с углом при вершине 120° . Диаметры отпечатков определялись с помощью микроскопа МБС - 10.

Коррозионная активность масла с присадкой определялась согласно ГОСТа 20502. Сущность метода заключается в определении изменения массы металлических пластин, подвергшихся периодическому воздействию испытываемого объекта и воздуха, нагретых до температуры 140°C . Коррозионность определялась на приборе аналогичном ДК – НАМИ по ГОСТ 13371. Коррозионность масла опреде-

лялась без добавления катализатора. Испытания проводили в течение 10 часов при нормативной температуре (80 – 90 °С) и непрерывном вращении мешалки.

Пластины свинца толщиной 1 мм маркировали, протирали ватой, смоченной бензолом, просушивали 1–3 минуты и полировали до блеска и взвешивали с погрешностью не более 0.0002 г. Математическая обработка экспериментов показала, что оптимальным содержанием присадки в масле является 2 мас.%, что и было заложено в следующую серию исследований [4]. Вводимая 2% концентрация разработанной присадки в моторные масла позволила качественно улучшить его основные триботехнические характеристики (рис. 1–2).

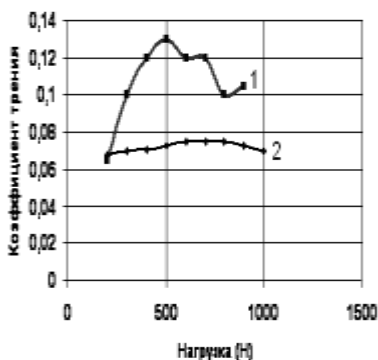


Рис. 1. Зависимость коэффициента трения от давления базового масла M8B и того же масла, модифицированного разработанной присадкой:
1 – моторной масло M8B ГОСТ 10541 SAE 20W-20 API CB; 2 – моторное масло M8B с 2 % разработанной присадкой.

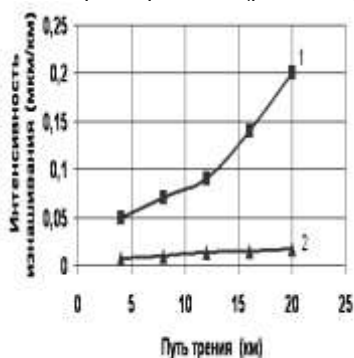


Рис. 2. Зависимость интенсивности изнашивания от пути трения при постоянной давлении 5 (МПа):
1 – моторной масло M8B ГОСТ 10541 SAE 20W-20 API CB;
2 – моторное масло M8B с 2 % разработанной присадкой.

Можно заметить на представленном рис. 1, что модифицированное масло позволило значительно (1,5–2 раза) снизить коэффициент трения. Кроме этого в некоторой степени увеличился и показатель нагрузочной способности в контактирующей паре. Такие результаты были получены, благодаря образованию на поверхности трения химически чистых, постоянно возобновляемых слоев антифрикционных металлов, а именно меди, олова, никеля и кобальта.

Анализ полученных результатов позволяет сделать вывод, что при модифицировании базового моторного масла M8B разработанной присадкой интенсивность изнашивания значительно снижается с увеличением пробега контактирующей пары, а именно до 10 раз.

Испытания на коррозионную активность разработанной смазочной композиции показали, что потери массы пластин в масле с разработанным стеаратом составили от 0,88 до 0,99 г/м², что согласно ГОСТа 20502 соответствует отсутствию коррозионного воздействия данной присадки на испытуемое масло. Отмечается и тот факт, что моторное масло, модифицированное разработанными стеаратами меди, олова, кобальта и никеля гораздо стабильнее работает во всем диапазоне изученных нами нагрузок и температур, что не наблюдается в моторном масле без присадки. Поэтому разработанная присадка позволяет в достаточной мере избежать эффекта повышенного износа во время прогрева двигателя. Применение прогрессивных смазочных материалов позволит добиться значительных положительных результатов, а именно продлить ресурс работы узлов автотранспортной техники до 2 раз, резко снизить аварийные разрушения оборудования, сократить затраты на внеплановые ремонты оборудования, экономить горючесмазочные материалы.

Разработанная присадка химически нейтральна ко всем видам минеральных и полусинтетических масел отечественного и импортного производства. Присадка полностью растворима маслами, не задерживается системами фильтров, не способствует коррозионным процессам. Выявленные в ходе экспериментов некоторые качественные показатели, значительно превосходят показатели других аналогичных присадок

Список литературы:

1. Патент №2233866 (РФ) МПК⁷ С 10 М 159/18// С 10N 10:02. Смазочная композиция / Киселев В.В., Мельников В.Г., Замятина Н.И., Бельцова Е.А. (РФ); Опубл. Бюл. №22, 2004.
2. **Киселев В.В.**, Мельников В.Г. Исследование свойств разработанных присадок на основе солей мягких металлов.// Эффект безызносности и триботехнологии. – 2004. – №1. – С. 16 – 20.
3. **Киселев В.В.** К проблеме улучшения триботехнических свойств смазочных материалов.// Известия высших учебных заведений. Химия и химическая технология. – 2006. – Т.49. – № 12. – С.113 -114.

Разработка универсального Windows-инсталлятора программных средств

Некоторое время назад для работы с программой необходимо было всего лишь переписать ее в удобный каталог и запустить. На сегодняшний день объемы программ разрослись до внушительных размеров, а использование новых технологий привело к тому, что одна программа разбита на множество модулей, которые зачастую раскиданы по всему диску, а отсутствие одного из них непременно приводит к неправильному или полному прекращению функционирования всей программы. Поэтому для того, чтобы правильно настроить программу и распределить все файлы в нужные каталоги, применяются программы-инсталляторы.

Среди обилия платных и бесплатных версий программ для создания инсталляторов наибольшее распространение и популярность среди разработчиков программ, получила система Nullsoft Scriptable Install System (NSIS) (рис. 1). Система NSIS применяется для создания инсталляторов программ под Microsoft Windows, является альтернативой платной программе InstallShield, используемой для коммерческих продуктов.



Рис. 1. Внешний вид навигационного меню системы NSIS версии 2.42

NSIS поддерживает новый графический интерфейс пользователя, LZMA-сжатие, многоязычность и имеет расширенную систему плагинов. В состав NSIS входит компилятор – программа для перевода скриптов в

исполняемый код. Каждая строка скрипта содержит одну команду.
Пример:

```
Name "Example1"
OutFile "example1.exe"
InstallDir "$PROGRAMFILES\Example1"
Page Directory
Page InstFiles
Section
  SetOutPath $INSTDIR
  File ..\makensis.exe
SectionEnd
```

NSIS может быть расширен при помощи плагинов, которые могут быть написаны на C++, Си и Delphi. Плагины могут быть использованы для улучшения функциональности и интерфейса инсталлятора. Плагины могут быть вызваны в любой части кода NSIS скрипта. В стандартную поставку пакета NSIS входят несколько плагинов, позволяющих добавлять новые страницы, заменять фоновые изображения, скачивать файлы из Интернета, выполнять математические вычисления, обновлять файлы и многое другое.

Для создания инсталлятора в системе NSIS необходимо создать текстовый файл с расширением *.nsi в любом текстовом редакторе, написать последовательность действий согласно системе команд и откомпилировать файл с помощью компилятора MakeNSISW (рис. 2). Компилятор позволяет выбирать разные методы сжатия: zlib, bzip2, lzma. Есть также вариант автоматического и ручного выбора наилучшего упаковщика кода.

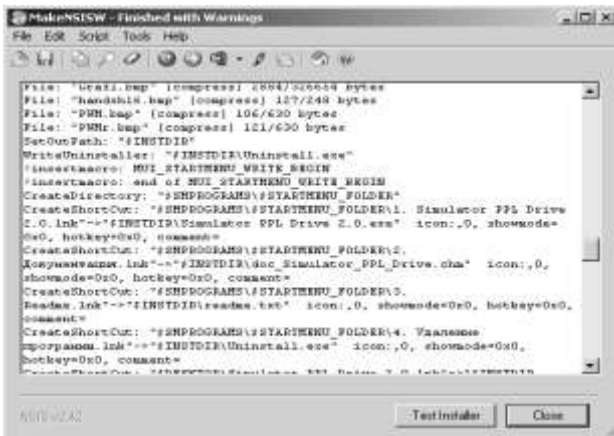


Рис. 2. Внешний вид окна компилятора MakeNSISW

Сам инсталляционный пакет создается на основе файла описания процесса инсталляции и имеет определенную структуру (рис. 3).

В главной секции этого файла записываются установки, которые являются неизменяемыми на протяжении всей инсталляции. Здесь объявляются:

- название проекта;
- инсталляционная директория по умолчанию;
- картинка, которая будет висеть в окне инсталляции;
- общий вид и поведение окна инсталляции;
- настройки показа лицензионных соглашений и др.

Секция страниц отвечает за список этапов, которые будут отображаться в процессе инсталляции и деинсталляции приложения. Список этих страниц задается соответственно командами Page и UninstPage.

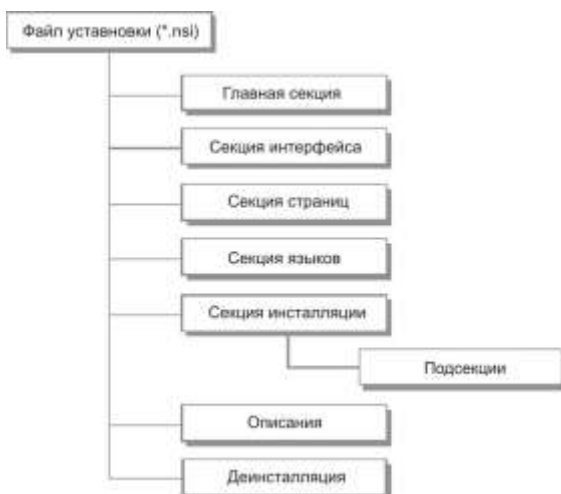


Рис. 3. Структура файла описания процесса инсталляции

Кроме того, есть возможность расширенного контроля за отображением страниц с использованием команд PageEx и PageCallback.

Секция языков отвечает за объявления языков, на каких будет проводиться инсталляция, здесь возможна либо ручная настройка необходимых языков, либо автоматический подбор языка интерфейса из всех включенных в пакет языков.

Инсталляционная секция – это главная секция пакета. Здесь описываются все возможные варианты инсталляции, объявления файлов, команды для создания директорий и ключей реестра и другие всевозможные настройки. При объявлении секций инсталляции используются ключевые слова Section и SectionEnd, между которыми и располагаются все другие команды. Естественно, что в разных секциях должны располагаться разные, относительно независимые компоненты. На основа-

нии этих данных инсталлятор даст возможность пользователю выбрать, какие именно компоненты надо установить. Кроме того, есть возможность объявления вложенных подсекций, которые будут вести себя наподобие составных объектов.

В разделе описаний приводятся описания всех устанавливаемых модулей, которые будут появляться в диалоге выбора компонентов инсталляции. Здесь, в частности, имеется возможность написания разных заголовков для разных языков, для разных секций и разных подсекций.

Секция Деинсталляция предназначена для описания работ, проводимых программой при удалении приложения с системы. Как и инсталляционный раздел, деинсталляция также может иметь несколько подразделов, в которых описывается процесс удаления разных компонентов приложения.

УДК 621.313

А.М. ШУРЫГИН, к.т.н., доцент,
М.Н. ШУРЫГИН, к.т.н., профессор
(ИГЭУ)

Механическая характеристика бесколлекторного двигателя

В настоящее время микропроцессорные электроприводы с двигателями переменного тока (бесколлекторными и асинхронными) являются основным средством автоматизации машиностроительных производств. Бесколлекторные двигатели, обладающие характеристиками коллекторных двигателей постоянного тока и надежностью машин переменного тока, находят широкое применение в составе приводов подачи металлорежущих станков с числовым программным управлением, исполнительных механизмов промышленных роботов и других механизмов гибких производственных систем, где одним из основных требований является необходимость обеспечения максимального быстродействия приводных устройств.

Конструктивно бесколлекторный двигатель представляет собой двухфазную или трехфазную синхронную электрическую машину с возбуждением от постоянных магнитов, установленных на роторе. Как правило, управление такими двигателями осуществляется в функции угла положения ротора, что позволяет получить статические и динамические характеристики синхронной машины, подобные характеристикам двигателя постоянного тока с независимым возбуждением. Поскольку предельные возможности электропривода по стабилизации максимальных угловых скоростей определяются граничной механической характеристикой двигателя, достигаемой в данной системе, для оценки

области регулирования скорости бесколлекторного двигателя необходимо уравнение его механической характеристики.

Полагая, что в установившемся режиме напряжения, токи, потокосцепления обмоток статора по осям системы координат d, q , а также электромагнитный момент и угловая скорость ротора являются постоянными величинами, запишем уравнения для установившегося режима работы синхронного двигателя с постоянными магнитами [1, 2]:

$$\begin{cases} u_d = R_s i_d - L_s i_q p_n \omega, \\ u_q = R_s i_q + L_s i_d p_n \omega + \Psi_{nm} p_n \omega, \\ M_{эм} = (m/2) p_n \Psi_{nm} i_q, \end{cases} \quad (1)$$

где u_d, u_q, i_d, i_q – напряжения и токи обмоток статора по осям d, q ; R_s, L_s – активное сопротивление и полная индуктивность обмотки фазы статора; Ψ_{nm} – потокосцепление, обусловленное наличием постоянных магнитов; m – число фаз; p_n – число пар полюсов двигателя; $M_{эм}$ – электромагнитный момент; ω – угловая скорость ротора.

На основе выражений (1) получаем уравнение механической характеристики синхронного двигателя с постоянными магнитами:

$$M_{эм} = \frac{mp_n \Psi_{nm} \left(u_q - p_n \omega \left(\frac{L_s}{R_s} u_d + \Psi_{nm} \right) \right)}{2 \left(R_s + \frac{L_s^2 p_n^2}{R_s} \omega^2 \right)}. \quad (2)$$

Работа синхронного двигателя с постоянными магнитами в режиме бесколлекторного двигателя реализуется формированием напряжений обмоток статора по осям d, q в соответствии с законом управления

$$\begin{cases} u_d = 0, \\ u_q = U_m, \end{cases} \quad (3)$$

где U_m – амплитуда фазных напряжений двигателя при непрерывном управлении.

Подставляя в выражение (2) равенства (3), получаем уравнение механической характеристики бесколлекторного двигателя:

$$M_{эм} = \frac{mp_n \Psi_{nm} (U_m - p_n \Psi_{nm} \omega)}{2 \left(R_s + \frac{L_s^2 p_n^2}{R_s} \omega^2 \right)}. \quad (4)$$

Построенный с использованием выражения (4) график (рис. 1) показывает, что механическая характеристика бесколлекторного двигателя является нелинейной и отличается по виду от механической характеристики двигателя постоянного тока с независимым возбуждением наличием прогиба.

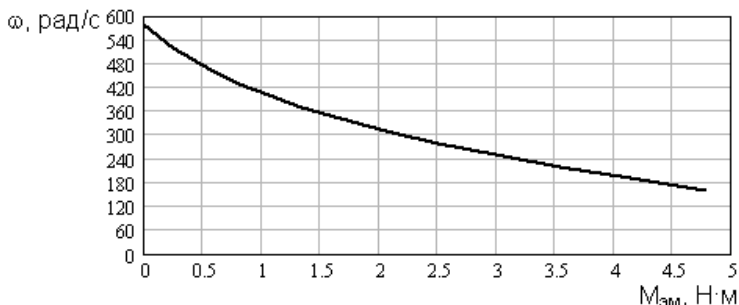


Рис. 1. Механическая характеристика бесколлекторного двигателя BALDOR BSM50A-233AA при номинальном напряжении

Литература

1. **Осин, И.Л.** Электрические машины. Синхронные машины : учеб. пособие для вузов по спец. «Электромеханика» / И.Л. Осин, Ю.Г. Шакарян ; под ред. И.П. Копылова. – М. : Высшая школа, 1990. – 304 с.
2. **Фалеев, М.В.** Моделирование вентильного режима работы синхронного двигателя с постоянными магнитами / М.В. Фалеев, А.М. Шурыгин // Вестник ИГЭУ. – 2003. – Вып. 1. – С. 11-15.

УДК 621.787

М.Ю. ВОЛКОВА, к.т.н., доцент,
Т.В. ВОЛКОВА, студент
(ИГЭУ)

Исследование влияния дефектов поверхности на восприятие изделий малой пластики

В настоящее время особое значение для общей эстетики промышленных изделий имеют способы окончательной обработки их поверхности. Наиболее часто встречающимися способами обработки поверхностей готовых изделий являются шлифовка и полировка.

Дефекты поверхности, которые возникают в процессе шлифования деталей могут проявляться в виде царапин, сколов, шлифовочных прижогов, трещин, огранки, следов выкрашивания и задирав.

Поверхностные дефекты в значительной мере вызываются нагревом детали в зоне контакта со шлифовальным кругом в процессе обработки. Как известно шлифовочные трещины — дефект поверхности, представляющий собой сетку паутинообразных или отдельных произвольно направленных поверхностных разрывов, образовавшихся при шлифовании металла, обладающего высокой твердостью, хрупкостью и малой теплопроводностью. Трещины на поверхности детали появляются только в том случае, если концентрация внутренних напряжений на этих участках выше временного сопротивления материала детали на разрыв. В зависимости от причин образования трещины на поверхности деталей могут быть термические, шлифовочные и термошлифовочные. Термические трещины являются результатом неправильной термической обработки деталей, шлифовочные — следствием нарушений условий абразивной обработки, термошлифовочные — результатом напряженного состояния, возникающего при термической обработке и шлифовании.

Распространенным дефектом при шлифовании является шлифовочный прижог. (рис.1).

Как видно на рисунке прижог является дефектом, требующим особого внимания. Он сложен в устранении даже после проведения полирования поверхности.

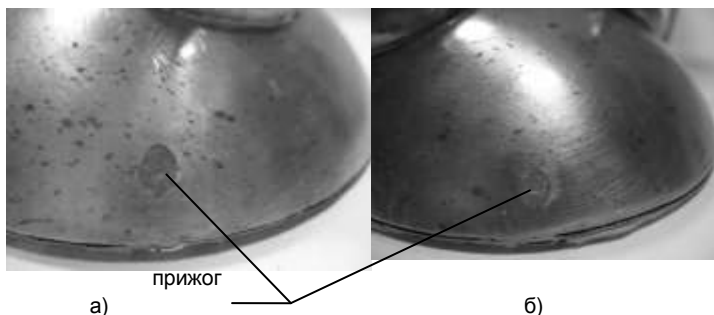


Рис. 1. Шлифовальный прижог: а) деталь после шлифовки; б) деталь после выполнения полирования

Шлифовочным прижогом называют структурно измененный слой или участок на обработанной поверхности, являющийся следствием теплового действия шлифования. Прижоги могут привести к изменению микроструктуры, микротвердости и остаточным напряжениям. Сплошной прижог является следствием завышенных режимов шлифования, повышенной твердости инструмента или его сильного износа. Прижоговые пятна появляются в результате вибрации круга, неисправности опор шпинделя, неравномерной подачи круга, его засаливания или изменения формы при износе, неравномерного распреде-

ления припуска. Штриховые прижоги возникают вследствие неоднородности структуры круга, недостаточной очистки СОТС, неправильной установки детали.

Кроме трещин и прижогов при шлифовании на обработанных поверхностях могут образовываться абразивные царапины, сколы, следы выкрашивания, задиры и огранка (рис. 2).

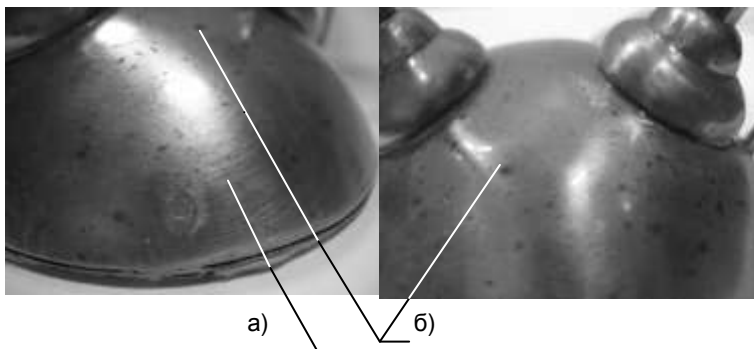


Рис. 2 Дефекты поверхности в результате окончательной обработки:
а) абразивные царапины; б) следы выкрашивания

Эти недостатки поверхности отражают падающий свет в различных направлениях, поэтому поверхность кажется не отражающей, то есть без блеска и света.

При восприятии поверхности изделия абразивная царапина — углубление на обработанной поверхности, образованное в результате воздействия абразивного зерна или группы зерен при абразивной обработке, глубина которого превышает наибольшую высоту неровностей профиля поверхности. Абразивный скол — нарушение кромок обработанной заготовки, появившееся в результате абразивной обработки. След выкрашивания — углубление на обработанной поверхности, образованное в результате отделения частиц обрабатываемого материала при абразивной обработке. Задир — повреждение поверхности трения в виде широких и глубоких борозд в направлении скольжения.

Несоблюдение технологической дисциплины, а также рекомендуемых режимов резания при шлифовании может вызвать отклонения формы и расположения поверхностей деталей. Обработанные поверхности имеют, прежде всего, отклонения от заданной формы (ГОСТ 24642 — 81).

Отклонением формы называют отклонение формы реальной поверхности или реального профиля от формы номинальной поверхности или номинального профиля.

Визуальный контроль качества поверхности является критерием субъективным. Тем не менее, абсолютно гладкая поверхность, не имеющая дефектов хорошо и однородно отражает падающий свет и имеет высокую отражательную способность. Мы говорим, что она сильно отражает или очень блестит (рис. 3).



Рис. 3. Визуальный контроль качества поверхности

Блеск на поверхности полируемого изделия возникает в результате уплотнения и выглаживания верхних слоев металла. Уплотнение металла, в свою очередь, увеличивает его коррозионную стойкость.

Исследование шероховатости, микротвердости и отражательной способности позволило проанализировать взаимосвязь выбранных критериев оценки качества поверхности.

Таким образом было установлено, что состояние поверхностного слоя, который окончательно формируется при финишных операциях играет определяющую роль в обеспечении эксплуатационных характеристик. А микрогеометрия поверхностей является одним из важнейших эксплуатационных параметров, определяющих надежность и долговечность изделий.

УДК 538.4

Т.А. ПАХОЛКОВА, ст. преподаватель,
В.А. ПОЛЕТАЕВ, д.т.н., профессор,
(ИГЭУ)

Исследование момента трения в магнитожидкостных уплотнениях

Магнитожидкостные уплотнения (МЖУ) относят к бесконтактным щелевым уплотнениям, работающим по принципу гидравлического зазора, в котором магнитная жидкость удерживается магнитным полем в рабочих зазорах между сопрягаемыми деталями.

Конструкция МЖУ можно классифицировать по характеру герметизируемых соединений, исполнению рабочего зазора, по виду рабочей и окружающей сред, условиям эксплуатации, комбинации с другими механизмами герметизации.

Конфигурация полюса и соотношения размеров рабочего зазора влияют на рабочие характеристики МЖУ, к основным из которых относятся критический перепад давлений и потери на трение. Выбирая оптимальную конфигурацию полюса и размеры рабочего зазора, необходимо стремиться к повышению критического перепада давлений и снижению потерь на трение в МЖУ [1].

Для определения момента сопротивления вращения вала, обусловленного трением с магнитной жидкостью (момента трения) используется формула

$$M_{\text{тр}} = \eta R \cdot S \omega / \delta \quad (1)$$

где η – динамическая вязкость жидкости, R – радиус вращающегося вала, соприкасающегося с магнитной жидкостью; ω – окружная скорость вала; δ – зазор между валом и полюсом заполненный жидкостью.

Практическое применение в МЖУ нашли полюсы с треугольным, трапецеидальным и прямоугольным профилями зубцовой зоны. На рис. 1 показаны кривые распределения магнитной индукции на поверхности вала под зубцами различного профиля и показаны основные геометрические размеры: δ – рабочий зазор; b – ширина зубца; t – ширина площадки на кромке зубца; α – угол между поверхности вала и зубца.

Рабочий зазор под зубцами с различным профилем описывается следующими зависимостями:

с треугольным профилем

$$\delta(z) = b + 0,5 \cdot z \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (2)$$

при $-0,5b \leq z \leq 0,5b$

с трапецеидальным профилем

$$\delta(z) = b \quad (3)$$

при $-0,5b \leq z \leq 0,5t$ и $0,5t \leq z \leq 0,5b$

с прямоугольным профилем

$$\delta(z) = b \quad (4)$$

при $-0,5\delta \leq z \leq 0,5b$

Если принять, что весь зазор заполнен магнитной жидкостью, а вязкость ее не зависит от градиента скорости сдвига и магнитной индукции, определим момент трения соответственно для полюсов различной конструкции, проинтегрировав отношение $z/\delta(z)$ по ширине полюса:

$$M_{\text{тр}} = 4\pi\eta \cdot w \cdot R^2 \text{ctg}\alpha \cdot \ln \frac{b}{2\delta \text{ctg}\alpha} \quad (5)$$

$$M_{\text{тр}} = 2\pi\eta \cdot w \cdot R^2 [t/\delta + 2\text{ctg}\alpha \cdot \ln \frac{b-t}{2\delta \text{ctg}\alpha}] \quad (6)$$

$$M_{\text{тр}} = 2\pi\eta \cdot w \cdot R^2 b/\delta \quad (7)$$

где w – угловая скорость.

Момент трения зависит от величины рабочего зазора и, следовательно, от шероховатости и волнистости поверхностей полюса.

С целью исследования влияния размера рабочего зазора на изменение критического перепада давлений и потерь на трение была разработана установка (рис. 2), включающая стойку 1, подвижный вал 2, неподвижный вал 3, съемные полюсы 4 и 8, болты 5 и 13, диск 6, магниты 7, сменную втулку 8, гайку 10, хомут 11, корпус 12, индикатор 14, опору 15.

Сменные втулки изготовлены из сталей ст. 3, 40Х13, 12Х18Н10Т и при проведении экспериментов приводились во вращение со скоростью 10-5000 об/мин.

Сменные полюсы 4 и 8 изготовлены из разных материалов.

Наружная поверхность сменной втулки 8 обрабатывалась точением, шлифованием и алмазным выглаживанием с целью получения разной величины шероховатости поверхности, влияющей на величину рабочего зазора между втулкой и полюсами 4 и 8.

Корпус 12 соединяется через хомут 11 с индикатором 14 позволяющим измерять величину момента трения.

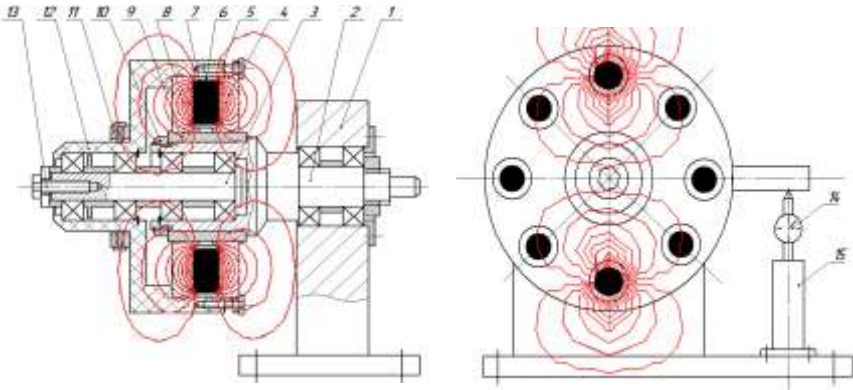


Рис. 2. Схема экспериментальной установки: 1 – стойка; 2 – подвижный вал; 3 – неподвижный вал; 4 – съемный полюс; 5 – болт; 6 – диск; 7 – магнит; 8 – съемный полюс; 9 – сменная втулка; 10 – гайка; 11 – хомут; 12 – корпус; 13 – болт; 14 – индикатор; 15 – опора

На разработанной экспериментальной установке можно проводить исследования с разной скоростью вращения втулок; магнитами из разных материалов; втулками с разной величиной шероховатости поверхности, позволяющими изменять размер рабочего зазора.

Литература

1. Орлов, Д.В., Михалев Ю.О., Мышкин Н.К., Подгорков В.В., Сизов А.П. Магнитные жидкости в машиностроении – М.: Машиностроение, 1993. – 272 с.
2. Полетаев В.А., Малинина Н.В., Казаков Ю.Б. Определение момента трения в магнитожидкостных уплотнениях. / 14-я Международная Плесская научная конференция по нанодисперсным магнитным жидкостям. Сборник науч. тр. Плес-2010, С. .380-385.

УДК 921.321

Е.В. КИСЕЛЕВА, ассистент,
В.В. МАРКОВ, д.т.н., профессор,
Е.В. БУЛДУКЯН, инженер
(ИГЭУ)

Совершенствование технологии приготовления технологических жидкостей как фактор управления их свойствами

Повешение эффективности действия технологических жидкостей (ТЖ) при обработке металлов производится либо путем создания новых составов с более высокими функциональными свойствами, либо интенсификацией активности компонентов уже существующих технологических сред (разного рода методы активации ТЖ) [1]. Активация компонентов ТЖ позволяет существенно снизить их содержание в жидкостях и одновременно повысить их технологические характеристики. Вместе с вопросами снижения содержания в ТЖ функциональных присадок положительно решается экология их применения и утилизации.

Для улучшения физико-химических и эксплуатационных свойств ТЖ был разработан специальный кавитационный роторный гидравлический смеситель. Данное устройство обеспечивает хорошее перемешивание компонентов ТЖ за счет значительной турбулизации жидкости и создания дополнительных ускоренных потоков, появляющихся ввиду разности диаметров входного и выходного отверстий рабочих элементов смесителя.

Многочисленные экспериментальные исследования показали, что эмульсии, приготовленная в данном смесителе, изменяют такие показатели, как дисперсность фаз, их устойчивость, вязкость и рН.

Установлено, что при резании с использованием в качестве ТЖ эмульсола МС, приготовленного в специальном смесителе, снижается до 7% усадка стружки, до 35% уменьшается шероховатость обработанной поверхности. Выявлено, что применение ТЖ специального приготовления при резании нержавеющей стали 12Х18Н10Т резцами из твердого сплава ВК8 позволяет до 2^x раз снизить величину размерного износа инструментов и до 3^x раз уменьшить износ по задней грани. При обработке стали 45 резцами из быстрорежущей стали Р6М5 величина размерного износа уменьшается на 40%, а величина износа по задней грани снижается до 2^x раз.

Проведенные исследования позволили предположить, что полученные результаты, связанные с улучшением технологических свойств жидкостей, это не только возможность получения более дисперсных ТЖ, но и результат их механохимической активации в специальном смесителе, механизм действия которой описан далее.

При вращении ротора с трубками переменного сечения, в рабочей среде возбуждается и распространяется переменное поле давлений. Попадая в зону расширения потока, где его давление возрастает, пузырьки начинают уменьшаться в размерах и схлопываются (рис. 1). В силу свойств жидкости схлопывание пузырьков происходит асимметрично и сопровождается образованием кумулятивной струйки, ударяющей с большой скоростью в противоположную стенку пузырька. Попадание в зону удара компоненты ТЖ активно диспергируются, так как давление в зоне схлопывания достигает нескольких десятков тысяч атмосфер.

Таким образом, данная установка позволяет реализовать принцип эффективного перемешивания, гомогенизации жидкости, ее диспергирования и активации компонентов.

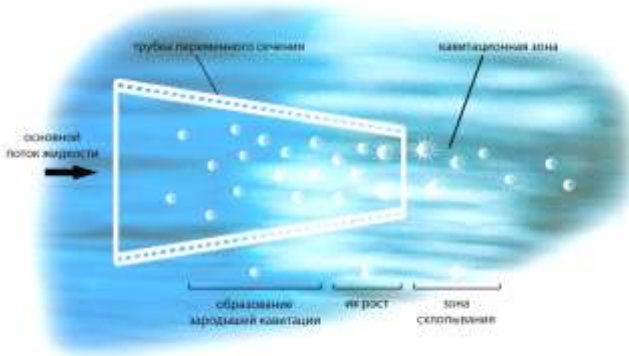
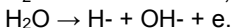
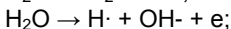
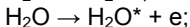
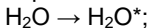
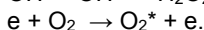
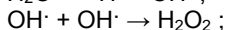
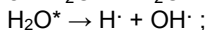
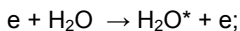


Рис. 1. Принципиальная схема работы трубки переменного сечения

При воздействии гидродинамической кавитации на воду, которая находится в контакте с атмосферным воздухом, образуются: H^+ , OH^- , $H\cdot$, $OH\cdot$, H_2O , H_2O_2 и продукты их взаимодействия. Изменение активности обрабатываемой среды можно объяснить элементарными процессами, которые происходят под воздействием ударов электронов в парогазовой смеси кавитационных пузырьков в воде:

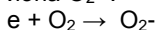


В результате энергетического воздействия на воду, проявляется механизм диссоциации воды с последующим образованием H_2O_2 [2]. Предлагается механизм появления H_2O_2 в активированной воде через образование OH -радикала [3]:

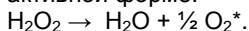


где e — электрон, образованный электрическими разрядами в жидкости; H_2O^* , O_2^* — возбужденные молекулы воды и кислорода.

При наличии газообразного кислорода в газовых пузырьках, находящего в основном состоянии, может происходить присоединение к нему одного электрона с образованием однозарядного отрицательного иона O_2^- .



Действие электрона на ион O_2^- приводит к образованию двухзарядного иона O_2^{2-} входящего в состав перекисей. В растворах технологических жидкостей происходит ее распад с выделением кислорода в активной форме.



Наличие кислорода в активной форме и перекисных соединений приводит к образованию окисленных углеводородов, что подтверждают увеличение вязкости, снижение pH и электропроводности жидкости, которые в свою очередь являются хорошими противоизносными, противозадирными присадками.

При изучении механизма смазочного действия ТЖ специального приготовления сделано заключение, что на контактных поверхностях инструмента и стружки образуются экранирующие пленки физического и химического происхождения за счет наличия в них гидроксильных групп и протекание радикально-цепных реакций, появление которых обусловлено наличием в ТЖ перекиси водорода H_2O_2 .

Литература

1. **Новые** составы и способы применения смазочно-охлаждающих жидкостей при резании металлов / Под ред. Клушина. - Иваново. 1968.
2. **Об оценке** усвоенной энергии при активации / Вольдман Г.М., Зеанин А.И., Брешлов А.Г. // Известия С.О.АН СССР, серия хим. наук, 1979, вып. 4, № 9. – с. 33-36.
3. **Марков, В.В.**, Латышев, В.Н. Химическая активация СОЖ перекись водорода при точении нержавеющей стали / В.В. Марков, В.Н. Латышев. // Физико-химическая механика процесса трения. Иваново: ИвГУ, 1977. - с. 65-70.

УДК 677.051 (088.8)

Н.В. ТРЕТЬЯКОВА, к.т.н., доцент,
В.А. ПОЛЕТАЕВ, д.т.н., профессор.
(ИГЭУ)

Исследование влияния магнитно-импульсной обработки на износостойкость пильчатой гарнитуры чесальных машин

Важная роль в прядильном производстве отводится чесальному переходу, так как качество пряжи и эффективность использования производственного оборудования находится в прямой зависимости от качества чесальной ленты. При эксплуатации чесальных машин точность изготовления и наладка узлов значительно снижаются из-за преждевременного износа пильчатой гарнитуры, в качестве которой используется цельнометаллическая пильчатая лента.

Цельнометаллическая пильчатая лента является ответственным элементом и поэтому к ней предъявляются высокие требования по отклонению размеров и твердости вершин зубьев.

Традиционная технология изготовления пильчатой ленты не обеспечивает ее высокого качества: зубья ленты имеют заусеницы и смятые вершины, твердость вершин зубьев имеет значительный разброс, в металле вершин зубьев остаются внутренние напряжения, увеличивающие хрупкость и снижающие износостойкость зубьев. Одним из методов снижения внутренних напряжений, возникающих в структуре металла после термической обработки, является магнитно-импульсная обработка (МИО).

Разработана технология магнитно-импульсной обработки зубьев пильчатой ленты. На линии по изготовлению ленты на закалочной машине смонтирована магнитно-импульсная установка, состоящая из генератора импульсов и индуктора. Генератор предназначен для создания сигнала в обмотке индуктора, частотой импульсов которого можно управлять. Индуктор представляет собой электромагнитную катушку со сквозным отверстием, через которое проходит пильчатая лента после закалки в ванне с маслом.

После обработки зубьев пильчатой ленты в магнитном поле проводились испытания твердости по Виккерсу и на износостойкость.

Исследование изменения твердости по высоте зуба пильчатой ленты показало, что под влиянием магнитно-импульсной обработки повышение твердости имеет место в области закаленной вершины зуба, а во впадине и на основании твердость практически не изменяется. Такое распределение твердости является предпочтительным, так как повышение твердости на основании ленты может привести к повреждению поверхности чесального барабана или к разрыву ленты при ее навивке. Повышение твердости вершины зуба обеспечивает увеличе-

ние износостойкости и сохранность остроты зуба в течение длительного времени.

Сценка влияния МИО на износ зубьев пильчатой ленты проводилась на машине трения типа 2070СМТ–1, с использованием устройства, конструкция которого представлена на рис. 1.

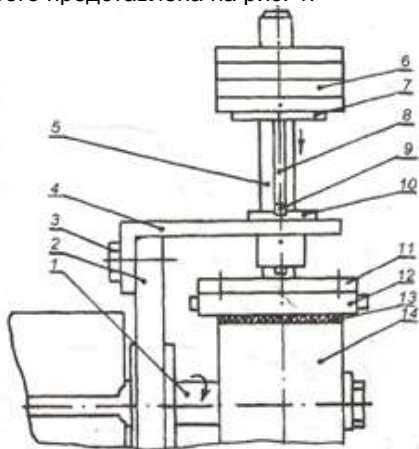


Рис. 1. Устройство для испытаний зубьев пильчатой ленты на износ

Устройство состоит из угольника 4, который крепится к станине машины трения 2 при помощи болтов 3. В угольник запрессована втулка 10 с двумя направляющими сухарями 9, служащими для направления штока 5 по пазам 8 при его вертикальном перемещении внутри втулки. В нижней части штока закреплена пластина 11 для крепления к ней зажима 12 с пильчатой лентой 13. В верхней части штока имеется столик 6 для установки грузов 7. Зажим с пильчатой лентой под действием грузов прижимается к войлочному кругу 14, установленному на приводном валу 1 машины трения.

В качестве волокнистого материала использовался войлочный круг, так как он максимально приближает условия эксперимента к реальному процессу чесания. В целях уменьшения времени эксперимента и увеличения интенсивности изнашивания зубьев ленты нагрузка в зоне трения составляла до 15 кПа. Частота вращения войлочного круга обеспечивала постоянную скорость скольжения, близкую к скорости процесса чесания. Через каждые 30 минут пильчатая лента очищалась от очеса войлочного круга с помощью струи сжатого воздуха и завешивалась на аналитических весах для определения потери массы пильчатой ленты. После каждого опыта войлочный круг выравнивался по образующей цилиндра для исключения образования на поверхности круга устойчивых кольцевых канавок, способных влиять на изнашивание зубьев пильчатой ленты. Суммарное время трения составляло 10 часов.

Анализ результатов исследования износа зубьев пильчатой ленты показал, что магнитно-импульсная обработка значительно уменьшает износ (рис. 2).

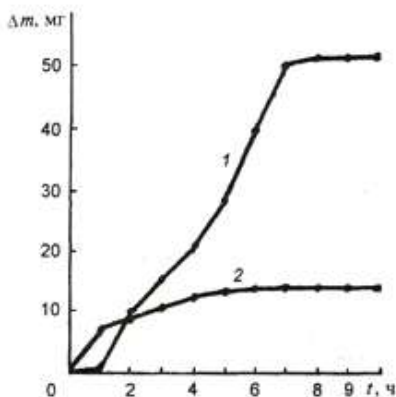


Рис. 2. Зависимость износа зубьев пильчатой ленты от времени испытаний:
1 – без МИО; 2 – с МИО

В результате испытаний установлено, что после непрерывного чешения в течение 10 часов в процессе трения зубья пильчатой ленты, необработанной магнитно-импульсным полем, скругляются, а посередине зуба образуется продольная лунка, размеры которой увеличиваются по мере увеличения времени трения. Характер износа зубьев пильчатой ленты, обработанной магнитно-импульсным полем иной: на острых гранях вершин зубьев скругление не наблюдается, продольная лунка не образуется.

Проведенные исследования показывают, что применение магнитно-импульсной обработки при изготовлении пильчатой ленты обеспечивает повышение износостойкости зубьев и увеличение срока службы за счет изменений в структуре металла.

Концепция информационной поддержки жизненного цикла импульсно-фазовых электроприводов

Современный объектно-ориентированный импульсно-фазовый электропривод (ИФЭП), построенный на базе контура фазовой синхронизации, представляет собой высокотехнологичное промышленное оборудование, главным назначением которого является управление скоростью вращения и положением вала электродвигателя, эксплуатируемых в ряде мехатронных систем, таких как станки с ЧПУ, универсальные испытательные установки и робототехнические комплексы общепромышленного и специального назначения.

Необходимо отметить, что главной сферой применения ИФЭП являются информационно-измерительные системы, которые предназначены для проведения комплексных испытаний различных изделий, осуществления слежения за нестационарными объектами и преобразования формы представления разнообразной информации. К решающим такие задачи системам можно отнести высокоточные лентопротяжные механизмы, оптико-электронные комплексы слежения и наведения, установки для испытания различных материалов и их соединений.

Импульсно-фазовый электропривод, как и любая техническая система, характеризуется определенным жизненным циклом. В контексте кратко рассмотренных концепций жизненного цикла изделия и CALS-технологий можно выделить основные этапы ЖЦ импульсно-фазовых электроприводов и обозначить задачи, решаемые на каждом из них. Для применения CALS-технологий на различных этапах ЖЦ ИФЭП необходим анализ основных проблем, эффективное решение которых может быть найдено при внедрении информационных технологий в процессы жизненного цикла ИФЭП.

Перед детальным рассмотрением основных этапов ЖЦ импульсно-фазовых электроприводов, необходимо отметить, что все этапы ЖЦ в той или иной степени взаимосвязаны, а последовательность этапов не всегда является прямой и однозначной. Общая схема этапов ЖЦ, с перечнем разработанных и используемых программных средств, необходимых для выполнения большинства функций, реализуемых в рамках CALS-технологий, приведена на рис. 1.

Первым этапом ЖЦ является маркетинг, заключающийся в изучении конъюнктуры рынка, анализе конкурентов и целевых заказчиков, а также поиске новых и перспективных направлений развития. Основой для маркетинговых исследований является актуальная и достоверная информация в разных ее формах и представлениях. Применение современных интернет-технологий и средств при изучении рынка позволяет сокращать время на получение необходимой информации, предоставляет возможность самого

широкого охвата различных информационных источников, а также позволяет снизить затраты на обеспечение переговоров со всеми участниками рассматриваемого сегмента рынка.



Рис. 1. Этапы жизненного цикла импульсно-фазовых электроприводов

Проектирование и разработка ИФЭП составляют второй этап ЖЦ. Особенностью проектирования ИФЭП является их полная ориентированность на конкретного заказчика и выполнение всех требований технического задания. Таким образом, перед началом всех проектных работ стоит задача выявления технических требований к объектно-ориентированным электроприводам и оценка их физической реализуемости. Учет особенностей объекта управления и выявление параметров наиболее критичных к качеству управления, позволяют разрабатывать электроприводы, наиболее полно соответствующие требованиям конкретного объекта.

Важным теоретическим этапом разработки является моделирование системы электропривода для выявления особенностей работы проектируемой системы, определения предельных возможностей системы, а также анализа качества управления. Особенности моделирования ИФЭП и выявленные ограничения вычислительного характера, выражающиеся в невозможности практического применения аналитических методов расчета динамических характеристик электропривода, которые приводят к получению математически сложных выражений и малоинформативных результатов, делают необходимым разработку собственных систем исследования и моделирования цифровой имитационной модели электропривода. Поэтому предлагаются системы Simulator PPL Drive 2.0 и Research PPL Drive 2.0 для моделирования и исследования ИФЭП, основанные на использовании численно-аналитического метода пространства состояний, позволяющего рассчитать значения переменных в дискретные моменты времени, соответствующие моментам переключения отдельных блоков электропривода, исключая промежуточные вычисления без потери точности расчета.

Современный импульсно-фазовый электропривод представляет собой синтез программной и аппаратной частей единого мехатронного комплекса. Основу аппаратной части системы образуют двигатель, специализированный микроконтроллер (МК) и силовой модуль управления. Программную часть системы управления электроприводом можно условно разделить на два взаимосвязанных компонента:

- непосредственные алгоритмы управления электродвигателем, программно реализованные на языке Assembler для МК;
- средства командного управления с визуальным интерфейсом, реализованные на ЭВМ в виде отдельной программы.

Разработанное программное обеспечение для МК электропривода представляет собой HEX-файл, содержащий машинный код, оптимизированный под конкретную модель МК. Загрузка кода возможна лишь при наличии готовой печатной платы со всеми необходимыми электротехническими компонентами.

После загрузки кода в МК наступает этап тестирования и отладки алгоритмов работы электропривода. Здесь проверяется корректность работы кода, заключающаяся в предсказуемой работе электропривода в соответствии с заложенными последовательностями действий. Далее, полностью отлаженный код МК позволяет переходить к этапу настройки регуляторов системы управления для полного соответствия электропривода определенным техническим требованиям автоматизируемого объекта.

Для решения проблем, возникающих при наладке и управлении электроприводом, предлагается объектно-ориентированное программное обеспечение Configurator PPL Drive 6.0, основанное на схемо-графическом представлении управляющих структур ИФЭП и программных средств настройки аппаратной части системы управления.

Также в процессе наладки реальной системы электропривода возникает необходимость тестирования системы для проверки качества и оптимальности ее работы. Для автоматизации процедур тестирования электропривода разработана программа Tester PPL Drive 4.0, позволяющая проводить расчет статистических оценок показателей работы электропривода и проводить его испытания в различных динамических режимах работы. Неоспоримым практическим преимуществом данной программы перед программами моделирования электроприводов является возможность снятия графиков изменения переменных состояния электропривода с физического макета, а также изучения реакции системы на различные входные сигналы управления.

Из представленных материалов следует вывод о необходимости разработки эффективного программного обеспечения для осуществления большинства функций по организации поддержки ЖЦ ИФЭП, осуществляемой в рамках CALS-технологий, для создания приводных систем, в наибольшей степени отвечающих требованиям потребителей.

Прогнозирование стоимости (цены) изделий машиностроения на ранних стадиях проектирования

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

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

Методы экспертных оценок. Среди индивидуальных экспертных оценок в области ценообразования применяются методы интервью и анкетирование, коллективных – методы "комиссий", "мозговой атаки", "Дельфи".

Параметрические модели и методы прогнозирования. Основу параметрических методов прогнозирования затрат и цен составляют количественные зависимости между ценами (затратами) и основными потребительскими свойствами продукции или уровнем качества изделий в пределах параметрического ряда. Наиболее распространенными из параметрических методов прогнозирования являются следующие методы: «удельной цены», «структурной аналогии», «агрегатный», «балловый», «корреляционно-регрессионного анализа».

Сущность метода удельной цены заключается в определении удельной цены (себестоимости) на единицу основного параметра (на основе цены (себестоимости) базового изделия и значения его основ-

ного параметра) и затем ее умножения на значение основного параметра нового изделия. Другие потребительские свойства можно учитывать в цене нового изделия путем установления доплат (скидок).

Метод структурной аналогии предполагает определение структуры себестоимости по элементам затрат, т.е. находится удельный вес материальных затрат, заработной платы и других элементов затрат в полной себестоимости продукции. Зная абсолютную величину материальных затрат, заработной платы по новому изделию и удельный вес затрат в структуре себестоимости по аналогичной группе продукции, можно рассчитать себестоимость нового изделия.

По агрегатному методу цена (себестоимость) нового изделия определяется путем суммирования цен (себестоимости) отдельных конструктивных частей или узлов изделия с добавлением стоимости оригинальных узлов и деталей.

По балловому методу цены формируются на основе экспертных оценок значимости параметров качества изделий для потребителей. Балловый метод применяется во многих странах мира. Он широко используется при изучении конъюнктуры рынка и оценке конкурентоспособности продукции.

Метод корреляционно-регрессионного анализа считается более совершенным методом параметрического прогнозирования. Суть его заключается в построении уравнений регрессии и определении зависимости цены от влияющих на нее факторов. При этом цена выступает как функция от параметров.

Формирование цен с ориентацией на спрос. Уровень цены на изделие ставится в зависимость от изменения спроса на него. При определении цен на основе спроса производственные затраты рассматриваются лишь как ограничительный фактор.

Определение цен с ориентацией на конкуренцию. Суть данного подхода к определению цен на изделия (товары) состоит в том, что производитель исходит исключительно из конкуренции, устанавливая цены на свои товары чуть выше или чуть ниже уровня цен на товары ближайшего или крупнейшего конкурента.

Формирование цен, ориентированное на нахождение равновесия между издержками производства и состоянием рынка. Этот метод представляет собой сочетание рассмотренных выше методов определения цен с ориентацией на издержки, спрос и конкуренцию.

Несмотря на многообразие методов прогнозирования стоимости (цены) изделий их применение вызывает определенные затруднения. Они дают слишком большую погрешность прогнозирования (даже метод корреляционно-регрессионного анализа). По мнению автора наиболее удачным методом прогнозирования стоимости (цены) изделий будет метод, построенный на базе нейросетевых технологий. Нейронные сети – мощный метод моделирования, позволяющий точно воспроизводить чрезвычайно сложные зависимости. Они поз-

воляют справиться с решением задач прогнозирования в случае большого числа переменных. Нейронные сети, реализованные на компьютере, относительно просты в использовании и не требуют от проектировщика специальных знаний, например в области математической статистики.

УДК 621.787.

Т.В. ВОЛКОВА, студент
(ИГЭУ)

Исследование влияния основ Пифагорейской школы на вопросы формообразования

Проблема гармонии на Земле и во Вселенной вечна. В понятие гармонии древнегреческий мыслитель Пифагор включал симметрию и отношения целого и его частей. В VI-IV вв. до н.э. в Древней Греции возникло такое учение как пифагореизм. Пифагорейцы признали математические начала за начала всего существующего. Из таких начал, естественно, первыми являются числа. Пифагорейские числа имеют не простое количественное значение. Пифагор искал геометрическое среднее единицы и двойки. Это привело его к изучению отношений сторон и диагонали квадрата.

Пифагор и его школа — первоисточник божественной пропорции «золотого сечения» ($1:2 = 3:5 = 5:8 = 8:13$ и т. д.). Эта пропорция возникает в ряду чисел, в котором каждое последующее число есть сумма двух предыдущих (т. е. 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89 и т.д.). Он же обнаружил видимую гармонию «золотого сечения» и разработал науку о зрительных восприятиях видимых фигур. «Золотое сечение» — это деление непрерывной величины на две части в таком отношении, при котором меньшая часть так относится к большей, как большая ко всей величине (рис. 1).

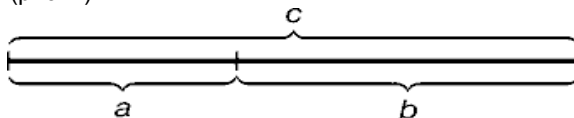


Рис. 1. Деление отрезка по принципу «золотого сечения»

Отношение частей в этой пропорции выражается квадратичной иррациональностью (1):

$$\varphi = \frac{\sqrt{5} + 1}{2} \approx 1,6180339887... \quad (1)$$

Геометрическое построение «золотого сечения» отрезка АВ заклю-
чается в следующем: в точке В восстанавливают перпендикуляр к АВ,
откладывают на нём отрезок ВС, равный половине АВ, на отрезке АС
откладывают отрезок AD, равный АС – СВ, и наконец, на отрезке АВ
откладывают отрезок АЕ, равный AD (рис. 2). Тогда:

$$\varphi = \frac{|AB|}{|AE|} = \frac{|AE|}{|EB|} \quad (2)$$

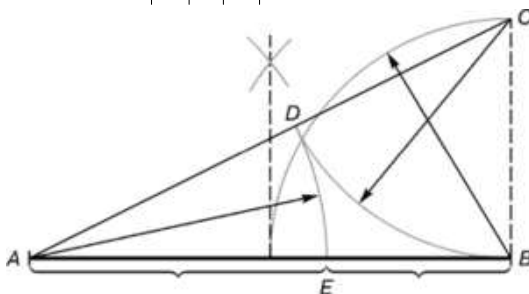


Рис. 2. Геометрическое построение «золотого сечения» отрезка АВ

Прямоугольник с таким отношением сторон стали называть «золо-
тым» прямоугольником (рис. 3а). Квадрат Пифагора и диагональ этого
квадрата были основанием для построения динамических прямоуголь-
ников.

Существует и «золотой» треугольник (рис. 3б). Это равнобедренный
треугольник, у которого отношение длины боковой стороны к длине
основания равняется 1.618.

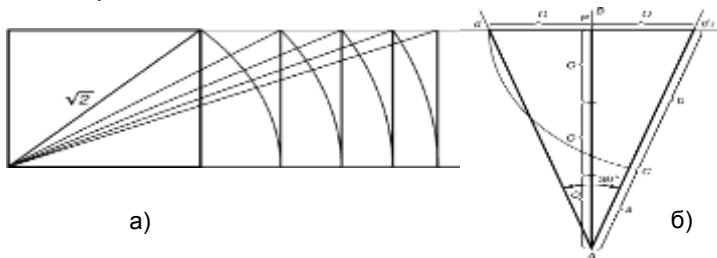


Рис. 3. Примеры «золотого сечения» в геометрических фигурах:
а) прямоугольник, б) треугольник

В звездчатом пятиугольнике каждая из пяти линий, составляющих
эту фигуру, делит другую в отношении «золотого сечения», а концы
звезды являются золотыми треугольниками (рис. 4).

В структурной организации «золотое сечение» признано универсальным законом живых систем, начиная с растений и кончая человеком. Важно отметить два вида проявлений «золотого сечения» в живой природе: иррациональные отношения по Пифагору — 1.618 и целочисленные, дискретные - по Фибоначчи.

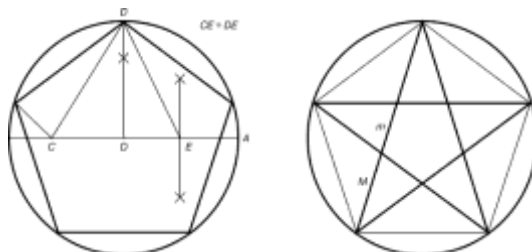


Рис. 4. Пример «золотого сечения» в звездчатом пятиугольнике

Знаменитый математик XIII века Фибоначчи открыл ряд чисел, названный его именем: 1; 1; 2; 3; 5; 8; 13; 21; 34; 55 и т.д. В этой последовательности чисел каждый член, начиная с третьего, равен сумме двух ему предшествующих. Высшие члены этого ряда становятся все более близкими друг к другу, а их отношения стремятся к дроби 1.618.

Пифагор изобрел изощренные геометрические спирали. Спираль, вычисленная Пифагором, графически изображает ряд чисел, в котором каждое последующее число есть сумма двух предыдущих (т. е. 1, 2, 3, 5, 8, 13, 21, 34, 55, 89 и т. д.). Спираль, построенная Пифагором, есть символ движения, развития и развертывания вселенной. (рис. 5).

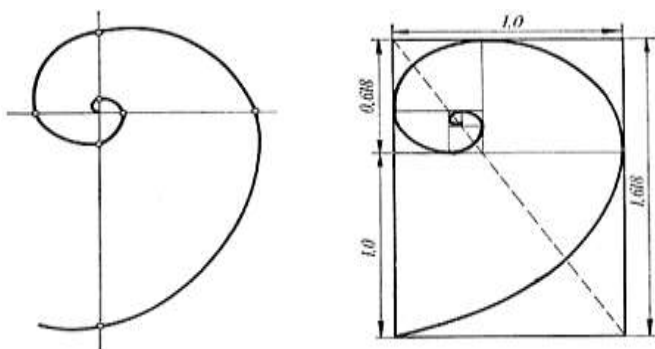


Рис. 5. «Золотое сечение» в спирали

В рамках исследований выявлены отклонения от золотых пропорций. Несоответствие заключается в том, что иногда в вопросах формо-

образования не учитывается все многообразие окружающего нас мира. Согласно Пифагорейской школе большинство объектов природы принято и удобно рассматривать как линейные объекты, квадраты, треугольники, многоугольники. Абсолютная, жесткая симметрия характерна для неживой природы – кристаллов (минералов, снежинок). Для органической природы, для живых организмов характерна неполная симметрия (квазисимметрия), (например, в строении человека). Но именно отклонение от строгой симметрии придают многим формам красоту и привлекательность. Именно асимметрия является причиной неординарности, индивидуальности, она привлекает к себе внимание, вносит элемент движения и создает впечатление живой формы.

УДК 621.81 (075.8)

Н.В. ТРЕТЬЯКОВА, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Анализ способов лазерного поверхностного упрочнения изделий

Лазерные технологии позволяют решать задачи по повышению эксплуатационных характеристик поверхностных слоев изделий. К основным особенностям этих технологий относятся: высокая концентрация энергии, вводимой в зону воздействия; локальность и прецизионность обработки при существенно меньших энергозатратах.

Все процессы, приводящие к отказам изделий, начинаются с поверхности и определяются свойствами относительно тонкого поверхностного слоя. Эти свойства можно формировать в результате лазерной поверхностной упрочняющей технологии: лазерная закалка, лазерное легирование, комбинированные методы (сочетание диффузионного насыщения поверхностных слоев с последующей лазерной обработкой, газотермическое напыление с последующим оплавлением покрытия лучом лазера и др.) Они основаны на использовании энергии лазерного излучения различной интенсивности.

Лазерная закалка. Тонкий поверхностный слой материала разогревается до температуры, близкой к температуре плавления, с высокими скоростями $10^3 \dots 10^5$ °C/с. После прекращения воздействия лазерного излучения происходит сверхбыстрое охлаждение поверхностного слоя за счет теплоотдачи в основной объем металла. Преимуществами лазерной закалки являются:

– отсутствие нарушения микрогеометрии поверхности, возможность использования в качестве финишной операции;

- отсутствие температурных деформаций при обработке тонкостенных и крупных деталей;
- возможность упрочнения деталей сложной формы;
- экономия энергии за счет локального упрочнения.

С целью увеличения глубины упрочненного слоя лазерную обработку выполняют с оплавлением поверхности. Конечная структура формируется в результате охлаждения с высокими скоростями расплавленного металла – *лазерная обработка с оплавлением поверхности*. В результате такой обработки размер зерен значительно уменьшается. Однородность химического состава кристаллизующегося металла определяется скоростью охлаждения. При меньших скоростях имеет место дендритная ликвация, когда участки зерен, затвердевшие в начале кристаллизации, обогащены тугоплавкими элементами, а участки зерен, затвердевшие в конце кристаллизации, обогащены легкоплавкими элементами. При высоких скоростях охлаждения перераспределение элементов в жидкой фазе не успевает происходить и дендритная ликвация резко уменьшается. При обеспечении сверхвысокой скорости охлаждения возможно образование аморфных структур, когда не успевают вырастать центры кристаллизации и объем металла затвердевает как стеклообразная масса, в которой существует некоторый ближний порядок.

Лазерное легирование. Применяется для более широкого изменения физико-механических свойств поверхностного слоя. Позволяет получить на рабочих поверхностях слои с заданными химическими свойствами и физико-механическими характеристиками. На поверхность детали наносится тонкий слой покрытия из легирующих элементов, затем производится совместное проплавление лазерным лучом материала покрытия и основы.

В результате совместного проплавления образуется поверхностный слой нового химического состава. Высокая концентрация легирующих элементов в поверхностном слое возможна потому, что расплав после прекращения воздействия лазерного излучения охлаждается с очень высокой скоростью и избыточная фаза не успевает выделиться. Глубина легированного слоя зависит от мощности излучения и может составлять 0,1...1,5 мм. При лазерном легировании нельзя обеспечить значительное повышение твердости поверхностных слоев по сравнению с лазерной закалкой, но при этом улучшаются другие эксплуатационные свойства: жаропрочность, коррозионная стойкость и т.д.

Обработка диффузионных покрытий. Диффузионное насыщение элементами обеспечивает получение износостойких поверхностных слоев. Однако эти слои имеют малую толщину и высокую хрупкость, для устранения которых необходима последующая лазерная обработка.

Для нанесения покрытий используют методы лазерной наплавки, в частности газопорошковой. Осуществляется путем подачи порошкового материала из бункера с помощью инжекторного устройства непосредственно в зону воздействия лазерного луча. Технология нанесения покрытий таким способом отличается простотой, возможностью постепенного наращивания наплавленного слоя, низкой энергоемкостью. Способ обеспечивает возможность обработки деталей различной конфигурации, создает благоприятные условия для получения покрытий из легкоплавких металлов и сплавов на поверхности тугоплавких, для нанесения материалов, склонных к разложению при расплавлении или растворению в материале основы. Наиболее существенным недостатком метода является возникновение трещин в наплавленных валиках и значительная неравномерность геометрического профиля нанесенного слоя. Метод является перспективным при повышении характеристик на небольших участках поверхности.

Обработка покрытий лазерным излучением позволяет повысить их устойчивость к коррозии и различным видам изнашивания, снизить пористость и поверхностную неоднородность, воздействовать на микроструктуру и повысить адгезию покрытия к подложке.

УДК 004.457

П.М. ПОКЛАД, аспирант
(ИГЭУ)

Защита программных средств от нелегального использования и взлома

Основная задача, стоящая перед разработчиком, которому нужно защищать свою интеллектуальную собственность, – сделать так, чтобы с его программой могли работать только легальные пользователи. Соответственно пиратская копия должна либо не работать вовсе, либо работать в ограниченном или демонстрационном режиме. Понятно, что защитить программу от копирования невозможно: любой файл, который может быть прочитан, будет скопирован – для запуска приложения операционная система должна прочитать файл и загрузить его в память компьютера.

Значит, необходим "объект", который нельзя скопировать и без которого программа не смогла бы работать. Этим "объектом" и является электронный ключ Guardant. И следующая задача разработчика – сделать так, чтобы приложение и ключ составляли нераздельное целое

таким образом, чтобы программа, "привязанная" к ключу, не могла без него полноценно функционировать.

Современные средства защиты программного обеспечения компании Guardant [1], представляя собой программно-аппаратные ключи защиты [2] (рис. 1), подключаемые к USB или LPT-порту компьютера. При отсутствии ключа защищенная программа не запустится, а в случае изъятия ключа, во время работы пользователя, программа закроется [3]. Защитный код имплицитно встраивается в исполняемый файл программы на этапе компиляции и в целях безопасности и устойчивости к взлому, распределяется по коду программы произвольным образом [4]. Помимо этого, в самом электронном ключе, который представляет собой микроконтроллер, реализован собственный алгоритм защиты, повышающий надежность всего комплекса.



Рис. 1. Программно-аппаратный ключ защиты Guardant LPT Fidus

Протокол обмена с ключами Guardant имеет ряд оригинальных свойств, повышающих его стойкость: туннельное шифрование трафика, использование уникальных сеансовых ключей, взаимная аутентификация ключа и Guardant API, автоматическая верификация и автоповторы при передаче данных. Общая схема взаимодействия защищаемой программы и ключа Guardant LPT Fidus представлена на рис. 2.

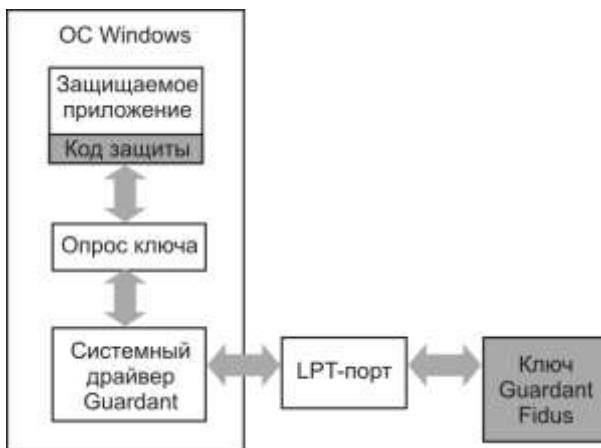


Рис. 2. Принцип действия программно-аппаратного ключа защиты Guardant LPT Fidus

Еще важным моментом при работе с ключами является возможность дистанционного обновления памяти ключа [5], которая широко используется для изменения условий эксплуатации защищенного приложения и модификации системы защиты, например при продлении срока использования программы, активации демонстрационных версий, увеличении числа сетевых лицензий и т. п.

Литература

1. **Электронные** ключи Guardant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.guardant.ru/>, свободный. – Яз. рус.
2. **Электронный** ключ – Википедия [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://ru.wikipedia.org/wiki/Электронный_ключ, свободный. – Яз. рус.
3. **Руководство** пользователя: Драйверы Guardant и HID-режим, программирование ключей, автоматическая защита, сетевая защита. – М.: Компания Актив, 2010. – 241 с.
4. **Профайлеры** автозащиты Guardant: Метод. пособие. – М.: Компания Актив, 2010. – 16 с.
5. **Электронные** ключи Guardant: Инструкция по эксплуатации. – М.: Компания Актив, 2010. – 3 с.

Анализ методов отделочной обработки свободными абразивами

В связи с повышенным требованием к внешнему виду художественных изделий увеличивается доля отделочных методов обработки. Отделочные операции чаще всего являются заключительными (или готовят поверхность под покрытие).

Выбор метода обработки поверхности связано с исходным состоянием поверхности и требованиями, предъявляемые к конечному виду изделия. Часто и качество покрытия зависит от качества предварительной подготовки поверхности.

Для деталей сложной формы, какими являются ювелирные и художественные изделия, в последнее время широко применяются методы обработки свободными абразивами, в которых инструмент не имеет механической связи со станком. Эти методы позволяют сочетать высокую производительность обработки с хорошим качеством обработанной поверхности деталей сложной конфигурации из различных материалов при простом по конструкции оборудовании.

По виду режущего инструмента известные методы абразивной обработки можно разделить на обработку закрепленным абразивом (шлифование, хонингование и т.д.) и свободными абразивами.

Технологические возможности и большое количество технологических параметров позволяют классифицировать методы обработки свободными абразивами по ряду признаков: по типу абразивной среды, по необходимости закрепления детали, по главному движению, по количеству одновременно обрабатываемых деталей, по характеру воздействия инструмента, по направлению следов обработки. Тамаркиным М.А. [2] в основу классификации был положен характер воздействия абразивных частиц на поверхность обрабатываемой детали (скольжение, соударение, направленный поток).

К методам обработки свободными абразивами относятся: вибрационная обработка (ВиО), центробежно-ротационная обработка (ЦРО), струйно-абразивная обработка (САО), турбоабразивная обработка (ТАО), обработка свободным абразивом, уплотненным инерционными силами (ОСАУИС), магнитно-абразивное полирование (МАП) и галтовка. Классификация представлена на рисунке 1.

Наиболее распространенным методом обработки свободными абразивами является вибрационная обработка (ВиО) [2]. Вибрационная обработка в зависимости от характера применяемой рабочей среды представляет собой механический или химико-механический процесс съема мельчайших частиц и его окислов с обрабатываемой поверхно-

сти, а также сглаживание микронеровностей путем их пластического деформирования частицами рабочей среды, совершающими в процессе работы колебательное движение.

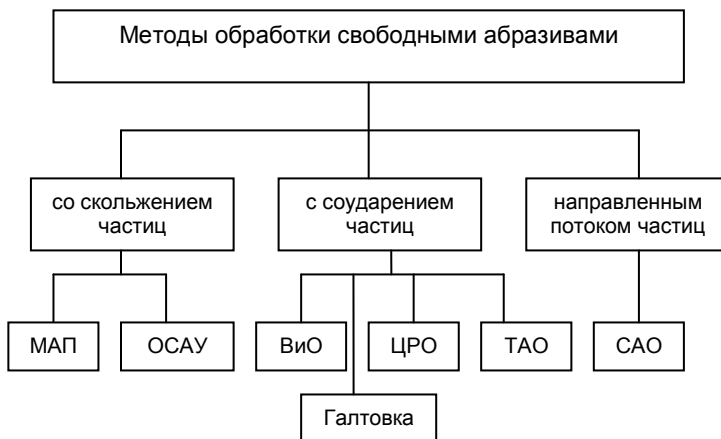


Рис. 1. Классификация методов обработки свободными абразивами по характеру воздействия абразивной частицы

Способ объемной центробежно-ротационной обработки (ЦРО) [2] заключается в том, что гранулированная обрабатывающая среда и детали приводятся во вращательное движение вокруг вертикальной оси таким образом, что приобретает форму тора, в котором частицы движутся по спиральным траекториям. Обрабатываемые детали загружаются в рабочую камеру «в навал» и перемещаются вместе с рабочей средой. Съем металла осуществляется за счет относительного перемещения и взаимодействия абразивных гранул и деталей, смачиваемых жидкостью, непрерывно подаваемой в рабочую камеру.

Способ струйно-абразивной обработки (САО) [2] заключается в использовании эффекта удара частиц обрабатывающего материала об обрабатываемую поверхность. Физическая картина процесса аналогична изнашиванию материалов, находящихся под действием потока частиц. Кроме съема металла с поверхности, наблюдается ее упрочнение и изменение микрогеометрии, а в тонких поверхностных слоях возникают остаточные напряжения сжатия.

Способ турбоабразивной обработки (ТАО) [2] основан на использовании техники псевдооживления сыпучих материалов и заключается в создании абразивного кипящего (псевдооживленного) слоя, в который помещают обрабатываемую деталь, задавая в зависимости от ее формы различные виды движения.

Галтовочными методами [1] можно выполнять полирование, безразмерное шлифование, упрочнение, очистку и зачистку. В процессе галтовки в результате взаимодействия наполнителя и деталей, загруженных в контейнер, при вращении происходят соударения, скольжение и микрорезание поверхностей деталей абразивным наполнителем, вследствие чего и снимается металл. Детали загружают в барабан обычно навалом. Для интенсификации процесса обработки детали иногда закрепляют на отдельной оси и сообщают им дополнительное вращение.

Метод обработки свободным абразивом, уплотненным инерционными силами (ОСАУИС) [2], представляет собой процесс, в котором обработка происходит в результате контактного взаимодействия обрабатываемой поверхности с уплотненным под действием инерционных сил слоем свободного абразива при их относительном перемещении. Данный метод обеспечивает сочетание процессов обработки, смазки и охлаждения, осуществляющихся одновременно и неразрывно. Метод обеспечивает возможность регулирования в больших пределах процесс абразивного воздействия на обрабатываемую поверхность, за счет изменения режимов обработки.

Сущность метода магнитно-абразивного полирования (МАП) [2], заключается в том, что обрабатываемой поверхности детали или порошок с магнитными и абразивными свойствами, помещенным в магнитное поле, сообщают принудительное движение относительно друг друга. Съем металла осуществляется в результате силового воздействия порошка на поверхность детали.

При анализе методов обработки свободными абразивами выявлены общие особенности, основные из них следующие:

1. Отсутствие жесткой кинематической связи инструмента и детали.
2. Низкотемпературный характер обработки.
3. Возможность обработки деталей сложной формы.
4. «Безразмерный» характер обработки.
5. Повышение микротвердости поверхностного слоя после обработки.

Литература

1. Павлюкова Н.Л. Повышение эффективности отделочной обработки художественных изделий из медных сплавов свободными абразивами/ Н.Л. Павлюкова, В.А. Полетаев, М.Ю. Волкова; ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленина». – Иваново, 2010. – 100 с.
2. Тмаркин В.О. Технологические основы оптимизации процессов обработки деталей свободными абразивами. Дис. докт. техн. наук. – Ростов-на-Дону, 1995. – 285с.

Анализ использования технологического процесса изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей

Использование новых типов связующих материалов (синтетических смол) привело к созданию новых технологических процессов изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей (ХТС). Эти процессы основаны на отверждении синтетических смоляных связующих в присутствии катализаторов при нормальной температуре.

Холоднотвердеющие смеси состоят из наполнителя (кварцевый песок), синтетического связующего, катализатора отверждения и различных улучшающих смесь добавок. Приготовление смесей осуществляют последовательным перемешиванием песка, связующего, катализатора отверждения и добавок.

В состав холоднотвердеющих смесей в качестве связующих вводят карбамидные, карбамидофурановые, фенолофурановые смолы и катализатор, в присутствии которого смесь упрочняется. Катализаторами служат органические или неорганические кислоты (бензосульфокислота, ортофосфорная или азотная кислота).

Для улучшения технологических свойств в смеси вводят порошкообразные добавки - окись железа, древесную муку и др. Холоднотвердеющие смеси обладают высокой прочностью, газопроницаемостью, податливостью, выбиваемостью. Для изготовления стержней ХТС используют деревянную, пластмассовую или металлическую оснастку.

Применение холоднотвердеющих смесей позволяет исключить из технологического процесса тепловую сушку. Подача, дозировка и загрузка в смеситель исходных составляющих смеси, а также выпуск готовой смеси легко механизуются и автоматизируются применением специального оборудования.

Технологические процессы изготовления стержней из ХТС подразделяют в основном на три группы.

К первой группе относят процессы изготовления стержней из песчано-смоляных самотвердеющих смесей. Продолжительность твердения составляет 5–60 мин. Эта группа процессов широко распространена при изготовлении мелких, средних и крупных изделий в литейных цехах с единичным, мелкосерийным и серийным характером производства стальных и чугунных отливок, а также отливок из цветных сплавов.

Для второй группы характерно резкое возрастание скорости отверждения смеси до 0,5–3 мин за счет использования высокореакционных связующих материалов и катализаторов отверждения.

Третья группа технологических процессов основана на применении песчано-смоляных смесей с длительной живучестью. Высокая скорость затвердевания достигается за счет продувки смеси в стержневом ящике газообразным или жидким (в виде паровоздушной смеси) катализатором. Технологический процесс изготовления стержней из холоднотвердеющих смесей предъявляет следующие основные требования подготовке оснастки:

1. В зависимости от условий и серийности производства для изготовления изделия используют деревянные, пластмассовые или металлические ящики;

2. Металлические стержневые ящики при температуре цеха ниже 18 °С целесообразно перед началом работы подогревать до температуры 30–35 °С для ускорения затвердевания и предотвращения прилипаемости. Холоднотвердеющие смеси с синтетическими смолами обладают незначительной прилипаемостью. В качестве разделительных покрытий применяют общеизвестные составы: смесь серебристого графита с керосином (1:2), 1–2 %-ный раствор парафина или воска в керосине или бензине, смесь серебристого графита с машинным маслом и т. д. Покрытие наносят кистью или пульверизатором. Необходимо покрывать ящик или модель тонким слоем, не допуская потеков, во избежание намокания поверхностного слоя изделия.

3. При изготовлении изделий на пескодувных машинах следует применять в основном металлические ящики;

4. В связи с тем, что изделие извлекают из оснастки в отвержденном состоянии, при проектировании и изготовлении ящиков необходимо обеспечивать высокое качество их рабочих поверхностей; увеличивать в 1,5–2 раза формовочные уклоны, а также предусматривать механизированное извлечение изделия системой толкателей.

Технологические свойства холоднотвердеющих смесей открывают большие перспективы для усовершенствования процессов изготовления форм. В производстве крупных стальных и чугунных отливок использование холоднотвердеющих смесей позволяет резко сократить технологический цикл за счет ликвидации объемной или поверхностной сушки форм, повысить производительность труда, удешевить стоимость оборудования путем замены комбинированных методов уплотнения (встряхивания или вибрации с прессованием) виброуплотнением.

Изготовление форм из холоднотвердеющих смесей упрощает применение современных методов управления процессом формирования свойств отливок, которые при использовании обычных формовочных смесей вызывают большие затруднения. К таким методам относятся получение форм с регулируемой толщиной, комбинация смесей с различными теплофизическими, противопригарными свойствами, выбор смесей с определенными пластическими и деформационными характеристиками.

Важнейшая технологическая проблема при изготовлении форм — снижение расхода материалов. Она может решаться путем изготовления двухслойных форм. Снижение расхода смесей может быть также достигнуто при изготовлении тонкостенных форм в специализированной оснастке.

Одним из примеров создания изделия посредством технологии холоднотвердеющих смесей является отливка колокола для Воскресенской колокольни города Шуя.

10 ноября 2009 года на центральный купол Воскресенского собора города Шуя Ивановской области (подворье Свято-Николао-Шартомского монастыря) был водружен позолоченный крест, на звонницу колокольни был поднят двенадцатый, второй по величине колокол весом около ста пудов (1700 кг).

Он был отлит в Шуге насельниками Свято-Николао-Шартомского монастыря на средства, пожертвованные прихожанами собора. На самом колоколе изображена Казанская икона Божией Матери и Распятие Господа нашего Иисуса Христа. Верх колокола венчает надпись: «Заступнице усердная, Мати Господа Бога Вышняго, моли Сына Христа Бога нашего!»

Водружение креста и колокола происходило в течение нескольких часов в присутствии многочисленных прихожан и жителей города.

Стопудовый колокол, предназначенный для установки на самую высокую колокольню России Воскресенского собора (отдельно стоящая звонница) был вынут из опоки на ООО «Литмаш».

Опыт показывает, что в массовом производстве переход от общепринятой сырой формовки к ХТС дает возможность существенно улучшить качество отливок, снизить или полностью исключить такие дефекты, как подутие, засоры, газовые раковины, нарушения геометрии. Особое значение приобретает использование ХТС для получения отливок с повышенной точностью (по массе и размерам).

Всесторонний анализ проблемы, проведенный на основе имеющегося, главным образом, зарубежного опыта и научно-технических разработок, свидетельствует о том, что широкое развитие методов изготовления форм из ХТС полностью оправдано и целесообразно и в единичном, и в массовом производстве.

Особенности построения интерактивных электронных технических руководств

В современных условиях очевиден факт снижения конкурентоспособности таких изделий, которые сопровождаются большим объемом традиционной бумажной документации. При этом прослеживаются следующие тенденции [1]:

- увеличение сложности выпускаемых изделий обуславливает появление огромного количества технических материалов, инструкций по эксплуатации и обслуживанию техники, в основном на бумажных носителях;
- быстрые изменения и модификация изделий приводят к тому, что существующие руководства и содержащаяся в них техническая информация становятся неактуальными;
- возникает необходимость создания автоматизированных средств диагностики и контроля изделия;
- увеличение номенклатуры и уменьшение сроков освоения новых изделий требуют повышения квалификации обслуживающего и ремонтного персонала.

Потребитель продукции является полноправным участником ЖЦ на этапе эксплуатации изделия, поэтому ему следует обеспечить доступ в ЕИП. Однако использование для этих целей системы управления проектными данными (PDM) [2] не всегда целесообразно. Учитывая это, а также то, что потребителю необходимы только эксплуатационные данные об изделии, в качестве средства доступа к ЕИП целесообразно использовать не PDM-систему, а интерактивные электронные технические руководства (ИЭТР).

ИЭТР [3] представляет собой структурированный комплекс взаимосвязанных технических данных, передаваемый заказчику в электронной форме, предназначенный для выдачи в интерактивном режиме, с помощью электронной системы отображения (ЭСО) справочной и описательной информации об эксплуатационных и ремонтных процедурах, связанных с конкретным изделием.

В состав ИЭТР входят база данных, где хранится вся информация об изделии, и ЭСО для визуализации данных и обеспечения интерактивного взаимодействия с пользователем. Информация в ИЭТР может быть дана в виде текста, графических изображений, SD-моделей, анимации, аудио- и видеороликов. Использование аудио- и видеоданных позволяет наглядно показать выполнение любой операции по обслуживанию или ремонту изделия. При помощи анимации можно увидеть работу систем и механизмов в действии.

Преимущества ИЭТР проявляются в наибольшей степени, если производитель и эксплуатирующая организация связаны между собой глобальной сетью. В этом случае возможны автоматическое обновление информации в базе данных ИЭТР, связанное с изменением самого изделия или технологии его эксплуатации, непосредственное получение консультаций в сервисных центрах изготовителя, а также заказ запасных частей и комплектующих.

Эксплуатационная техническая документация является важнейшим средством эффективного использования изделия на постпроизводственных стадиях его ЖЦ. От полноты и достоверности сведений в ИЭТР зависит качество выполнения процессов и процедур обслуживания изделия, а также производительность труда эксплуатационного и ремонтного персонала.

Технология подготовки ИЭТР включает в себя следующий набор действий:

– создание структуры документа на основе правил, содержащихся в файле DTD (Document Type Definition);

– автоматическое наполнение созданной структуры документа данными из хранилища конструкторской информации с использованием PDM-системы (рис. 1).

Сопряжение с хранилищем может быть реализовано с помощью текстового обменного файла, соответствующего требованиям стандарта ISO 10303-21.



Рис. 1. Технология подготовки ИЭТР

С точки зрения концепции CALS, предусматривающей преемственность в передаче информации на всех стадиях ЖЦ, ИЭТР представляет собой документ, формируемый в значительной степени автоматически на основе конструкторского описания изделия. Если в подразделении, в котором создается ИЭТР, используется PDM-

система, все сходные материалы берутся из нее в готовом виде. Информационное наполнение ИЭТР происходит главным образом на стадиях разработки и производства изделия, а применение ИЭТР – на стадиях эксплуатации и типизации.

Применение ИЭТР по сравнению с традиционными бумажными техническими руководствами позволяет получить следующие преимущества:

- сократить сроки освоения новых изделий потребителем;
- существенно упростить процедуру обновления информации;
- встроить систему диагностики неисправностей.

Различные решения в способах представления данных в электронном виде приводят к разным вариантам разделения технических руководств по функциональным признакам. Существует несколько основных классов ИЭТР, характеризующиеся определенными функциональными возможностями, а также стоимостью реализации. Причем существует прямая зависимость между классом ИЭТР и уровнем сложности его разработки. В общем случае использование определенного класса ИЭТР зависит от сложности изделия, финансовых и технических возможностей заказчика.

На практике выделяют пять основных классов ИЭТР [3, 4]:

- индексированные цифровые изображения документов;
- линейно-структурированные ИЭТР (IETP-L);
- иерархически-структурированные ИЭТР (IETP-D);
- интегрированные ИЭТР (IETP-I);
- WEB-ориентированные ИЭТР (IETP-X).

Приведенная классификация систем ИЭТР показывает, что с ростом функциональных возможностей системы, а вместе с ним и удобства пользования, возрастает стоимость разработки такой системы. На практике стоимость разработки является ключевым фактором при выборе оптимального уровня функциональности ИЭТР.

Литература

1. **Компьютерно-интегрированные** производства и CALS-технологии в машиностроении: учеб. пособие / под ред. Б.И. Черпакова. – М.: ГУП ВИМИ, 1999. – 512 с.
2. **Дубова, Н.** Словарь терминов по PDM / Н. Дубова, И. Островская // Открытые системы. – 1997. – № 3.
3. **Информационная** поддержка жизненного цикла изделий машиностроения: принципы, системы и технологии CALS/ ИПИ / А. Н. Ковшов [и др.]. – М.: Академия, 2007. – 304 с.
4. **ИЭТР** [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.aerospace-defence.com/index.php/pages/technologies/ietp/ietp>, свободный. – Яз. англ.

УДК 621.9.01

И.И. ВЕДЕРНИКОВА, к.т.н., доцент,
С.А. ЕГОРОВ, к.т.н., профессор,
(ИГЭУ)

Лазерное упрочнение поверхностей деталей машин

Применение непрерывного излучения мощных лазеров позволяет увеличить глубины зоны до 3 мм. На степень упрочнения влияет как вид легирующего элемента, так и состав матричного материала.

Большинство лазерных Лазерное легирование отличается от обычного лазерного упрочнения тем, что повышение твердости и других эксплуатационных показателей достигается не только за счет структурных и фазовых превращений в зоне лазерного воздействия, но и путем создания нового сплава с отличным от матричного материала химическим составом. Тем не менее, в основе этого нового сплава лежит матричный материал.

Размеры легирующей зоны зависят в основном от энергетических параметров излучения и толщины покрытия из легирующего материала. Как правило, легирование импульсным излучением обеспечивает меньшие размеры легирующей зоны, чем при обработке непрерывным излучением. В частности, если при импульсной обработке глубина зоны достигает 0,3—0,7 мм, то технологических процессов основывается на тепловом воздействии лазерного излучения на непрозрачные среды. Количество поглощённой энергии зависит от оптических и теплофизических свойств материалов, особенно для металлов и с увеличением длины волны излучения уменьшается.

Стадию нагрева материалов излучением лазера следует считать основной при анализе и исследовании ряда технологических процессов, выполняемых без разрушения материалов. Анализ этой стадии для других технологических процессов, основанных на удалении обрабатываемого материала, позволяет определить условия разрушения, например, температурную границу и соответствующий ей поток излучения лазера. После перехода энергии излучения лазера в теплоту начинается процесс нагрева материала. Поглощённая световая энергия передаётся от зоны воздействия «холодным» слоям с помощью различных механизмов теплопроводности, из которых для металлов в интервале температур от сотен до десятков тысяч градусов основным является электронная теплопроводность.

При обработке импульсным лазерным излучением поверхности материала обрабатываемая поверхность представляет собой совокупность отдельных зон лазерного воздействия. Поэтому от формы пятна фокусировки, степени заполнения поверхности зонами лазерного воздействия, частоты следования импульсов f зависит эффективность и производительность процесса обработки. В зависимости от характера перемещения лазерного луча в системе координат можно реализовать

два типа технологических схем импульсной обработки: линейную и плоскостную схемы. При реализации импульсной закалки плоской поверхности в ряде случаев эффективна схема упрочнения, которая не предполагает взаимного перекрытия пятен $S_x=S_y=d$. Однако в этом случае около 20% площади поверхности остается неупрочненной. Если наличие необлученных участков не допускается, то целесообразно применять схему $S_x=S_y=0,7d$. Эта схема обеспечивает высокую степень заполнения поверхности пятнами упрочнения (96%). В случае повышенных требований к равномерности глубины упрочнения поверхности рекомендуется использовать режимы импульсной обработки с коэффициентом перекрытия $K_n < 0,6$.

Целью исследований являлось изучение возможности лазерного упрочнения поверхности детали, изготовленной из алюминиевого сплава Д16 с износостойким оксидным покрытием. При воздействии лазерного излучения интенсивностью ниже 30 кВт/см^2 видимых изменений на поверхности не наблюдается. Внешние изменения начинаются при q свыше 30 кВт/см^2 , поверхность становится матовой и плохо рассеивает свет. На некоторых участках поверхности темный цвет покрытия изменяется на белый, плотность и толщина покрытия уменьшаются. Это свидетельствует о начале термодеструкции покрытия (рис. 1.). При q свыше 100 кВт/см^2 на поверхности образуется зона оплавления. Она имеет форму эллипсоидного кратера размерами 3÷5 мм с углублением по середине и натеками расплавленного металла по краям (рис. 2, а). Явно видны закалочные трещины (рис. 2, а).

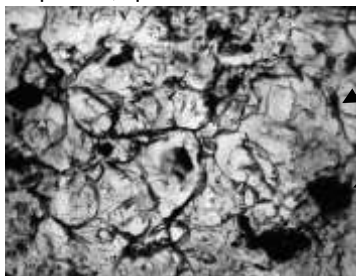
Структура в зоне оплавления является типичной для сплавов, закаленных из расплавленного состояния при лазерной обработке. Она представляет собой мелкие ячейки светлого поля, очерченные темным полем размером несколько микрометров (рис. 2, б). Степень травимости различных макроучастков расплава различна, что свидетельствует о химической неоднородности легированного слоя. Исследования показали существенную зависимость структуры и микротвердости слоя от интенсивности импульса излучения. Это наглядно видно на образцах, обработанных с высокой интенсивностью излучения – свыше 100 кВт/см^2 , у которых образовался заметный кратер. По мере продвижения к кратеру микротвердость покрытия изменяется.

Средняя микротвердость оксидного слоя без лазерной обработки – $350\div 400 \text{ HV}$. Однако на расстояниях $100\div 200 \text{ мкм}$ до начала кратера микротвердость покрытия существенно возростала до $600\div 700 \text{ HV}$. После оплавления покрытия микротвердость поверхности резко падала до значений $140\text{--}150 \text{ HV}$, что примерно соответствует уровню микротвердости основного материала – 123 HV .

Наличие зоны с повышенными механическими свойствами покрытия показало, что при обработке поверхности лазерным излучением требуемой интенсивности можно достичь упрочнения оксидного покрытия. Оптимальным режимом упрочняющей лазерной обработки является

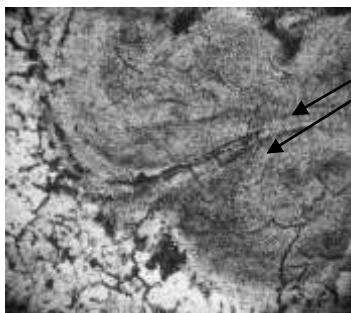
$10 \div 15 \text{ кВт/см}^2$. При этом максимальное увеличение микротвердости достигает 700 HV. Причинами повышения микротвердости при лазерной обработке являются, по всей видимости, изменения во внутреннем строении оксидного слоя за счет высокоскоростной закалки поверхности.

Поверхность анодной пленки пористая, что снижает её износостойкость при абразивном изнашивании. При воздействии лазером происходит передача теплоты в глубину металла. В результате алюминий, выплавляясь, поднимается вверх по капиллярам и заливает их, что приводит к получению беспористой, прочной и износостойкой поверхности детали.



Поры поверхности анодирования и лазерного излучения

Рис.1. Структура покрытия после лазерной обработки: ув. $\times 10600$ – электронная микроскопия



Закалочные трещины

а)



б) дисперсно-упрочненный слой

Рис. 2. Структура сплава Д16 в зоне лазерного оплавления миллисекундным импульсом интенсивностью 200 кВт/см^2 : а) ув. $\times 400$, б) ув. $\times 1000$

Влияние коронного разряда на эффективность полимерсодержащей СОТС при обработке металлов резанием

Одним из более важных направлений повышения работоспособности режущих инструментов и совершенствование процессов обработки металлов резанием является широкое применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС).

Интенсификация процессов механической обработки металлов, внедрение высокопроизводительного оборудования, автоматизированных процессов, широкое исследование конструкционных материалов приводят к тому, что обработка металлов резанием зачастую становится невозможной без применения эффективных СОТС. В связи с разнообразием требований, предъявляемых к СОТС для механической обработки металлов в них вводят компоненты различного функционального действия. Применение в качестве присадок высокомолекулярных соединений, по мнению многих авторов, способствует улучшению смазочных свойств СОТС. Из анализа различных результатов исследований по данной проблеме следует отметить направление по использованию в качестве эффективных присадок к СОТС высокомолекулярных соединений благодаря их глубокому и многостороннему воздействию на физико-химические и механические процессы и явления, происходящие в зоне резания [1]. По данной проблеме проведено немало исследований, но она не исчерпывает себя полностью.

Установлено, что процесс образования химически активных компонентов смазочной среды (атомов, ионов, свободных радикалов, ион-радикалов) можно интенсифицировать различными внешними энергетическими воздействиями на среду. Эти компоненты СОТС, подвергнутые предварительной активации внешними энергетическими воздействиями получают дополнительную энергию, что переводит их в метастабильное состояние. Это состояние характеризуется ослаблением или частичным нарушением внутримолекулярных связей, т.е. стимулируется деструкция СОТС с образованием активных атомов, радикалов и групп. Именно эти активные элементы образуют в зоне контакта пленки, которые в свою очередь экранируют адгезионное взаимодействие поверхностей инструмента и обрабатываемого материала [2,3].

Отметим, что согласно [3], на процесс образования радикалов влияет присутствие ионизирующих излучений или наличие заряженных частиц в компонентах СОТС. Наличие ионизирующего излучения при соответствующих условиях (температура, каталитическое свойство металлов, наличие свободных валентностей на поверхности) может быть мощным генератором свободных радикалов.

В качестве усиления смазочного химического действия полимерсодержащих СОТС можно применить физической метод активации, а именно активацию коронным разрядом.

В качестве смазочно-охлаждающей технологической среды (базовой СОТС) использовался 5% раствор ЭФТОЛ (ТУ 0258-137-05744685-00). Для изучения влияния присадок полимеров на процесс обработки металлов резанием были взяты следующие вещества: полиэтиленгликоль, поливиниловый спирт (табл.1).

Таблица 1. Физико-химические свойства используемых полимеров

Название полимера	Химическая формула	Молекулярная масса	Плотность г/см ³	Температура деструкции, °С
Полиэтиленгликоль	HO-(CH ₂ CH ₂ O) _n -H	1000	1.12÷1.21	245
Поливиниловый спирт	[-CH ₂ CH(OH)-] _n	10000	1,25	230

Эффективность воздействия активированных СОТС с присадками полимеров на процессы лезвийной обработки изучалось при точении стали 45 упорнопроходными резцами из быстрорежущей стали Р6М5.

В результате проведенных исследований установлено, что действие коронного разряда позволяет повысить эффективность действия СОТС содержащих в своем составе полимеры, тем самым увеличить стойкость режущего инструмента и уменьшить шероховатость обработанной поверхности (рис.1-2).

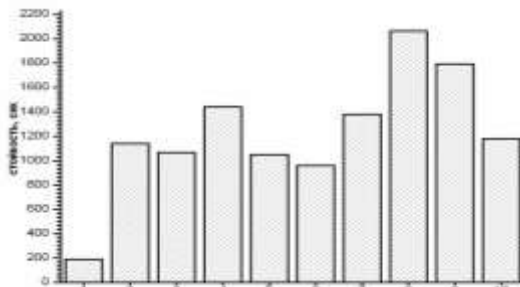


Рис. 1. Стойкость упорнопроходных резцов из быстрорежущей стали Р6М5 при точении стали 45 под действием коронного разряда различного знака на полимерсодержащие СОТС ($v=1,1$ м/с, $S=0,1$ мм/об, $t=0,5$ мм): 1 - всухую; 2 - эфтол; 3 – Эфтол (+); 4-Эфтол (-); 5 - Эфтол+ПВС; 6 - Эфтол+ПЭГ; 7 - эфтол+ПВС (+); 8 - Эфтол+ПВС (-); 9 - Эфтол+ПЭГ (-); 10 - Эфтол+ПЭГ (+)

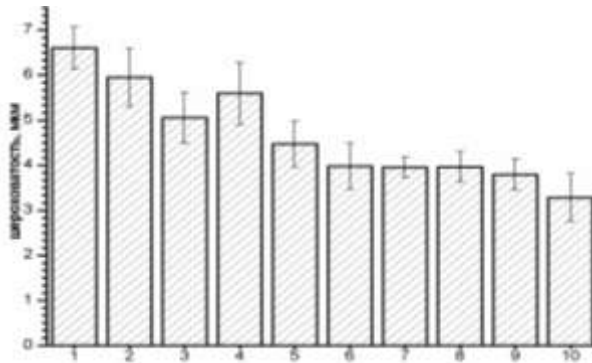


Рис. 2. Шероховатость поверхности стали 45 при использовании резцов из быстрорежущей стали Р6М5 под действием коронного разряда различного знака на полимерсодержащие СОТС ($v=1\text{ м/с}$, $S=0,1\text{ мм/об}$, $t=0,5\text{ мм}$): 1 - всухую; 2 - эфтол; 3 - Эфтол+ПЭГ; 4 - Эфтол+ПВС; 5-Эфтол (-); 6 - Эфтол(+); 7 - Эфтол+ПЭГ (-); 8 - Эфтол+ПЭГ(+); 9 - Эфтол+ПВС(+); 10 - Эфтол+ПВС(-).

Литература

1. **Косаченко М.В.**, к.х.н. Раздьяконова Г.И. Роль композиционных материалов в смазочно-охлаждающих жидкостях для металлообработки. Омский филиал РосЗИТЛП, РМЗ ОАО «Омскшина», ООО ТД «Промсмазки»
2. **Латышев В.Н.**, Наумов А.Г., Минеев Л.И., Демьяновский Н.А Особенности формирования вторичных структур на трибосопряженных металлических поверхностях с участием ионизированного воздуха// Металлообработка. 2007. № 1. С. 9-12.
3. **Латышев В.Н.** Повышение эффективности СОЖ. М.: Машиностроение, 1985. 64 с.

УДК 621.9

А.А. РАЗУМОВ, аспирант;
А.Г. НАУМОВ, д.т.н., с.н.с.
(ИвГУ)

О спектральных исследованиях плазмы коронного разряда

На обработку материалов резанием приходится от 20% до 80% трудоемкости, затрачиваемой на готовую продукцию. Вследствие этого имеет место большой интерес к физическим и химическим аспектам процесса резания, износостойкости режущего инструмента, качеству обработанной поверхности. При этом установлено, что преобладающим видом износа является адгезионный, который может проявляться как независимый механизм, так и представлять собой первопричину абра-

живного и абразивно-химического изнашивания, пластического сдвига инструментального материала и диффузионного износа.

Как показывает практика, применение смазочно-охлаждающих технологических средств (СОТС) при металлообработке, оказывает эффективное влияние на повышение стойкости инструментов. Физико-химический механизм действия СОТС достаточно сложен и, в основном, обусловлен изменением условий взаимодействия поверхностей режущего клина инструмента с обрабатываемым материалом, что выражается, прежде всего, в изменении условий контакта.

Постоянно ужесточаются требования защиты окружающей среды и обслуживающего персонала от техногенных воздействий выдвигают на первое место безопасность СОТС и простоту ее утилизации. В настоящее время машиностроение занимает четвертое место среди загрязнителей гидросферы — после черной металлургии, химической и целлюлозно-бумажной промышленности. Разработка новых составов СОТС и способов их подачи в зону резания, позволила бы улучшить экологию процессов металлообработки без ухудшения технологических характеристик по сравнению с традиционно используемыми составами смазочно-охлаждающих композиций.

В последнее время широкое распространение в области металлообработки с использованием экологически чистых СОТС получили технологии с применением ионизированного воздуха. Работами по получению и применению ионизированного воздуха в качестве экологически чистой СОТС, занимаются как в России, а также за рубежом (Япония, Великобритания и т.д.). Существенным недостатком этих работ является то, что все работы основаны на непосредственном применении ионизированной среды в качестве СОТС, без достаточного изучения физико-химических аспектов взаимодействия воздушной плазмы с поверхностью металлов. Опыт применения метода *сухого электростатического охлаждения* при резании показывает, что использование ионизированного воздуха значительно повышает стойкость инструмента и влияет на качество обработанных поверхностей. Для создания ионизированных и озонированных СОТС в большинстве случаев используют коронный разряд.

Природа повышения стойкости режущего инструмента в присутствии коронного разряда до конца не изучена. Существует лишь ряд гипотез, объясняющих причину увеличения стойкостных характеристик инструмента.

Состав технологической среды, ионизированной коронным разрядом, весьма сложен и зависит от полного набора климатических и физико-химических параметров среды (состав воздуха, его температура, давление, влажность, загрязненность промышленной и биологической пылью и т.д.). Основой технологических сред, зачастую, являются воздух производственных помещений, имеющий сложный состав. Каждая из составных частей воздуха, прошедшая обработку электрическим

полем, видоизменяется и требуется анализ их влияния на процессы, протекающие в контактной зоне. Список элементарных процессов протекающих в плазме коронного разряда в воздухе включает более 300 реакций, из которых, однако, можно выделить несколько небольших групп, определяющих состав конечных продуктов коронного разряда. Именно эта часть химически активной плазмы воздействует на процессы резания и с достаточно высокой эффективностью.

В соответствии с этим целью работы является изучение структуры воздушной плазмы образованной в результате действия электрических разрядов и влияния составляющих ионизированного воздушного потока на изменение трибологического состояния контактной зоны при резании металлов. С целью выяснения механизмов и кинетики химических реакций, протекающих в плазме коронного разряда в воздухе, а также элементного качественного и количественного её состава предложены спектральные исследования свечения униполярной отрицательной и положительной корон.

Нашими исследованиями проведено изучение и анализ спектров свечения положительной короны в воздухе в диапазоне 310-400 нм (рис.1), отрицательной короны в том же диапазоне длин волн (рис. 2). Как на положительной так и на отрицательной короне были зарегистрированы характерные линии свечения второй положительной системы (ВПС) азота и первой отрицательной системы (ПОС) азота (концентрация, которого в воздухе ~78%).

Проведение дополнительных спектральных исследований плазмы коронного разряда позволит прояснить физику явлений при применении технологий с применением ионизированного воздуха, а также выявить наиболее эффективные способы получения технологических сред для достижения наилучших результатов повышения стойкости режущего инструмента и обрабатываемой поверхности.

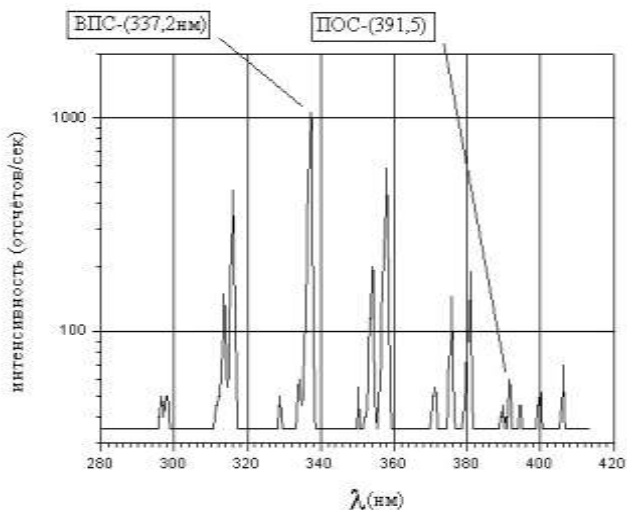


Рис. 1. Спектр положительной короны в воздухе при атмосферном давлении $U = +8.3 \text{ kV}$

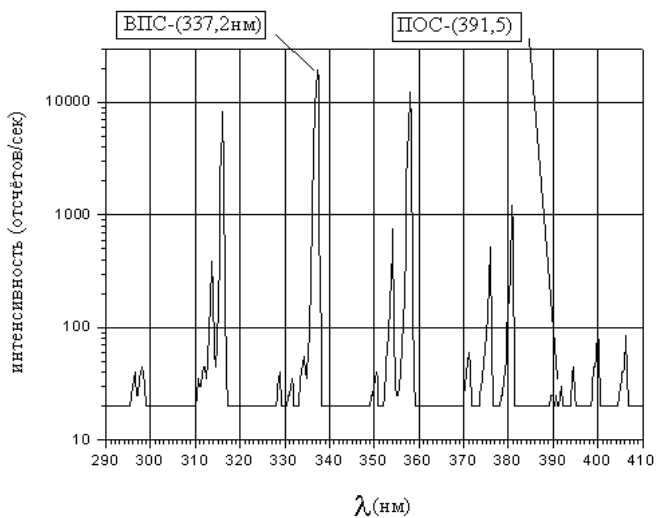


Рис. 2. Спектр отрицательной короны в воздухе при атмосферном давлении $U = -5.3 \text{ kV}$

СЕКЦИЯ «МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ»

УДК 004.942

П. М. ПОКЛАД, аспирант,
Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д-р физ.-мат. наук, профессор
(ИГЭУ)

Виртуальная система симуляции для исследования импульсно-фазовых электроприводов

Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 предназначен для проведения имитационного эксперимента на виртуальной модели импульсно-фазового электропривода с возможностью выбора структуры и элементов системы. Результаты моделирования представляются в виде графиков переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик, которые могут быть сохранены на диск, напечатаны, скопированы в буфер обмена. Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 выполнен в виде отдельного исполняемого exe-модуля и конфигурационного ini-файла.

В состав комплекса для его функционирования в едином информационном пространстве под управлением графического интерфейса пользователя включены следующие элементы:

- имитационная система;
- база моделей;
- архив результатов;
- программные средства расчета и построения графиков.

Общая структура комплекса, с указанием основных функций и направлений движения информации, представлена на рис. 1.

Пользовательский интерфейс представляет собой инструмент формирования структурной организации и параметризации элементов системы управления ИФЭП с последующим анализом и обработкой полученных графических данных. Имеющиеся средства в режиме графического диалога позволяют:

- создавать структурные модели многофункциональных импульсно-фазовых электроприводов;
- организовывать пользовательский архив построенных схем и результатов исследований рассматриваемых систем.

База моделей является основной частью информационного наполнения программы, содержащим в своем составе программно-реализованные алгоритмы функционирования основных элементов цифровых систем на базе контура фазовой синхронизации, таких как

двигатель, силовой преобразователь, датчик обратной связи, фазовый дискриминатор, регулятор.

Архив результатов также является частью информационного обеспечения программы. Его назначение заключается в представлении возможности сохранения в виде графических и текстовых файлов результатов экспериментов.

Для практической реализации элементов импульсно-фазовых электроприводов предусмотрено функционирование программы в следующих режимах:

- имитационного эксперимента;
- предварительного задания структуры и параметрирования элементов системы управления;
- результатов экспериментов;
- сохранения накопленной информации.

Программа позволяет копировать в буфер обмена, печатать и сохранять на диск результаты моделирования, представленные в виде графиков переходных процессов и амплитудно-частотных характеристик.

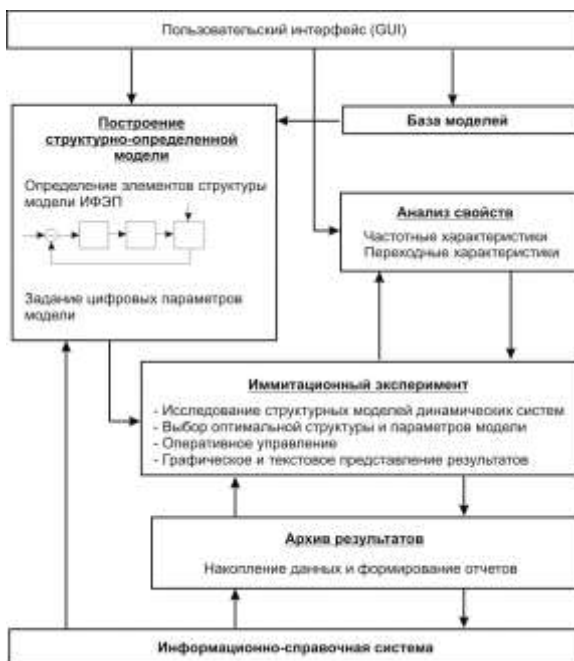


Рис. 1. Блок-схема решаемых задач и информационных потоков комплекса Simulator PPL Drive 2.0

Среди основных функциональных возможностей комплекса Simulator PPL Drive 2.0 можно выделить следующие:

- исследование пусковых режимов электропривода;
- исследование режимов ступенчатого регулирования скорости и изменения момента нагрузки на валу двигателя;
- исследование работы электропривода при синусоидальных и импульсных возмущениях;
- снятие частотных характеристик;
- снятие переходных характеристик по угловой скорости, моменту нагрузки, току якоря, фазовой ошибки.

Программный комплекс Simulator PPL Drive 2.0 базируется на быстродействующей модели электропривода, основанной на использовании численно-аналитического метода пространства состояний, позволяющего проводить его исследования, результаты которых соответствуют реальным режимам работы электропривода.

Программный комплекс имеет многооконный интерфейс, где каждое диалоговое окно отвечает за ввод/ вывод определенной информации в процессе моделирования электропривода. В состав интерфейса программы входят 3 основных окна:

- Главное окно включает в себя графическую интерпретацию (мнемосхему) структуры импульсно-фазового электропривода с возможностью задания настроек схемы ИФЭП.

Окно "Графики переходных процессов" позволяет выводить графики изменения угловой скорости, момента, тока двигателя и фазового рассогласования частотных сигналов задания и обратной связи.

- Окно "График АЧХ" позволяет строить графики АЧХ и оценивать частотные свойства электропривода. Для управления построением графиков АЧХ используется строка меню.

Для управления симуляцией используются команды меню и элементы мнемосхемы ИФЭП. Исходные параметры модели электропривода хранятся в файле data.ini, что упрощает подготовку исходных данных.

Программный комплекс позволяет проводить исследование импульсно-фазового электропривода с коллекторными двигателями постоянного тока, бесконтактными синхронными двухфазными электрическими машинами с постоянными магнитами на роторе и асинхронными двигателями.

В качестве датчика положения вала в системе используются измерительные преобразователи с импульсными выходными сигналами:

- фотоимпульсные преобразователи перемещения;
- синусно-косинусные вращающиеся трансформаторы.

В качестве силовых преобразователей возможно применение аналоговых усилителей мощности и широтно-импульсных модуляторов с симметричным и несимметричным законами управления.

В качестве регуляторов возможно применение классического линейного, нечетких с дефазификацией по методу эквивалентной площади и центром масс.

Сигнал задания может быть представлен в виде постоянного, синусоидального и прямоугольного.

Система управления электропривода может быть реализована как на дискретной логике, так и на базе средств микропроцессорной техники с преобразованием широтно-импульсного сигнала в цифровой код посредством ВИП с заданной дискретностью преобразования.

УДК 004.4'234

П.М. ПОКЛАД, аспирант,
Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д.ф.-м.н., профессор
(ИГЭУ)

Разработка электронной системы отображения технического руководства класса IЭТР-D

Для информационной поддержки на этапе эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов была разработана система интерактивных электронных технических руководств (ИЭТР) PPL Drive Suite 2.0, состоящая из структурированного хранилища данных и двух программных модулей для редактирования и просмотра руководств. ИЭТР – это техническое руководство, предоставляемое заказчику в электронной форме либо на оптическом носителе (DVD, CD), либо при помощи сети Интернет со специальным программным средством – электронной системой отображения.

Разработанная программа представляет собой электронную систему отображения ИЭТР с развитым поисковым аппаратом и расширенными функциями печати, рассылки писем и удобной навигации по содержанию руководства. Основной целью разработки программы является обеспечение эффективной работы с технической информацией на стадии эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов.

Разработанная электронная система отображения работает в интерактивном режиме и позволяет:

- наглядно представить принцип действия изделия с помощью средств мультимедиа;
- обеспечить доступ к любой информации о компонентах изделия;
- получить информацию о технологических процессах обслуживания и ремонта непосредственно в процессе их выполнения;
- точно показать физическую взаимосвязь изделия с другими компонентами системы;

- получить информацию для формирования заявки на поставку запасных частей.

Программа включает в себя ряд полезных функций:

- быстрый поиск информации при минимальных исходных данных;
- возможность проведения расширенного поиска;
- вывод информации на принтер в виде отчетов;
- организация автоматизированной рассылки электронных писем;
- возможность сравнения комплектующих изделий по основным параметрам;
- быстрый сбор информации для заказа запасных частей;
- ускоренный переход по взаимосвязанным информационным позициям благодаря системе гиперссылок;
- ведение контекстно-зависимого блокнота для каждой информационной позиции руководства;
- одновременная работа нескольких пользователей;
- быстрое обновление информации руководства через Интернет;
- динамическое открытие Интернет-ресурсов;
- увеличение гипертекста при полноэкранном просмотре;
- быстрое отображение информации за счет поэлементной обработки запросов.

Программа предназначена для специалистов, участвующих в процессе эксплуатации импульсно-фазовых электроприводов.

Обобщенная структурно-функциональная схема программы Content Browser PPL Drive Suite 2.0 приведена на рис. 1.

При запуске программы на экран монитора выводится информационное окно-заставка со статусом загрузки данных. При загрузке программы сначала происходит автоматическое обращение к базе данных для считывания информации, затем идет построение древовидной структуры данных в главном окне программы. Доступ к графическим и гипертекстовым данным происходит "на лету", в виде обращения к ресурсу resource.dat и чтения из него содержимого запрошенного файла во временный каталог для дальнейшего отображения на экране. По умолчанию в качестве временного каталога используется системный путь C:\Windows\Temp.

Главным информационным навигатором по техническому руководству служит древовидная структура данных, которая делает навигацию легкой, быстрой и наглядной, а функция истории позволяет последовательно перемещаться по уже просмотренным позициям.

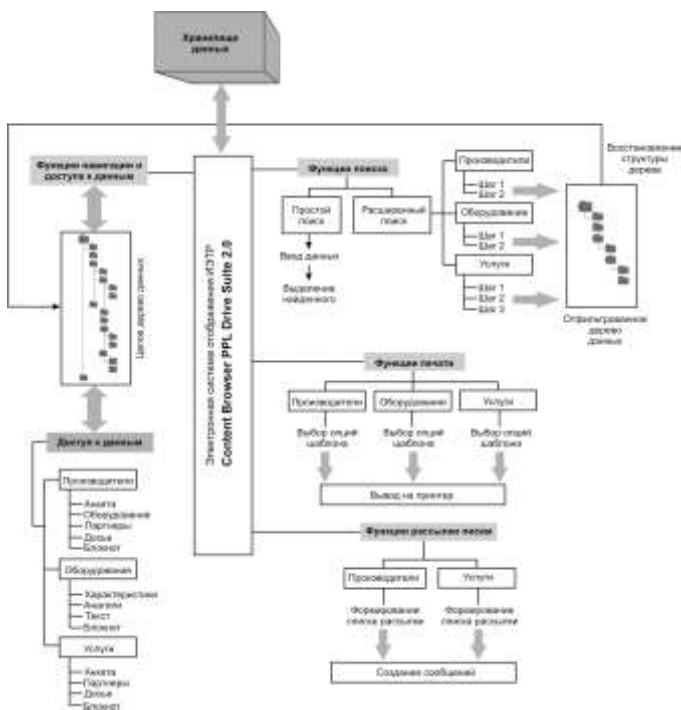


Рис. 1. Структурно-функциональная схема программы Content Browser PPL Drive Suite 2.0

Для поддержания актуальности представленной технической и справочной информации предусмотрена возможность обновления данных с помощью Интернета. Для этого необходимо быть подписчиком специализированной рассылки на сайте <http://www.cdminfo.ru> или периодически самостоятельно следить за обновлениями. Для успешного обновления данных необходимо перейти в каталог с установленной программой, предварительно закрыв ее. Далее, получив обновленные версии двух файлов (`electroprivod.mdb` и `resource.dat`), скопировать их в директорию с установленной программой, заменив имеющиеся файлы. Не рекомендуется использовать разные версии файлов `electroprivod.mdb` и `resource.dat`, так как при этом возможно некорректное отображение данных на экране.

В программе предусмотрены функции быстрого и расширенного поиска. Функция быстрого поиска предназначена для ускоренного поиска информации в случае минимально известного набора критериев для поиска. Поиск осуществляется путем обнаружения вхождения слово-

формы в имеющейся информации. После нахождения соответствия введенному значению программа активизирует позицию в иерархическом дереве для отображения найденного элемента. Функция расширенного поиска реализована в виде многостраничного окна "Мастер поиска". После указания известных параметров поиска и активизации поискового аппарата программа во время отбора необходимой информации и динамического перестроения иерархической структуры дерева отображает диалоговое окно процесса поиска. Результаты расширенного поиска отображаются в обновленном иерархическом дереве. Для возврата к отображению полной структуры дерева необходимо нажать на панели инструментов "утопленную" кнопку "Фильтр".

В программе предусмотрены функции создания печатных отчетов. На принтер могут быть выведены визитные карты производителей, поставщиков и прочих организаций с указанием производимой продукции или оказываемых услуг соответственно. Также предусмотрен вывод отчетов по оборудованию, состоящих из наименования, производителя, основных технических характеристик, фотографии, перечня аналогов и пользовательских данных.

Развитые функциональные возможности программы Content Browser PPL Drive Suite 2.0 создают предпосылки для расширения имеющейся информации по оборудованию, производителям и организациям, оказывающим различные виды услуг, для создания мощного средства информационной поддержки для широкой номенклатуры оборудования.

УДК 621.321

А.Л. АРХИПОВ,
Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д.ф.-м.н., профессор
(ИГЭУ)

Математическое моделирование аэродинамики лесного массива на основе двумерной математической модели леса

В настоящее время усилился интерес к математическому моделированию лесных пожаров. Лесной пожар – сложный физический процесс, на протекание которого влияют множество факторов. Одним из таких факторов являются условия прохождения потоков воздуха через лесной массив. Проходя через лес, воздух встречает на своем пути препятствия – кроны и стволы деревьев. Это влияет на поле скоростей потоков воздуха и на распределение давления.

В данной работе используется двумерная модель лесного массива. Рассмотрим дифференциальные уравнения, описывающие движение воздуха через лесной массив:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} &= 0, \quad \frac{\partial \rho u}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u^2 + \rho RT)}{\partial x} + \frac{\partial \rho uv}{\partial y} = 2\rho\omega_z v - \rho c_d s u \sqrt{u^2 + v^2} \\ \frac{\partial \rho v}{\partial t} + \frac{\partial \rho uv}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v^2 + \rho RT)}{\partial y} &= -2\rho\omega_z u - \rho c_d s v \sqrt{u^2 + v^2} \\ \frac{\partial \rho E}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u E + \rho u RT)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v E + \rho v RT)}{\partial y} &= 0, \quad R = (\gamma - 1)c_v \end{aligned}$$

где ρ – парциальная плотность, T – температура, E – удельная энергия, u, v – скорости воздуха по Ox и Oy , R – индивидуальная газовая постоянная для сухого воздуха = 287,058 Дж/(кг·К), c_d – эмпирический коэффициент сопротивления растительности, s – удельная поверхность лесной растительности, ω_z – проекция вектора угловой скорости вращения Земли на вертикаль в данном месте, γ – показатель адиабаты = 1,4, c_v – теплоемкость воздуха = 717 Дж/(кг·К).

Рассмотрим разностную схему расчета. Расчет ведется на прямоугольной двумерной сетке, в каждый момент времени решаются задачи, начальными данными в которых служат результаты, полученные в предыдущий момент времени.

1 этап. Перенос газовой фазы.

$$\begin{aligned} \frac{\partial F}{\partial t} + \frac{\partial G(F)}{\partial x} + \frac{\partial H(F)}{\partial y} &= 0 \\ F &= \begin{pmatrix} \rho \\ \rho u \\ \rho v \\ \rho E \end{pmatrix}, \quad G(F) = \begin{pmatrix} \rho u \\ \rho(u^2 + 287.058T) \\ \rho uv \\ \rho u(E + 287.058T) \end{pmatrix}, \quad H(F) = \begin{pmatrix} \rho v \\ \rho v u \\ \rho(v^2 + 287.058T) \\ \rho v(E + 287.058T) \end{pmatrix} \end{aligned}$$

где τ – шаг по времени, n – момент времени, h – шаг сетки, i – индекс по оси Ox , $i = 2, \dots, N_1 - 1$, N_1 – количество точек по оси Ox , j – индекс по оси Oy , $j = 2, \dots, N_2 - 1$, N_2 – количество точек по оси Oy .

$$\begin{aligned} F_{ij}^{n+1} &= F_{ij}^n - \frac{\tau}{h} \left(G_{i+\frac{1}{2}j}^n - G_{i-\frac{1}{2}j}^n + H_{i,j+\frac{1}{2}}^n - H_{i,j-\frac{1}{2}}^n \right) \\ G_{i+\frac{1}{2}j}^n &= \frac{G \left(F_{i+\frac{1}{2}j}^L \right) + G \left(F_{i+\frac{1}{2}j}^R \right)}{2} - D_{i+\frac{1}{2}j}^u \frac{F_{i+\frac{1}{2}j}^R - F_{i+\frac{1}{2}j}^L}{2} \end{aligned}$$

$$G\left(F_{i+\frac{1}{2},j}^L\right) = \begin{pmatrix} \rho_{i+\frac{1}{2},j}^L u_{i+\frac{1}{2},j}^L \\ \rho_{i+\frac{1}{2},j}^L \left(\left(u_{i+\frac{1}{2},j}^L \right)^2 + 287.058 T_{i+\frac{1}{2},j}^L \right) \\ \rho_{i+\frac{1}{2},j}^L u_{i+\frac{1}{2},j}^L y_{i+\frac{1}{2},j}^L \\ \rho_{i+\frac{1}{2},j}^L u_{i+\frac{1}{2},j}^L \left(\frac{\left(u_{i+\frac{1}{2},j}^L \right)^2 + \left(y_{i+\frac{1}{2},j}^L \right)^2}{2} + 1004.058 T_{i+\frac{1}{2},j}^L \right) \end{pmatrix}$$

$$D_{i+\frac{1}{2},j}^u = \max \left(\left| u_{i+\frac{1}{2},j}^L \right| + \sqrt{\gamma R T_{i+\frac{1}{2},j}^L}, \left| u_{i+\frac{1}{2},j}^R \right| + \sqrt{\gamma R T_{i+\frac{1}{2},j}^R} \right)$$

Аналогичные

формулы

для

$$H_{i,j+\frac{1}{2}}^n, G\left(F_{i+\frac{1}{2},j}^R\right), H\left(F_{i,j+\frac{1}{2}}^L\right), H\left(F_{i,j+\frac{1}{2}}^R\right), D_{i,j+\frac{1}{2}}^v.$$

Для $\varphi = (\rho, u, v, T)$:

$$\varphi_{i+\frac{1}{2},j}^L = \varphi_{i,j} + \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i \frac{h}{2}, \quad \varphi_{i+\frac{1}{2},j}^R = \varphi_{i+1,j} - \left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_{i+1} \frac{h}{2}$$

$$\left(\frac{\partial \varphi}{\partial x} \right)_i = \begin{cases} 0, \text{ если } \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j}}{h} \text{ и } \frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i-1,j}}{h} \text{ разных знаков} \\ \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j}}{h}, \text{ если } \left| \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j}}{h} \right| \leq \left| \frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i-1,j}}{h} \right| \\ \frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i-1,j}}{h}, \text{ если } \left| \frac{\varphi_{i+1,j} - \varphi_{i,j}}{h} \right| > \left| \frac{\varphi_{i,j} - \varphi_{i-1,j}}{h} \right| \end{cases}$$

$$\varphi_{\frac{1}{2},j}^L = \varphi_{\frac{1}{2},j}^L, \quad \varphi_{N_1-\frac{1}{2},j}^R = \varphi_{N_1-\frac{1}{2},j}^R \quad i = 2, \dots, N_1 - 1$$

Аналогичные формулы выписываются для

2 этап.

Вычисление

значений:

$$u = \frac{\rho u}{\rho}, \quad v = \frac{\rho v}{\rho}, \quad E = \frac{\rho E}{\rho}, \quad T = \frac{1}{c_v} \left(E - \frac{u^2 + v^2}{2} \right)$$

3 этап. Учет сопротивления растительности потоку воздуха и изменения импульса за счет ускорения Кориолиса.

Скорректированные скорости u и v находятся из решения системы:

Мы:

$$\frac{u^{n+1} - u^n}{\tau} = -C_d S \sqrt{(u^n)^2 + (v^n)^2} u^{n+1} + 2\omega_z v^{n+1}$$

$$\frac{v^{n+1} - v^n}{\tau} = -C_d S \sqrt{(u^n)^2 + (v^n)^2} v^{n+1} - 2\omega_z u^{n+1}$$

Здесь используется неявная схема, что существенно повышает устойчивость вычислений.

$$\text{Условие устойчивости схемы: } \max_{i,j} (|u_{i,j}| + 20.047 \sqrt{T_{i,j}}) < \frac{1}{4}$$

Поскольку решение стационарной задачи ищется методом установления, вычисления прекращаются, когда изменение скоростей u и v в каждой точке сетки становится меньше некоторого порога ϵ .

Для вычисления значений переменных ρ , u , v , T в каждой точке сетки используются данные из соседних точек. Можно вычислять значения переменных во многих точках сетки одновременно, что позволяет использовать для этой схемы массовый параллелизм. При большом числе точек сетки платформа NVIDIA CUDA [3], которая была использована для реализации схемы, позволила существенно увеличить скорость вычислений, за счет использования вычислительных блоков GPU, выполняющих одновременно большое количество потоков. А эффективность вычислений на NVIDIA CUDA тем выше, чем больше потоков задействовано одновременно.

Литература

1. Волкова Р.А., Кузьмин Р.Н., Кулешов А.А., Мышецкая Е.Е., Савенкова Н.П., Тишкин В.Ф. Математическое моделирование лесных пожаров. (Москва)
2. А. А. Кулешов, Е. Е. Мышецкая, "Математическое моделирование лесных пожаров с применением многопроцессорных ЭВМ", Матем. моделирование, 20:11 (2008), 28–34
3. Сайт: <http://www.ixbt.com/video3/cuda-1.shtml>
4. Сайт: <http://ru.wikipedia.org/wiki/CUDA>

А. С. МОЧАЛОВ, студент,
Ф. Н. ЯСИНСКИЙ, д. ф.-м. н., профессор
(ИГЭУ)

Распознавание большого количества образов при помощи нейронных сетей с использованием многопроцессорных систем.

Как известно нейронные сети не программируются в привычном смысле этого слова, они обучаются. Возможность обучения — одно из главных преимуществ нейронных сетей перед традиционными алгоритмами. Технически обучение заключается в нахождении коэффициентов связей между нейронами.

В случае если нейронная сеть должна обучаться распознаванию очень большого количества образов, то время обучения нейронной сети будет велико.

Представим, что нам нужно создать систему распознавания очень большого количества китайских иероглифов. Иероглифы сами по себе имеют сложное начертание, кроме того по условию системе придется различать очень большое количество иероглифов, соответственно время обучения нашей программной системы будет велико.

Однако есть возможность ускорить обучение системы путем применения распараллеливания с использованием многопроцессорных систем. Поступим следующим образом: распределим задачу по множеству нейронных сетей. Для этого каждую нейронную сеть обучим отличать ограниченный набор иероглифов. Условно говоря, каждая нейронная сеть станет «экспертом» по своей группе иероглифов. Давайте попробуем применить выбранный способ распараллеливания для задачи распознавания иероглифических символов.

Введем ряд терминов. *Область компетенции* процесса – группа иероглифов, которые обязана различать нейронная сеть на данном процессе. *Область вне компетенции* – группа иероглифов, которые нейронная сеть не должна различать, а лишь определять, что они не относятся к её *области компетенции*.

Условимся, что в параллельном алгоритме каждый процесс будет содержать одну нейронную сеть. Общая схема применения алгоритма для 3-х иероглифов при использовании 3-х нейронных сетей выглядит следующим образом (см. рис.1):

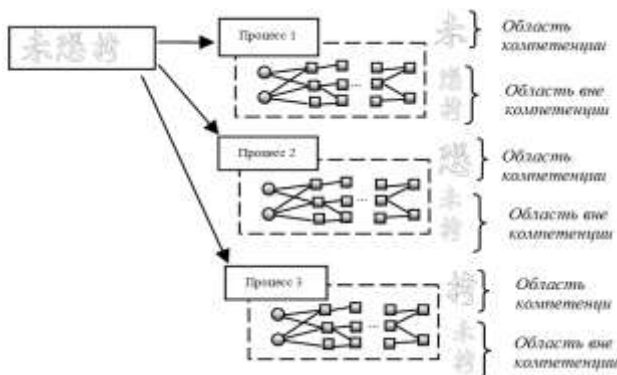


Рис. 1. Распределение образов по нейронным сетям в выбранном способе распараллеливания на примере задачи распознавания 3-х иероглифов

После обучения, каждая нейронная сеть на каждом процессе:

- Должна вернуть число от 0 до 1, как степень уверенности в том, что входной символ принадлежит её *области компетенции*;
- Должна вернуть код распознанного символа из своей *области компетенции*.

Процессы участвующие в распознавании можно условно разделить на 2 вида (рис. 2):

- Главный процесс;
- Рабочий процесс.

Распределением данных между процессами занимается особый выделенный процесс, который условно можно назвать главным процессом. После распределения данных каждый процесс выполняет работу над своим блоком данных и затем отсылает результат главному процессу, который обобщает все принятые данные и выносит решение о результате распознавания. В качестве результата распознавания главный процесс должен выбрать результат той нейронной сети, которая наиболее уверена в своём ответе.

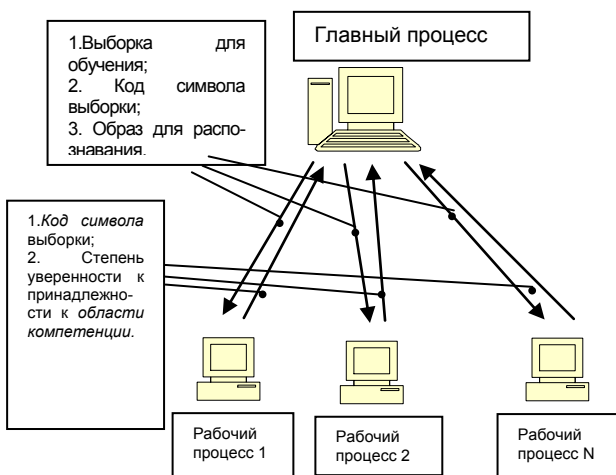


Рис. 2. Сообщая схема организации работы процессов в алгоритме

Роль главного процесса:

- Подготавливает данные(обучающие выборки, символы для распознавания, коды символов);
- Рассылает рабочим процессам данные;
- Принимает пару: (*код символа*, *степень уверенности в принадлежности к области компетенции*) от рабочих процессов;
- Обобщает результаты и делает вывод о значении распознаваемого символа;
- Выполняет действия рабочего процесса для своей части данных.

Роль рабочего процесса:

- Получает обучающую выборку, символ для распознавания, код символа;

- Инициализирует нейронную сеть и обучает её полученной выборке;
- Выполняет распознавание;
- Отправляет главному процессу пару: (*код символа*, степень уверенности в принадлежности символа к *области компетенции*).

Преимущества алгоритма:

- Возможно ускорение обучения, в случае правильной настройки алгоритма;
- Затраты времени на обмен данными между нейронными сетями при обучении отсутствуют.

Недостатки алгоритма:

- Хотя нейронная сеть и не должна различать свои символы из *области вне компетенции*, но определять принадлежность входного образа к ним она должна. Таким образом, в обучающую выборку текущей нейронной сети должны входить символы из *области компетенции* других нейронных сетей;

- Возможен конфликт интересов нейронных сетей. То есть ситуация, когда одна нейронная сеть ошибочно опознает поданный на распознавание символ как иероглиф из своей *области компетенции* и вернет большую степень уверенности в принадлежности символа к своей *области компетенции*, чем та сеть, которая действительно училась распознаванию поданного иероглифа, что может повлечь за собой ошибку распознавания.

Время обучение системы, распознающей 4 иероглифа, с использованием указанного способа распараллеливания на 4-х процессах по сравнению с однопроцессорным вариантом указано ниже(см. табл. 1 и рис. 3). Тест проводился на кластере ИГЭУ «Энергет». На каждом процессе обучалась одна нейронная сеть. Соответственно каждая нейронная сеть специализировалась на распознавании одного из 4-х иероглифов.

Таблица 1. **Результат испытания алгоритма**

Количество символов: 4; Количество процессов: 4; Шаг: 0.01 Максимально допустимая среднеквадратичная ошибка: 0.04 .

Про- цесс	Последовательный вариант		Параллельный вариант	
	Количество итераций	Время(сек.)	Количество итераций	Время(сек.)
0	118560	54.138792	32880	15.119139
1			35520	16.387979
2			36720	17.665798
3			44400	20.562638

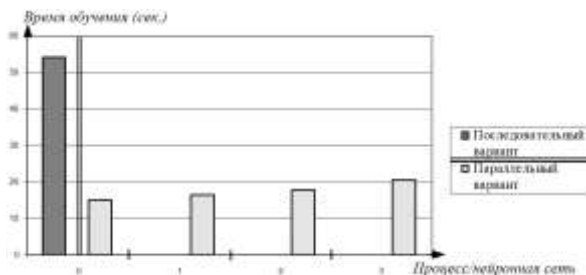


Рис. 3. Схема результатов испытания для 4-х иероглифов

Как мы видим, выбранный алгоритм распараллеливания даёт хорошие результаты. Однако масштаб выбранной задачи невелик. Необходимо продолжать разработку и испытание алгоритма.

Литература:

1. Царегородцев В.Г. Перспективы распараллеливания программ нейросетевого анализа и обработки данных//Материалы III Всеросс. конф. "Математика, информатика, управление - 2004", Иркутск, 2004.
2. Мочалов А. С. «Распознавание иероглифических текстов при помощи нейронных сетей на многопроцессорных системах». Научно техническая конференция «Энергия-2010».

УДК 004.942

С.В. КОСЯКОВ, д.т.н., профессор,
А.М. САДЫКОВ, аспирант
(ИГЭУ)

Разработка метода поддержки принятия решений по реконструкции городских систем энергоснабжения с учетом пространственных факторов

Выбор состава и последовательности инвестиционных мероприятий по развитию систем энергоснабжения является сложной многокритериальной задачей. При этом каждое мероприятие связывается с конкретным объектом или множеством объектов, что обуславливает множественность вариантов возможных решений. В настоящее время для обоснования решений используются оптимизационные расчеты на основе балансовых моделей [1,2]. При этом пространственные факторы размещения конкретных объектов в моделях обычно не учитываются или учитываются упрощенно. При решении крупных задач в масштабах страны, для которых разработаны большинство известных моделей, такие допущения не играют значительной роли. Однако для применения их в условиях городских территорий, где возможности размещения

новых трасс энергетических сетей и реконструкции структуры сетей очень ограничены, отказ от учета пространственных факторов может привести к неадекватным результатам моделирования.

Авторами предложен метод, в котором расчеты отдельных показателей эффективности инвестиционных решений реализуются в среде геоинформационной системы с учетом реальной топологии энергетической сети. При этом все источники, потребители и сети передачи энергоресурса представляются в виде пространственных объектов на цифровой карте территории. Это дает возможность включить в расчетные модели матрицы балансов распределения энергоресурса по территории и с достаточной точностью вычислять элементы этих матриц. В результате для каждого мероприятия можно рассчитывать, например, показатель изменения суммарных затрат на транспортировку энергоносителей в системе.

Математическая формулировка расчета затрат F на транспортировку энергоресурса сводится к виду:

$$F = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}, \quad (1)$$

где c_{ij} – стоимость доставки энергоресурса от i -го производителя к j -му потребителю; x_{ij} – количество энергоносителя, доставляемое от i -го производителя к j -му потребителю; m – количество потребителей; n – количество производителей.

Ограничения условий по запасам:

$$\sum_{j=1}^n x_{ij} = a_i, \quad i = \overline{1, m} \quad (2)$$

Ограничения условий по потребностям:

$$\sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad j = \overline{1, n}, \quad x_{ij} \geq 0 \quad (3)$$

В оптимизационной постановке эта задача сводится к классической транспортной задаче. Ее решение одним из известных способов (метод северо-западного угла, метод наименьшего элемента или метод Фогеля) позволяет определить оптимальный план доставки энергоресурсов. Однако данный критерий не является главным и единственным при создании плана развития энергосистемы. Поэтому в разработанном методе расчет данного показателя предполагается проводить в рамках более общих процедур поддержки принятия решений как элемент комплексной оценки решения.

Использование ГИС открывает принципиально новые возможности для автоматизации и повышения адекватности расчета показателей матриц C и X , что в традиционных системах моделирования оказывается проблематичным. Определение реальных длин и маршрутов доставки энергоносителя осуществляется на основе графовых моделей суще-

ствующей сети. При этом можно оценивать и мероприятия, связанные с реконструкцией сети. Кроме того, среда ГИС обеспечивает наглядный и удобный интерфейс для ведения исходных данных для выполнения подобных расчетов и представления их результатов.

В настоящее время реализована экспериментальная версия ГИС на которой проводятся эксперименты по использованию рассмотренной и других видов моделей оценки вариантов реконструкции сети с использованием цифровой карты города Иванова.

Литература

1. Кононов Ю.Д., Гальперова Е.В., Кононов Д.Ю. и др. Методы и модели прогнозных исследований взаимосвязей энергетики и экономики. – Новосибирск: Наука, 2009.
2. Некрасов А.С., Борисова И.Н., Ю.С. Кретинина и др. Оптимизация развития топливно-энергетического комплекса. – М.: Энергоиздат, 1981.

УДК 004.942

С.В. КОСЯКОВ, д.т.н., профессор,
А.А. ПЕЧЕНИН, аспирант
(ИГЭУ)

Разработка средств агентного моделирования рынка недвижимости города в среде ГИС

В настоящее время для имитационного моделирования сложных систем, в которых участвуют большое количество активных объектов (людей, предприятий, товаров), находят применение системы агентного моделирования [1]. В то же время для моделирования процессов, протекающих на территориях, активно используются геоинформационные системы. Авторами разработаны подход к моделированию и опытный образец программного комплекса ГИС, позволяющие анализировать влияние факторов регулирования рынка земли и недвижимости (ставок арендной платы за аренду земельных участков) на поведение участников рынка и величину собираемых платежей в городской бюджет. При этом учитываются не усредненные величины ценовых показателей по городу, а значения, установленные для конкретных ценовых зон. Это позволяет определять рациональную пространственную структуру распределения ставок по территории города.

Суть подхода заключается в организации взаимодействия на карте города агентов двух видов: агентов, представляющих предлагаемые в аренду земельные участки (АЗУ), и агентов – арендаторов (АА). АЗУ представлены на карте города пространственными объектами с заданными границами и характеристиками. Характеристики АЗУ, в частности удельная стоимость арендной платы, зависят от их местоположения на карте города. Для экспериментов используются карта муниципального

земельного кадастра и данные информационной системы Комитета по управлению имуществом города Иванова [2]. АА – виртуальные объекты, имеющие определенную настраиваемую стратегию на получение в аренду земельных участков и отказ от аренды. Задача моделирования – оценить, как отразятся изменения величины удельной стоимости аренды в различных ценовых зонах города (изменения правил игры, устанавливаемых городской властью) на показатели рынка (суммарные поступления в бюджет).

В настоящее время реализована среда имитационного моделирования в виде специализированной ГИС, позволяющая пользователю выводить на рынок те или иные земельные участки (создавать АЗУ), изменять количество действующих и потенциальных арендаторов и их стратегии (создавать, удалять и настраивать АА), а так же устанавливать ставки арендных платежей по зонам. Стратегии арендатора в реализованной версии программы задаются параметрами функции вероятности наличия средств и интереса АА на получение земельного участка в аренду. При изменении состояния агентов или условий моделирования, в системе моделирования может начаться переходный процесс, который переводит ее в новое устойчивое состояние.

Реализованная версия программного обеспечения демонстрирует основные возможности подхода и позволяет проводить исследования по поиску стратегий поведения АА, которые обеспечат требуемую адекватность модели, а так же исследования по использованию подхода в других областях пространственного моделирования.

Литература

1. Борщёв А. От системной динамики и традиционного ИМ – к практическим агентным моделям: причины, технология, инструменты. – Электрон. Дан. – Режим доступа: www.gpss.ru/paper/borshevarc.pdf
2. Косяков С.В., Абдулов Д.Ф., Дербенева Е.А., Машин С.С., Огородников А.В. Комплексная автоматизация процессов управления землёй и имуществом муниципального образования на основе корпоративного Интернет-портала // «Вестник ИГЭУ», № 3. 2009. С. 85-90.

Метод решения задачи маршрутизации транспорта на основе комбинации алгоритмов

В настоящее время задача маршрутизации транспорта становится все более актуальной. Существует множество различных вариантов постановки данной задачи. Одной из наиболее востребованных на практике разновидностей является задача маршрутизации транспортного средства с учетом грузоподъемности. Целью ее решения является определение множества маршрутов с минимальной общей стоимостью при наборе ограничений (каждый потребитель посещается единственным транспортным средством один раз, полный спрос не превышает грузоподъемность транспортных средств и т.д.).

Задача маршрутизации транспорта относится к классу NP-полных и не может быть решена в приемлемое время. На сегодняшний день существует множество различных алгоритмов решения этой задачи. Наиболее точными из которых являются алгоритмы на основе метода ветвей и границ. Однако при большом количестве потребителей скорость решения с применением данных алгоритмов даже на современных компьютерах не является приемлемой. Также существуют различные эвристики и метаэвристики, позволяющие сократить время решения задачи, например, "муравьиные" алгоритмы, генетические алгоритмы, алгоритм Кларка-Райта и т.п. Однако они не позволяют значительно сократить время поиска оптимального решения на всем диапазоне значений количества потребителей.

Автором был разработан метод на основе комбинирования существующих алгоритмов, который позволяет значительно сократить время решения задачи маршрутизации транспорта. Достигается это, во-первых, за счет первоначального снижения размерности задачи путем решения задачи разбиения множества потребителей на кластеры. Во-вторых, при разработке метода были выбраны и оптимальным образом настроены существующие алгоритмы для различных диапазонов значений количества потребителей и наборов транспортных средств. В заключении ко множеству полученных маршрутов применяются постоптимизационные эвристики для улучшения качества решения.

В результате работы автором и коллегами были разработаны программные средства реализации выбранных алгоритмов в среде ГИС и проведено исследование на примерах решения задач на карте города Иваново, которое описано в [1]. В результате экспери-

ментов было отмечено, что эффективность метода в значительной мере проявляется для задач с большим количеством потребителей.

Литература

1. Косяков С.В., Гадалов А.Б., Жидовинов К.А. Оптимизация планирования грузоперевозок на базе ГИС-технологий // Вестник ИГЭУ. - 2010. - Вып. 4. - С. 101-105.

УДК 378.14: 004.588

А.А. БОЙКОВ ст. преподаватель
(ИГЭУ)

Графический редактор для задач по начертательной геометрии

В [1-2] рассмотрены модели организации и представления в рамках системы дистанционного обучения (СДО) по начертательной геометрии таких элементов учебного курса, как решение задач под контролем или методическим управлением системы. В их основе лежит взаимодействие пользователя с чертежом, выполнение графических команд с целью получить на экране чертеж-результат. Эффективность применения в учебном процессе практических заданий, а также простота их создания зависят от удобства графической среды. Чем более она приближена к реальным условиям и инструментам, тем успешнее



обучение.

Рис. 1. Визуальный графический веб-редактор

До недавнего времени в качестве графической среды использовался веб-редактор с командным интерфейсом (наподобие ранних версий AutoCAD). Командно-диалоговый режим не похож на реальные построения, требует особых навыков, и это является главной причиной невозможности широкого внедрения практических задач в СДО, несмотря на

то, что модели уже хорошо проработаны. Было подготовлено техническое задание на разработку графического редактора, который удовлетворял бы всем требованиям, предъявляемым курсом начертательной геометрии к графической среде. К ним относятся: наличие одной или более графических областей, каждая из которых содержит средства навигации (масштаб и перемещение), сетку и настройки привязок, инструменты выделения; набор примитивов – линии, стрелки, сплайны, группы, блоки форматированного текста, выделение, масштаб и повороты; поддержка ЕСКД – шрифтов, штриховок и типов линий; анимации, манипулирование объектами при помощи мыши; оптимизация трафика.

Для создания редактора выбрана среда Adobe Flash, что обеспечивает качество графики, поддержку браузерами и мобильными устройствами. В процессе разработки был принят ряд оригинальных решений, например, создана полнофункциональная канва для рисования, html-компонент с широким спектром возможностей, внедрение спецсимволов в виде векторных форм. Предусмотрена возможность макроописания классов, что экономит трафик. Классы формируют списки точек привязки и создают «рукоятки» манипуляторов для изменения параметров. Язык сценариев позволяет настраивать поведение объектов.

В настоящий момент завершается разработка клиентской части редактора, рис. 1. Графический редактор, в зависимости от переданных настроек может использоваться для решения задач, для создания чертежей, блок-схем демонстраций и т. п.

Литература

1. Бойков А.А. Разработка методов обучения и контроля в автоматизированном учебном комплексе // Вестник компьютерных и информационных технологий. - М.: Изд-во «Машиностроение». - 2008, № 7. - С. 47-49.
2. Бойков А.А., Федотов А.М. Применение шаблонов для анализа геометрических построений при решении задач начертательной геометрии в автоматизированной системе // Вестник компьютерных и информационных технологий. 2011. № 3. С. 29-35.

УДК 378.14: 004.588

А.А. БОЙКОВ ст. преподаватель
(ИГЭУ)

Построение линий пересечения поверхностей в системе обучения начертательной геометрии

Задачи, которые студент учится решать в курсе начертательной геометрии, можно условно разделить на два класса: к первому - относятся задачи с точным решением (точки, прямая); задачи второго класса не имеют точного графического решения — к ним относится большинство задач раздела «Кривые линии и поверхности».

В [1] описана модель, позволяющая организовать в системе обучения с веб-интерфейсом решение задач, т. е. взаимодействие студента с чертежом, геометрические построения, оценку системой результата. Реализация задач второго класса, например, задачи на построение проекций линии пересечения поверхностей, рис. 1, встречает определенные трудности. Здесь результатом являются проекции кривых, для которых требуется большое количество точек. Набор точек, использованный преподавателем при создании задачи, и студентом при решении задают неидентичные кривые. Таким образом, необходимо оценить решение с некоторым порогом точности и определить «качество» решения, т. е. близость к эталонному.

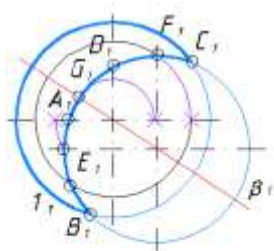
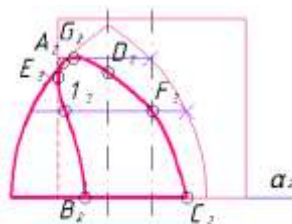


Рис. 1. Чертеж тора с цилиндрическим пазом

Для задач на построение проекций линии пересечения в ряде частных случаев, которые используются на экзамене по начертательной геометрии: тело вращения и многогранник, тела вращения с параллельными или пересекающимися осями, - предложен следующий способ: 1) в конечный чертеж входят объекты, имеющие точное построение, - опорные точки I и II рода; 2) исходную модель составляют не наборы примитивов, а их группы, описывающие ту или иную поверхность. Зная, к примеру, расположение оси тора (точка на Π_1 и линия на Π_2), система автоматически переносит любую точку с верхней проекции на нижнюю и наоборот. А зная положение осей тел и опорных точек В и С, - находит границы выбора вспомогательных точек; 3) система снабжена реализацией трех алгоритмов выбора промежуточных точек, которыми пользуется человек при решении на бумаге: а) выбор точек на

вырожденной проекции, б) использование параллельных секущих плоскостей, в) использование концентрических сфер. Создание задачи выглядит таким образом: преподаватель строит проекции осей и контуров, объединяет их в поверхностные группы, указывая тип поверхности, выполняет команду автопостроения. В ее основе лежит один или группа макросов [2]. Чертеж дорабатывается — задаются типы линий для участков контуров и кривой.

При решении студент обязан: 1) найти опорные точки (точное решение), 2) найти некоторое число промежуточных точек (найденные точки будут находиться в близости от сохраненного невидимого сплайна), 3) соединить точки линией (действие носит указательный характер: при достаточной близости точек отображается участок сохраненного сплайна), 4) выбрать типы линий для участков (границы участков тоже опре-

деляются точно). Число использованных промежуточных точек и данные о кривизне (касательные в точках), введенные студентом, позволяют вычислить показатели «качества» решения.

Литература

21. Бойков А.А. Разработка методов обучения и контроля в автоматизированном учебном комплексе // Вестник компьютерных и информационных технологий. - М.: Изд-во «Машиностроение». - 2008, № 7. - С. 47-49.

22. Бойков А. А. Автоматизация заполнения контента в дистанционном учебном комплексе // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XV Бенардосовские чтения). Т.1. – Иваново. – 2009. – С. 76.

УДК 801.541.20

Д.В. БЛУВШТЕЙН, аспирант,
Н.А. НАЗАРЫЧЕВ, д.т.н., В.П. ЗУБКОВ, к.т.н.
(ИГЭУ)

Автоматизированное формирование бланков оперативных переключений с использованием текстов запросов на естественном языке

Программа оперативных переключений содержит определение мероприятий по подготовке схемы, режима, устройств РЗ и ПА для вывода в ремонт или для ввода в работу того или иного оборудования, а также обеспечения необходимой последовательности выполнения операций на различных энергообъектах.

Программа оперативных переключений составляется в общем виде, без излишней детализации. Группа операций, которые выполняются на одном объекте и направленные на достижение одной цели, может быть отображена в программе одним распоряжением. Например: "Отключить выключатель и разобрать его схему"; "Разомкнуть транзит 110 кВ" и т.д.

При выполнении оперативных переключений на энергообъектах применяются как обычные, так и типовые бланки, разработанные с учетом мероприятий, приведенных в программах оперативных переключений. В бланках переключений все операции в первичной схеме и цепях вторичной коммутации детализируются с применением диспетчерских наименований коммутационной аппаратуры, номеров панелей и названий переключающих устройств.

В бланке оперативных переключений описываются например такие операции:

- последовательность операций и действий персонала при включении и отключении транзитной линии, с одной стороны которой отсутствует выключатель;

- последовательность операций при включении и отключении транзитной линии;

- последовательность операций и действий персонала при переводе всех присоединений, находящихся в работе, с рабочей системы шин на резервную шиносоединительным выключателем;

- последовательность операций и проверочных действий персонала при выводе в ремонт системы шин, которая находится в резерве и т.д.

Для автоматизированного формирования бланков оперативных переключений в среде разрабатываемой программной системы нужно:

- сформировать структурную элементную базу энергообъекта;
- сформировать краткое словесное описание ситуации, соответствующей бланку оперативных переключений;
- разработать обработчик текстового запроса для создания конкретного бланка оперативных переключений.

Для конкретных энергообъектов имеются разработанные схемы с помощью некоторых средств графической обработки. Значит в этом случае нужно либо вручную вводить описание, либо создавать распознаватели, преобразующие графические описания в текстовые. Для ввода текстовой информации можно использовать устройство речевого ввода.

При разработке графического редактора в среде создаваемой системы появится наглядность для персонала и возможность формирования текстового описания структурной элементной базы энергообъекта во время создания его структурной элементной схемы.

При наличии правильного описания структурной элементной схемы энергообъекта, а также правильной базы правил формирования бланков, автоматизированное формирование более надежно по отношению к возможности появления ошибок.

Начальное формализованное описание составления бланка оперативных переключений примерно выглядит следующим образом. Каждой конкретной программе оперативных переключений (ПрОП) с одной стороны соответствует некоторая часть структурной схемы элементов энергообъекта (ЧССЭО), т.е. некоторое подмножество, а с другой стороны – некоторая логическая последовательность действий (операций), которые могут быть описаны с помощью логических функций включения (ЛФВ), отключения (ЛФО), связи (ЛФС), опасности (ЛФО). Когда все функции, соединенные операциями композиции и логического И, примут истинное значение, тогда возможна операции расшифровки, подготовки и формирования бланка оперативных переключений (БОП), что можно представить так:

ПрОП \Rightarrow ЧССЭО \Rightarrow {ЛФВ, ЛФО, ЛФС, ЛФП} \Rightarrow БОП.

В настоящее время ведется разработка экспертной системы с элементами интеллектуального интерфейса.

Диверсификация форм компьютерного контроля знаний в системе интернет-обучения гипертекст

Наиболее распространенным возражением против широкомасштабного применения процедур компьютерного контроля знаний в технических вузах является ограниченность набора типовых форм контрольных заданий. Действительно, реализованный во всех известных системах и поддерживаемый стандартом обмена IMS QTI набор форм заданий включает лишь вопросы закрытой (предусматривающей выбор или упорядочение определенных элементов ответа) и открытой (предусматривающий ввод числа или строки для последующего сравнения с эталоном) форм. Задания такого типа позволяют оценить лишь способность студента к узнаванию и воспроизведению материала, тогда как современная образовательная парадигма требует оценки компетенции – готовности студента к решению задач по направлению подготовки. Множество заданий контроля, которые могли бы быть использованы для проверки такой готовности, практически бесконечно. Поэтому универсализация систем компьютерного контроля знаний бесперспективна, а предметная специализация удорожает разработку. Эта проблема может быть решена путем создания систем компьютерного контроля знаний с открытой архитектурой, способных к взаимодействию с другими приложениями через некий унифицированный интерфейс, например, интерфейс стандарта SCORM. Однако возможности контроля знаний в SCORM –совместимых системах по-прежнему остаются ограниченными, так как и формирование задания, и его проверка выполняются кодом, который размещен на доставленной html-странице. В данной статье предлагается подход к созданию открытых систем компьютерного контроля знаний в сети интернет, основанный на использовании web-сервисов – глобально доступных библиотек программ, доступ к которым стандартизован спецификацией консорциума W3C.

В рамках предлагаемого подхода предполагается, что web-сервис, обслуживающий конкретное задание, экспортирует две операции: операцию визуального представления задания в коде html и операцию оценки результата выполнения этого задания. Никаких ограничений на пространственное расположение web-сервиса, сложность и предметную специфику выполняемых операций при этом не накладывается. Сервис может быть размещен на любом сервере, доступном в Интернет и выполнять операции любой сложности для любой предметной области контроля знаний. Любая система компьютерного контроля знаний, которая располагает адресом сервиса и спецификацией этих операций в стандартном формате wsdl, а также придерживается согла-

шений относительно способа извлечения решения из html-страницы, его упаковки и отправки web-сервису для оценки, может получить доступ к ним из любой точки сети Интернет.

Такие соглашения были реализованы в системе интернет-обучения ГИПЕРТЕСТ и сделали подсистему контроля знаний открытой для любых расширений, придерживающихся описанной выше простой спецификации. Рассмотрим некоторые из реализованных к настоящему времени web-сервисов в качестве иллюстрации возможностей предлагаемого подхода к организации компьютерного контроля знаний.

Одной из важных целей подготовки инженера является формирование навыков решения инженерных задач. Задача существует тогда, когда требуется перейти от одного состояния объектов предметной области к другому, если имеется более одного варианта перехода и не все возможные варианты очевидны [1]. Таковы, например, расчетные задачи. В работе [2] показано, что с учетом разбиения задачи на элементарные шаги, сводящиеся к применению очередного расчетного соотношения и наличия нескольких альтернативных вариантов расчета, модель задачи может быть представлена сетью Петри. Переходам этой сети соответствуют расчетные соотношения, а позициям – переменные задачи. Написанный для контроля правильности решения расчетных задач сервис путем интерпретации текущего состояния задачи на ее сетевой модели формирует задание для очередного шага, состоящее в выборе одной из переменных, значение которых можно вычислить на данном этапе, и вводе расчетного соотношения для вычислений. После того, как ответ подготовлен и отправлен для оценки, сервис вычисляет значение расчетного соотношения, обновляет состояние сетевой модели (если ответ верен) и анализирует его. Если решение закончено (получены значения всех переменных), сервис формирует оценку за решение с учетом допущенных ошибок. Иначе формируется задание для следующего шага.

Другой пример иллюстрирует возможность повышения надежности заданий компьютерного контроля знаний за счет применения нестандартных способов формирования заданий и оценки ответов. Под надежностью принято понимать корреляцию результатов двух последовательных результатов контроля [3]. Достигнуть высоких показателей надежности, если параметры заданий жестко заданы, практически невозможно, так как на повторном контроле студентами будут учтены все ошибки первого. Иное дело, если контрольное задание представляет собой шаблон с переменными параметрами, значения для которых генерируются случайным способом при каждом повторном обращении к заданию. Но такой подход требует написания специальной процедуры проверки, запускающей эталонный алгоритм формирования ответа с заданными параметрами. В рамках предложенного подхода параметризацию задания и проверку решения в контексте сгенерированных параметров выполняет web-сервис с описанным ранее интерфейсом. Количество вариантов заданий, порождаемых сервисом,

может быть неограниченно большим, что приводит к соответствующему росту показателя надежности.

Еще один пример связан с организацией контроля навыков программирования на алгоритмических языках. В последнее время для контроля правильности написания программ применяется автоматизированное тестирование программ методом «черного ящика». Этот метод предполагает многократное исполнение программы с различными наборами входных данных и сравнение результатов с контрольными наборами выходных данных. Для этого среда проверки должна располагать возможностью вызова указанного студентом компилятора для переданного им в качестве решения текста программы, запуска скомпилированного кода и процедуры сравнения результатов. Учитывая наличие программных средств, реализующих подобный сценарий при проведении соревнований по программированию [4], рациональным подходом к организации контроля навыков программирования является интеграция среды интернет-обучения ГИПЕРТЕСТ и системы автоматизированного тестирования программ eJudge [5]. «Посредником» между ГИПЕРТЕСТ и eJudge выступает web-сервис, который экспортирует для ГИПЕРТЕСТ операции формирования задания и оценки ответа. Этот же сервис во взаимодействии с eJudge организует очередь решений на проверку и запрашивает у eJudge ее результаты.

Рассмотренные примеры подтверждают возможность диверсификации форм компьютерного контроля знаний для открытых систем компьютерного обучения, способных к взаимодействию с SOAP web-сервисами. Их программная реализация апробирована в ходе лабораторных занятий с магистрами по направлению 552800 "Информатика и вычислительная техника", промежуточного контроля знаний студентов специальности 220400 "Программное обеспечение вычислительной техники и автоматизированных систем" и самоподготовки школьников к ЕГЭ по информатике и информационно-коммуникационным технологиям.

Литература

1. Крик Э. "Введение в инженерное дело", М., "Энергия", 1970, 176 с.
2. Пантелеев Е.Р., Карпов Я.Э. Разработка и интерпретация решения расчетных задач в среде Web-обучения // Информационные технологии, 2010, №4. - с. 59 – 62
3. Романов А.Н., Торопцов В.С., Григорович Д.Б. Технология дистанционного обучения в системе заочного экономического образования. – М.: ЮНИТИ-ДАНА, 2000. – 303 с.
4. Чернов А.В. Система проведения соревнований ejudge. Справочное руководство. Версия ejudge — 2.2.0 Версия документации — 20060304. Москва, 2006 г.
5. Пантелеев Е.Р. и др. Интеграция инструментов контроля навыков программирования в среду интернет-обучения // Вестник ИГЭУ: Иваново.—2010.—Вып. 3.—С. 104-108.

Разработка интегрированной среды компьютерного управления процессами заочного обучения

Особенность заочного обучения заключается в том, что большую часть времени студент не имеет прямых контактов с администрацией деканата и преподавателями вуза, что приводит к проблемам в организации учебного процесса и его своевременном обеспечении учебно-методическими материалами. В учебном процессе ФЗВО задействовано более 20 выпускающих кафедр, Общее количество студентов достигает 2500 человек. Следовательно, повышение качества подготовки заочников входит и в сферу интересов большинства кафедр ИГЭУ. Современные технологии Интернет позволяют решить эту проблему путем оперативной доставки студенту учебно-методических материалов и информационных сообщений деканата и сбора данных о его учебной деятельности по каналам электронной почты. Более того, возможности Интернет позволяют реализовать технологии дистанционного обучения в части оперативного предоставления интерактивного учебного материала, средств тренажа и промежуточного контроля знаний, результаты которого могут быть так же оперативно проанализированы администрацией деканата и преподавателями. Однако эти возможности могут быть эффективно реализованы лишь в информационном контексте среды обучения, объединяющей учебно-методические и организационные аспекты этого процесса [1, 2].

Информационную основу разработки составляет распределенная база данных. Деканатский сегмент базы содержит персональные данные студентов, их распределение по группам и годам набора в соответствии с перечнем направлений и специальностей подготовки в объеме, необходимом для выполнения операций перемещения студентов и подготовки итоговых документов (экзаменационных ведомостей, форм НК). Сегмент виртуального методического кабинета содержит сведения о студентах и специальностях, необходимые для обеспечения авторизованного ограниченного доступа к размещенным на портале нормативным и учебно-методическим материалам. Выбор распределенной архитектуры базы данных обусловлен необходимостью защиты персональных данных от несанкционированного доступа по сети интернет. Так как сегмент виртуального методического кабинета представляет собой реплику деканатского сегмента, для поддержания данных в целостном и актуальном состоянии необходимо осуществлять перио-

дическую синхронизацию состояний этих двух сегментов. Эту функцию выполняет серверная процедура, активизируемая по таймеру.

Подсистема «Деканат» обеспечивает:

- учет студентов по группам и формам обучения (бюджет, контракт);
- ведение журнала регистрации заявлений студентов для контроля дальнейших перемещений;
- мониторинг заявлений на перемещения (изменение персональных данных) студентов в процессе обучения информации и экспорт о заявлениях в корпоративный ресурс «Контингент»
- перемещения (изменения статуса) студентов в процессе обучения;
- создание и ведение отдельных списков групп по каждой форме обучения на каждый учебный год или импорт сформированного списка групп из базы данных приемной комиссии;
- создание списка специальностей и направлений подготовки;
- поиск студентов в базе данных, получение сводок по количеству студентов и печать отчетов по студентам;
- подготовку и печать ведомостей заключительного контроля знаний, личных карточек студентов, журналов регистрации, стандартных форм отчета;
- возможность организации оперативной связи со студентами ФЗВО по электронной почте (рассылка объявлений, справок-вызовов и др.)

Подсистема «Виртуальный методический кабинет» выполняет в режиме интернет-доступа следующие функции:

- настройка структуры портала;
- наполнение базы Виртуального методического кабинета нормативно-справочными материалами и учебно-методическими материалами по общеобразовательным дисциплинам;
- полнотекстовый поиск, просмотр и выгрузка материалов портала;
- доступ к интерактивному учебно-контролирующему материалу и импорт данных промежуточного контроля знаний.

Ресурс Виртуального методического кабинета доступен по адресу <http://fzvo.ispu.ru/>. В настоящее время он содержит методические материалы для студентов 1 курса всех специальностей ФЗВО и методические материалы по отдельным дисциплинам старших курсов в форматах *.pdf и *.doc, используемых в свободно распространяемом пакете Open Office. Также представлена информация о факультете, памятка для студентов первого курса, перечень направлений и специальностей подготовки.

Предусмотрена возможность размещать новости, анонсы, объявления, учебные программы, семестровые учебные планы, графики учебного процесса и др. материалы. Возможен переход по ссылкам на другие электронные ресурсы ИГЭУ (сайт ИГЭУ, сайты факультетов дневной формы обучения и кафедр).

Данная разработка выполнялась при поддержке грантов ИГЭУ с 2008 по 2010 год. Внедрение разработанного комплекса средств позволило:

1. сократить время обработки документов персоналом деканата ФЗВО, что особенно актуально в условиях постоянного увеличения контингента студентов ФЗВО;
2. повысить уровень контроля над реализацией принятых решений и соответствующим документооборотом деканата ФЗВО;
3. уменьшить количество ошибок при обработке документов;
4. разгрузить персонал от рутинной повседневной работы, и как следствие - повысить качество контроля организации учебного процесса;
5. обеспечить персонала деканата и студентов ФЗВО своевременной, объективной и качественной информацией;
6. повысить доступность учебных материалов для студентов, сократить время их обновления;
7. предоставить студенту возможность самостоятельной работы с учебным материалом и самоконтроля полученных знаний (возможна организация круглосуточного удаленного доступа к нормативно-справочным и учебно-методическим материалам ФЗВО);
8. информировать студентов ФЗВО об изменениях в учебном процессе, условиях обучения, оплаты, сроках проведения консультаций и учебных занятий и т.п. по каналам электронной почты.

Литература

1. **Пантелеев Е.Р. и др.** Разработка нормативно-методического, информационного и программного обеспечения интеграции компьютерных сред обучения в систему дистанционного образования ФЗВО // Инновационные образовательные проекты (работы) 2008 г.: сб. отчетов / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2009, с. 178-179
2. **Пантелеев Е.Р. и др.** Разработка второй очереди портала системы заочного и дистанционного обучения и средств его интеграции в информационное пространство ИГЭУ // Комплексные инновационные проекты (работы) по развитию структурных подразделений ИГЭУ в 2009 г.: сб. отчетов / Иван. гос. энерг. ун-т. – Иваново, 2010, с. 223-229

Разработка системы информационного обеспечения управления закупками с использованием имитационного моделирования

Для эффективного функционирования закупочной логистики предприятию необходимо иметь информацию о том, какие именно материальные ресурсы необходимы для производства продукции. Такая информация содержится в плане закупок, главной целью которого является обеспечение согласованности действий всех внутрифирменных подразделений и должностных лиц предприятия по решению таких задач снабжения, как определение потребности и расчет количества заказываемых материальных ресурсов; определение метода закупок и заключение договоров на поставку материальных ресурсов; организация контроля за количеством, качеством, сроками поставок и организация размещения материальных ресурсов на складе и т. п.

Задача управления закупками является актуальной для множества предприятий, т.к. является неотъемлемой частью их функционирования. В действительности имеется значительное число моделей управления запасами, для решения которых используется разнообразный математический аппарат - от простых схем анализа до сложных алгоритмов математического программирования. В связи с этим довольно сложно сделать выбор модели, подходящей для конкретного предприятия. Решением данной проблемы является создание системы информационного обеспечения управления закупками с использованием имитационной модели (далее СИО).

Данная система состоит из следующих подсистем:

1. Подсистема ведения данных (поддерживает функции по добавлению, редактированию, удалению данных из базы данных). Данная подсистема является основой СИО – источником данных для анализа;
2. Подсистема прогнозирования спроса (поддерживает функции по определению значения спроса на различные номенклатурные позиции). Более подробное описание подсистемы приведено ниже;
3. Подсистема планирования закупок. В данной системе реализуется имитационная модель управления запасами;
4. Подсистема формирования отчетности (поддерживает функции по формированию всех необходимых текущих, необходимых для анализа, и итоговых отчетов по процессу управления закупками).

При реализации подсистемы прогнозирования спроса, следует учесть, что для одних видов товара (материалов и т.п.) распределение спроса имеет сезонную компоненту, для других – спрос можно считать

равномерным. В ряде случаев целесообразно проводить прогнозирование спроса по группе товара с последующим разбиением на отдельные позиции, что существенно сокращает время обработки данных. Предлагаемая модель учитывает все эти условия. Непосредственно обработка данных происходит в Deductor Studio. На рис.1-2 представлены сценарии прогнозирования спроса. Заметим, что на рис.1 указан сценарий для группы материалов (товаров) с учетом влияния сезонной компоненты (наличие данного влияния определяется в процессе автокорреляции). На рис.2 показан сценарий для прогнозирования спроса по единице номенклатуры при отсутствии влияния сезонной составляющей.

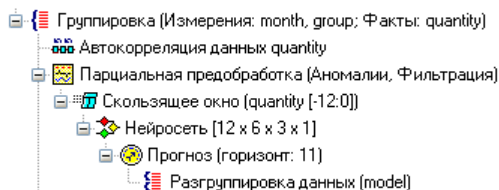


Рис. 1. Сценарий прогнозирования спроса по группе в Deductor Studio.

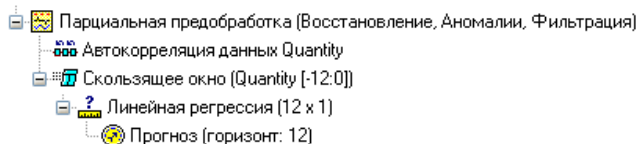


Рис. 2. Сценарий прогнозирования спроса по отдельной позиции в Deductor Studio.

Предложенная методика является адаптируемой, т.е. мы можем в зависимости от ситуации изменять предложенные сценарии, выполняя обработку данных (например, комбинировать группировку и построение линейной регрессии). Подсистема прогнозирования спроса поддерживает импорт данных из подсистемы ведения данных, а также экспорт в подсистемы планирования закупок и формирования отчетности.

Подсистема планирования закупок должна поддерживать функции по расчету страхового запаса, определению объема заказа, и непосредственно по формированию итогового плана заказа.

Модель управления запасами должна дать ответ на два вопроса: сколько продукции заказывать и когда заказывать.

Среди наиболее распространенных моделей можно выделить:

- Однопродуктовая статическая модель;
- Однопродуктовая статическая модель, допускающая дефицит;
- Модель с постепенным пополнением запасов;
- Модель с постепенным пополнением запасов, допускающая дефицит;

- Модель с фиксированным размером заказа и уровень обслуживания;
- Модель с фиксированной периодичностью заказа и уровень обслуживания;
- Многопродуктовая статическая модель с ограничениями складских помещений;
- Модель Джона Шрайбфедера.

Ни одна из вышеперечисленных моделей не удовлетворяет реальным условиям работы с поставщиками в организациях в полной мере, но в части из них есть аспекты, которые должны быть учтены в разработке метода управления запасами, т.е. применение одной модели не является эффективным. Поэтому целесообразным является создание имитационной модели по управлению запасами, учитывающей различные условия работы с поставщиками и условия по расчету размера страхового запаса. Таким образом, предлагается создавать данную модель, руководствуясь методиками следующих моделей:

1. Модель с фиксированной периодичностью заказа для случая заказов продукции через равные промежутки времени – расчет объема заказа;

2. Модель Джона Шрайбфедера для расчета точки заказа товара при заказе продукции не через равные промежутки времени;

3. Расчет размера страхового запаса по двум методикам в зависимости от отклонений прогнозируемого спроса от фактических продаж.

В данных моделях упор делается на максимальное удовлетворение потребностей потребителя, но не учитываются различного рода издержки и ограничения. Если необходимо учесть эти факторы, то модель усложняется добавлением целевой функции модели оптимальной партии F . Под которой будем понимать минимальную сумму транспортно-заготовительных расходов C_1 , расходов на содержание запаса C_2 и убытка от дефицита в расчете на единицу необходимых для производства материалов C_3 :

$$F = C_1 + C_2 + C_3 \rightarrow \min \quad (1)$$

Таким образом, предложенная система информационного обеспечения управления закупками позволяет оптимизировать процесс планирования поставок. Преимущество заключается в её адаптивности, т.е. система может быть внедрена на любое предприятие с внесением изменений в используемые модели. Дальнейшее развитие данной системы включает в себя алгоритмизацию использования моделей, а также реализацию системы на различных платформах.

Литература

1. Елизарова Н.Н., Баллод Б.А. Информационное обеспечение стратегического менеджмента. Учебное пособие/ Иван. гос. энерг. ун-т. Иваново, 2005. – 124с.
2. Шрайбфедер Д. Эффективное управление запасами. Пер. с англ. — 2-е изд. — М.: Альпина Бизнес Букс, 2006.
3. Гвоздева Т.В. Проектирование информационных систем / Т.В. Гвоздева. - ГОУВПО "Ивановский государственный энергетический университет им. В. И. Ленина", - Иваново, 2006.

УДК 004.9: 658

М. Н. ФОМИНА, студентка, Т.В. ГВОЗДЕВА, ст. преподаватель
(ИГЭУ)

Совершенствование системы информационного обеспечения процесса инвентаризации оптово-розничной компании

В работе современных оптово-розничных компаний информационный ресурс является важнейшим ресурсом, позволяющий эффективно функционировать в современных рыночных условиях. Основой функционирования системы информационного обеспечения торговой компании выступают данные о товарно-материальных запасах (приходах, продажах и остатках). Наличие точных и своевременно представленных данных играет немаловажную роль в функционировании подсистем сбыта (обслуживание клиентов), снабжения (управление запасами и поставками продукции), управления финансами и стратегическим развитием компании (планирование и управление развитием компании в целом).

Задачи использования компьютерных информационных технологий, обеспечивающих потребителей всей необходимой информацией, конечно, в современных рыночных условиях становятся первоочередными. В целом эффект от применения ИТ для учета продукции достигается за счет ведения точного количественного учета товара, снижения краж и повышения ответственности персонала, ускорения обслуживания покупателей, снижения степени загруженности продавцов, увеличения товарооборота и прибыли. Все это повышает престиж и конкурентоспособность торгового предприятия.

Данные по учетной автоматизированной информационной системе следует периодически сверять с фактическим наличием товарных позиций в магазине путем проведения инвентаризации. Инвентаризация – это периодический переучет наличного имущества, товаров на предприятии, фирме, в магазине с целью проверки их наличия и сохранности, а также установления их соответствия ведомостям учета материальных ценностей.

Что дает инвентаризация в розничном магазине? Это контроль сохранности товарно-материальных ценностей, возможность выявить и списать недостачи, в том числе в пределах норм естественной убыли, получение информации о реальном положении дел в торговом узле.

В целях повышения качества оптово-розничной деятельности предлагается система информационного обеспечения, которая включает следующие основные функции:

- сбор данных по товарным остаткам;

- планирование проведения инвентаризации: определение времени и товарных позиций для пересчета на основании несоответствий качественных/количественных свойств по предыдущим инвентаризациям;

- принятие решений по итогам проведенной инвентаризации в целях предотвращения потерь и несоответствий по товарным позициям.

Планирование процесса инвентаризации. В целях сокращения затрат на проведение процесса инвентаризации, предложена технология выборочной инвентаризации, которая выдвигает соответствующие требования к процессу планирования – классификации товарных позиций. В качестве методики деления товаров на группы для проведения выборочной инвентаризации целесообразно использовать алгоритм ABC-XYZ-анализа. В качестве параметра ABC-анализа выступает оборот денежных средств по каждой товарной позиции, параметром XYZ-анализа - динамика отклонений (коэффициентов несоответствий), определяемых по результатам предыдущих инвентаризаций тех же товарных позиций.

Получив результаты инвентаризации, необходимо выработать корректирующие мероприятия по предотвращению дальнейших несоответствий. Как отмечалось выше, после проведения подсчета на основании полученных данных о количестве товарных позиций, находящихся в торговом узле, наблюдаются отклонения от данных по учетной АИС. В большинстве случаев, к сожалению, значительных сокращений несоответствий благодаря принимаемым решениям по результатам предыдущих инвентаризаций не наблюдается, т.к. в качестве основного инструмента выступает - возмещение материального ущерба за счет принятой системы штрафов для сотрудников.

В ходе совершенствования системы была разработана методика принятия решений по результатам инвентаризации, основанная на использовании выявленных отклонений по результатам проведенных ранее инвентаризаций и принятии решений по их предотвращению. Для выбора направления действий корректирующих мероприятий, была использована нейронная сеть, реализованная в пакете STATISTICA Neural Networks. В качестве основных причин, вследствие воздействия которых возникают отклонения, рассматриваются: качество работы персонала (сотрудники торгового зала, сотрудники отделов сбыта и снабжения, операторы), выкладка товара, доступ покупателей к товару и др.

Сбор данных по товарным остаткам. В качестве решения проблем, связанных с учетом товарных запасов, необходимо использование технологии, основанной на штриховом кодировании. Носителем информации об учитываемом объекте является специальная этикетка со штриховым кодом. В настоящее время практически все товары оснащены штрих-кодом.

Для сбора информации о приходе, перемещении и снятии с учета необходимо использовать терминалы сбора данных (ТСД) со встроенным сканером штрихового кода. Терминал сбора данных – устройство,

сочетающее в себе функцию сканера штрихового кода и функцию обработки данных, полученных в результате распознавания штрихового кода. Такое сочетание создает возможность мобильного и автономного сбора информации, ее хранения и обработки.

Предлагаемые программные пакеты совместно с существующей системой учета (например, 1С «Предприятие») позволят сформировать целостную архитектуру ИС компании и стать инструментальной основой для реализации предлагаемой к совершенствованию системы информационного обеспечения.

Литература

1. Тяпухин А.П., Голощапова А.И., Лындина Е.Н. Проектирование товаропроводящих систем на основе логистики. Издательство: Финансы и статистика; 2007 г.

УДК 004.4:004.9

Д.Е. КАРЦЕВ, студент,
Т.В. ГВОЗДЕВА, ст. преподаватель
(ИГЭУ)

Применение проблемно-ориентированной технологии обучения в реализации современного образовательного стандарта

В основу современной системы образования заложен компетентностный подход, который имеет основной своей целью развитие способностей и готовности личности к деятельности, основанной на знаниях и опыте, которые приобретены благодаря обучению, ориентированы на самостоятельное участие личности в учебно-познавательном процессе и направлены на ее успешную интеграцию, как в профессиональную среду, так и в социум. Система образования должна формировать такие новые качества выпускника как инициативность, инновационность, коммуникативность, динамизм и конструктивность. Будущий профессионал должен обладать стремлением к самообразованию на протяжении всей жизни, владеть новыми технологиями и понимать возможности их использования, уметь принимать самостоятельные решения, адаптироваться в социальной и будущей профессиональной сфере, разрешать проблемы и работать в команде.

Это требует внедрения новых инновационных форм обучения – проблемно-ориентированного обучения. Проблемно-ориентированная технология [1] ориентирована в первую очередь на разрешение проблемных ситуаций, инициируемых изменениями во внешней среде. В качестве основного механизма решения проблемы выступают процессы самоорганизации участников, как наиболее адаптивная форма деятельности в условиях приспособления (подстройки) системы к состоянию внешней

среды. Таким образом, проблемно-ориентированное обучение выступает как новый вид образовательной деятельности, в основу которого заложена ориентация на освоение учащимися умений, позволяющих действовать в новых, неопределенных, проблемных ситуациях.

В качестве основных целей разработки и внедрения проблемно-ориентированной технологии выступают: 1) ориентация на деятельностное содержание образования, при котором основным содержанием обучения являются действия, операции, соотносящиеся не столько с объектом (реальным или идеальным), сколько с ситуациями и проблемами, которые составляют основу профессиональной деятельности выпускников; 2) развитие способностей решения определенных видов актуальных, профессиональных проблем (задач), соответствующих реальным потребностям научной и социально-экономической систем; 3) развитие способностей работы в коллективе, участие в реализации профессиональных коммуникаций в рамках проектных групп; 4) активное использование информационно-коммуникационных технологий в процессе подготовки специалистов, как элементов современного информационного общества.

Проблемно-ориентированный подход к обучению заложен в основу построения автоматизированной информационной системы. Для ее разработки используется инструментальная платформа Microsoft SharePoint, включающая следующие функциональные компоненты: публикация проблем и задач, создание узлов коллективного обсуждения, хранение проектных решений в виде элементов хранилища знаний (Wiki), ведение и управление проектами по результатам процессов коллективной генерации идей, организация свободного доступа участников (студенты, преподаватели, выпускники и внешние партнеры) и другие информационные сервисы (web-части). Использование современных компьютерных информационных технологий, в частности Internet-технологий, позволяет организовать единую информационную коммуникационную сетевую среду кафедры.

В настоящее время предлагаемый подход и система автоматизации внедряются и проходят апробацию на кафедре Информационных технологий. Организуется обучение студентов в информационно-сетевой среде, которая позволяет организовать коллективное интерактивное взаимодействие студентов и поддержку свободных коммуникаций между участниками учебного пространства и позволяет:

- создавать творческие коллективы по результатам анализа наиболее эффективных взаимодействий с учетом структуры проблемного пространства учебного процесса и развивать навыки работы в команде и принятия управленческих решений за счет: оценки потенциальных возможностей каждого студента и его участия в решение предлагаемой проблемы;
- определение его межличностных характеристик задаваемых направлениями его активности, инициативность, деловая контактность, коммуникативные навыки и т.д. с целью их развития;

- оценки структурных преобразований и управления ими с целью развития профессиональных навыков будущих специалистов;
- а так же активно привлекать профильные организации к образовательной деятельности (постановка актуальных практических задач и проблем, контроль их решения, оценка умений будущих специалистов, а так же мастер-классы экспертов и специалистов) и устанавливать с ними партнерские отношения в рамках подготовки высококвалифицированных специалистов.

Литература

1. **Белов А.А.** Информационно-синергетическая концепция управления сложными системами: методология, теория, практика / А.А.Белов; Федеральное агентство по образованию, ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2009.– 424 с.
2. **Шашенкова М.А., Гвоздева Т.В., Ражева А.А.** Моделирование процесса ведения проектов как решения нетиповых проблем с высокой неопределенностью. // Вестник ИГЭУ, № 2, 2010.– с. 85-91.

УДК 658.5:004

А.А. БЕЛОВ, к.т.н., Е.С. СОЛДАТОВ, студент
(ИГЭУ)

Программный инструментарий для создания системы интеллектуального развития персонала организации

На пути модернизации отечественной экономики, перехода на инновационный путь развития необходимо решить целый ряд ключевых проблем. Среди которых особое, первостепенное место занимает проблема управления современным производством. Установлено [1], что в современных условиях важнейшим стратегическим потенциалом производственной организации является ее интеллектуальный капитал, что успех инновационного развития во многом определяется величиной этого капитала, его составляющей – человеческим капиталом. В структуре человеческого капитала важнейшая роль отводится знаниям, интеллектуальным способностям сотрудников организации. В связи с этим в системе управления развитием производства знания становятся как объектом, так и средством управления (Knowledge Management).

Одним из слабых звеньев в организации управления знаниями является контроль знаний. Для решения этой задачи на основе структурно-синергетического подхода к отображению сущности интеллекта [2] разработан метод иерархических понятийных структур (ИПС) [3], позволяющий осуществлять формализованное отображение знаний субъекта в конкретной предметной области. Строгая формализация оценки знаний позволила установить новые возможности метода примени-

тельно к организации системы управления интеллектуальным развитием персонала, их компьютерной реализации.

При анализе и оценке знаний использован принцип «золотого сечения», устанавливающий определенное отношение порядка (информации, знаний) и хаоса (энтропии), как условия устойчивости гармонично развивающихся знаний субъекта о предметной области. В усовершенствованной методике установлены три показателя знаний:

- системность, являющаяся определяющим фактором аналитических способностей субъекта;
- элементарность, как способность достижения конструктивных решений в соответствующей предметной области;
- устойчивость, как способность использования и дальнейшего развития знаний.

Строгий математический аппарат предложенной методики заложен в основу программного инструментария «Intellect Pro 3.0», необходимого для создания системы управления интеллектуальным развитием персонала [4].

Система «Intellect Pro 3.0» обеспечивает реализацию следующих функций системы управления знаниями:

- иерархическую понятийную структуризацию предметной области в режиме диалога с экспертом;
- установление соответствия организационной структуры предприятия с общей структурой предметной области, идентифицированной иерархически упорядоченными понятиями;
- формирование контрольных заданий для проверки знаний сотрудников в виде соответствующего списка понятий;
- организация интерфейса для прохождения контроля знаний;
- предоставление контрольных заданий и сбор данных о знаниях через локальную сеть или Интернет;
- установка требуемого уровня знаний на основе формализованных параметров;
- автоматическая обработка данных о знаниях сотрудников и оценка знаний на основе правила «золотого сечения»;
- регистрация оценок знаний сотрудников (рис. 1);
- представление методических рекомендаций по дальнейшему совершенствованию знаний;
- определение динамики интеллектуального развития.

Программа допускает лингвистическую интерпретацию результатов контроля уровня знаний, обеспечивающую ее применение как в системе управления интеллектуальным развитием персонала организации, так и в системе управления образовательным процессом в учебном заведении.

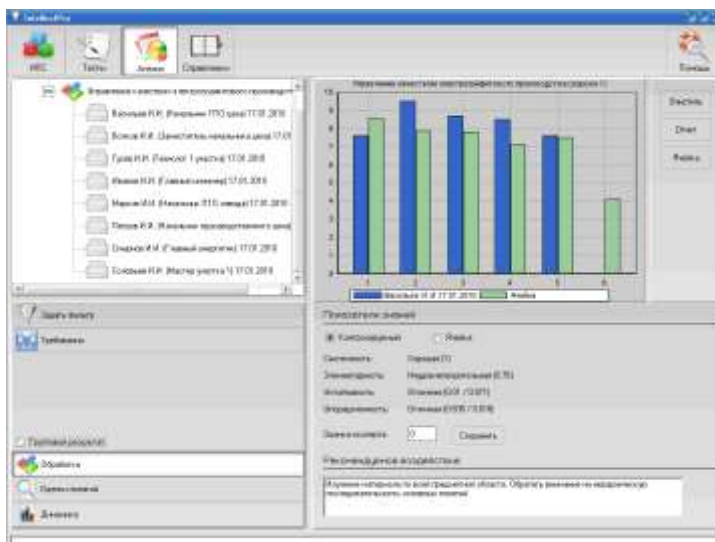


Рис. 1. Анализ результатов контроля знаний

Система позволяет работать удаленно, в т.ч. через интернет, как обучающимся, так и экспертам (рис. 2). Причем для работы обучающихся не требуется дополнительных программных средств, кроме веб-браузера.

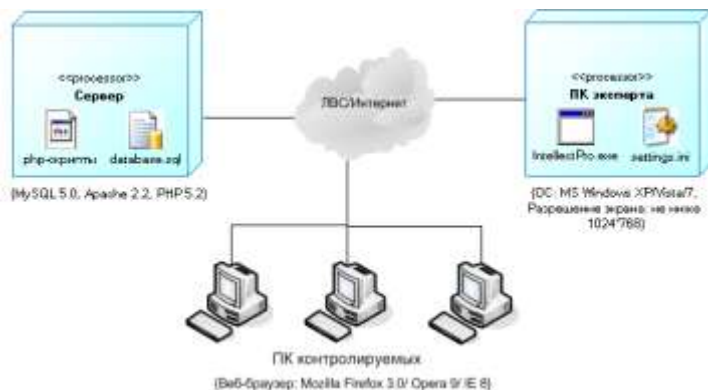


Рис. 2. Схема разворачивания системы

На сервере должна быть установлена СУБД MySQL не ниже 5.0, веб-сервер Apache 2.2 (или какой-либо другой с поддержкой PHP), PHP версии не ниже 5.2.

Клиентская часть работает под управлением ОС MS Windows XP/Vista/7. Разрешение экрана на ПК эксперта должно быть не ниже 1024*768.

На ПК обучающегося должен быть установлен любой современный браузер.

В системе выделено три группы пользователей: эксперты, обучающиеся и системные операторы. Разграничение прав доступа реализовано как на программном уровне, так и на уровне СУБД. Все необходимые данные (имя БД, пользователи СУБД, пароли) указываются в процессе установки системы. Также реализована защита от копирования клиентской части.

Литература

1. Интеллектуальный капитал – стратегический потенциал организации: учеб. пособие / под ред. А.Л.Гапоненко, Т.М.Орловой. – М.: Изд. Дом «Социальные отношения», 2003. – 184 с.
2. Холодная, М.А. Психология интеллекта. Парадоксы исследования / М.А. Холодная. - Спб.: Питер, 2002. - 272 с.
3. Белов А.А. Информационно-синергетическая концепция управления сложными системами: методология, теория, практика / ГОУВПО «Ивановский государственный университет им. В.И.Ленина». - Иваново, 2009. - 424 с.
4. Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ. - № 2010613395 от 21.05.2010. IntellectPro-3 / Е.С. Солдатов, А.А. Белов.

Б.Ф.СКОВОРОДА, к.ф.-м.н., доцент
(ИГЭУ)

Оценка ковариации по неполным статистическим данным

Пусть проведено $n + m + k$ независимых случайных экспериментов. В первых n экспериментах получены наблюдения $(x_1, y_1), \dots, (x_n, y_n)$ случайного вектора $(X; Y)$, в m следующих экспериментах получены наблюдения x_{n+1}, \dots, x_{n+m} случайной величины X и в последних k экспериментах получены наблюдения $y_{n+m+1}, \dots, y_{n+m+k}$ случайной величины Y . Как оценить ковариацию μ_{XY} случайных величин X и Y по полученной выборке? Используя стандартный подход по первым n наблюдениям можно найти выборочную ковариацию $\mu_{XY} = \frac{1}{n}((x_1 - \bar{x})(y_1 - \bar{y}) + \dots + (x_n - \bar{x})(y_n - \bar{y}))$, где $\bar{x} = \frac{1}{n}(x_1 + \dots + x_n)$, $\bar{y} = \frac{1}{n}(y_1 + \dots + y_n)$. Если полученную выборку считать случайной, то математи-

численное ожидание $M(\mu_{XY}^*)$ выборочной ковариации равно $\frac{n-1}{n} \mu_{XY}$, то есть выборочная ковариация μ_{XY}^* является лишь асимптотически несмещённой оценкой ковариации μ_{XY} . Оценку μ_{XY}^* можно улучшить, умножив её на $\frac{n}{n-1}$. Получим исправленную выборочную ковариацию $\mu_{XY}^{**} = \frac{n}{n-1} \mu_{XY}^*$, это уже несмещённая оценка ковариации μ_{XY} , так как $M(\mu_{XY}^{**}) = \mu_{XY}$. Оказывается можно найти более хорошую оценку, если дополнительно использовать неполные данные x_{n+1}, \dots, x_{n+m} и $y_{n+1}, \dots, y_{n+m+k}$ (неполные, поскольку это наблюдения только одной координаты случайного вектора). Эти данные можно использовать для уточнения выборочных средних.

Вместо \bar{x} и \bar{y} в формуле для выборочной ковариации используем $\bar{x}_1 = \frac{1}{n+m} (x_1 + \dots + x_n + x_{n+1} + \dots + x_{n+m})$ и $\bar{y}_1 = \frac{1}{n+k} (y_1 + \dots + y_n + y_{n+1} + \dots + y_{n+m+k})$, тогда вместо μ_{XY}^* получим оценку: $\mu_{XY}^{**} = \frac{1}{n} ((x_1 - \bar{x}_1)(y_1 - \bar{y}_1) + \dots + (x_n - \bar{x}_1)(y_n - \bar{y}_1))$.

Полученная оценка тоже оказывается смещённой, так как $M(\mu_{XY}^{**}) = \frac{(n-1)(n+m+k)+mk}{(n+m)(n+k)} \mu_{XY}$. Рассмотрим исправленный вариант этой оценки, а именно: $\mu_{XY}^{***} = \frac{(n+m)(n+k)}{(n-1)(n+m+k)+mk} \mu_{XY}^{**}$. Теперь μ_{XY}^{***} – несмещённая оценка ковариации μ_{XY} . Не очень простые вычисления показывают, что в случае, когда $m > 0$ и $k > 0$, дисперсия оценки μ_{XY}^{***} меньше дисперсии оценки μ_{XY}^{**} , и поэтому оценка μ_{XY}^{***} лучше оценки μ_{XY}^{**} .

УДК 517.946

Н.Г. ТОМИН, к.ф.-м.н., профессор
(ИГТА) г. Иваново

И.В. ТОМИНА, к.ф.-м.н., доцент
(ИГЭУ) г. Иваново

К обратной задаче спектрального анализа для степени оператора Лапласа на равнобедренном прямоугольном треугольнике

Рассмотрим следующие две спектральные граничные задачи (при $j=0$ и $j=1$) для оператора Лапласа на замкнутом равнобедренном прямоугольном треугольнике F с вершинами $O(0,0)$, $A(\pi,0)$ и $B(\pi,\pi)$ на плоскости Oxy :

$$\Delta u + \lambda u = 0 \text{ на } F, \tag{1}$$

$$u = 0 \text{ на } OA \text{ и } AB, \quad j u + (1-j) \partial u / \partial \nu = 0 \text{ на } OB, \tag{2}$$

где ν – внутренняя нормаль к ∂F . В частности, при $j=1$ получаем задачу Дирихле. При каждом $j \in \{0,1\}$ граничная задача (1), (2) и по-

рождаемый ею положительный самосопряженный в $L^2(F)$ оператор T_j имеют полную ортогональную в $L^2(F)$ систему собственных функций

$$u_{mn}(j) \equiv u_{mn}(x, y, j) = \sin mx \sin ny + (-1)^j \sin nx \sin my,$$

соответствующих собственным числам $\lambda_{mn} = m^2 + n^2$, где $(m, n) \in \tau_j$ и $\tau_j = \{(m, n) \in Z^2 \mid 1 \leq n \leq m - j\}$.

Пусть $\alpha > 1$, $p \in L^2(F)$ и P – оператор умножения на функцию p в $L^2(F)$. Оператор T_j^α положителен, самосопряжен и обладает собственными функциями $u_{mn}(j)$, соответствующими собственным числам λ_{mn}^α , где $(m, n) \in \tau_j$. Если $\alpha > 3/2$ и норма потенциала p в $L^2(F)$ достаточно мала, то линейные операторы T_j^α и $T_j^\alpha + P$ дискретны в пространстве $L^2(F)$ и имеют ядерные резольвенты, а все собственные числа оператора $T_j^\alpha + P$ с учетом их алгебраических кратностей можно представить в виде двойной последовательности комплексных чисел $\{\mu_{mn}(p, \alpha; j)\}_{(m,n) \in \tau_j}$ таких, что $|\mu_{mn}(p, \alpha; j) - \lambda_{mn}^\alpha| \leq C\lambda_{mn}^{1/4}$ для всех $(m, n) \in \tau_j$.

Через \tilde{p} обозначаем продолжение функции p с треугольника F на квадрат $K = [0, \pi]^2$, симметричное относительно диагонали OB квадрата ($\tilde{p}(x, y) = p(x, y)$ при $(x, y) \in F$ и $\tilde{p}(x, y) = p(y, x)$ при $(x, y) \in K \setminus F$). Всюду далее суммирование по $1 \leq n \leq m - j$ при $j \in \{0, 1\}$ означает суммирование по всем $(m, n) \in \tau_j$.

Теорема. Пусть $\alpha > 2$. Тогда существуют числа $\delta > 0$ и $C_0 > 0$ такие, что для любых двух двойных последовательностей комплексных чисел $\{\xi_{mn}(j)\}_{(m,n) \in \tau_j}$, $j \in \{0, 1\}$, удовлетворяющих условию

$$\Lambda \equiv \sqrt{\sum_{1 \leq n \leq m} |\xi_{mn}(0) - \lambda_{mn}^\alpha|^2} + \sqrt{\sum_{1 \leq n \leq m-1} |\xi_{mn}(1) - \lambda_{mn}^\alpha|^2} < \delta,$$

найдется функция $p \in L^2(F)$ со следующими свойствами:

- 1) $\|p\| \leq C_0 \Lambda$, где $\|\cdot\|$ есть норма в $L^2(F)$;

$$2) \iint_K \tilde{p}(x, y) \cos mx \cos ny dx dy = 0 \text{ для всех целых неотрицательных}$$

чисел m и n , удовлетворяющих любому из следующих трех условий: а) $n = 0$, б) $n = m$, в) одно из чисел m или n – четное, а другое – нечетное или оба эти числа – нечетные;

3) для любых целых k и s таких, что $1 \leq s \leq k - 1$, справедливо равенство

$$\sum_{\substack{1 \leq n \leq m \\ \lambda_{mn} = \lambda_{ks}}} (\xi_{mn}(0) - \mu_{mn}(p, \alpha; 0)) + \sum_{\substack{1 \leq n \leq m-1 \\ \lambda_{mn} = \lambda_{ks}}} (\xi_{mn}(1) - \mu_{mn}(p, \alpha; 1)) = 0.$$

Доказательство теоремы существенно использует принцип сжатых отображений и метод контурного интегрирования с учетом поправок аналитической теории возмущений и оценок абсолютной нормы резольвенты оператора T_j^α , $j \in \{0, 1\}$, в гильбертовом пространстве $L^2(F)$.

УДК 519.711.3

Н.Б. ИВАНОВА, к.ф.-м.н., доцент,
Е.В. СМЕТАНИН, к.ф.-м.н., профессор
(ИГЭУ)

Применение категорно-тензорной модели многополюсников к исследованию сложных систем: поиск оптимального разбиения линейной сети на подсети

Ранее [1-3] были показаны преимущества диакоптического метода расчета Г. Крона перед традиционными методами, но задача поиска оптимального способа разбиения сети на подсети, дающего наибольший выигрыш по числу производимых вычислений, остается актуальной.

Рассмотрим линейную сеть, состоящую из N элементов. Чтобы найти оптимальный способ разбиения сети на подсети при расчете диакоптическим способом, в котором подсети заменяются эквивалентными многополюсниками [2], найдем количество элементарных арифметических операций, которые при этом необходимо выполнить.

Для упрощения расчета примем, что при использовании диакоптического метода исследуемая сеть делится на одинаковые подсети, имеющие общий узел. Введем следующие обозначения: пусть N – число элементов всей сети, k – число подсетей. Если $n_i = n$ – число элементов i -ой подсети, тогда $b_i = b$ – число ветвей в i -ой подсети, $c_i = c$ – число хорд в i -ой подсети ($c = n - b$). Обозначим s число двухполюсников, «разрезаемых» при делении сети на подсети. Для введенных переменных выполняется следующее соотношение

$$N = kn + s \tag{1}$$

Применяя алгоритм расчета, приведенный в работе [2], получим количество арифметических операций, которые необходимо выполнить:

$$L(k, n, b, s) = k(-8n - 2s^2 - 2s + 4n^3 + 3n^2 - 12b + 5b^2 - 8n^2b + 30b^2n - 6b - 8b^2s + 2bs^2 - 4bs + 2sn + 4bsn) + 2s^3 + 5s^2 + s \quad (2)$$

Если принять, что $b \approx \frac{n}{2}$ и в каждую подсеть может входить не менее 2 элементов (1 ветви и 1 хорды), а количество подсетей не может быть меньше 2, то границы изменения переменных определяются так:

$$k \in [2, \frac{N}{4}], \quad n \in [2, \frac{N}{2}], \quad s \in [0, N-8] \quad (3)$$

Таким образом, задача нахождения оптимального разбиения сети на подсети, то есть таких значений k , n и s для каждого конкретного N , при которых для расчета сети требовалось бы минимальное количество элементарных операций, сводится к поиску глобального минимума функции L (2) в области (3) и при дополнительном условии (1). Очевидно, что в самом общем виде эта задача не может быть решена в силу того, что L является функцией очень многих взаимосвязанных переменных, выбор которых зависит от топологии исследуемой сети.

Чтобы показать, что оптимальное разбиение сети на подсети всё-таки существует, рассмотрим конкретный пример. Для простоты рассмотрим гипотетическую сеть, состоящую из однотипных неделимых блоков. В этом случае число элементов в подсетях и число разрезаемых элементов можно выразить через число подсетей k и число блоков m в одной подсети. Таким образом, мы имеем меньшее число варьируемых переменных для поиска минимума функции L .

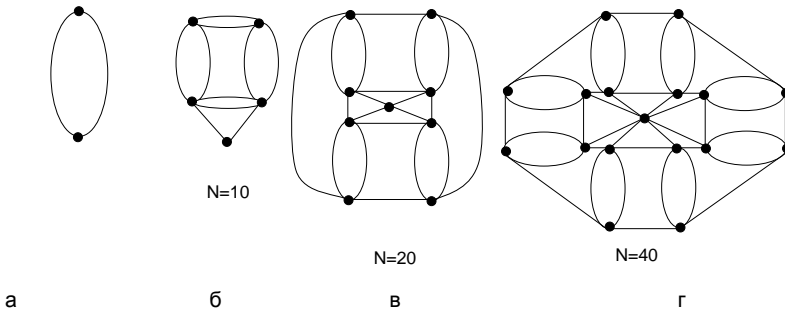


Рис. 1. Гипотетическая сеть, состоящая из блоков одного вида (а)

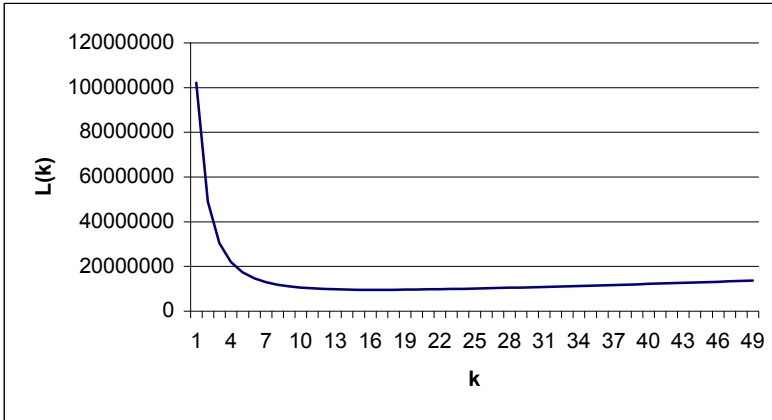


Рис. 2. Зависимость количества вычислений L от числа подсетей при N=500

Итак, рассмотрим гипотетическую сеть, состоящую из блоков вида рис.1(а). На рис. 1 (б, в, г) представлены примеры таких сетей, содержащие N=10, N=20 и N=40 элементов. Очевидно, что для сетей такого вида выполняются соотношения:

$$\begin{aligned} s &= (m - 1)k + 2k \\ b &= 2m \end{aligned} \tag{4}$$

$$n = 4m - 1$$

с учетом которых соотношение (1) принимает вид

$$N = s + kn = 5km \tag{5}$$

Подставив (4) и (5) в (2), получим количество арифметических операций, необходимых для расчета сети данного вида в зависимости от числа подсетей:

$$\begin{aligned} L(k) &= -\frac{37}{5}N - \frac{3}{25}N^2 + \frac{6}{125}N^3 + k\left(6 - \frac{2}{5}N + \frac{12}{25}N^2\right) + k^2\left(1 + \frac{6}{5}N\right) + \\ &+ \frac{384N^3}{125k^2} - \frac{24N^2}{25k}, \end{aligned}$$

где параметр N – количество элементов всей сети

Очевидно, что эта функция имеет минимум, соответствующий оптимальному разбиению сети на подсети. На рисунке 2 построена зависимость L(k) при значении параметра N=500 (элементов). Характерно поведение этой функции, иллюстрирующей резкое снижение количества вычислений с ростом количества подсетей. Оптимальное разбиение соответствует 17 подсетям.

Нами также были рассмотрены еще несколько гипотетических сетей, состоящих из неделимых блоков различного вида. Изменялись соотношения между количеством элементов в блоках и количеством «связующих» элементов. Результаты, полученные на этих примерах, полностью согласуются с результатами, приведенными в данной статье.

Литература

1. Крон Г. Исследования сложных систем по частям— диакоптика. - М: Наука, 1972. 544 с.
2. Сметанин Е. В., Иванова Н. Б. Математическое обоснование и обобщение диакоптики Крона: Разбиение крупномасштабной сети на подсети с одним общим узлом. // Вестн. Иван. гос. ун-та. Биология. Химия. Физика. Математика. 2002. Вып. 3. С. 66-69.
3. Сметанин Е. В., Иванова Н. Б. Математическое обоснование и обобщение диакоптики Крона: Разбиение крупномасштабной сети на подсети без общего узла. // Там же. С. 66-69.

УДК 621.321.925

Н.Б. ИЛЬИЧЕВ, к.т.н., доцент,
Е.Р. ПАНТЕЛЕЕВ, д.т.н., профессор
А.В. ЕФИМОВ, студент
(ИГЭУ)

Разработка алгоритмов и программных средств интеллектуального автоматизированного проектирования электроэнергетических систем

При проектировании развития электроэнергетических систем необходимо осуществлять решение многих задач. Таких как расчет установившихся режимов, расчет токов коротких замыканий, расчет устойчивости, расчет надежности и некоторых других. При этом необходимо выполнение параметрической и структурной оптимизации электрической сети. Для решения каждой из представленных задач составляются математические модели. При разработке программного обеспечения, набор исходных данных традиционно ориентирован на такие математические модели, которые используются в соответствующих программных продуктах.

При разработке нового программного обеспечения для расчетов электроэнергетических систем следует ориентироваться не на конкретные расчетные задачи, а на создание единой информационной модели, которая, с одной стороны, была привязана к имеющемуся в электрической сети оборудованию, а с другой позволяла бы формально получать необходимые математические модели.

Такой подход, в частности, реализован в программном комплексе “EnergyCS”.

При моделировании электроэнергетической сети на уровне оборудования, а не схем замещения, появляется возможность провести оптимизацию по применению оборудования с учетом его технических характеристик, а также в оптимизационную модель включить стоимостные характеристики, которые позволят получать действительно оптимальные для каждого пользователя решения.

При такой оптимизации параметры или состояние оборудования могут рассматриваться в качестве оптимизируемых параметров, а целевая функция вычисляться на основе информационной модели и результатов, выполненных по ней расчетов. В этом случае предлагается применять оптимизационные методы на основе поиска и упорядоченного перебора. То есть, такие методы как покоординатный спуск, метод деформируемого многогранника, для перебора - метод ветвей и границ. Таким образом, электрическая система представляется «черным ящиком» с набором входных и выходных параметров. Входными параметрами являются оптимизируемые параметры оборудования сети, а выходными - результаты расчета режимов и стоимостных показателей участков сети. На основе этих параметров может быть сформирована целевая функция – суммарные дисконтированные затраты, учитывающие капитальные вложения в сооружение участка сети и стоимость потерь электроэнергии, обобщенный показатель качества напряжения в сети и стоимость оборудования, применяемого для его улучшения и т. п.

По заданным критериям и сформированной целевой функции производится оптимизация, а в результате получается искомое проектное решение.

УДК 801.541.20

В.П. ЗУБКОВ к.т.н., М.Л. СОЛОВЬЕВ к.т.н.
(ИГЭУ)

Приобретение знаний с помощью метода индукции

Ввод знаний можно осуществлять многими способами. Самым сложным для системы, но и самым простым для пользователя является ввод знаний в виде текстов на естественном языке. При этом полученные знания должны быть так сохранены, чтобы имелась возможность их многофункциональности. Например, если введены сведения о задаче линейного программирования, то на основании этих знаний должна иметься возможность решать обратные задачи.

Накапливаемые знания хранятся в базе знаний и базе данных. Они используются для их дополнения или в качестве базовой информации для получения новых знаний.

Кроме ввода в виде текстов на естественном языке знания можно вводить, используя различные частично формализованные и полностью формализованные представления.

При неполной индукции вводятся множество описаний объектов с описаниями их признаков. Задача системы приобретения знаний состоит в получении обобщающей информации. Например, золото – твердое тело; цинк – твердое тело; медь – твердое тело; железо – твердое тело; золото, цинк, медь, железо – металлы. Следовательно все металлы – твердые тела. Признаков у объектов может быть несколько.

При математической индукции используется символическое представление: исходного выражения(ИВ); ключевых выражений (КВ); правил расчета(ПР); правил преобразований(ПП); цепочки доказательств(ЦД), цепочки вспомогательных доказательств(ЦВД). Рассмотрим пример доказательства равенства $1+2+\dots+N = (N+1)*N/2$:

- ИВ: $1+2+\dots+N = (N+1)*N/2$; - КВ: $V1(N): 1+2+\dots+N$;
 $V2(N): (N+1)*N/2$;

- ПР: $V1(1):1$; $V1(2):<3>$; $V1(N):<S=0;1..N;S=S+1>$;

- ПП: $RULE1:V1(K+1) = V1(K) + (K+1)$; $RULE2: XN = XN / 1$;

$RULE3: X_1 / X_2 + X_3 / X_4 = (X_1*X_4 + X_3 * X_2) / X_2*X_4$;

$RULE4:(X_1 + X_2) + X_3 = X_1 + (X_2 + X_3)$; $RULE5: X_1 * X_2 = XN$;

$RULE6: XN = XN * 1$; $RULE7: X_1 * X_2 + X_1 * X_3 = X_1 * (X_2 + X_3)$;

$RULE8: (XN) = XN$; $RULE9: X_1 * X_2 = X_2 * X_1$;

- ЦД: $V1(N) = V2(N) \Rightarrow N = 1 \Rightarrow V1(1) = 1$; $V2(1) = 1 \Rightarrow V1(1) =$

$V2(1) \Rightarrow N = K \Rightarrow V1(K) = V2(K) \Rightarrow N = (K+1) \Rightarrow V1(K+1) = V1(K) + (K+1) =$

$V2(K) + (K+1) = (K+1)*K/2 + (K+1) = \{\{\uparrow SEQ1(\rightarrow)\}\} = X1/2 + (K+1) =$

$\{\{\uparrow SEQ2(\rightarrow)\}\} = X1/2 + X2/1 \{\{\uparrow SEQ3(\rightarrow)\}\} = (X_1*X_4 + X_3*X_2)/X_2*X_4$

$= \{\{\uparrow SEQ3(\leftarrow); SEQ2(\leftarrow); SEQ1(\leftarrow)\}\} = ((K+1) * K + (K+1)*2)/2 = \{\{\uparrow SEQ4\}\} =$

$(X_1 * (X_2 + X_3))/2 = \{\{\ SEQ4(\leftarrow)\}\} = ((K+1) * (K+2))/2 = (K+1)*(K+2)/2$;

$V2(K+1) = ((K+1) + 1)*(K+1)/2 = (K+1)*(K+2)/2$; $\Rightarrow V1(K+1) = V2(K+1)$;

- ЦВД: $SEQ1: K+1 \rightarrow X_1$; $K \rightarrow X_2 \Rightarrow X_1*X_2 \rightarrow X1 \downarrow$; $SEQ2: (K+1) \rightarrow$

$X2 \Rightarrow X2 = X2/1 \downarrow$; $SEQ3: X1 \rightarrow X_1$; $2 \rightarrow X_2$; $X2 \rightarrow X_3$; $1 \rightarrow X_4 \Rightarrow X1/2 +$

$X2/1 = X_1/X_2 + X_3/X_4 = (X_1*X_4 + X_3*X_2)/X_2*X_4 \downarrow$; $EQ4: (K+1)$

$\rightarrow X_1$; $K \rightarrow X_2$; $2 \rightarrow X_3 \Rightarrow ((K+1) * K + (K+1)*2) = (X_1 * X_2 + X_1 * X_3)$

$= (X_1 * (X_2 + X_3)) \downarrow$;

Если в правилах преобразований отсутствуют нужные правила, то их можно ввести, либо доказательства не произойдет.

Для индуктивного способа приобретений знаний в клиент/серверной архитектуре на клиенте хранятся коды, реализующие следующие функции: обработка текста на естественном языке; преобразование суждений в формулы; вывод правдоподобных правил; преобразование формул в суждения; распознавание формальных структур в тексте на естественном языке; вывод экспериментальных формул; ввод правил; вывод формул.

В хранилище должны храниться следующие данные: множество правил, множество дополнительных правил, множество истинных формул, множество правдоподобных формул, множество экспериментальных правил, множество фактических данных.

Метод математической индукции может в своих правилах содержать некоторые обращения к другим методам, таким, например, как аналогия.

В любой из архитектур программных систем приобретения знаний должен присутствовать блок задавания вопросов. Для этого в базе знаний должны быть шаблоны вопросов и правила выстраивания вопросов в нужную последовательность в зависимости от цели.

В словаре русского языка Ожегова С.И. понятие «вопрос» имеет три смысла. Для применения на компьютере наиболее подходит следующее определение. Вопрос [1] – это обращение, требующее ответа. И обращение, и ответ – это сообщения, содержащие некоторую информацию.

Литература

1. Ожегов С.И. Словарь русского языка, М.: Советская энциклопедия, 1972, 847 с.

УДК 801.541.20

В.П. ЗУБКОВ, к.т.н. , М.Л. СОЛОВЬЕВ, к.т.н.
(ИГЭУ)

Проектирование архитектуры программной системы для приобретения знаний методом дедукции

Дедукция используется для систематизации теории или системы знания, прослеживания логических связей, входящих в нее утверждений, построения объяснений и пониманий, опирающихся на общие принципы, предлагаемые теорией. Прояснение логической структуры теории, укрепление ее эмпирической базы и выявление ее общих предпосылок является важным вкладом в обоснование входящих в нее утверждений.

В широком смысле дедукция [1] – это такая форма мышления, когда новая мысль выводится чисто логическим путем из некоторых данных мыслей.

Дедукция в узком смысле слова [1] – это такое умозаключение, в результате которого получается новое знание на основании имеющегося некоторого знания и применения некоторого правила логики.

При шаблоне клиент/сервер и при двухуровневом развертывании весь код находится на клиенте, а база данных (база знаний) на сервере.

Шаблон клиент-сервер представляет базовую структуру с двумя основными компонентами: клиент и сервер. При таком сценарии клиент и сервер обычно размещаются на двух разных уровнях.

2-уровневое развертывание физически это та же компоновка, что и шаблон клиента/сервер. Основное отличие в том, как происходит взаимодействие компонентов уровней. В некоторых случаях, как показано на рисунке 1, весь код приложения размещается на клиенте, и база данных (база знаний) выносится на отдельный сервер. Клиент использует хранимые процедуры или минимальную функциональность доступа к данным сервера базы данных (базы знаний).

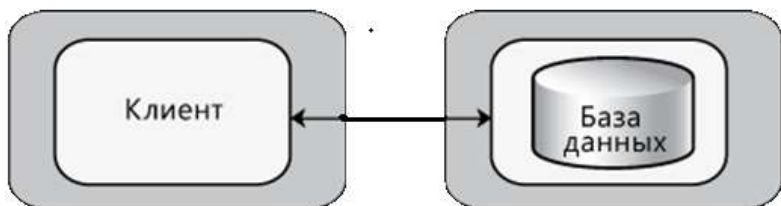


Рис. 1. 2-х уровневое развертывание с размещением всего кода приложения на клиенте

На клиенте располагаются следующие компоненты:

- компонент обработки текста на естественном языке (CWNL);
- компонент преобразования суждений в формулы (CPrSF);
- компонент вывода теорем (COT);
- компонент преобразования формул в суждения (CPrFS);
- компонент распознавания формальных структур в тексте на естественном языке (CRFSNL);
- компонент применения логических правил (CPLPw);
- компонент применения правил вывода (CPPwO).

Перечисленные компоненты семантически ориентированы, поэтому универсальными они не являются.

С другой стороны такие компоненты как CWNL, CPrSF, CPrFS, CRFSNL являются инвариантными, так как могут использоваться в других методах приобретения знаний.

Для приобретения знаний, используя дедуктивный метод, может быть использована компонентная архитектура программной системы.

Приобретение знаний на основе метода дедукции может использоваться при обработке текстов на естественном языке.

Литература

1. Кондаков Н.И. Логический словарь-справочник, М.: Наука, 1975, 717 с.

Перспективы реализации квантовых алгоритмов в задачах компьютерной графики

В обычном компьютере информация хранится в битах, которые принимают значения 0 или 1. Ячейкой хранения информации в квантовом компьютере является квантовый бит (quantum bit, qubit), или кубит. Это квантовая частица, которая может иметь два состояния (одно принимается за 0, другое - за 1). N кубит могут, как и N бит, иметь 2^N возможных состояний, однако принципиальное отличие состоит в том, что кубиты могут находиться в суперпозиции этих состояний и быть при этом запутанными между собой. Это значит, что система из нескольких кубитов в режиме запутанности имеет до N^N виртуальных состояний в квантовом пространстве и можно изменить сразу 2^N состояний. В классическом компьютере такая операция потребовала бы 2^N шагов. После необратимого процесса, называемого декогеренцией состояние запутанности между кубитами пропадает и система кубитов остается в одном из 2^N базовых состояний. Если рассматривать систему связанных кубитов, то другие возможные состояния могут быть получены унитарными преобразованиями матрицы, при которых одновременно изменяется состояние каждого из кубитов. В виртуальном квантовом пространстве такие преобразования обратимы, проходят без рассеяния энергии, и происходят за время, гораздо меньшее, чем время устойчивого существования системы квантово-связанных кубитов. В ходе проведения обратимых унитарных преобразований может возникнуть ситуация выполнения определенного условия, при которой становится необходимым фиксировать результат квантовых вычислений: при этом каждый кубит в результате процесса декогеренции переходит в одно из устойчивых состояний 0 или 1. Нетрудно подсчитать, что общее число устойчивых состояний системы из N кубитов составляет всего 2^N , что гораздо меньше, чем число виртуальных состояний системы из N квантово-связанных кубитов.

В настоящее время известны успешные реализации квантовых вычислений в системах из 8, 10 и 12 кубит. Прогнозируется, что к 2030 году появятся серийно выпускаемые устройства, обеспечивающие квантовые вычисления в системе из 30 кубитов. По этой причине уже сейчас необходимо разрабатывать алгоритмы квантовых вычислений для различных задач. Особый интерес представляют задачи, для которых пока не удалось найти алгоритмы, позволяющие получить полиномиальное представление объема памяти и числа вычислительных операций в зависимости от количества объектов – именно для этих задач квантовые вычисления будут наиболее эффективны.

В задачах компьютерной графики во многих случаях не удается найти полиномиальные алгоритмы, поэтому разработка квантовых алгоритмов для таких задач является перспективным направлением развития теории вычислимости. К классу алгоритмически сложных задач относятся задачи построения выпуклой оболочки для облака точек, поиск множества путей на сетевом графе, распознавания образов и другие задачи, где число отношений между объектами растет экспоненциально или по факториалу в зависимости от числа объектов.

Для одной из задач компьютерной графики можно показать возможность построения квантового алгоритма, использующего только обратимые операции над состояниями в виртуальном квантовом пространстве. Предположим, в пиксельном поле размерности $A \times B$ необходимо найти фрагменты $L \times K$, соответствующие заданным шаблонам (в частном случае одному). Если виртуальное квантовое пространство содержит более чем

$L \times K$ состояний (т.е. $N! > L \times K$, где N число кубит), то при первоначальной рекогеренции устанавливается состояние $L \times K$ ячеек соответствующее шаблону. Далее осуществляется операция двукратного сложения по модулю 2 (XOR) с фрагментами пиксельного поля $A \times B$, начиная с первого пиксела и до пиксела $(A-L, B-K)$. При двукратном сложении по модулю 2 состояние виртуальной памяти не изменяется, однако, если после первого сложения произошло обнуление виртуальной памяти, это является признаком соответствия шаблону и условием окончания процесса. После декогеренции и записи положения пиксела в матрице $A \times B$ процесс может быть продолжен для поиска новых фрагментов матрицы, совпадающих с шаблоном $L \times K$.

Литература

1. **А. Китаев, А. Шень, М. Вьяль** «Классические и квантовые вычисления», МЦНМО, 1999 г.

Применение методов геометрического моделирования для оценки решений в задачах математической физики

Возможности современных программных систем геометрического моделирования позволяют разрабатывать трехмерные, изменяющиеся во времени геометрические модели, масштабируемые как по пространственным координатам, так и по времени. Известно, что решением задач уравнений в частных производных является построенное в пространстве нескольких переменных семейство интегральных поверхностей функций, удовлетворяющая краевым и начальным условиям, причем в простейшем случае эллиптических уравнений интегральная поверхность представляет функцию только пространственных переменных. Важно также отметить, что построенная каким либо путем интегральная поверхность, удовлетворяющая краевым и начальным условиям, является единственным решением задачи математической физики (по крайней мере для эллиптических и параболических уравнений).

Для построения интегральной поверхности в пространстве переменных необходимо использовать известные закономерности и свойства решений уравнений математической физики: так, например, решением уравнения Лапласа является два семейства ортогональных функций (эквипотенциали и потоковые функции), подчиняющихся условиям Остроградского-Гаусса для замкнутой области, а пространственно-временные решения параболического уравнения следует искать в виде сечений характеристического конуса для разных моментов времени вдоль оси конуса, причем в общем случае конус наклонен к плоскости проекций, метрика которой определена пространственными переменными. Из большого числа автоматизированных систем, реализующих возможности трехмерного геометрического моделирования, прежде всего следует отметить получившие широкое распространение системы AutoCAD, 3D-MAX и система «Компас» разработанная российской фирмой «Аскон».

При этом система 3D-MAX позволяет создавать динамические модели в виде последовательности кадров видеоклипа и масштабировать геометрическую модель не только по пространственным координатам, но и по временной координате. Перечисленные системы были использованы для геометрического моделирования плоско-параллельного электрического поля проводника произвольного сечения в замкнутой протяженной оболочке и моделирования зоны конвективного диффузного распространения загрязнений в трехмерной среде при заданной постоянной скорости смещения среды относительно системы координат, определенной пространственными переменными. Было проведено сравнение результатов с известными решениями.

Экспериментальная оптимизация алгоритма идентификации

Идентификация является важной и хорошо развитой частью теории управления, в этом направлении ведутся многочисленные исследования, публикуются работы и проводятся конференции. С инженерной точки зрения наиболее интересными из достигнутых результатов представляются те, которые позволяют обходиться минимумом сенсоров, т.е. оперирующие измерением минимального числа сигналов, предпочтительно только входного и выходного. Среди большого числа реализующих этот подход алгоритмов [1,2,4,5] достойное место занимает алгоритм *state variable filter*. Так как автору не встречался в русскоязычной литературе общепризнанный перевод этого термина, то в дальнейшем будем слаться на него как на SVF алгоритм. Применение этого алгоритма для идентификации электропривода с двухмассовой нагрузкой описано, например, в работе [1]. Однако, как и многие методы идентификации по выходу, SVF алгоритм содержит фильтрующее звено, от параметров которого зависит качество идентификации. Данная фильтрация позволяет, с одной стороны, отсеять шумовые составляющие сигналов, но, с другой стороны, требует очень точно выбрать частоту среза фильтров, чтобы не подавить полезный информационный сигнал. С теоретической точки зрения, для выбора таких фильтров требуется наличие большого числа априорной информации о характере возмущения, что, к сожалению, практически никогда не осуществимо.

В работе предложен метод определения по экспериментальным данным оптимальных параметров фильтрующего звена SVF-алгоритма идентификации. Предложенный метод применялся для идентификации параметров электропривода опорно-поворотного устройства оптического телескопа системы лазерной дальнометрии [3].

Для полноты изложения приведем здесь основное содержание SVF-алгоритма. Рассмотрим задачу идентификации линейной стационарной динамической системы:

$$a(p)y(t) = b(p)u(t), \quad (1)$$

где $y(t)$ и $u(t)$ – измеряемые выходной и входной сигнал соответственно, p – интегро-дифференциальный оператор, $b(p)$ и $a(p)$ – полиномы с неизвестными постоянными параметрами степени m и n соответственно, полином $a(p)$ имеет единичный коэффициент при старшей степени. Введем в рассмотрение гурвицев степени n

$$f(p) = (p + \lambda)^n = p^n + f_{n-1}p^{n-1} + \dots + f_1p + f_0. \quad (2)$$

Тогда выражение (1) может быть преобразовано к виду:

$$y(t) = \frac{f(p) - a(p)}{f(p)} y(t) + \frac{b(p)}{f(p)} u(t). \quad (3)$$

Введем дополнительные переменные $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$, представляющие собой пропущенные через фильтр

$$\frac{\lambda^n}{(p + \lambda)^n}$$

сигналы $y(t)$ и $u(t)$ соответственно. Тогда вместо (3) можно записать

$$\lambda^n y(t) = (f(p) - a(p))\xi_1(t) + b(p)\xi_2(t). \quad (4)$$

Но так как данный фильтр введен в систему искусственно, то все производные сигналов $\xi_1(t)$ и $\xi_2(t)$ могут быть измерены. Перепишем (4):

$$\lambda^n y(t) = \left[p^{n-1}\xi_1(t) \ \dots \ \xi_1(t) \ p^m\xi_2(t) \ \dots \ \xi_2(t) \right]^T \times \\ \times \left[f_{n-1} - a_{n-1} \ \dots \ f_0 - a_0 \ b_m \ \dots \ b_0 \right] = \psi^T(t)\theta \quad (5)$$

Выражение (5) представляет собой классическую линейную регрессионную модель, где регрессор $\psi(t)$ полностью измеряем. Существуют различные методы, позволяющие по модели (5) определить вектор постоянных неизвестных параметров θ , наиболее распространенный среди которых – метод наименьших квадратов (МНК). Очевидно, что определение вектора θ автоматически решает задачу идентификации параметров модели (1).

Изложенный выше SVF-алгоритм имеет один настраиваемый параметр λ в выражении (2). Как было сказано выше, теоретический расчет этого параметра, позволяющий наилучшим образом фильтровать помехи и не исказить собственную динамику системы, требует для своего расчета априорной информации, как о помехах, так и о динамике объекта, которая, в силу самой постановки задачи идентификации, отсутствует. Предложим метод, позволяющий по экспериментальным данным определить оптимальное значение λ . Для этого введем критерий оптимальности.

Для некоторых результатов эксперимента $u(t)$, $y(t)$, заданного значения $\lambda = \lambda_0$, можно получить наилучшую в смысле наименьших квадратов для выражения (5) оценку параметров модели $\theta_{est}(\lambda_0)$. Для модели системы, описываемой этими параметрами, можно вычислить реакцию системы $y_{est}(t)$, которая была бы получена, если на вход этой модели подать входное воздействие $u(t)$. Соответственно, можно вычислить отклонение $e(t) = y(t) - y_{est}(t)$. Данная величина будет показывать, насколько процессы, описываемые моделью $\theta_{est}(\lambda_0)$, близки к результатам эксперимента $y(t)$. Можно ввести критерий

$$J(\lambda) = \int_0^t e^2(t) dt. \quad (6)$$

Аналогичным образом может быть получен критерий для случая дискретных отсчетов. Данный критерий может быть легко вычислен по результатам эксперимента. Тогда для набора различных значений параметров фильтров λ_i , i от 1 до N , можно вычислить соответствующие значения $J_i = J(\lambda_i)$ и определить такое i , при котором указанный критерий примет минимальное значение. Тогда можно говорить, что при соответствующем значении λ получена оптимальная в смысле критерия (6) оценка модели (1).

Замечание. Приведенные выше соображения справедливы только для случая, когда математическое ожидание шумов равно нулю. Однако именно такие шумы наиболее распространены на практике.

Анализ поведения кривой $J(\lambda)$ представляет собой сложную аналитическую задачу, опять же требующую большого числа априорных данных. Однако автором был проведен ряд экспериментов по идентификации параметров электроприводов с различной механической нагрузкой, на основе которых можно заключить: Для относительно простых систем до третьего порядка, не имеющих нулей, кривая $J(\lambda)$ имеет один экстремум. Вблизи этого экстремума производная целевой функции близка к нулю, при удалении резко возрастает. Это позволяет использовать вместо перебора возможных значений методы теории оптимизации, например градиентные, или поисковые методы. Для сложных объектов, обладающих нулями (например, электропривод и многомассовая нагрузка), целевая функция имеет большое число локальных минимумов. В этом случае методы оптимизации, представленные в ПО Matlab, Optimization toolbox, не справляются с поиском глобального минимума и на практике приходится прибегать к перебору возможных значений λ в некотором широком диапазоне.

Литература

1. **Арановский С.В.**, Бардов В.М. Метод идентификации параметров системы двигатель-двухмассовый механизм по измерениям выходной переменной // Мехатроника, автоматизация, управление. 2010. С. 15-18.
2. **Борцов Ю. А.**, Поляхов Н. Д., Путов В. В. Электромеханические системы с адаптивным и модальным управлением. Л., 1984. Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. 216 с.
3. **Васильев В.Н.**, Томасов В.С., Шаргородский В.Д., Садовников М.А. Состояние и перспективы развития прецизионных электроприводов комплексов высокоточных наблюдений. // Изв. ВУЗов. Приборостроение. 2008.
4. **Льюнг Л.** Идентификация систем. Теория для пользователя. М., 1991. Наука.
5. **Никифоров, В.О.** Адаптивное и робастное управление с компенсацией возмущений. СПб: Наука, 2003. 282 с.

Математическая модель термоэлектрического охлаждения влажного воздуха

Термоэлектрическое охлаждение влажного воздуха возможно применить в установках для сушки с циркуляцией сушильного агента по замкнутому контуру. [1] Конденсация влаги из воздуха после его взаимодействия с обрабатываемым объектом происходит в камере влагоудаления, построенной на термоэлектрических модулях (ТЭМ). [2]

Математическая модель изменения температуры теплоносителей по холодной и горячей сторонам ТЭМ описывается дифференциальными уравнениями в безразмерном виде (1) и граничными условиями (2). [3]

$$\begin{cases} \frac{d\Theta_1}{dX} = b \cdot \left\{ [v^2 \cdot m \cdot \beta - (1+v)] \cdot \Theta_1 + \Theta_2 + \frac{v^2}{2} \cdot [1 + (2-v) \cdot m \cdot \beta] \right\}; \\ \frac{d\Theta_2}{dX} = \eta \cdot b \cdot \left\{ [v^2 \cdot \beta - (1-v)] \cdot \Theta_2 + \Theta_1 + \frac{v^2}{2} \cdot [1 + (2+v) \cdot \beta] \right\}, \end{cases} \quad (1)$$

$$\Theta_1(0) = \Theta_1^H; \quad \Theta_2(0) = \Theta_2^H, \quad (2)$$

где индексы 1 и 2 относятся соответственно к холодной и горячей сторонам ТЭМ; $\Theta_{1,2} = \bar{\alpha}^2 \cdot \dot{\Theta}_{1,2} \cdot (\rho \cdot \lambda)^{-1}$ - безразмерная температура теплоносителей на сторонах ТЭМ; $X = x/l$ - безразмерная координата вдоль потоков теплоносителей; $b = k \cdot S/W_1$ - безразмерный комплекс, характеризующий взаимный теплообмен между холодной поверхностью ТЭМ и потоком массы теплоносителя; $v = \bar{\alpha} \cdot d \cdot j/\lambda$ - безразмерная плотность тока; $\beta = Bi_1^{-1}$ - отношение термического сопротивления передачи тепла на холодной поверхности ТЭМ к термическому сопротивлению ТЭМ; $m = Bi_1/Bi_2$ - отношение коэффициентов теплоотдачи на сторонах ТЭМ; $Bi_{1,2} = \alpha_{1,2} \cdot d/\lambda$ - критерий Био; $\eta = W_1/W_2$ - отношение теплоемкостей теплоносителей на сторонах ТЭМ; $\Theta_{1,2}^i = \bar{\alpha}^2 \cdot \dot{\Theta}_{1,2}^i \cdot (\rho \cdot \lambda)^{-1}$ - безразмерная температура теплоносителей на входе в термоэлектрический тепловой насос; $\bar{\alpha}$ - коэффициент термо-ЭДС ТЭМ, В/К; $\dot{\Theta}_{1,2}$ - температура теплоносителей на сторонах ТЭМ, К; ρ - плотность термоэлектрического вещества, кг/м³; λ - коэффициент теплопроводности термоэлектрического вещества, Вт/(м·К); l - длина

ТЭМ, м; S – площадь поверхности ТЭМ, m^2 ; W – водяной эквивалент теплоносителя, Вт/К; d – высота ТЭМ, м; j – плотность тока в ветвях ТЭМ, А/ m^2 ; α – коэффициент теплоотдачи с поверхности ТЭМ, Вт/($m^2 \cdot K$); $\dot{Q}_{1,2}^j$ – температуры теплоносителей на входе в термоэлектрический тепловой насос, К.

Параметр влажности учитывается в теплофизических характеристиках теплоносителей. При температуре холодной стороны термоэлектрического модуля равной температуре насыщения теплоносителя возникает пленка конденсата, в результате чего увеличивается теплоотдача с поверхности холодной стороны ТЭМ. Поэтому расчет коэффициента теплоотдачи с поверхности необходимо проводить с учетом пленочной конденсации по известным соотношениям.

В данной математической модели выделен безразмерный комплекс b , который является критерием, определяющим возможность термоэлектрического охлаждения потока теплоносителя при определенных характеристиках до заданной температуры.

Литература

1. Алексеев В.С. Установка для конвективной сушки семян и лекарственных трав / В.С. Алексеев, П.В. Токмин // Успехи современной электротехнологии: сб. тр. междунар. науч. конф. Саратов: СГТУ, 2009. С. 151 – 154.
2. Алексеев В.С. Конденсация влаги при термоэлектрическом охлаждении влажного пара / В.С. Алексеев, И.Н. Антонов // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2010. № 3 (47). С. 7–9.
3. Каганов М.А., Привин М.Р. Термоэлектрические тепловые насосы (теоретические основы расчета) / М.А. Каганов, М.Р. Привин. – Л.: Энергия, 1970. – 173 с.

Исследование кинетики СВЧ сушки диэлектриков с использованием феноменологической модели

В настоящее время накоплен обширный опыт в изучении кинетики сушки различных диэлектрических материалов. Существует целый класс моделей, позволяющих изучать кинетику сушки [1 – 4]. Эти модели являются достаточно сложными как с точки зрения численной реализации, так и с точки зрения определения входящих в них параметров.

В теории математического моделирования в настоящее время известны и широко применяется так называемый феноменологический подход [5]. Характерной особенностью таких феноменологических моделей является то, что они не требуют, не используют и не отображают каких-либо гипотез о деталях тонких физических процессов в изучаемых объектах, в которых эти данные получены. Простые по структуре, такие модели (обычно при числе переменных менее 10) достаточно хорошо отражают истинное поведение объекта в окрестности отдельных "режимов работы". Применительно к СВЧ электротермическим процессам это означает, что для того, чтобы построить адекватную модель процесса термообработки, не обязательно до тонкостей знать процессы преобразования СВЧ электромагнитной энергии в обрабатываемом материале. Достаточно задать общее описание процесса и несколько входных параметров, определяющих состояние системы. В нашем случае это, например, начальная и конечная температура объекта, скорость движения воздуха в рабочей камере, параметры объекта обработки, коэффициент отражения рабочей камеры и т.д.

Учитывая значительную сложность комплексного моделирования термообработки [6], использование феноменологического подхода к решению поставленной задачи видится весьма оправданным. В соответствии с таким подходом особенности протекания диффузионных процессов в модели учитываются опосредованно через изменение параметров объекта.

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{d\Theta_1}{dt} (c_{m1}m_1 + c_{M1}M_1) = \eta P(t) - (h_k + h_u)S(T_1 - T_2) \\ \frac{d\Theta_2}{dt} (c_{m2}m_2 + c_{M2}M_2) = (h_k + h_u)S(T_1 - T_2) - S_k h_k (T_2 - T_0) - \\ - G\rho c_{M2}(T_2 - T_0) - G\rho_2 c_{m2}T_2 + G\rho_3 c_{m2}T_0 \\ \frac{dm_1}{dt} = -\frac{h_u S}{r} (T_1 - T_2) \\ \frac{dm_2}{dt} = \frac{h_u S}{r} (T_1 - T_2) - G\rho_2 + G\rho_3 \end{array} \right. \quad (1)$$

где $\Theta_1 = T_1 - T_0$; $\Theta_2 = T_2 - T_0$ – температурные напоры объекта и воздуха в рабочей камере; T_1, T_2 – текущая температура объекта и воздуха в рабочей камере; T_0 – температура нормальных условий (20°C); $P(t)$ – мощность СВЧ; S – площадь, с которой идет испарение и теплоотдача конвекцией; m_1 и M_1 – масса жидкости и сухого скелета в обрабатываемом объекте; m_2 и M_2 – масса водяных паров и сухого воздуха в рабочей камере; c_{m1} и c_{M1} – удельные теплоемкости жидкости и сухого скелета обрабатываемого объекта; c_{m2} и c_{M2} – удельные теплоемкости водяных паров и сухого воздуха; G – расход воздуха; ρ – собственная плотность воздуха; ρ_2 – плотность водяных паров в рабочей камере; ρ_3 – плотность водяных паров в приходящем потоке воздуха.

Первое из уравнений описывает изменение температуры объекта. Она зависит от поглощаемой СВЧ энергии $\eta P(t)$ и от тепловых потерь за счет конвективной теплопередачи воздуху рабочей камеры и за счет испарения воды.

Второе уравнение описывает изменение температуры воздуха в рабочей камере, которая зависит от конвективной теплопередачи от объекта к воздуху, испарения воды из объекта и конвективной теплопередачи к рабочей камере с внутренней поверхностью S_k . Учитывается также энергия, которая приносится и уносится из рабочей камеры водяным паром, а также энергия, которая расходуется на нагрев сухого воздуха массой M_2 , поступающего в рабочую камеру с расходом G .

Третье уравнение описывает изменение массы воды в объекте за счет испарения, а четвертое – описывает изменение влагосодержания в воздухе рабочей камеры за счет испарения из объекта и удаления из камеры испаренной жидкости за счет принудительного воздухообмена.

Эти уравнения образуют замкнутую систему обыкновенных нелинейных дифференциальных уравнений. Подобные уравнения могут быть эффективно интегрированы численно с привлечением тех или иных разностных численных методов, например, метода Рунге и Кутты. Для эффективного численного интегрирования с привлечением ЭВМ была выполнена нормировка уравнений для того чтобы преобразовать их к безразмерному виду. Указанная нормировка при корректном выборе нормирующих постоянных позволяет исключить возможность оши-

бок переполнения, накопления численной ошибки в ходе интегрирования, а также избежать возможного появления сингулярностей в решениях, связанных с численными методами.

Была проведена верификация разработанной математической модели - сопоставление результатов моделирования с результатами натуральных экспериментов.

В качестве объекта сравнения были выбраны результаты экспериментов по сушке растительного сырья (листьев и верхушек побегов мяты (*Mentha spicata* L.)) [7] и картофеля (*Solanum tuberosum*) [8]. Математическое моделирование выполнялось при тех же условиях и с теми же исходными данными, что и в натуральных экспериментах.

В исследуемой модели удельная теплоемкость сухого скелета объекта задана в виде полинома [9]. Учет изменения энергопоглощения объектом в процессе сушки в исследуемой модели задан эмпирически [5].

Было установлено, что результаты математического моделирования с использованием феноменологического подхода показывают хорошее совпадение с экспериментальными результатами. Таким образом, был сделан вывод: предлагаемая математическая модель показывает физически адекватные результаты и, соответственно, результаты по моделированию кинетики сушки других объектов, также будут обладать достаточной степенью достоверности.

Точность такого моделирования может быть не очень высокой (ошибка может составлять порядка нескольких процентов), однако для общего анализа протекания технологического процесса такие результаты, на наш взгляд, вполне допустимы. Главные преимущества такой модели – ее простота и удобство использования – с успехом компенсируют этот недостаток.

Вывод: предложена модель, способная демонстрировать корректное описание режимов периодической термообработки диэлектрических материалов в СВЧ электромагнитном поле. Структура модели позволяет использовать ее для целей моделирования технологических процессов когда не требуется высокая точность оценки текущих параметров системы, а важно иметь оценки этих параметров для их коррекции.

Литература

1. Лыков А. В. Теория сушки / А. В. Лыков. – М.: Энергия, 1968. – 367с.
2. Гинзбург А. С. Расчет и проектирование сушильных установок пищевой промышленности / А. С. Гинзбург. – М.: Агропромиздат, 1985. – 336 с. К. Haghi, N. Amanifard, "Analysis of heat and mass transfer during microwave drying of food products", Brazil Journal of Chemical Engineering, Vol. 25, No. 03, pp. 491 - 501, July - September, 2008.
3. M. Zhang et al. "Trends in microwave-relation drying of fruits and vegetables", Trends in Food Science & Technology, No. 17, pp. 524-534, 2006.
4. Дунаева Т. Ю. Использование феноменологического подхода для математического моделирования процессов СВЧ термообработки / Т.Ю. Дунаева, А.О.

Мантуров // Успехи современной электротехнологии: материалы международной науч.-техн. конф. / СГТУ. – Саратов, 2009. – С.42-45.

5. Архангельский Ю.С. Компьютерное моделирование СВЧ электротермических процессов и установок / Ю.С. Архангельский, С.В. Тригорлый. – Саратов: СГТУ, 2006. – 212 с.

6. Yurtsever Soysal, 2005. Mathematical Modeling and Evaluation of Drying Kinetics of Mint (*Mentha spicata* L.). J. of Applied Sciences 5 (7): 1266-1274.

7. G.Bihercz, Z.Kurjak, "Analysis of the microwave and convective vegetable de-watering process as a function of drying conditions", Brazil Proceeding of the 14th International Drying Symposium, Vol. B, pp. 1652-1659, 22-25 August, 2004.

8. Урьяш В. Ф. Теплоемкость в интервале 293-323 К ряда высушенных растительных продуктов / В. Ф. Урьяш [и др.]// Вестник Нижегородского университета им. Н.В. Лобачевского. – 2007. - №2. – С. 109-111.

УДК 519.677

М.А. КАРПОВ, инженер,
В.М. КОКИН, к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Разработка трехмерной САПР для проектирования оптимальной структуры системы молниезащиты подстанций

Молния, непредсказуемое, вероятностное явление, которое может стать причиной серьезных аварий на подстанциях (ПС). Прерывание электроснабжения приводит к значительным экономическим потерям, поэтому для минимизации грозового воздействия на ПС необходима система молниезащиты. Она должна быть эффективной и иметь наименьшую стоимость.

С точки зрения организации системы молниезащиты ПС являются сложными объектами. В России ПС обычно выполняются с помощью открытых распределительных устройств (ОРУ). Они располагаются на открытых площадках и занимают обширную территорию, где размещается высоковольтное оборудование, здания и вспомогательные сооружения. Между ними прокладываются воздушные линии электропередачи, распределительные шины, а также множество кабельных линий различного назначения.

Защита таких объектов от прямых ударов молнии обеспечивается системой стержневых и тросовых молниеотводов. Последние в основном используются для защиты ошиновки большой протяженности, так как обрыв троса (из-за удара молнии или плохого обслуживания) может привести к аварии на ПС. Поэтому наиболее простым и дешевым решением является расположение стержневых молниеотводов на метал-

лических конструкциях ОРУ и других высоких объектах, а также на отдельно стоящих мачтах.

Требуемое количество и высота молниеотводов выбирается в соответствии с нормативными документами. С другой стороны, современные условия требуют, чтобы разработанная система молниезащиты имела минимальную стоимость, а проектирование выполнялось в максимально сжатые сроки. Поэтому актуальной является автоматизация проектирования оптимальной конфигурации системы молниезащиты.

В докладе описана методология организации системы молниезащиты ПС, алгоритм выбора оптимальной структуры и реализующая их программа.

В данной работе для определения зоны защиты системы молниеотводов используется электрогеометрическая модель. В качестве главной технической цели выступает требование, чтобы зона защиты системы молниеотводов охватывала все оборудование и сооружения ПС. С использованием трехмерных моделей подстанции и зоны молниезащиты легко проверить выполнение этого условия.

В качестве общего экономического критерия выступает требование, чтобы количество используемого материала было наименьшим. Для удовлетворения экономического критерия предлагается минимизировать сумму высот молниеотводов. Высота молниеотвода рассматривается как сложная функция, зависящая от расстояния поражения, высоты защищаемых объектов, расположения молниеотводов и их количества.

Разработаны алгоритмы и программный комплекс, предназначенный для анализа и синтеза оптимальной конфигурации системы молниезащиты электрических станций и подстанций. С помощью разработанной программы проектировщик может быстро спроектировать молниезащиту ПС, удовлетворяющую требованиям надежности и экономичности. Кроме того программа может применяться в любой области, не ограничиваясь ПС.

Литература

1. **Карпов М., Воробьев С.** Model Studio CS Молниезащита //САПР и графика, №2, 2010, стр. 8-10.
2. **Le Viet Dung and Petcharaks K.** Lightning Protection Systems Design for Substations by Using Masts and Matlab //Engineering and Technology: World Academy of Science, 2010, pp. 584-588.
3. IEC 62305-3 Protection against lightning – Part 3: Physical damages and life hazard in structures, *International Electrotechnical Commission*, 2006.

УДК 621.321

А. Л. КУЛИКОВ, д.т.н.
В. А. ФАЛЬШИНА, магистрант
(НГТУ им. Р. Е. Алексеева) г. Нижний Новгород

О подходах к упрощенной цифровой фильтрации сигналов электроэнергетических систем

Использование цифровой техники в электроэнергетических системах позволяет решать множество задач обработки сигналов токов и напряжения. К таким задачам можно отнести электрические измерения, релейную защиту, автоматику, управление электроустановками. Обработку сигналов можно производить как в реальном масштабе времени (устройства управления, автоматики, защиты, измерительные приборы), так и в нереальном (устройства ОМП по параметрам аварийных режимов). Отличие состоит в размерах рассматриваемого временного окна и, как следствие, в точности измерения входных сигналов. Благодаря тому, что токи и напряжения электрической сети носят гармонический характер, дискретное преобразование Фурье (ДПФ) представляет собой наиболее популярный метод их спектрального анализа.

$$y(n) = \frac{2}{N} \sum_{i=n-N+1}^n x(i) \cdot \cos\left(\frac{2\pi i}{N}\right); \quad (1)$$

$$y_{\perp}(n) = \frac{2}{N} \sum_{i=n-N+1}^n x(i) \cdot \sin\left(\frac{2\pi i}{N}\right),$$

где $y(n)$ и $y_{\perp}(n)$ – выходные сигналы косинусной и синусной частей алгоритма Фурье соответственно; $x(i)$ – входной дискретный сигнал тока или напряжения; N – число отсчётов на период основной частоты.

Известно, что Эрмитово свойство ДПФ означает двойную избыточность [1], т.к. оно является комплексным преобразованием, использующим N -комплексных значений. Цель статьи состоит в поиске вариантов фильтрации сигналов токов и напряжений, имеющих характеристики, аналогичные ДПФ, но требующих меньше вычислительных затрат.

Целесообразно применение вместо ДПФ дискретное преобразование Хартли (ДПХ) [1]

$$H(n) = \frac{1}{N} \sum_{i=n-N+1}^n x(i) \cdot \text{cas}\left(\frac{2\pi i}{N}\right). \quad (2)$$

Используя функцию $\text{cas}(\alpha) = \cos(\alpha) + \sin(\alpha)$, ДПХ имеет однозначную связь с ДПФ

$$\dot{y}(n) = y(n) + jy_{\perp}(n) = \frac{H(n) + H(-n)}{2} - j \frac{H(n) - H(-n)}{2}. \quad (3)$$

Свойство функции cas :

$$\cos(\alpha + \beta) = \cos(\beta)\cos(\alpha) + \sin(\beta)\sin(\alpha) \quad (4)$$

позволяет реализовать упрощенные фильтры ортогональных составляющих с применением квадратурных фильтров (рис. 1).

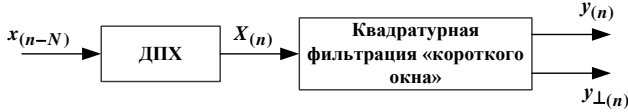


Рис. 1. Сочетание ДПХ с квадратурной фильтрацией «короткого окна»

Наиболее оптимальными являются ДПХ в сочетании с двух-

$$y(n) = \frac{1}{2}[(1 + \operatorname{ctg}(\frac{2\pi}{N}))X(n) - \sin^{-1}(\frac{2\pi}{N})X(n-1)]; \quad (5)$$

$$y_{\perp}(n) = \frac{1}{2}[(1 - \operatorname{ctg}(\frac{2\pi}{N}))X(n) + \sin^{-1}(\frac{2\pi}{N})X(n-1)]$$

и трёхвыборочными алгоритмами квадратурных фильтров

$$y(n) = [\frac{1}{2}\sin^{-1}(\frac{2\pi}{N})(-X(n-2) + X(n)) + X(n-1)]\frac{1}{2}; \quad (6)$$

$$y_{\perp}(n) = [\frac{1}{2}\sin^{-1}(\frac{2\pi}{N})(X(n-2) - X(n)) + X(n-1)]\frac{1}{2}$$

Однако реализованные фильтры несколько уступают существующим по фильтрации.

Дополнительно проведены исследования по совместному применению этих квадратурных фильтров в сочетании с синусным и косинусным фильтрами (1). Наибольший интерес представляет использование синусного фильтра с квадратурными фильтрами. При этом свойство \sin

$$\sin(\alpha - \beta) = \sin(\alpha) \cdot \cos(\beta) - \sin(\beta) \cdot \cos(\alpha). \quad (7)$$

позволило получить более оптимальные квадратурные фильтры с точки зрения объёма вычислений. Математическое выражение для синусного фильтра в сочетании с квадратурным фильтром двух выборов приобретает вид:

$$y_{\perp}(n) = \frac{2}{N} \sum_{i=n-(N-1)}^n x_i \cdot \sin(\frac{2\pi i}{N}); \quad (8)$$

$$y(n) = \operatorname{ctg}(\frac{2\pi}{N}) \cdot y_{\perp}(n) - \sin^{-1}(\frac{2\pi}{N})y_{\perp}(n-1),$$

а для трёхвыборочного алгоритма $y(n)$ имеет форму

$$y(n) = \frac{y_{\perp}(n)(\cos(\frac{2\pi}{N}) + \cos(\frac{4\pi}{N})) - y_{\perp}(n-1) - y_{\perp}(n-2)}{\sin(\frac{2\pi}{N}) + \sin(\frac{4\pi}{N})} \quad (9)$$

При этом АЧХ предложенных фильтров не уступают по частотным характеристикам фильтрам на основе ДПФ, а в некоторых случаях имеет улучшенные характеристики. Важно, что также сохраняются переходные характеристики. Время переходного процесса в фильтре не превышает 0,02 сек. (рис. 2).

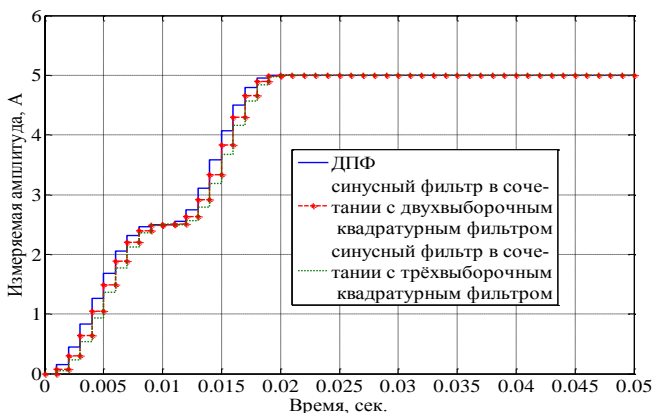


Рис. 2. Переходные характеристики при подаче сигнала амплитуды 5 ампер промышленной частоты ($N=20$)

В некоторых алгоритмах наряду с основной используют кратные гармоники [2, 3, 4]. Предлагаемую упрощенную цифровую фильтрацию можно реализовать и для выделения этих кратных гармоник.

Выводы:

Упрощенные методы фильтрации по сравнению с ДПФ

1. требуют в 2 раза меньшее число математических операций;
2. являются более быстродействующими;
3. имеют аналогичные частотные и динамические свойства;
4. универсальны, т.е. можно их реализовать для фильтрации и цифровой обработки сигналов промышленной частоты, кратных гармоник и других задач фильтрации.

Литература

1. Брейсуэлл Р. Преобразование Хартли: Пер. с англ. – М.: Мир, 1990.
2. Чернобровов Н. В., Семенов В. А. Релейная защита энергетических систем: Учеб. пособие для техникумов. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
3. Шнейерсон Э. М. Цифровая релейная защита. – М.: Энергоатомиздат, 2007.
4. Кискачи В.М. Защита генераторов энергоблоков от замыканий на землю в обмотке статора. – Электричество, 1975.

УДК 519.67

А.В. ПАК, магистрант,
Н.В. ЗАРИКОВСКАЯ, к.ф.-м.н. доцент, доцент
(ТУСУР) г. Томск

Автоматизированное определение границ стадий на зависимостях напряжение-деформация и определение значений показателя деформационного упрочнения в уравнении Холла-Петча и Лоу

Локализация пластической деформации металлов и сплавов является существенным, а часто определяющим фактором многих технологических процессов, связанных с формоизменением. Как установлено в ходе многочисленных экспериментов, пластическая деформация моно- и поликристаллов металлов и сплавов протекает локализовано на всех этапах процесса. Тип картин макролокализации, имеющих характер автоволновых процессов, определяется действующим на соответствующей стадии законом деформационного упрочнения. Тенденция к локализации на разных пространственных масштабах является атрибутивным признаком всех деформационных процессов, независимо от их природы. Для развития представлений о процессах макролокализации необходимы данные о количественной связи параметров автоволн локализации пластического течения с размерами структурных элементов деформируемой среды. Ранее было установлено, что длина автоволны локализованной деформации связана с размером зерна.

С другой стороны известно, что механические характеристики - предел текучести, временное сопротивление (предел прочности) и напряжение течения - также существенно зависят от размера зерна.

Соответствующие связи обычно описываются соотношением Холла-Петча, которое для напряжения течения σ_i имеет вид

$$\sigma_i(d) = \sigma_0 + k_i d^{-1/2}, \quad (1)$$

причем физический смысл параметров σ_0 и k_i в (1) определяется в рамках разнообразных дислокационных моделей. В настоящее время, накоплено достаточно экспериментальных данных для возможности формирования модели однозначно описывающей свойства материала при пластической деформации [1].

Целью работы является создание программного модуля для обработки экспериментальных данных (зависимостей напряжение-деформация), позволяющего определять границы стадий деформации, и значения показателя деформационного упрочнения в уравнениях Холла-Петча и Лоу.

В качестве среды программирования выбрана Microsoft Visual Studio 2008, обладающая большим спектром удобных средств для разработки

современных приложений. Это - наиболее удобное решение для ОС Windows. Большое количество библиотек позволяет разрабатывать эффективные приложения наиболее быстро, и качественно [2].

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. Разработать универсальный алгоритм для чтения файлов, содержащих данные экспериментов (экспериментальные данные накоплены за многолетний период, а структура хранения результатов за этот период менялась несколько раз).

2. Разработать алгоритм, для выделения стадий на зависимостях напряжение-деформация.

3. Реализовать необходимые алгоритмы в консольном приложении.

Рассмотрим алгоритм чтения данных из файлов с экспериментальными данными. В результате анализа файлов, были выявлены следующие закономерности:

1. все файлы так или иначе содержат таблицу вещественных чисел, количество колонок, которых варьируется от 3 до 6;

2. перед таблицей идет описание эксперимента, которое может состоять из некоторого количества строк, которые не содержат информацию необходимую для работы программного модуля;

3. в одном файле может содержать описание нескольких экспериментов, позже установлено, что в этих файлах обрабатывать нужно лишь первый эксперимент;

4. файлы содержат данные о зависимости напряжение-деформация исследованных образцов (помимо этого, возможно наличие данных об изменении скорости распространения ультразвука).

Этого было достаточно для реализации универсально чтения, файлов содержащих экспериментальные данные.

Рассмотрим алгоритм определения границ стадий. Более формально, задача о нахождении стадий с различными законами деформационного упрочнения сводится к задаче об определении промежутков, на которых последовательность точек ложится на прямую с коэффициентом корреляции 0.98.

Реализуемый алгоритм:

1. Исключить "промахи" [3], имеющиеся экспериментальной на зависимости напряжение-деформация.

2. Описать точки некоторой ломаной линией, которая будет отстоять от них не более чем на некоторую величину.

3. Добавлять точки, сегмента ломаной (точки, для которых расстояние до данного сегмента больше чем расстояние до других сегментов) и проверять методом наименьших квадратов коэффициент корреляции и соответственно находить коэффициенты параболичности [4].

В результате проделанной работы был реализован модуль, позволяющий определять границы стадий на зависимостях напряжение-деформация. В настоящее время, данное программное приложение

проходит тестовые испытания, который на данный момент используется в лаборатории физики прочности ИФПМ СОРАН.

Литература

1. Зариковская Н.В. Локализация пластической макродеформации в поликристаллах алюминия. Дисс.: канд. физ.-мат. наук. - Томск. - 2003. -198с.
2. Фарнов В.В. Создание приложений с помощью С#. Руководство программиста. М. - ЭКСМО. - 2008. - 572 с.
3. Эрастов Е.В. Метрология. Учебное пособие. - Томск: ТМЦДО. - 1999. - 86 с.
4. Зоркальцев В.И. Метод наименьших квадратов: геометрические свойства, альтернативные подходы, приложения. - Новосибирск. - Наука. - 1995. - 220 с.

УДК 001.891.572

Н.А. КУЙДИН, аспирант
(ВлГУ) г. Владимир

Моделирование электрических нагрузок отдельных квартир, частных и многоквартирных жилых домов

Моделирование систем электроснабжения городов с целью определения режимных параметров, расчета потерь электрической энергии, разработки рекомендаций по улучшению качества электроснабжения потребителей и энергосбережению неразрывно связано с расчетом электрических нагрузок. В Москве в 2000-2005 гг., согласно данным РАО ЕЭС, доля потребления электроэнергии населением и коммунально-бытовым сектором в суммарном потреблении выросла до 63%. Таким образом, коммунально-бытовая нагрузка оказывает достаточно большое влияние на потребление электроэнергии, на характер этого потребления, и на потери в энергосистеме в целом.

Целью данной работы является получение графиков нагрузок отдельных жилых зданий и квартир в течение суток с разной степенью дискретизации. Это необходимо для четкого понимания процессов, происходящих в системе электроснабжения, определения очагов потерь электрической энергии в сетях с несимметричной нагрузкой, создания основы для расчета низковольтных сетей с требуемой точностью по полной трехфазной схеме замещения[1].

Исходной информацией для имитационного моделирования являются: усредненные по 5 дням получасовые графики нагрузки четырех 60 квартирных жилых дома с газовыми плитами[2]; состав потребителей электрической энергии в отдельной квартире; усредненные номинальные мощности 23-х характерных приемников электрической энергии. В составе исходных данных также присутствует информация, требующая уточнения статистическими исследованиями и индивидуальная для конкретных регионов России. Среди них можно выделить: вероятность наличия прибора в квартире;

вероятность времени нахождения конкретного приемника электрической энергии во включенном или отключенном состоянии; вероятность прихода человека на обеденный перерыв; вероятность отсутствия человека в квартире в течение суток; коэффициент активности использования приемника электрической энергии; диапазоны времени в работе для каждого приемника электроэнергии.

Моделирование производится для j -го приемника путем сравнения случайной величины в диапазоне $[0;1]$ с вероятностью включения на i -м интервале дискретизации, заданной таблично для каждого интервала. Также определяется время в работе j -го приемника путем получения случайной величины, распределенной в диапазоне возможных значений продолжительности работы по нормальному закону. Утверждение о нормальном законе распределения основано на большом числе факторов, определяющих рассматриваемый и другие параметры, указанные выше, и вытекает из центральной предельной теоремы. Допустимые границы параметров должны быть уточнены для каждого конкретного региона. В результате суммирования мощности включенных приемников на каждом временном промежутке получаем график нагрузки с требуемым интервалом дискретизации для отдельного жилого дома или квартиры.

Расчет матрицы вероятностей включения электроприемников на i -м часовом интервале производится следующим образом:

1) определяется мощность приемников электрической энергии на данном получасовом интервале без учета электроприборов с точно известным характером потребления – $S(n)$ (холодильное оборудование, сетевые часы, и т.п.):

$$S'(i) = S(i) - 0,5 \cdot n_{\text{кв}} \cdot \sum_{n=1}^m (S(n) \cdot t_{\text{pn}}) \quad (1)$$

где $S(i)$ – замер электрической нагрузки типового многоквартирного жилого здания на i получасовом интервале, кВт; $n_{\text{кв}}$ – количество квартир в доме; t_{pn} – доля использования n -го приемника по времени в течение дня; $S(n)$ – мощность n -го приемника, m – количество электроприборов с точно известным характером потребления.

2) составляют матрицу вероятностей включения приемников электрической энергии на заданных периодах дискретизации.

$$p(i, j) = \frac{(S'(i+1) + S'(i)) \cdot k_a(j) \cdot t}{2 \cdot 60 \cdot k} \quad (2)$$

где $p(i, j)$ вероятность включения j приемника на i часовом интервале, k_a – коэффициент активности включения приемника для рассматриваемого региона (показывает долю использования j -го приемника в диапазоне $[0;1]$); t – период дискретизации, мин; k – эмпирический коэффициент снижения вероятности, обеспечивающий соответствие моделируемой максимальной мощности – реальной.

В результате моделирования электрической нагрузки 60-квартирного жилого дома с газовыми плитами в соответствии с пред-

ложенным методом получены график активной нагрузки жилого дома и графики активной нагрузки отдельных квартир. Установлено, что отклонение по потребленной энергии от реальных замеров составляет 3,69% за сутки (13кВт·ч в день от 352кВт·ч для всего дома) для одного дома и 1,6% для десяти 60-квартирных дома.

Таким образом, на основании проведенного моделирования можно утверждать, что рассмотренная методика с достаточной точностью описывает характер потребления как отдельных жилых домов, так и многоквартирных домов в течение суток с требуемым интервалом дискретизации. Данная методика является гибкой, т.к. позволяет варьировать коэффициенты, использовать существующие данные о составе нагрузок и их мощности для каждого конкретного региона РФ. Также использование данной методики является необходимым условием моделирования систем электроснабжения по полной трехфазной схеме замещения т.к. позволяет с большей точностью определять потери электрической энергии в сетях с несимметричной нагрузкой, чем по расчетным формулам, представленным в [3] и [4].

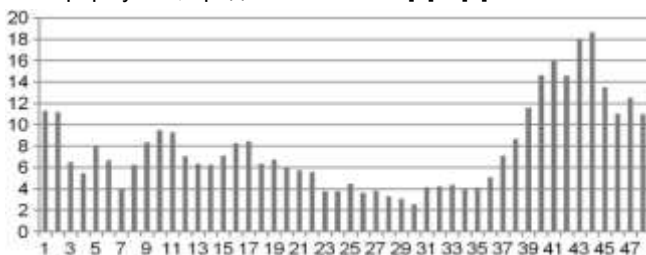


Рис. 1. График получасовых интервалов модели активной нагрузки для 60-квартирного жилого дома с газовыми плитами, кВт

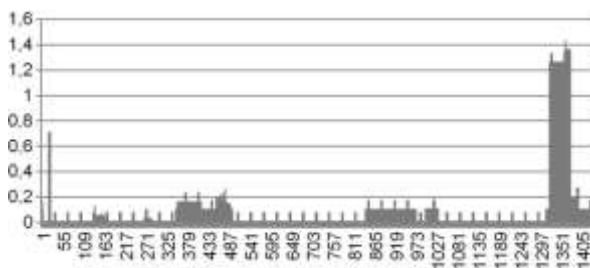


Рис. 2. График поминутных интервалов модели активной нагрузки для одной квартиры с газовыми плитами в течение суток, кВт

Литература

1. Шмелёв В.Е., Сбитнев С.А., Куйдин Н.А. «Математическое моделирование сложноразветвленных электрических сетей представленных полной трехфазной

схемой замещения» Материалы VII Всероссийской научно-технической конференции «Информационные технологии в электротехнике и электроэнергетике». – Чебоксары, 2010.

2. Саков В.В. «Исследование и разработка математических моделей и методики расчета электрических нагрузок жилых зданий». М.2007. Кандидатская диссертация.

3. Приказ №326 «Об организации в министерстве энергетики Российской Федерации работы по утверждению нормативов технологических потерь электроэнергии при ее передаче по электрическим сетям» от 30 декабря 2008.

4. Ю.С. Железко, А.В. Артемьев, О.В. Савченко. Расчет, анализ и нормирование потерь электроэнергии в электрических сетях. М., ЭНАС, 2008.

УДК 621.182-5

Н.В. ЗОРЧЕНКО, к.т.н., заведующая сектором АСУТП
Е.А. ПОЛУЭКТОВА, младший научный сотрудник
(ОАО «ВТИ») г. Москва

Исследование влияния режимов регулирования частоты и мощности на температуры пара²

Привлечение ТЭС к регулированию частоты и мощности в энергосистеме в последние годы стало одной из важнейших проблем. В то же время вопрос о влиянии регулировочных режимов, в частности нормированного первичного и автоматического вторичного регулирования частоты и мощности (НПРЧ и АВРЧМ) на работу оборудования до сих пор остается открытым, статистика о данных режимах отсутствует.

Температуры пара по тракту котла являются определяющими технологическими параметрами с точки зрения надежности. Точность поддержания температур определяет срок службы поверхностей нагрева. При этом на практике влияние случайных факторов и особенностей эксплуатации (большинство энергоблоков, выделенных для участия в НПРЧ и АВРЧМ, были введены в работу более 30-40 лет назад и их эксплуатационные режимы в большинстве случаев не оптимальны) может быть соизмеримым с влиянием, оказываемым НПРЧ и АВРЧМ.

В связи с этим ОАО «ВТИ» была разработана модель на базе характеристик энергоблока мощностью 300 МВт прямоточным газомазутным котлом Пп 950/255-ГМ (ПК-41) и паровой конденсационной турбиной К-300-240, позволяющая оценить непосредственное влияние регулировочных режимов на температуры пара по тракту котла. Особенностью ПК-41 является то, что он имеет только один регулировочный впрыск. Поддержание температуры пара для такого котла выполняется намного тяжелей, чем в случае типовой схемы с двумя впрысками.

² Работа выполнена при поддержке ОАО «СО ЕЭС» и Президента Российской Федерации (Грант МК-4329.2011.8).

Для анализа влияния режимов НПРЧ и АВРЧМ на температуры пара использовались реальные данные по отклонению частоты сети от номинального значения 50 Гц (первичное регулирование) и изменениям вторичной мощности. На рис.1. представлена зависимость отклонений частоты Δf от годового количества отклонений (1) и границы коридоров по частоте ± 20 МГц (2) и ± 75 МГц (3), соответствующие НПРЧ и общему первичному регулированию частоты (обязательному для России).

Наиболее значительные отклонения температур пара могут возникнуть на первых по ходу среды поверхностях, находящихся до впрысков, а так же на выходных поверхностях котла. В качестве примера на рис. 2 представлены изменения температур острого пара $t_{оп}$ и перед первым впрыском $t_{впр}$, вызванные отклонениями частоты f при работе внизу регулировочного диапазона.

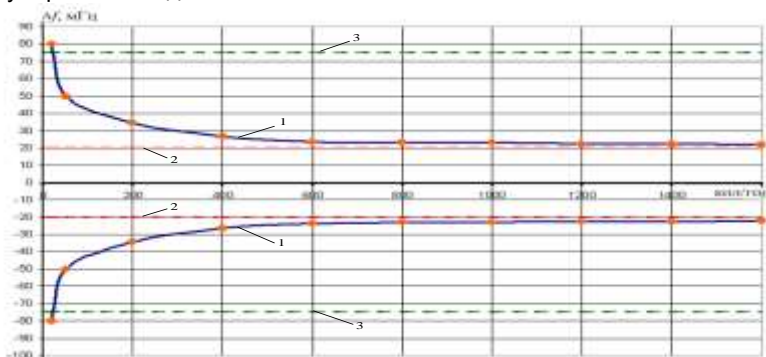


Рис. 1 Зависимость величины отклонений частоты сети Δf от их количества.
1 – Δf ; 2 – коридор ± 20 МГц; 3– коридор ± 75 Гц

В результате исследований получено, что отклонения температуры пара перед впрыском при работе в НПРЧ составляют $(5 \div 7)^\circ\text{C}$, отклонения температуры острого пара $t_{оп}$ находятся в пределах приборной погрешности - не превышают 2°C .

При работе в режиме АВРЧМ изменения $t_{оп}$ составляют $(5 \div 10)^\circ\text{C}$. Отклонения $t_{впр}$ сверху регулировочного диапазона находятся в пределах $(5 \div 15)^\circ\text{C}$, внизу - $(15 \div 20)^\circ\text{C}$. На рис. 3 представлены изменения $t_{оп}$ при вторичном регулировании мощности (изменении $N_{зд}$) со скоростью $1,5$ МВт/мин внизу регулировочного диапазона.

Максимальные отклонения температур в режиме АВРЧМ при разных скоростях вторичной мощности, в зависимости от исходной мощности энергоблока номинальной мощностью 300 МВт представлены в Таблице 1. Из таблицы видно, что при работе в режиме АВРЧМ отклонения $t_{оп}$ составляют $(4 \div 10)^\circ\text{C}$, $t_{впр}$ могут достигать 20°C . При этом с увеличением скорости изменения вторичной мощности отклонения температур уменьшаются, что объясняется их существенной инерционностью.

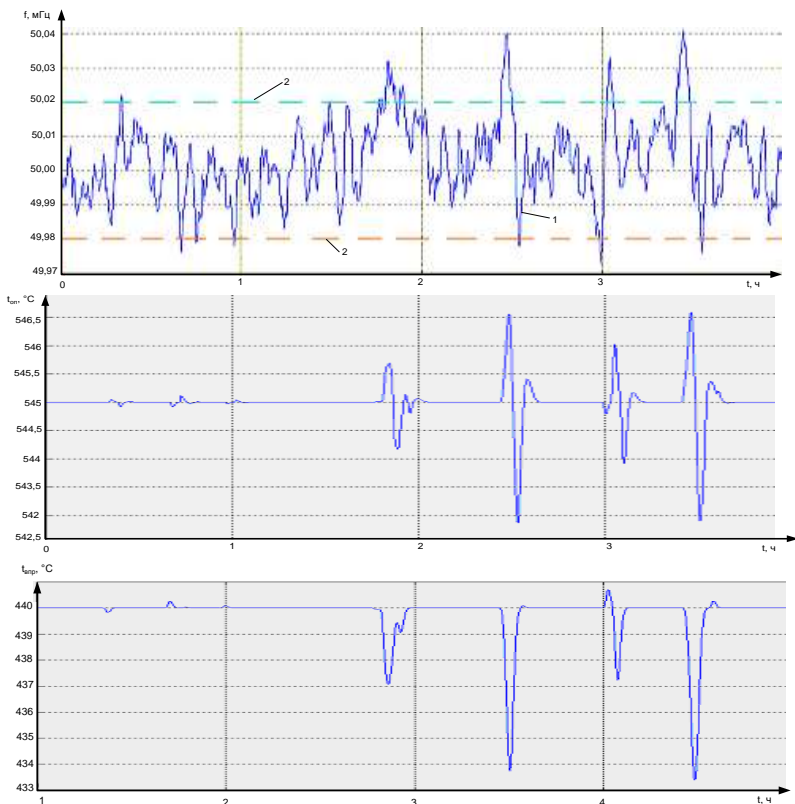


Рис. 2. Изменения $t_{оп}$ и $t_{впр}$, вызванные отклонением f . 1 – f ; 2 – коридор ± 20 МГц

Таблица 1. Максимальные отклонения $t_{оп}$ и $t_{впр}$ при разных скоростях изменения мощности

Мощность, МВт	Скорость 1,5 МВт/мин		Скорость 3 МВт/мин		Скорость 12 МВт/мин	
	$t_{оп}$, С	$t_{впр}$, °С	$t_{оп}$, °С	$t_{впр}$, °С	$t_{оп}$, °С	$t_{впр}$, °С
160	3,5	18	7	16	2	5
185	2,5	9	6,5	9	2	4
210	1,5	10	2,5	10	2,5	5
260	1	2,5	1	2	2	1

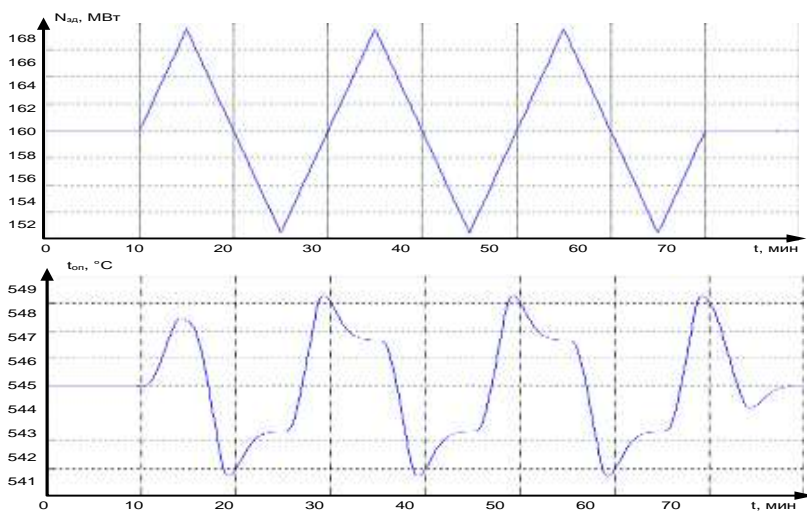


Рис. 3. Изменения $t_{оп}$ при вторичном регулировании мощности (изменении $N_{зд}$)

УДК 517.977.5

Н.Н. КЛОЧКОВА, к.т.н., доцент,
 А.В. ОБУХОВА к.т.н., доцент
 (Самарский государственный технический университет) г. Самара

Математическое моделирование процесса индукционного нагрева осесимметричных деталей

Процесс получения требуемой температуры индукционным нагревом в заданных зонах нагреваемой осесимметричной детали с резко переменным радиусом вращения является сложной задачей. Такие задачи возникают при необходимости разогрева торцов труб перед сваркой, застывшей пластмассы в объеме конической формы до момента отлипания пограничного слоя от стенок формы, нагрева подшпиков перед съемом с вала, закалке шеек валов. Сложность формы предъявляет ряд требований к индукционным нагревателям: высокая эффективность, интенсивность процесса нагрева высокий КПД, малый вес и габариты. Создание ИНУ удовлетворяющей предъявленным требованиям, невозможно без предварительных исследований на основе математической модели, достаточно полно и точно отражающей процесс индукционного нагрева.

Связь электромагнитного поля в системе с температурным полем обусловлена зависимостью удельного сопротивления и магнитной

проницаемостью от температуры. Алгоритм расчета электротепловых процессов в модели при известном начальном распределении температур заключается в следующем:

1. Исходя из температурного поля загрузки, находится удельное сопротивление и магнитная проницаемость каждого элемента дискретизации области загрузки.

2. Проводится расчет электромагнитного поля.

3. В интерполяционном блоке происходит формирование массива внутренних источников теплоты для решения тепловой задачи из массива, найденного после решения электрической задачи. Если элементы их дискретизации одинаковы в обеих задачах, то массивы их внутренних источников теплоты совпадают.

4. Находится температурное поле на следующем временном слое, определяемом шагом по времени τ

5. Если критерий окончания процесса нагрева не удовлетворены, то происходит переход к п.1.

Выбор шага по времени τ определяется требуемой точностью расчета. В то же время при фиксированном τ точность определения температурного поля зависит от свойств схемы решения и от того, насколько сильно изменились внутренние источники теплоты за время τ . Если источники меняются слабо, то на выбор шага по времени влияние оказывает только первый фактор.

Принимая во внимание осевую симметрию и квазистационарность исследуемого поля, электромагнитное поле может быть описано для комплексной амплитуды векторного потенциала в виде:

$$\frac{\partial}{\partial z} \left[\frac{1}{\mu_a} * \frac{\partial \dot{A}(r, z)}{\partial z} \right] + \frac{\partial}{\partial r} \left[\frac{1}{\mu_a} * \frac{1}{r} * \frac{\partial \dot{A}(r, z)}{\partial r} \right] - j\omega \gamma \dot{A}(r, z) - I_0(r, z) = 0 \quad (1)$$

где $\omega = 2\pi f$ - циклическая частота питающего тока, $j = \sqrt{-1}$ - мнимая единица.

В качестве граничных условий для определенности задачи примем наиболее общие условия - равенство нулю векторного потенциала на границе расчетной области Q , находящейся в бесконечности. В реальной ситуации граница расчетной области удалена от источников тока так, что магнитную энергию поля можно принять равной нулю.

Основной особенностью индукционного нагрева является выделение тепла в самих нагреваемых телах. Это позволяет передавать в них большие мощности, получать высокие термические КПД за счет выделения теплоты только в требуемых частях объемов. Температурное поле в твердом теле описывается уравнением теплопроводности

$$\frac{\partial T_1}{\partial t} = a_1 * \left[\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{1}{r} * \frac{\partial T_1}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right] + W(r, z, t) \quad (2)$$

$$\frac{\partial T_2}{\partial t} = a_2 * \left[\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{1}{r} * \frac{\partial T_2}{\partial r} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right] \quad (3)$$

где T- температура, а- коэффициент температуропроводности, $a = \frac{\lambda}{c\gamma}$; λ - коэффициент теплопроводности; γ -плотность материала;

W(r, z, t)- функция распределения внутренних источников тепла.

Для полного описания процесса нагрева необходимо учитывать краевые условия (начальные и граничные), которые имеют вид:

$$\begin{aligned} \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} /_{r_2} &= \alpha_1 [T_1(r_2) - T_c], \quad \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial r} /_0 = 0, \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial z} /_0 &= 0, \quad \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial r} /_{r_2} = \lambda_1 \frac{\partial T_2}{\partial r} /_{r_2} \end{aligned} \quad (4)$$

Следуя МКЭ, система уравнений (1) и дифференциальным уравнениям (2,3) ставятся в соответствие функционалы вида:

$$\chi = \iint_S \left[\frac{1}{2} \lambda r \left(\left(\frac{\partial T}{\partial r} \right)^2 + \left(\frac{\partial T}{\partial x} \right)^2 \right) + c\gamma \frac{\partial T}{\partial t} - WT \right] drdx + \frac{1}{2} \int_{in} h(T^2 - 2T_c T) dL; \quad (5)$$

$$F = \frac{1}{2} \iint_Q \left[\frac{\partial}{\partial z} \left(\frac{1}{\mu_a} \right) \frac{\partial \dot{A}}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial r} \left(\frac{1}{\mu_a r} \right) \frac{\partial \dot{A}}{\partial r} \right] drdz + \quad (6)$$

$$+ \frac{1}{2} \iint_Q j\omega r |\dot{A}|^2 drdz + \frac{1}{2} \iint_Q I_0 \dot{A} drdz$$

Соответствующие функционалы заменяются суммой вкладов отдельных элементов. Таким образом, определяется функциональное соотношение относительно узловых неизвестных. Вклады элементов объединяются в глобальные матрицы, которые матрицы характеризуют поведение дискретной системы в целом. Полученные матрицы объединяют в систему алгебраических уравнений с комплексными коэффициентами

$$\left(\frac{[C]}{\Delta t} + \frac{2}{3} [N] \right) \{T\}_{n+1} = \left(\frac{[C]}{\Delta t} - \frac{1}{3} [N] \right) \{T\}_n + \{F\}_n, \quad (7)$$

$$\{[K] + j[Q]\} \dot{A} + \{R\} = 0 \quad (8)$$

где [C],[K]-матрицы жесткости; [N]-матрица демпфирования; {T}-матрица базисных функций; {F}-вектор источников тепла; [Q]-матрица вихревых токов; [R]-матрица внешних источников тока.

Решение системы уравнений (7), (8) осуществляется с помощью стандартной процедуры LDL^T-факторизации. Эта процедура выполня-

ется всего за два шага. Первый шаг заключается в вычислении коэффициентов диагональной матрицы и нижней треугольной матрицы. На втором шаге процедуры сразу определяются искомые функции для температурного и магнитного полей в узлах расчетных сеток КЭ.

Алгоритм решения реализован программно и использован для решения задачи синтеза оптимального пространственно-временного управления нагревом осесимметричной детали с резко переменным радиусом вращения.

Литература

1. Немков В. С., Демидович В. Б. Теория и расчет устройств индукционного нагрева. Л.:Энергоатомиздат,1979
2. Слухоцкий А. Е. Установки индукционного нагрева. Л.:Энергоиздат,1981.
3. Зенкевич О., Морган К. Конечные элементы и аппроксимация. М.:Мир,1986.
4. Норри Л., Ж де Фриз. Введение в метод конечных элементов. М.:Мир,1981.

УДК 004.78.69

Н.В. ЗАЯНЧУКОВСКАЯ, к.т.н., доцент,
Ю.Н. ЛЕБЕДЕВ аспирант,
(ИГАСУ), г. Иваново

Информационное моделирование теплоэнергетических объектов

Строительство крупных энергетических объектов сопряжено с целым рядом потенциальных проблем: частыми проектными изменениями, увеличением бюджета, нарушением сроков строительства, недостаточной возможностью взаимодействия всех участников строительного процесса и т.д.

Кардинально изменить ситуацию в этой сфере может информационное моделирование объектов (BIM) на всех этапах жизненного цикла (ЖЦ). Основой современного BIM-моделирования является интегрированная информационная среда [1].

Наиболее затратным и сложным этапом жизненного цикла объектов энергетики является их проектирование. Но именно высококачественный проект на последующих стадиях даёт максимальный экономический эффект. Проектные организации информационно тесно связаны со всеми участниками инвестиционно-строительного процесса [3] и постоянно взаимодействуют с ними.

На этапе проектирования такого сложного технического объекта как, например, теплоэлектростанция, решаются следующие основные задачи:

- проводятся многочисленные тепловые и прочностные расчеты;
- выполняются расчеты гидро-газодинамики и процессов горения;

- осуществляется трехмерное моделирование объекта строительства;

- разрабатывается техническая, в том числе графическая документация (чертежи) и т.д.

В настоящее время трехмерное моделирование теплоэнергетических объектов становится обязательным требованием российских заказчиков. Существует большое количество программных систем трехмерного моделирования объектов, обладающих примерно одинаковым набором функций и возможностей. Наиболее известные из них: PLANT – 4D, VPD (бывшая PDMS), GLOBAL. Эти программные системы зарубежного производства, приобретение таких систем требует значительных затрат. Вопрос выбора программной системы, максимально отвечающей требованиям проекта, имеет в данном случае принципиальное значение. Оценка программ осуществляется не по одному, а по нескольким параметрам, и цена в данном случае не является единственным критерием отбора.

Для сравнения и оценки программных систем необходимо выработать методику тестирования, включающую следующие основные этапы:

1) Качественный анализ, путём конвертации трехмерной модели из одной среды в другую. Оцениваются функциональные возможности ПС (возможность использования «типовых» проектов, разработанных в других программах, время на выполнения операций, визуальное сравнение).

2) Количественный анализ (исследование динамики модели при внесении изменений, контроль коллизий).

3) Возможность коллективной работы над проектом.

4) Сравнение экономических параметров, т.е. стоимости базового комплекта на внедрение программных комплексов.

Разработанная методика применялась для исследования программных систем PLANT – 4D, VPD (бывшая PDMS), GLOBAL. В результате тестирования сделан вывод о целесообразности применения для трехмерного моделирования теплоэнергетических объектов программной системы PLANT-4D. Наряду с возможностью объектно-ориентированного моделирования объектов этот программный продукт имеет русифицированный интерфейс, что облегчает его использование проектировщиками. Основным недостатком зарубежных программных продуктов является отсутствие возможности подготовки и оформления проектной документации в соответствии с требованиями российских стандартов, что требует дополнительной их доработки.

На начальном этапе при отсутствии новых заготовок, опыта работы проектировщиков и т.д. применение новых информационных технологий замедляет процесс проектирования, но в дальнейшем внедрение ПС PLANT-4D позволяет:

- сократить сроки проектирования на 25% за счёт использования разработанной на предварительной стадии модели для создания рабочих чертежей [2];

- совершенствовать качество выполнения проектов;
- повысить производительность труда проектировщиков;
- уменьшить стоимость и трудоемкость проектирования; и т.д.

При выборе системы для проектирования теплоэнергетических объектов последнее слово, безусловно, остаётся за специалистами проектной организации. Но PLANT-4D является «единственной комплексной системой проектирования промышленных объектов, которая прошла сертификацию на соответствие российским нормам и стандартам» [4].

Литература

1. **Моделирование** и применение вычислительной техники в строительном производстве. Под ред. А.А. Гусакова. – М.: Стройиздат, 1979.
2. **Пресняков Н.И.** Системотехника виртуальных объектов строительства. М. Фонд « Новое тысячелетие», 2003.
3. **Дикман Л.Г.** Организация и планирование строительного производства. 4–е изд., перераб. и доп. М.: Издательство Ассоциации Строительных вузов, 2002, 512 с.
4. <http://www.csoft.ru>.

УДК 621.365.5

К.Н. ОГУРЦОВ, к.т.н., доцент
(СГТУ) г. Саратов

СВЧ рабочие камеры для высокотемпературного нагрева диэлектриков

При разработке нового электротермического оборудования следует соблюдать правила безопасности эксплуатации установок. Для электротермических установок это электробезопасность (заземление установки) и теплобезопасность (температура на кожухе печи должна быть ниже 60 °С). Традиционными для электротермии методами понижения температуры кожуха печей являются: достаточная толщина теплоизоляционного слоя футеровки, вакуумные экраны, водяное охлаждение стенок печи. В работе [1] рассмотрен вариант охлаждения стен рабочей камеры проточной водой. Анализ математического моделирования нагрева объекта в такой рабочей камере выявил большие тепловые потери и невысокую температуру нагреваемого объекта. Отказ от водяного охлаждения и применение футеровки для уменьшения тепловых потерь [2] позволил при той же мощности СВЧ генератора нагреть объект до температуры на 100 °С выше.

Традиционно в электротермии принято делать футеровку для всей печи (рабочей камеры), однако в случае СВЧ электротермических

установок возникает уникальная возможность использовать одно из преимуществ СВЧ диэлектрического нагрева – избирательность нагрева. Известно, что СВЧ электромагнитные колебания поглощаются материалами с высокими значениями $\text{tg}\delta$. Таким образом, существует возможность футеровать не рабочую камеру, а непосредственно нагреваемый объект, причем футеровка должна быть радиопрозрачной. Исследования на кафедре АЭУ СГТУ показали, что вспененные теплоизоляционные материалы на основе доломита имеют очень низкий $\text{tg}\delta$ и могут быть использованы для теплоизоляции нагреваемых объектов в СВЧ рабочих камерах.

Рассмотрим вариант конструкции высокотемпературной установки с СВЧ энергоподводом (рис. 1). Поскольку СВЧ диэлектрический нагрев позволяет равномерно распределить источники тепловой энергии в нагреваемом объекте, можно считать, что его температура во всех точках одинакова.

Рис. 1. Установка для высокотемпературного СВЧ нагрева.

1 – рабочая камера, 2 – ввод энергии, 3 – СВЧ генератор, 4 – ферритовый циркулятор, 5 – согласованная водяная нагрузка.



Детально рабочая камера и ее основные элементы показаны на рис.2. Температуру стенок рабочей камеры можно считать независимой от координаты из-за высокой теплопроводности

металлических стенок. Футеровка нагреваемого объекта выполнена из одного слоя теплоизоляционного кирпича. Считаем, что в силу пористости материала футеровки и неизбежных зазоров между нагреваемым объектом и футеровкой теплообмен между футеровкой и нагреваемым объектом осуществляется преимущественно излучением. Мощность СВЧ генератора идет на нагрев объекта и на тепловые потери, большая часть которых осуществляются излучением на стенки футеровки [2]

$$c_1 m_1 \frac{dT_1}{dt} = P_{\text{ген}} - \varepsilon_p C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] S_1 \cdot (1)$$

Рассмотрим кинетику нагрева, плавления и испарения объекта в рабочей камере с футеровкой.

Энергия, излученная нагреваемым объектом, расходуется на нагрев футеровки и на тепловые потери в окружающую среду от внешней поверхности системы охлаждения.

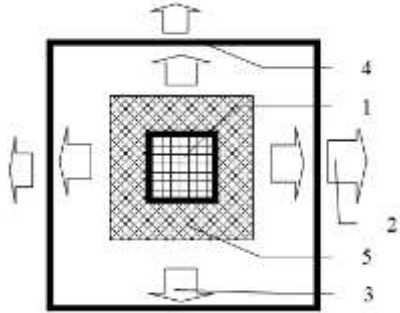


Рис.2. Рабочая камера и ее основные элементы. 1 – нагреваемый объект, 2 – тепловые потери конвекцией, 3 – тепловые потери излучением футеровки, 4 – стенки рабочей камеры, 5 - футеровка

Разобьем футеровку на $n-1$ слоя,

$$c_2 m_2 \frac{dT_2}{d\tau} = \varepsilon_p C_0 \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] S_1 - \sum_{i=3}^n c_2 m_i \frac{dT_i}{d\tau} - \varepsilon_{p2} C_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right] S_2 \quad (2)$$

тогда для каждого слоя с индексом i , начиная с $i=3$ запишем уравнения:

$$\frac{dT_i}{d\tau} = a_i \frac{dT_i^2}{dx^2} \quad 2 < i < n \quad (3)$$

$$\frac{dT_n}{d\tau} = a_i \frac{dT_{n-1}^2}{dx^2} - \varepsilon_{p2} C_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right] S_2 \quad i=n \quad (4)$$

Энергия, излучаемая с поверхности футеровки расходуется на нагрев стенок рабочей камеры и на теплоотдачу в окружающее печь пространство.

$$c_k m_k \frac{dT_k}{d\tau} = \varepsilon_{p2} C_0 \left[\left(\frac{T_n}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_k}{100} \right)^4 \right] S_k - \alpha (T_k - T_0) S_k \quad (5)$$

В этих уравнениях c_1, c_2, c_k – удельные теплоемкости нагреваемого материала, футеровки и стенок рабочей камеры соответственно; m_1 – масса нагреваемого материала, m_2, m_3, \dots, m_n – массы i -го слоя футеровки, m_k – масса стенок рабочей камеры; $T_0, T_1, T_2 \dots, T_n, T_k$ – температуры воздуха, нагреваемого материала, слоев футеровки, стенок рабочей камеры соответственно; S_1, S_2, S_k – площади поверхностей нагреваемого материала (разницей поверхностей нагреваемого материала и внутренней поверхностью футеровки пренебрегаем), внешней поверхности футеровки и поверхность стенок рабочей камеры; C_0 –

постоянная Стефана-Больцмана; $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \varepsilon_3$ - степень черноты нагреваемого материала футеровки и стенок рабочей камеры; α , - коэффициент теплоотдачи конвекцией от стенок рабочей камеры в окружающую среду, $\varepsilon_p, \varepsilon_{p2}$ - приведенные степени черноты.

Решая уравнения (1)-(3) методом конечных разностей [3], можно определить T_1, T_k, T_i как функции времени.

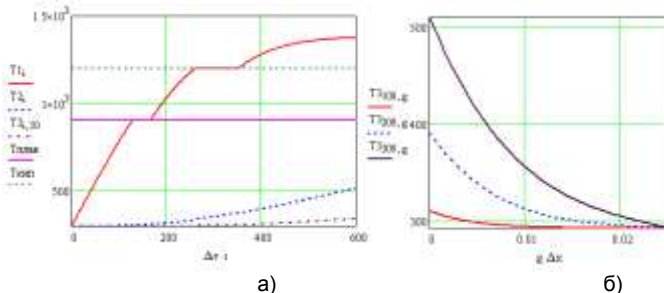


Рис. 3. Изменение температуры объекта (T_1), температуры стенок рабочей камеры (T_2) и температуры центрального слоя футеровки рабочей камеры (T_3) (а), Распределение температуры по толщине футеровки (1- через 200 сек нагрева, 2- через 400 сек нагрева, 3- через 600 сек нагрева) (б)

Все температуры на графиках –превышения над температурой окружающей среды.

На графике зависимости температуры нагреваемого объекта (рис. 3) можно выделить горизонтальные участки, соответствующие моментам плавления и испарения. Данная модель не учитывает изменения объема нагреваемого объекта в процессе нагрева, однако в силу того, что при плавлении изменение объема невелико, а испаренный материал в реальных установках по получению наноматериалов конденсационным методом постоянно откачивается из рабочей камеры, результаты этого исследования позволяют определить параметры кинетики получения наноматериалов таким способом.

Таким образом, результаты математического моделирования кинетики нагрева, плавления и испарения исходного материала говорят о возможности реализации в СВЧ электротермических установках высокотемпературных процессов с фазовыми переходами.

Литература

1. Архангельский Ю.С., Огурцов К.Н. Математическое моделирование высокотемпературного нагрева диэлектриков с фазовыми переходами. Вестник сарат. гос. техн. ун-та- №3(47) Саратов 2010. С. 116-119
2. Архангельский Ю.С., Огурцов К.Н. Высокотемпературный нагрев диэлектриков с фазовыми переходами. Вестник сарат. гос. техн. ун-та- Саратов.

Работа выполнена при финансовой поддержке гранта Президента РФ по государственной поддержке молодых российских ученых – кандидатов наук (МК-2512.2010.8)

УДК 004.272.2:[519.712::519.87]

В.В. ПЕКУНОВ, д.т.н., инженер
(ООО «Эллипс») г. Иваново

Аксиоматическая теория объектно-событийных моделей последовательных/параллельных процессов

В работе выводится теория объектно-событийных моделей (ОСМ) последовательных и параллельных процессов и определяются ее приложения. Доказательства не приведены ввиду ограниченности объема.

Лемма А1. В процессе исполнения последовательной или параллельной программы вычислительная система осуществляет серию переходов между звеньями обработки, отображаемую трассой исполнения. Одноименным, однозначно идентифицируемым элементам трассы исполнения соответствует прохождение системы через одно и то же звено обработки. Этапу трассы соответствует один или несколько (обрабатываемых параллельно на одном интервале времени) элементов. Звено реализует параметризованный алгоритм, обрабатывающий внутренние переменные своего состояния и/или внешние данные. Его исполнение определяется: а) глобальными данными, б) параметрами вызова, которые могут реализовываться в рамках глобальных данных, в) значениями внутренних переменных. Иных побочных эффектов нет.

Утверждение У1. Модель процесса исполнения, адекватно отражающая логику переходов исходной системы между элементами трассы исполнения, каждый из которых подразумевает параметризованный вызов соответствующего алгоритма, осуществляющего преобразования внутренних и внешних данных, тождественные преобразования, выполняемым исходной системой при прохождении через указанные элементы трассы исполнения, является моделью исходной программы.

Утверждение У2. Назовем факт прохождения программы через один или несколько этапов трассы ее исполнения *событием*. Процесс обработки события означает исполнение этих и только этих этапов. В контексте календаря событиям соответствуют непересекающиеся интервалы времени обработки. Между событиями существует строгий порядок следования, соответствующий порядку прохождения трассы.

Следствие У2.1. Априорно считаем параллельным исполнение этапов трассы, соответствующих одному событию. Установление последовательности их исполнения требует дополнительных средств.

Лемма Л1. Параметризованный алгоритм А, вызываемый при прохождении программы через одноименные элементы трассы исполнения, обладающий внутренним состоянием, реализуется объектом некоего класса С. Каждому факту прохождения соответствует событие, приводящее к вызову отдельного метода класса С.

Базовая теорема ОСМ (ТМ1).

А. Модель исходной последовательной или параллельной программы, может быть представлена графово-событийной схемой. Узлами графа являются объекты, реагирующие на события параметризованными вызовами методов, модифицирующих состояние объекта и глобальные данные. Операции над глобальными данными атомарны. События происходят в порядке, определяемом их календарем.

Б. Если в ответ на одно событие вызываются методы нескольких объектов, то необходимо специфицировать порядок их последовательного или параллельного исполнения. Если для двух объектов определено отношение строгого порядка следования, их методы исполняются последовательно. Иначе параллельно. Отношение задано дугами.

В. Граф должен быть связным и ациклическим.

Лемма Л2. Узел, имеющий несколько исходящих дуг в узлы, инцидентные по входам только ему, в зависимости от событийной схемы является точкой принятия решения о переходе последовательной программы или точкой порождения параллельных ветвей.

Лемма Л3. Узел, имеющий несколько входящих дуг в узлы, инцидентные по выходам только ему, в зависимости от событийной схемы является конечной точкой условной конструкции последовательной программы или точкой слияния параллельных ветвей.

Теорема об интерпретации связей (ТМ2). В ходе реакции на одно событие методы объектов, соответствующих узлам, исполняются в порядке, соответствующем идеологии сетевого графика работ, если отсутствие реакции объекта на событие смоделировать реакцией, состоящей в вызове пустого или predetermined метода.

Теорема о планировании событий (ТМ3). Модель программы, трасса исполнения которой заранее неизвестна или имеет зависимости от данных, реализуется генерацией событий и подпиской на события в методах объектов модели. Начальный календарь содержит как минимум одно событие, на которое реагирует как минимум один объект.

Каждый объект А имеет возможность включить в календарь новое событие. Планирование события является атомарной транзакцией.

Каждый объект А может подписать метод объекта В либо на еще не произошедшее событие, либо на текущее, но только, если объект В следует за А. Подписка — атомарная операция по отношению к В.

На любое событие объект реагирует только в одном методе. Это либо метод, указанный при проектировании модели, либо последний из указанных по подписке, либо пустой/предопределенный метод.

Следствие. Если доступ к календарю открыт из любого объекта, календарь должен относиться к глобальным данным.

Теорема ТМ4. Событие удаляется из календаря сразу же после его наступления.

Утверждение У3. Объектно-событийная модель процесса/программы/алгоритма должна удовлетворять определениям, данным теоремами ТМ1, ТМ2, ТМ3, ТМ4.

Теорема о самодостаточности ОСМ (ТМ5). Объектно-событийная модель является самодостаточной в смысле реализации.

Теорема об абстрактной предельной ОСМ (ТП1). Предельной абстрактной (атомарной) ОСМ назовем модель, включающую единственный узел и обладающую календарем, вмещающим не более одного события. Такая модель равнозначна машине Тьюринга (МТ).

Теорема о реальной предельной ОСМ (ТП2). Предельной реальной (неатомарной) ОСМ назовем процедуру с планированием повторного входа (ПППВ) [1]. Это модель, состоящая из одного узла-объекта, обладающего одним методом реакции на все события. Планирование события ограничивается планированием в начало и конец календаря. Такая модель в пределе позволяет реализовать любой алгоритм.

Следствие. ПППВ способна реализовать последовательный алгоритм, декомпозируемый в серию схожих или идентичных по структуре и алгоритму решения подзадач с динамическим планированием последовательности их решения по принципу стека, дека или очереди.

Теорема о последовательных и параллельных процессах (ТПР1). В рамках ОСМ некоторой программы последовательный или параллельный процесс может быть порожден планированием события и описан фрагментом модели, в котором определена реакция на данное событие.

Утверждение У4. Текст программы может являться следствием работы программы — системы порождения. Его фрагменты имеют однозначное соответствие результатам исполнения отдельных звеньев системы порождения и отражаются в элементы трассы ее исполнения.

Следствие. Одному звену системы порождения программ могут соответствовать различные фрагменты генерируемой программы.

Лемма Л4. Фрагменты программы, решающей задачу, генерируемые одним и тем же звеном, являются алгоритмической реализацией некоей сущности (объекта/действия/отношения).

Следствие. В таком контексте события эквивалентны этапам генерации кода или этапам жизненного цикла указанной сущности.

Теорема о порождении программ (ТМ6). Среда порождения программ может использовать ОСМ для описания и программирования решения задачи [2]. Объекты-узлы модели — экземпляры классов предметной области (ПО) задачи и включаются в модель, либо исходя из постановки задачи, сформулированной в терминах ПО, либо исходя из логических следствий из этой постановки в соответствии с системой знаний о ПО. Модель порождает решающую задачу программ.

Сформулированы основные положения теории ОСМ. Даны теоретические выкладки, обосновывающие применение ОСМ и производных от них формализмов в программировании [1], порождении [2] и моделировании обычных и параллельных программ.

Литература

1. **Пекунов, В.В.** Процедуры с планированием повторного входа в языках высокого уровня при традиционном и параллельном программировании / В.В.Пекунов // Информационные технологии.— 2009. — №8. — С.63-67.
2. **Пекунов, В.В.** Автоматизация параллельного программирования при моделировании многофазных сред. Оптимальное распараллеливание / В.В.Пекунов // Автоматика и телемеханика.— 2008. — №7. — С.170-180.

УДК 621.436

О.А. ЯКОВЛЕВ, аспирант, Е.А. ЧАЩИН, к.т.н., доцент
(КГТА) г. Ковров

Корректировка теплового расчета двигателя внутреннего сгорания при электростатической обработке топливно-воздушной смеси

Результаты исследований, выполненных нами ранее, показали возможность повышения полноты сгорания топливно-воздушной смеси, (ТВС) принудительной электростатической обработкой, что делает актуальным выполнение теплового расчета двигателя. Однако, существующая методика теплового расчета двигателя внутреннего сгорания (ДВС), не позволяет оценить влияние принудительной электростатической обработки (см. рис 1).

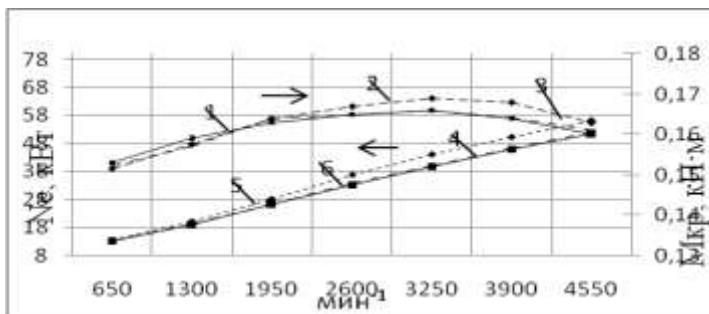


Рис. 1 График крутящего момента и эффективной мощности:
Зависимости 1,4 - базовый вариант без использования устройства электростатической обработки ТВС, зависимости 2,5 - с установкой устройства электростатической обработки ТВС, зависимости 3,6 - вычисленные по стандартной методике теплового расчета

Видно, что в диапазоне частот вращения от 650 до 4500 об/мин результаты экспериментальных исследований по базовому варианту (кривая 1, 4) качественно и количественно соответствуют теоретическим результатам

(кривая 3, 6). Количественное и качественное совпадение полученных результатов позволяет считать результаты экспериментальных исследований достоверными. В то же время, электростатическая обработка ТВС обеспечивает рост максимальных значений эффективной мощности на 9% до 56 кВт (рис. 2, кривая 5) при одновременном увеличении крутящего момента на 9% до 0,169 кН·м (рис. 2, кривая 2).

В работе рассмотрена применимость классической методики теплового расчета ДВС при электростатической обработке ТВС. Определена взаимосвязь параметров электростатической обработки и низшей температуры воспламенения ТВС. Приведены результаты математического моделирования теплового расчета ДВС с устройством принудительной электростатической обработки ТВС.

Литература

1. **Чащин Е.А., Яковлев О.А.** Снижение токсичности выбросов двигателей внутреннего сгорания электростатической обработкой топливно-воздушной смеси. «Молодой Ученый» № 12 (23) / 2010Том стр. 48-52.
2. **Вибе И.И.** Теория двигателей внутреннего сгорания. - Челябинск:ЧПИ, 1974. – 252с.
3. **Lotus Engineering Software** – An Approach to Model-Based Design R.J. Pearson, M.D. Bassett, N.P. Fleming, and T. Rodemann, Lotus Engineering Hethel, UK

УДК 004.6

С.В. ТАРАРЫКИН, д.т.н., профессор,
И.Д. ПАТМАНОВА, д.т.н., доцент, Е.Е. ИГНАТЬЕВА, аспирант
(ИГЭУ)

Система оценки деятельности кафедр

Ни одно передовое российское образовательное учреждение не обходится без системы поддержки управления. Информационные системы, единственной задачей которых была автоматизация оперативной деятельности функциональных подразделений вуза, уходят в прошлое. Им на смену приходят комплексные системы управления вузом, позволяющие интегрировать задачи стратегического управления с текущей деятельностью функциональных подразделений, и предоставляющие руководству инструментарий для поддержки обоснованных управленческих решений.

С 2009 года в Ивановском государственном энергетическом университете внедрена система многокритериальной оценки различных сфер деятельности кафедр по 32 показателям, объединенным в группы: кадровый потенциал, учебная работа и т.д. Набор критериев и методика оценки были разработаны ректоратом вуза с учетом методики оценки деятельности подведомственных учреждений, разработанной Минобрнауки России [1, 2]. При этом следует отметить, что в указанных документах определяется лишь перечень показателей без формализации системы критериев оценки, принятой на отраслевом уровне.

Рассматриваемая оценка деятельности кафедр университета выполняется в целях стимулирования повышения качества подготовки специалистов, научного и инновационного потенциала вуза, его финансовой стабильности.

Источники данных

Построение эффективной системы управления возможно лишь при условии существования единого информационного пространства, которое развивается в настоящее время в рамках создаваемой в университете интегрированной информационно-аналитической системы [3]. В ИГЭУ формирование информационного пространства проходит в несколько этапов: автоматизация работы приемной комиссии и библиотеки, учет финансовой деятельности, штатов, кадров, контингента учащихся, расчет зарплаты и стипендий, на очереди научно-исследовательская и учебно-методическая деятельность.

Данные в систему оценки деятельности кафедр попадают непосредственно из информационных систем, что демонстрирует взаимосвязь между различными сферами деятельности вуза и обеспечивает актуальность и достоверность информации (рис. 1). Большая часть показателей собирается из функционирующих автоматизированных систем. На рисунке пунктиром выделены части информационной среды, находящиеся в процессе разработки.

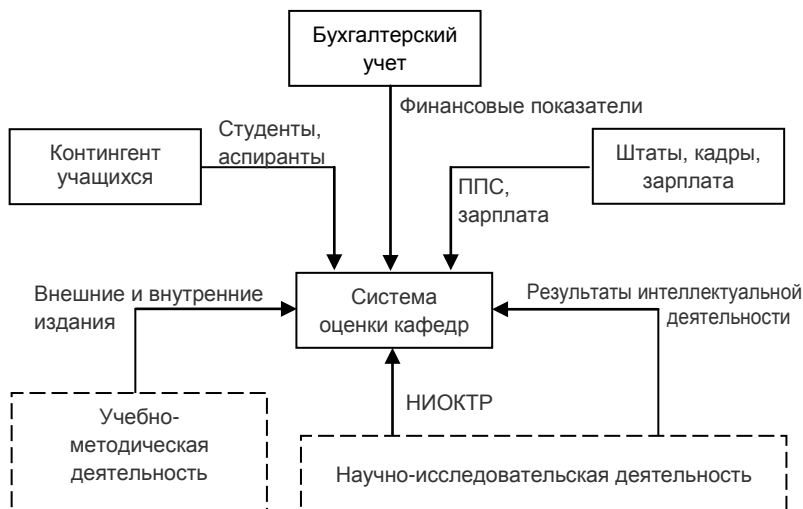


Рис. 1. Структура единого информационного пространства

Методика оценки

В основу методики оценки положен эвристический метод многокритериальной оценки альтернатив (кафедр университета), базирующийся на комбинации метода аналитической иерархии (Analytic Hierarchy Process - AHP) и метода многокритериальной теории полезности (Multi-Attribute Utility Theory - MAUT) [4]. Принята многоуровневая иерархическая структура показателей (так называемое «дерево оценок»), включающая уровень цели, уровень основных направлений оценки и уровень критериев оценки показателей.

Каждая кафедра оценивается по пяти основным направлениям: кадровый потенциал; учебная работа; научная работа; финансовая деятельность; трудовая дисциплина.

Оценочные показатели нормированы, т.е. вычисляются как отношение абсолютного значения к количеству ставок профессорско-преподавательского состава (по вузу в целом и по отдельным кафедрам). Следует заметить, что по ряду показателей (например, возраст ППС, количество докторов наук и др.) учитывается доля ставки, которую занимает соответствующий преподаватель.

В основе оценки показателей по заданному критерию лежит функция полезности (в большинстве случаев - «чем больше, тем лучше»). Расчет значений выполняется посредством сравнения кафедрального показателя со средним значением показателя по вузу в целом.

Оценка по каждому направлению равна средневзвешенной оценке кафедры по соответствующим показателям, аналогично из оценок по направлениям складывается интегральная оценка кафедры.

Развитие системы

С момента запуска системы результаты оценки деятельности кафедр регулярно представляются руководству университета. Данная информация является основанием для расчета материального поощрения и формирования стратегий дальнейшего развития кафедр и вуза в целом.

Анализ полученных результатов оценки, а также исследование подходов к оценке структурных подразделений в других образовательных учреждениях страны [5-7] позволили определить следующие направления развития системы:

1. Использование методов интеллектуального анализа данных в целях: выявления наиболее информативных показателей оценки; определения весовых коэффициентов дерева оценок в соответствии с актуальными стратегическими ориентирами; типизации нормативных значений, используемых в функциях полезности. При этом предполагается применение методов снижения размерности признакового пространства, кластерного анализа, экспертных оценок и др.

2. Совершенствование системы нормирования показателей.

3. Решение ряда организационных вопросов, связанных с функционированием системы.

В настоящий момент ведется активная работа по совершенствованию системы сбора данных в целях повышения объективности оценки деятельности кафедр университета.

Литература

1. Стулов, В.И. О формировании системы стимулирования и оценке эффективности деятельности подведомственных Рособразованию учреждений // Советник в сфере образования. – 2009. – №6. – С. 7-15.
2. Временная методика определения рейтинга специальностей и вузов: Приказ Минобразования РФ от 19 февраля 2003 г. N 593.
3. Ратманова, И.Д. Интегрированная информационно-аналитическая система корпоративного управления вузом // Новые информационные технологии в образовании: материалы науч.-практ. конференции. – М., 2010. – т. 2. – С. 149-151.
4. Кини, Р.Л. Принятие решений при многих критериях: предпочтения и замещения: пер. с англ. / Р.Л. Кини, Х. Райфа. – М.: Радио и связь, 1981. – 560 с.
5. Загоруйко, Н. Г. Методика отбора показателей для рейтинговой оценки деятельности кафедр университета/ Н.Г. Загоруйко, С.С. Донецкая, С.Н. Рыскулов // Управление качеством образования. – 2006. – С. 23-29.
6. Кудрявцев, П.П., Власова Ю.В. Система оценки рейтинга кафедр вуза // Ползуновский вестник, 2006, №1. – С.168-175.
7. Положение о рейтинговой оценке деятельности кафедр [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://www.ssau.ru/info/official_docs/polozh_rate/, свободный. – Яз. рус.

УДК 651.012

Д.О. СОНИН, ст. преподаватель
(ИГЭУ)

Современные аспекты документационного обеспечения управления

До сих пор не сложилось единого мнения о том, как должна строиться система документационного обеспечения управления организации. Проблема состоит в том, что документы не выполняют своей первичной функции – удовлетворения потребности управления в информационном ресурсе. Во многих организациях документационные процессы регламентируются стихийно, интуитивно, требования и правила документационного обеспечения ничем не обосновываются. Процессы в системе ДОУ рассматриваются как обособленные и мало взаимосвязанные, тогда как в целостной системе (каковой и является система ДОУ) подсистемы должны с максимальной полнотой удовлетворять потребности друг друга, предоставляя наиболее качественный ресурс для функционирования других процессов. Таким

образом, одной из проблем документационного обеспечения управления является отсутствие системности существующих подходов к ДОУ, а также необходимой теоретической базы. Решение этой проблемы заключается в изучении основных функций управления организацией с целью выявления потребностей управления в документационном обеспечении.

В то же время, в современной литературе все чаще встречаются понятия управление документами и управление записями. Однако перенос международной практики в области ДОУ на российскую действительность не могут дать положительных результатов, так как отсутствие теоретической базы не позволяет эффективно применять новые технологии. Так перед российскими специалистами остро стоит вопрос разграничения понятий управления документами и управления записями, что также приводит к возникновению проблем в разработке технологии управления документами и записями.

Введение в современные стандарты в области управления документацией в качестве ключевого понятия «документная система» предполагает широкое применение принципов и методов системного анализа и синтеза в укреплении теоретического базиса документоведения.

Таким образом, можно говорить о документной системе S_{∂} как о неотъемлемом элементе системы ДОУ, являющим собой подсистему $S_{\partial_{доу}}$ и, следовательно, подсистему самой системы управления S_y . Её специфика и функциональная структура должны определяться спецификой вышестоящих систем, на поддержание функционирования которых она и должна быть направлена. Только тогда S_{∂} будет считаться открытой и целесообразной.

В ходе функционирования организации возникает необходимость создания, получения и использования документов, что представляет собой *потребность системы управления*, возникающую в процессе принятия решений. Такие документы содержат информацию, являющуюся ценным *ресурсом* и важным элементом управленческой деятельности. Для поддержания непрерывности ведения такой деятельности, обеспечения доказательства тех или иных действий и необходимой подотчётности организации (*задачи $S_{\partial_{доу}}$*) необходимо сохранять все создаваемые и получаемые документы, грамотно управлять ими, а также защищать целостность этих документов в течение требуемого времени. С этой целью в рамках документационного обеспечения управления и создаются документные системы, которые должны представлять собой источник информации о деловой деятельности организации, позволяющий поддерживать её последующую деятельность и управленческие решения на всех уровнях управления.

Разработка системы ДОУ должна начинаться анализом системы управления. Исследование управленческих процессов организации с точки зрения теории систем основывается на принципе декомпозиции

функций и методах структуризации. При построении функционально-алгоритмической модели ДОО, необходимо отталкиваться от системы протекающих процессов, что позволяет получить иерархическую структуру, на основе которой можно осуществить классификацию процессов. Использование такого подхода позволяет достичь согласованности всех функций документационного обеспечения управления, обеспечить их взаимодействие и взаимообусловленность, а также найти наиболее рациональные методы и средства их реализации.

Для достижения системности документационной деятельности существенная роль отводится классификации, которая предопределяет следующие процедуры – идентификации и формирования метаданных. Кроме того, классификация позволяет установить взаимосвязь между функциями управления и документами, а также между процессами и документами, обеспечивающими данные процессы. Разработка классификатора основывается на иерархической проблемной декомпозиции, позволяющей увязать классификацию управленческой деятельности (системно-процессный подход к управлению) со многими процессами по управлению документами. В соответствии с этим принципом классификация должна основываться на структуризации проблемного пространства с учетом иерархической составляющей. Сформированная таким образом классификация не является статической и может постоянно адаптироваться к внутренним и внешним условиям и совершенствоваться, а, следовательно, быть использована в сложных развивающихся системах.

Немаловажным является вопрос разработки процедур контроля действий, который играет важную роль в обеспечении адекватной оценки реальной ситуации, тем самым создавая предпосылки для внесения корректив в запланированные показатели развития, как подразделений, так и всей организации. Применение системной атрибутики позволяет заложить процедуры контроля непосредственно в документы, регламентирующие процессы, такие как документированные процедуры, рабочие инструкции, что позволит объединить формализованное представление процесса с соответствующими документами, сопровождающими процесс, а также с критериями, на основе которых будет производиться оценка эффективности процесса. Повышение таким образом системности документа позволяет осуществить установление связей с другими документами, с управленческим контекстом, что повышает эффективность использования документированной информации.

Литература

1. Белов, А.А. Информационно-синергетическая концепция управления сложными системами: методология, теория, практика/ ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина». – Иваново, 2009. – 424 с.

2. Белов, А.А. Синергетический подход к организации и документационному обеспечению управления / А.А. Белов, Н.С. Волкова. – ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет им. В.И. Ленина», 2006. – 128 с.

УДК 378.14: 514.18

Е.В. ЕГОРЫЧЕВА, к.т.н., доцент,
А.И. ЛАПОЧКИН., к.т.н., доцент
(ИГЭУ)

Компьютерное обеспечение практических занятий по курсу «Инженерная графика»

Инженерная графика - учебная дисциплина, которая включает в себя элементы начертательной геометрии и технического черчения. Инженерная графика для решения геометрических задач использует графический метод, который заключается в получении и преобразовании изображений объектов на чертеже. Чертёж должен быть таким, чтобы по нему можно было определить форму и размер изображённого объекта. Никакое, даже самое подробное описание объекта не может заменить его правильного чертежа.

Чертеж служит основным документом, инструктирующим изготовление изделия на всех этапах производства. Поэтому студентам необходимо научиться хорошо владеть умением изображать проектируемые изделия и быстро читать сборочные чертежи изделий.

Одной из практических работ, выполняемых при изучении дисциплины «Инженерная графика» является детализирование чертежей сборочных единиц. Для более полного понимания поставленной задачи и успешного освоения данной темы предлагается интерактивное учебно-методическое пособие «Детализирование сборочного чертежа» с использованием трехмерной графики, видеоклипов.

Интерактивное учебно-методическое пособие «Детализирование сборочного чертежа» включает в себя текстовые ресурсы, чертежи деталей и сборочных единиц, сборочные чертежи, трехмерные модели деталей, сборочных единиц, сборочных чертежей и - анимационные ролики.

Основными целями данной работы являются переход на новые технологии обучения, усовершенствование качественного подхода к подготовке студентов всех технических специальностей, повышение уровня знаний студентов и облегчения подготовки студентов по курсу «Инженерная графика».

Разработанное информационное обеспечение может использоваться при проведении занятий преподавателями, самостоятельной работе студентов и в рамках системы дистанционного обучения.

УДК 621.82

А.И. ЛАПОЧКИН., к.т.н., доцент
Е.В. ЕГОРЫЧЕВА, к.т.н., доцент,
(ИГЭУ)

Определение влияния величины магнитного поля на трибологические характеристики узла трения

Магнитожидкостные смазки являются перспективными смазками для малогабаритных узлов трения. В таких узлах смазки наносятся однократно и служат в течении всего срока работы узла. На поверхностях трения такие смазки удерживаются не только за счет сил адгезии и вязкостных сил, но и за счет магнитного поля. Применение магнитного поля, проходящего через зону контакта, приводит к втягиванию магнитожидкостной смазки в зону, расположенную рядом с зоной трения и в саму зону трения, что положительно сказывается на трибологических характеристиках. Кроме этого удержание магнитожидкостной смазки магнитным полем позволяет изменять положение всего узла трения в пространстве и использовать такие узлы в невесомости.

С этой целью были проведены испытания на машине трения 20-70 СМТ1 по схеме ролик-ролик с магнитным полем и без него. На пару трения наносился дозированный объем магнитожидкостной смазки и определялись потери на трение при различных величинах магнитной индукции.

Проведенные исследования показали положительное влияние магнитного поля как на продолжительность работы узла трения, так и на изменение величины потерь на трение испытываемого узла. Так ресурс пар трения вырос в несколько раз. Также было выявлено существование оптимальной величины магнитного поля, которая зависит от разных параметров, в частности от концентрации магнитного наполнителя в магнитожидкостной смазке.

Всё вышесказанное даёт основания для продолжения исследований в области применения магнитожидкостных смазок в малогабаритных узлах трения.

Литература

1. Магнитные жидкости в машиностроении. Под ред. проф. Орлова Д.В., проф. Подгоркова В.В. М., «Машиностроение», 1993.

2. Применение магнитных дисперсных наносистем в машиностроении. 2007–2009 Журнал по машиностроению, металлообработке и сварке «Экспозиция МашМетСварка».

3. Лапочкин А.И. Выбор базовых масел для новых магнитных смазочных материалов. Тезисы докладов международной научно-технической конференции «Состояние и перспективы развития электротехнологий» (X Бенардосовские чтения) т.1 с. 240. Иваново 2001.

УДК 378.14: 514.18

А.М. ФЕДОТОВ, к.т.н., доцент,
Е.В. ЕГОРЫЧЕВА, к.т.н., доцент,
А.А. БОЙКОВ, ст. преподаватель
(ИГЭУ)

Учебное пособие по курсу «Начертательная геометрия» для самостоятельной работы студентов

На первом курсе в первом семестре студенты изучают курс «Начертательная геометрия». По данному курсу сдается экзамен, по которому успеваемость довольно низкая (50-70%). Для понимания начертательной геометрии представляется важным знание студентами основ предмета и умение студентов выполнять практические задачи. Однако, не всем студентам, особенно заочного факультета в связи с самостоятельной работой по традиционным учебникам, учебным пособиям и методическим указаниям удается понять последовательность правильного решения, а также при подготовке к экзамену определить пробелы в уровне знаний. В этой связи представляется актуальным создание новых компьютерных технологий обучения, приближенных к системе дистанционного обучения.

В данной работе предлагается компьютерная версия учебного пособия, содержащего теоретические основы курса «Начертательной геометрии».

Учебные материалы разбиты на подразделы:

часть 1 — общие методы начертательной геометрии, способы проецирования, точка, прямая и плоскость,

часть 2 — кривые линии и кривые поверхности.

Каждый подраздел, в свою очередь, подразделяется на две части – учебно-теоретическую (конспект лекций, обучающие фильмы и модели) и методическую (описание порядка решения задач с примерами).

Текстовые материалы созданы в html-редакторе, входящем в состав системы дистанционного обучения. Чертежи подготовлены в программе КОМПАС (версия Lite, которая является бесплатной и предназначена для учебных целей). Видеофильмы и 3d-модели созданы в программе

3d studio max, а анимационные ролики — в программе Adobe Flash (обе эти программы используются в курсе «Мультимедийные системы», который читается в ИГЭУ).

Совместно с текстовыми материалами используются видеофильмы (воспроизводятся при помощи видеоплеера, внедренного в дистанционную систему обучения, рис. 3) и интерактивные модели, подготовленные в формате vrmf, так что легко могут воспроизводиться на страницах дистанционной системы в одном из бесплатных vrmf-плееров. Интерактивные модели предоставляют возможность студенту самому, при помощи команд навигации vrmf-плеера, выбирать точку взгляда на объекты модели, смотреть с разных сторон, поворачивать перед собой.

Разработанное учебное пособие, выполненное с использованием видеоклипов и трехмерной графики и содержащие теоретические основы курса «Начертательной геометрии» и решение практических задач, позволяет студентам для самостоятельного изучения данного курса использовать элементы дистанционного обучения.

УДК 621.311

Ю.П. МАКСИМОВ, к.т.н., доцент,
А.И. ПОПОВ, магистрант
(ВлГУ) г. Владимир

Аналитико-алгоритмическая модель Прогнозирования электрических нагрузок промышленного предприятия

Вопросу моделирования электрических нагрузок уделяется большое внимание при решении различных задач: проектирования систем электроснабжения, расчета надежности систем электроснабжения, управления режимами работы электрических сетей и другие.

В зависимости от решаемых задач могут быть использованы различные методы:

- детерминированный подход (нагрузка задается постоянной во времени величиной – током, мощностью или проводимостью) [1];
- комбинированный способ (активная составляющая нагрузки задается постоянной величиной активной составляющей тока, а реактивная составляющая – постоянной величиной реактивной составляющей сопротивления) [2];
- вероятностный метод задания нагрузки (учитывает случайный характер изменения нагрузки) [3].

В свою очередь, методы прогнозирования электрических нагрузок, основанные на предположении о вероятностном характере электропотребления в соответствии с [4] можно классифицировать, например, на:

- методы прогнозирования с помощью скользящей средней;
- методы экспоненциального сглаживания;
- методы адаптивной фильтрации и другие.

Но все эти методы помимо трудностей определения параметра сглаживания (метод экспоненциального сглаживания), константы обучения (метод адаптивной фильтрации) имеют общий недостаток, а, именно, прогноз осуществляется по собственной предыстории, т.е. в этих случаях невозможно установление зависимостей уровня электропотребления от изменения основных технологических показателей производства. В [5] предложен факторный метод, позволяющий учитывать такие факторы, как температура, день недели, праздничные дни, погодные явления. В этом случае необходима: почасовая ретроспектива электропотребления за максимально возможный период, электропотребление за аналогичный день недели в прошлом, данные за последние сутки и недельный темп роста нагрузки.

Целью настоящей работы является построение математической модели прогнозирования для исследования электрических нагрузок промышленного предприятия, учитывающей как вероятностный характер электропотребления, так и технологические факторы производства.

В зависимости от используемых методик, прогнозная модель может быть алгоритмической или аналитической[6]. Алгоритмическая модель учитывает время и прошлые значения прогнозируемого параметра, а аналитическая модель позволяет рассчитывать прогнозные значения на основе технологических факторов производства. В работе предлагается аналитико-алгоритмическая модель, учитывающая процесс изменения электрической нагрузки предприятия с учетом изменения технологических факторов, которая может быть представлена в виде:

$$y(t)=u(t)+s(t)+c(t)+f(t)+\acute{e}(t) \quad (1)$$

где $u(t)$ – тренд электрической нагрузки, $s(t)$ – сезонная составляющая изменения нагрузки, $c(t)$ – циклическая составляющая изменения нагрузки, $f(t)$ -составляющая, учитывающая технологические факторы промышленного предприятия, $\acute{e}(t)$ – случайная величина с законом распределения близким к нормальному.

Представим данную модель двумя составляющими:

$$y(t)=u^o(t)+f(t) \quad (2)$$

где $u^o(t) = u(t) + s(t) + c(t) + \dot{\epsilon}(t)$ – алгоритмическая модель изменения нагрузки, $f(t)$ – аналитическая модель изменения нагрузки, учитывающая технологические факторы промышленного предприятия.

Для определения $u^o(t)$ могут использоваться различные подходы, например, адаптивные методы, имеющие «механизм» автонастройки, способный оперативно реагировать на изменения нагрузки, путем учета прогноза, сделанного на предыдущем шаге. У истоков адаптивных методов лежит модель экспоненциального сглаживания, для которой используется следующая рекуррентная формула [6]:

$$S_t = \alpha y(t) + (1-\alpha)S_{t-1} \quad (3)$$

где S_t и S_{t-1} – значения экспоненциальной средней, соответственно в момент t и $t-1$; α – параметр сглаживания, $0 < \alpha < 1$.

Выражение (3) можно представить в виде

$$S_t = S_{t-1} + \alpha[y(t) - S_{t-1}],$$

Величину $[y(t) - S_{t-1}]$ – можно рассматривать как погрешность прогноза. Тогда новый прогноз S_t получается в результате корректировки предыдущего прогноза, с учетом его ошибки. Таким образом, модель постоянно учитывает новую информацию, приспосабливается к ней, и к концу периода наблюдения отображает тенденцию, сложившуюся на текущий момент. В различных методах прогнозирования процесс адаптации модели осуществляется по разному. Базовыми адаптивными моделями являются: модель Брауна и двухпараметрическая модель Хольта, для которых $u^o(t) = u(t) + \dot{\epsilon}(t)$.

Многие временные ряды электрических нагрузок промышленных предприятий содержат сезонные колебания $s(t)$. В зависимости от характера этих колебаний их делят на два класса: мультипликативные и аддитивные. При мультипликативных сезонных колебаниях нагрузки предполагается, что амплитуда колебаний изменяется во времени пропорционально уровню тренда, $u^o(t) = u(t)s_m(t) + \dot{\epsilon}(t)$. При аддитивном характере сезонности, $u^o(t) = u(t) + s_A(t) + \dot{\epsilon}(t)$, где $s_m(t)$ – мультипликативный сезонный фактор, $s_A(t)$ – аддитивный сезонный фактор. В [6] описаны алгоритмы построения модели Хольта-Уинтерса, учитывающей мультипликативную сезонность и модель Тейла-Вейджа, которая является аддитивной моделью сезонных явлений.

Циклическая составляющая нагрузки $c(t)$ описывает длительные периоды относительного спада или подъема. Разница между циклической и сезонной компонентой состоит в том, что сезонная имеет регулярную (сезонную) периодичность, тогда как циклические факторы имеют, как правило, более длительный период, который к тому же меняется от цикла к циклу.

Составляющая, учитывающая технологические факторы промышленного предприятия, $f(t)$ – базируется на данных планово-производственного отдела предприятия и данных об электропотреблении оборудования. Необходимо иметь информацию на каждые прогнозируемые сутки о:

- номенклатуре и объеме выпускаемой продукции;
- качестве и времени загрузки технологических цепей (какой вид продукции планируется выпускать на данном оборудовании с фиксацией времени начала и конца загрузки);
- выводе технологического оборудования на профилактику или в ремонт и т.д.

После приведения в соответствие каждого технологического процесса и предполагаемой потребляемой мощности, получаем прогнозный график простым суммированием, т.е.

$$f(t) = \sum f_i(t), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где $f_i(t)$ – потребляемая мощность i -ым технологическим процессом; n – количество учитываемых технологических процессов.

Если прогнозирование ведется на уровне цеха, тогда необходима следующая дополнительная исходная информация для составления детерминированного варианта прогноза [5]:

- установленные мощности основного производственного оборудования;
- зависимость электропотребления от коэффициента загрузки оборудования;
- привязка сопутствующего оборудования к технологическим цепям;
- коэффициенты использования сопутствующего оборудования;
- мощности электроприемников с практически постоянным графиком загрузки (осветительная нагрузка, общецеховая вентиляция) и др.

Выводы.

Для повышения точности прогноза электрических нагрузок промышленного предприятия предлагается использовать аналитико-алгоритмическую модель. Алгоритмическая модель может быть построена на основе известных прогнозных моделей (например, модели Брауна, Хольта, Хольта-Уинтерса или Тейда-Вейджа), а аналитическая многофакторная детерминированная модель дополнительно корректирует тренд потребления нагрузки за счет плановых технологических показателей производства, влияющих на электропотребление предприятия (цеха).

Учет технологических процессов позволяет более точно производить прогноз на сутки вперед и данная модель может использоваться для производств с неповторяемой номенклатурой суточного выпуска продукции.

Литература

1. Идельчик В.И. Расчеты и оптимизация режимов электрических сетей и систем. - М.: Энергоатомиздат. 1988. - 288 с.
2. Колисниченко А.Б. Моделирование несимметричных режимов электрических сетей до 1 кВ с учетом статических характеристик нагрузок // Преобразования и стабилизация параметров электроэнергии: Сб. науч. тр. - Киев: Наук. думка. 1990. - С21-25.
3. Жежеленко И.В., Саенко Ю.Л., Степанов В.П. Методы вероятностного моделирования в расчетах характеристик электрических нагрузок потребителей. - М.: Энергоатомиздат. 1990. - 128 с.
4. Кудрин Б.И. Электроснабжение промышленных предприятий: учебник для вузов. - М.: Интермет Инжиниринг, 2006. - 672 с.
5. Поляков Е.С., Титаренко А.В. Прогнозирование суточного графика электрической нагрузки многономенклатурного промышленного предприятия. <http://innov.elti.tpu.ru/reports/408810pdf>
6. Статистические методы прогнозирования в экономике: Учебное пособие / Т.А. Дубровина. - Московский государственный университет экономики, статистики и информатики. - М., 2004. - 136 с.

АВТОРСКИЙ ИНДЕКС

А

АБРОСИМОВ А.С.	91
АГАПОВ В.А.	217
АЛЕКСЕЕВ В.С.	403
АМЕЛЬЧЕНКОВ И.Н.	72
АНИСИМОВ А.А.	219
АПОЛОНСКИЙ В.В.	219
АРАНОВСКИЙ С.В.	400
АРЕФЬЕВ И.М.	161
АРЕФЬЕВА Т.А.	161
АРХИПОВ А.Л.	26, 353, 370
АФОНИН В.И.	205
АХМЕТВАЛЕЕВА Л.В.	257

Б

БАЛМАСОВ А.В.	285
БЕДОВ А.А.	237
БЕЛОВ А.А.	383
БЕЛОВ И.А.	14
БЕЛОГУСЕВ В.Н.	7
БЛУВШТЕЙН Д.В.	368
БОЙКОВ А.А.	365, 366, 442
БРЫЛИНА О.Г.	246
БУЛАТОВ Л.Н.	148
БУЛДУКЯН Г.А.	267
БУЛДУКЯН Е.В.	310
БУРКОВ А.П.	207, 211
БЫЧКОВ А.Е.	32
БЫЧКОВ Е.В.	47

В

ВАНЬКОВ Ю.В.	22
ВАРКОВ А.А.	269
ВАСИЛЬЕВ А.В.	257
ВЕДЕРНИКОВА И.И.	338
ВЕРШИНИН И.В.	209
ВИЛКОВ П.В.	63
ВИНОГРАДОВ А.Б.	35, 36
ВИХРЕВ С.В.	14
ВОЛКОВА М.Ю.	288, 303
ВОЛКОВА Т.В.	303, 321
ВОРОБЬЕВ Н.М.	214
ВОРОНИН А.И.	209

Г

ГАДАЛОВ А.Б.	364
ГАНДЖА С.А.	192
ГВОЗДЕВА Т.В.	379, 381
ГЛАЗУНОВ В.Ф.	58, 63, 73
ГЛЕБОВ Н.А.	36, 41
ГНЕЗДОВ Н.Е.	29, 38, 41, 53
ГОЛОВИН С.К.	21
ГРАЧЕВ П.Ю.	100
ГРИГОРЬЕВ М.А.	32
ГРИШИНА Е.В.	227
ГРОМОВ А.К.	118

Д

ДЕМЬЯНЦЕВА Н.Г.	285
ДУДКИН М.М.	246
ДУНАЕВА Т.Ю.	405

Е

ЕГОРОВ А.В.	7
ЕГОРОВ В.Н.	231
ЕГОРОВ С.А.	338
ЕГОРЫЧЕВА Е.В.	440, 441, 442
ЕЛИЗАРОВА Н.Н.	376
ЕЛЬНИКОВСКИЙ В.В.	265
ЕРЕМИН И.В.	152
ЕФИМОВ А.В.	392

Ж

ЖУРАВЛЁВ С.В.	35, 38
---------------	--------

З

ЗАГРЕТДИНОВ А.Р.	3
ЗАЙЦЕВ А.С.	185
ЗАРИКОВСКАЯ Н.В.	413
ЗАРУБИН З.В.	11
ЗАХАРОВ А.М.	69, 72
ЗАХАРОВ М.А.	69, 72
ЗАЯНЧУКОВСКАЯ Н.В.	424
ЗВЕРЕВ С.А.	199, 202
ЗИГАНШИН Ш.Г.	22
ЗОРЧЕНКО Н.В.	418
ЗОТОВ А.П.	21
ЗУБКОВ В.П.	368, 393, 395
ЗЮЗЕВ А.М.	97

И

ИВАНОВ А.В.	121
ИВАНОВА Н.Б.	389
ИГНАТЬЕВА Е.Е.	434
ИГНАШИН А.Н.	224
ИЗОСИМОВ Д.Б.	38
ИЛЬИЧЕВ Н.Б.	392
ИСМАГИЛОВ И.Р.	5

К

КАЗАКОВ Ю.Б.	112, 115, 131
	158, 161
КАКУЕВ С.С.	254
КАЛИМУЛЛИН Р.И.	5
КАРАУЛОВ В.Н.	142, 145
КАРПОВ А.П.	257
КАРПОВ М.А.	408
КАРПОВА О.О.	405
КАРЦЕВ Д.Е.	381
КАЧАЛОВ А.В.	246
КИСЕЛЕВ А.А.	316, 335
КИСЕЛЕВ В.В.	294
КИСЕЛЕВА Е.В.	310

КЛИМОВ А.Т.	199, 202	НОВОЖИЛОВ Д.А.	217
КЛИМОВ Д.А.	373	НОЗДРИН М.А.	9, 13
КЛОЧКОВА Н.Н.	421	О	
КЛЮКИН А.Н.	262	ОБУХОВА А.В.	421
КОБЕЛЕВ А.С.	188	ОГУРЦОВ К.Н.	426
КОВКОВА Н.Ю.	270	ОГУРЦОВ Ф.Б.	17, 19, 25
КОЗИНА Т.А.	241	ОРЛОВ А.С.	274
КОКИН В.М.	408	ОСТРИЖНОВ В.Г.	332
КОЛГАНОВ А.Р.	29, 53	П	
КОЛОБОВ А.Б.	17, 19, 21	ПАВЛЮКОВА Н.Л.	292, 329
КОЛОСОВ П.А.	76	ПАК А.В.	413
КОМИН В.Г.	224	ПАЛИЛОВ И.А.	142
КОНДРАТЬЕВ А.Е.	3	ПАНТЕЛЕЕВ Е.Р.	370, 373, 392
КОПОСОВ В.Н.	319	ПАПУЛИН Б.М.	145
КОПЫЛОВА Л.Г.	227	ПАХОЛКОВА Т.А.	307
КОРНЕВ И.А.	140	ПЕКУНОВ В.В.	430
КОРНИЛОВ Д.С.	115	ПЕРМИНОВ С.М.	171, 174, 176
КОРОТКОВ А.А.	29, 35		179, 182
КОСЯКОВ С.В.	360, 362	ПЕРМИНОВА А.С.	171, 179
КРАЙНОВА Л.Н.	25	ПЕЧЕНИН А.А.	362
КРАСИЛЬНИКЪЯНЦ Е.В.	269	ПОЗДНЯКОВ Л.С.	231, 232
КРУГЛИКОВ О.В.	205	ПОКЛАД П.М.	79, 82, 85, 88
КРЫЛОВ А.Е.	35		298, 316, 326
КРЮКОВ О.В.	44, 47, 50		335, 347, 350
КУЗЬМИН С.М.	285	ПОЛЕТАЕВ В.А.	274, 283, 307
КУЙДИН Н.А.	415		313
КУЛИКОВ А.Л.	262, 410	ПОЛУЭКТОВА Е.А.	418
КУРНЫШЕВ Б.С.	35	ПОПОВ А.И.	443
Л		ПОСЕЛЕНОВ С.Ю.	13
ЛАПОЧКИН А.И.	440, 441	ПРОХОРОВ С.С.	66
ЛАШМАНОВ И.М.	131	ПРУДНОВ А.В.	61
ЛЕБЕДЕВ С.К.	29	ПТУХА Л.И.	277
ЛЕБЕДЕВ Ю.Н.	424	Р	
ЛЕЗНОВ Р.С.	168	РАЗУМОВ А.А.	343
ЛЕТУНОВСКИЙ А.С.	222	РАНДИН Д.Г.	109
ЛИХАЧЕВА А.В.	118	РАТМАНОВА И.Д.	434
М		РАХМАТУЛИН Р.М.	246
МАКАРОВ Л.Н.	188	РЕПИН А.А.	73
МАКСИМОВ Ю.П.	443	РЕПИН Д.С.	341
МАРКОВ В.В.	310	РОГОВА О.В.	106
МАСЛОВ Л.Б.	14, 16	РОДИОНОВ Р.В.	205
МАСЛЯЕВА А.А.	154	РОМАНЕНКО А.С.	254
МЕТЕЛЬКОВ В.П.	97	РУБЦОВ Д.В.	127
МЕЩЕРЯКОВ В.Н.	91	РЫГИН Р.Е.	282
МИЛОСЕРДОВ Е.П.	397, 399	С	
МОРОЗОВ Н.А.	164, 168	САБАНИЕВ Н.А.	14
МОСКОВ Т.Т.	32	САВРАСОВА В.А.	376
МОЧАЛОВ А.С.	55, 356	САДЫКОВ А.М.	360
МУФТЕЕВ И.Р.	246	САДЫКОВ М.Ф.	249
МЯКИШЕВ В.М.	199, 202	САЛАХУТДИНОВ Н.В.	211, 224
Н		САМОЙЛОВ Д.О.	251
НАЗАРЫЧЕВ А.Н.	368	САПРУНОВА Н.М.	241
НАУМОВ А.Г.	343	САРАНЦЕВ С.С.	244
НЕЙМАН В.Ю.	106	СБИТНЕВ С.А.	103
НЕСТЕРОВ С.А.	164	СЕВРЮГОВ Д.М.	134
НИЗОВ А.Н.	213		

СЕМЕНОВ В.Д.	251, 254
СЕМЬЯНОВ С.В.	61
СЕРОВ В.В.	22
СКОВОРОДА Б.Ф.	386
СМЕТАНИН Е.В.	389
СМИРНОВ А.А.	207, 211
СМИРНОВ И.С.	373
СМИРНОВ М.А.	260
СОЛДАТОВ Е.С.	383
СОЛОВЬЕВ М.Л.	393, 395
СОЛОМАНИЧЕВ М.А.	66
СОНИН Д.О.	437
СПОРЯГИН А.С.	55
СТЕПАНОВ С.Е.	44
СТРАДОМСКИЙ Ю.И.	158
СТУЛОВ А.В.	124
СУЛЕЙМАНОВА Р.Р.	249
Т	
ТАНАЕВ А.В.	199, 202
ТАРАРЫКИН С.В.	227, 434
ТИМОШЕНКО Д.А.	237
ТИТОВ В.Г.	44
ТИХОНОВ А.И.	121, 124, 127 131, 134, 137 140
ТОМИН Н.Г.	387
ТОМИНА И.В.	387
ТОПОРОВ А.В.	294
ТОПОРОВА Е.А.	294
ТРЕТЬЯКОВА Н.В.	313, 324
ТЮТИКОВ В.В.	209
У	
УНЩИКОВ И.М.	100
УПАЕВ А.Б.	251
УСЫНИН Ю.С.	32
УШКОВ А.С.	53
Ф	
ФАЛЬШИНА В.А.	410
ФЕДОТОВ А.М.	442
ФЕДОТОВ В.А.	251, 254
ФИЛАТОВ Ю.Е.	26
ФИЛИППОВ В.А.	158
ФЛОРОВ А.В.	280
ФОМИНА М.Н.	379
ФРОЛОВ А.Н.	237

Х	
ХАСАНОВ А.А.	5
ХОРЕНКО М.В.	244
Ц	
ЦЫТОВИЧ Л.И.	246
Ч	
ЧАЩИН Е.А.	433
ЧЕРНОВ Л.К.	283
ЧЕРНОВА Г.Н.	26
ЧЕРНЫШЕВ Ю.В.	205
ЧИСТОСЕРДОВ В.Л.	41
ЧУГУНОВ С.Н.	199, 202
ЧУЯНОВ Д.О.	112
Ш	
ШАПИН В.И.	14
ШЕПТУНОВ Б.В.	9
ШИРЯЕВ А.Н.	55
ШИШКИН В.П.	115
ШИШКОВ А.Н.	32
ШИШКОВ Е.М.	199, 202
ШИШКОВ К.С.	58
ШМЕЛЕВ А.С.	137
ШМЕЛЁВ В.Е.	103
ШУМИЛОВ Е.А.	112
ШУРЫГИН А.М.	154, 156, 157, 301
ШУРЫГИН М.Н.	154, 156, 157
ШУРЫГИН М.Н.	301
Ю	
ЮНУСОВА Д.Н.	16
Я	
ЯКОВЛЕВ О.А.	433
ЯМАНСАРИН И.И.	95
ЯСИНСКИЙ Ф.Н.	85, 88, 347
ЯСИНСКИЙ Ф.Н.	350, 353 356
Daimler AG	236
ENSMМ	236
HsKa	236
KUZIKOV D.	236
NIZOVТSEV A.	233

СОДЕРЖАНИЕ

Секция	"ДИНАМИКА, НАДЕЖНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА МЕХАНИЧЕСКИХ СИСТЕМ"	3
Секция	"МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ И УСТАНОВКАМИ"	29
Секция	"ЭЛЕКТРОМЕХАНИКА И МАГНИТОЖИДКОСТНЫЕ УСТРОЙСТВА"	95
Секция	"МИКРОЭЛЕКТРОННЫЕ И МИКРОПРОЦЕССОРНЫЕ УПРАВЛЯЮЩИЕ УСТРОЙСТВА И СИСТЕМЫ"	207
Секция	"ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ"	274
Секция	"МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ"	347

СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

Международной научно-технической конференции
**«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»**
(XVI Бенардосовские чтения)

Печатаются в авторской редакции

III том
Электротехника

Подписано в печать 27.04.2011. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 26,3. Уч.-изд. л. 27,4. Тираж 260 экз. Заказ
ГООУВПО «Ивановский государственный энергетический университет
имени В. И. Ленина»

153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.

Типография ООО «ПресСто»

153025, г. Иваново, ул. Дзержинского, 39