

Секция 25

**«Современные технологии в энергетике,
электротехнике, электромеханике»**

Содержание

Быковский В.В., Быковская Л.В. Анализ аналитических выражений для аппроксимации кривой намагничивания.....	3
Владова А.Ю., Кушнарченко В.М., Владов Ю.Р. Методология и результаты аналитической идентификации технического состояния теплоэнергетического оборудования.....	7
Гумовский Ю.Н. О частном регулировании тягодутьевых устройств тепловых электростанций.....	13
Жежера Н.И., Евсюкова Н.А. Исполнительное устройство систем автоматического управления амплитудой возмущений давления.....	16
Журавлев О.В. Выявление оборванных стерней короткозамкнутой клетки ротора асинхронного двигателя.....	20
Коваленко О.В. Вопросы обоснования внедрения регулируемых электроприводов.....	25
Леонов А.В., Пикулев И.А. Исследование возможностей пид-регулятора ТРМ-10 для управления процессами тепло-массообмена.....	29
Митрофанов С.В. Программное обеспечение для определения допустимой нагрузки асинхронных двигателей с поврежденной клеткой ротора.....	37
Нелюбов В.М. Использование графов при расчете установившихся режимов электрических сетей.....	45
Никиян Н.Г. О курсе «электрические машины» для студентов – ускоренников по специальности 140601 – Электромеханика.....	49
Омон А. Б. Физические модели асинхронных машин с повреждениями обмотки статора.....	50
Полынев В.Т., Полынев Т.В. Определение тестируемости и веса переменных на основе алгебры Жегалкина...	54
Пряхин Д.А. Анализ существующих методов определения места повреждения воздушных линий 110-500 КВ.	56
Садчиков А.В. Оптимизация теплопотребления учебного корпуса университета.....	59
Саликов М.П. Активизация творческого процесса при изучении темы «скользящий контакт в электрических машинах».....	61
Сандаков С.А. Задача гидродинамической устойчивости двухфазных потоков в системах водоочистки.....	63
Соколов В.Ю. Особенности эксплуатации расходомеров постоянного и переменного перепада давления.....	70
Турков В.В., Владов Ю.Р. К идентификации технического состояния газоперекачивающих агрегатов.....	74
Усенков Н.И. Автоматизация лабораторных работ в учебном курсе «электроника».....	79

Быковский В.В., Быковская Л.В. Анализ аналитических выражений для аппроксимации кривой намагничивания

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Характеристики нелинейных элементов электрических и магнитных цепей обычно задаются в виде таблиц или графиков. При численном расчете нелинейных электрических и магнитных цепей существенным является способ представления характеристик нелинейных элементов, оказывающих влияние на точность и способ решения. Существует большое количество различных аналитических выражений, в той или иной мере пригодных для математического описания характеристик нелинейных элементов. Главным при выборе наиболее подходящего аналитического выражения для функции $y=f(x)$ является то, что кривая, описываемая аналитическим выражением, должна достаточно близко расположиться к экспериментальным точкам. Работы в этом направлении ведутся на протяжении многих лет. В [1] предлагается все кривые, аналогичные по виду основной кривой намагничивания, заменять выражением вида (рисунок 1, кривая 1)

$$H = a \cdot sh(k \cdot B), \quad (1)$$

где H - напряженность магнитного поля в стали;

B - магнитная индукция;

a и k – численные коэффициенты.

Из графика (рисунок 1) видно, что значительная часть точек кривой 1 существенно удалена от экспериментальной кривой.

Для исследования магнитной цепи асинхронного двигателя Ереванским отделением ВНИИЭМ было использовано уточненное аналитическое выражение для аппроксимации кривой намагничивания электротехнической стали, вида (рисунок 1, кривая 2)

$$H = b \cdot B + a \cdot sh(k \cdot B), \quad (2)$$

где a , b , k - численные коэффициенты аппроксимации, которые определяются из решения системы нелинейных уравнений, например, в математическом программном пакете MathCAD.

Точки кривой 2 (рисунок 2) при значениях индукции до 1 Тл и выше 1,55 Тл имеют удаление от экспериментальной кривой, превышающую экспериментальную погрешность. К достоинствам данного способа аппроксимации следует отнести простоту использования выражения (2) для дальнейших расчётов и получения коэффициентов.

В [2] для аппроксимации кривых намагничивания предложено выражение вида:

$$\frac{dB}{dH} = \mu_k \cdot \left(1 - \frac{1 - a \cdot Z + Z^2}{a + b \cdot Z + Z^2} \cdot \rho \right) \quad (3)$$

где a , b , Z , ρ - численные коэффициенты.

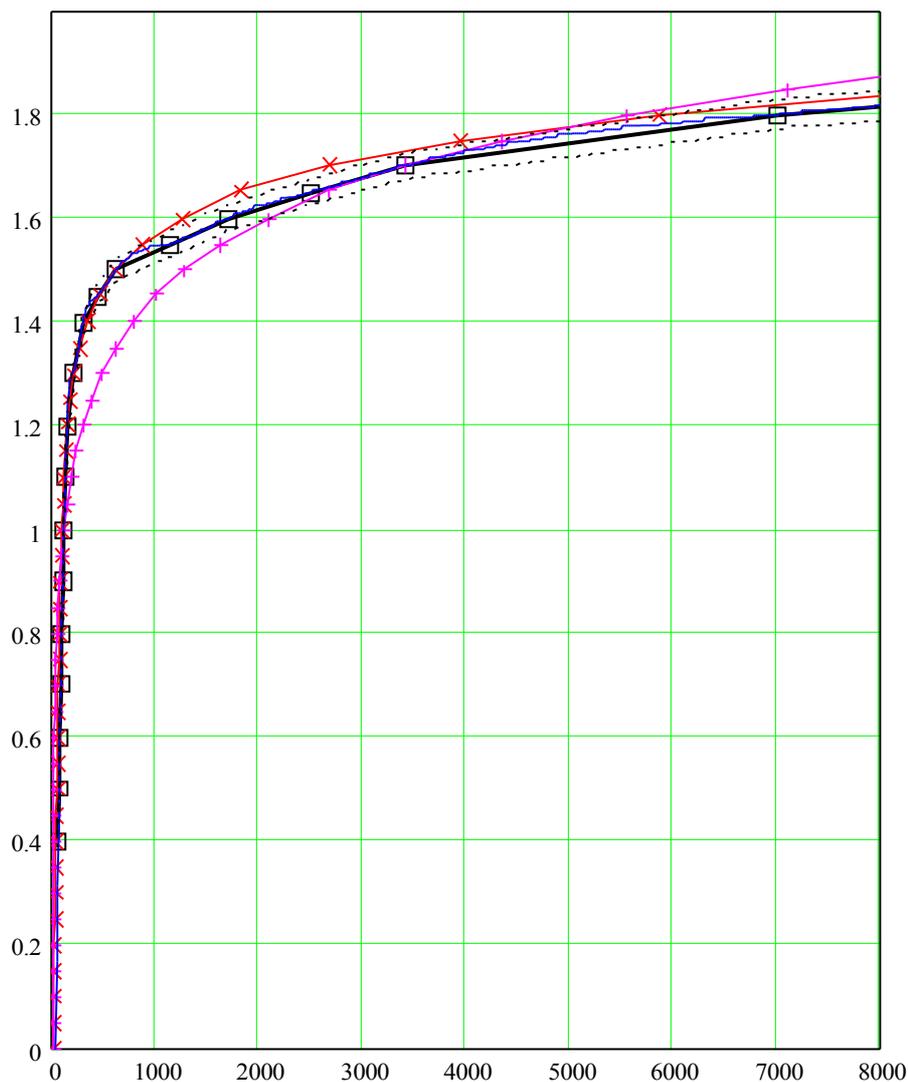


Рисунок 1 – Основная кривая намагничивания стали 2013 и кривые, полученные в результате аппроксимации:

- - основная кривая намагничивания;
- +++ - кривая 1, полученная в соответствии с выражением (1);
- xxx - кривая 2, полученная в соответствии с выражением (2);
- - кривая 3, аппроксимация кубическим сплайном;
- - кривые 4, 5 граничные экспериментальные кривые.

Согласно [2], выражение (3) с высокой точностью описывает технические кривые намагничивания для большого количества известных ферромагнитных материалов, но для его использования в расчётах требуется определение содержащегося в нем большого количества коэффициентов, что отмечено в статье самими авторами. Достоинством данного способа является более точное описание начальных участков кривых намагничивания.

Более точными и универсальными методами аналитического описания нелинейной характеристики являются аппроксимации функций с помощью алгебраических полиномов, тригонометрических многочленов и сплайнами [3].

Для выполнения задач анализа нелинейных электрических и магнитных цепей широко используются встроенные в систему MathCAD функции аппроксимации, в частности кубическими сплайнами (рисунок 1, кривая 3).

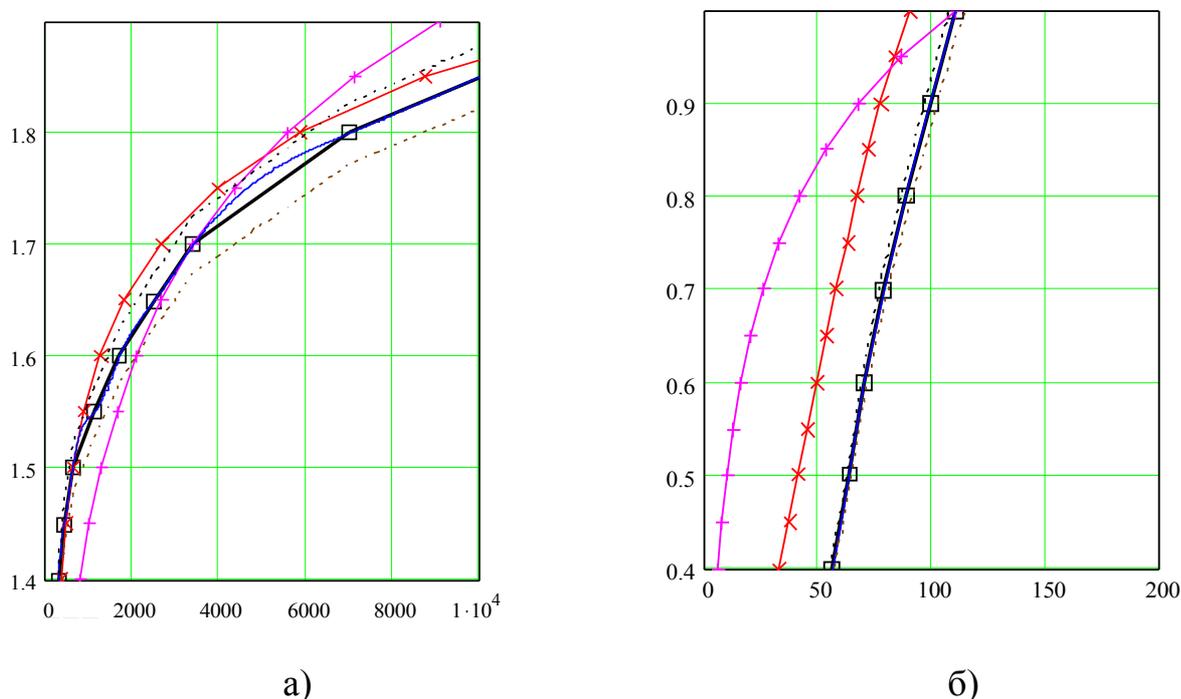


Рисунок 2 - Основная кривая намагничивания стали 2013 и кривые, полученные в результате аппроксимации:

- а) при изменении индукции от 1.4 Тл до 1.9 Тл;
- б) при изменении индукции от 0.4 Тл до 1 Тл.
- - основная кривая намагничивания;
- +++ - кривая 1, полученная в соответствии с (1);
- *** - кривая 2, полученная в соответствии с (2);
- - кривая 3, аппроксимация кубическим сплайном;
- - кривые 4, 5, граничные экспериментальные кривые.

На рисунке 1 представлены кривые, полученные в результате аппроксимации кривой намагничивания различными методами для электротехнической стали 2013. Согласно ГОСТ 21427.2-83 (СТ СЭВ 101-85) требования к магнитным свойствам ограничены только одной точкой кривой намагничивания – магнитная индукция при напряженности магнитного поля 2500 А/м должна быть не менее 1,65 Тл, которую измеряют согласно ГОСТ 12119.1 в аппарате Эпштейна. Погрешность измерений составляет $\pm 3\%$ для значений до 1,4 Тл; для значений от 1,4 Тл до 2 Тл - $\pm 1,5\%$. Если же для измерений применяется пермеаметр, то согласно ГОСТ 12119.2 погрешность при измерении индукции не должна превышать $\pm 1,5\%$. Таким образом, экспериментальная кривая намагничивания может находиться в зоне, ограниченной кривыми 4 и 5 (рисунок 1, 2).

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что в настоящий момент имеется широкий выбор методов аппроксимации кривых намагничивания стали, которые достаточно точно описывают экспериментальные кривые и выбор метода зависит прежде всего от требуемой точности результатов и имеющихся вычислительных средств.

Список использованных источников:

1. Бессонов Л. А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи: Учебник для вузов. - М.: Высш. шк., 1996. - 638 с.
2. Мустафаев Р.И., Набиев М.А., Гулиев З.А., Гаджибалаев Н.М. К аппроксимации кривой намагничивания // Электричество. – М, 2004. - №5
3. Носач В.В. Решение задач аппроксимации с помощью персональных компьютеров. – М.: МИКАП, 1994. - 382 с.

Владова А.Ю., Кушнарченко В.М., Владов Ю.Р. Методология и результаты аналитической идентификации технического состояния теплоэнергетического оборудования

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Теплоэнергетическое оборудование (ТЭО) относится к категории промышленных объектов, отказы которых сопряжены со значительным материальным и экологическим ущербом. Увеличивающаяся продолжительность эксплуатации ТЭО, износ оборудования выдвигают вопросы идентификации технического состояния (ТС) в ранг наиболее важных научно-технических проблем /1/. Проведенный анализ научной проблемы на основе собранной за тридцатилетний период эксплуатации ТЭС Оренбургского региона информации по отказам оборудования позволяет выделить определяющий для ТС ТЭО процесс ползучести и четыре основные причины повреждения металла: перегрев (55,2 % от общего количества отказов), далее следуют дефекты металла и монтажа (22,4 %), коррозия (14,9 %) и исчерпание ресурса (7,5 %). В работах Антикайна П.А., Аскользина П.А., Ботвиной Л.Р., Гофмана Ю.М., Должанского П.Р., Израилева Ю.Л., Лубны-Герцака А.Л., Ланской К.А., Одинга И.А., Розенберга В.М., Хромченко Ф.А. и многих других обсуждаются модели повреждения металла при ползучести, базирующиеся на теории упрочнения (наклепа) и разупрочнения (рекристаллизации). Однако, используемые параметры и математические модели состояния металла ТЭО в условиях высоких температур и напряжений носят локальный, недостаточно информативный, характер.

С другой стороны характерным для ТЭО является огромное количество диагностической информации. Например, в энергетических котлах типа ТГМЕ-464 выделено 3317 существенных с точки зрения технического состояния элементов в виде сварных стыков, гибов и труб. Состояние каждого элемента описывается 22 параметрами, значения которых определяются методами визуального, разрушающего и неразрушающего контроля.

В этих условиях объективный анализ результатов дефектоскопии затруднен из-за большой размерности задачи и невозможности использования существующих методов обработки с необходимостью ранжирования данных и потери связи при этом с диагностируемым объектом. Принципиальным выходом из создавшегося положения является использование новых, разработанных методов аналитической идентификации ТС на основе агрегированных параметров и моделей, позволяющих существенно сократить затраты материальных и временных ресурсов на проведение диагностирования, технического обслуживания и ремонтов /2, 3/.

Рациональна декомпозиция проблемы идентификации технического состояния ТЭО на задачи 4-х уровней (рисунок 1), предполагающие нахождение: 1 – агрегированных моделей по сформированным базам данных на основе результатов диагностирования; 2 - аппроксимирующих зависимостей

корреляционных функций (КФ) в соответствии с анализом определяющего состояние металла процесса ползучести и выделенных на основании статистики отказавших элементов четырех механизмов накопления повреждений; 3 - общих символьных и численных аналитических моделей на основе непараметрического решения интегрального уравнения по типу Винера-Хопфа, построенного исключительно на агрегированных моделях и 4 - моделей прогнозирования в виде аппроксимирующих зависимостей математического ожидания и дисперсии прогнозного случайного процесса изменения ТС и его интенсивности /4/.

Получение агрегированных моделей первого иерархического уровня предполагает формирование двух баз данных, одна из которых $БД_1(t_1)$ создается по результатам предыдущего диагностирования, а вторая $БД_2(t_2)$ – текущего диагностирования, выполненного через значительный интервал времени. Суть агрегирования заключается в том, что 1) создаются агрегаты, как совокупности определенного количества однородных элементов в каждом статистическом массиве; 2) вычисляются в каждом агрегате параметры агрегирования: степени равномерности, рассеивания и экстремальности, характеризующие внутри агрегатное распределение данных; 3) находятся методом экспертных оценок коэффициенты весомости для каждого параметра агрегирования с соблюдением условия нормирования; 4) вычисляются для каждого агрегата агрегированные модели ТС ПО: аддитивная, мультипликативная и комбинированная и их средние значения для всей совокупности агрегатов; 5) находится генеральное среднее как среднее средних значений агрегированных моделей, найденных в п.4; 6) вычисляются значения критерия, как модули разности между генеральным средним и средними значениями агрегированных моделей и по минимальному модулю разности (критерий минимума среднего риска), выбирается оптимальная агрегированная модель. Оптимальная агрегированная модель, найденная по статистическому массиву с результатами предыдущего диагностирования, прикладывается к входу, а текущего диагностирования – к выходу общей модели изменения ТС ТЭО.

На **втором** иерархическом уровне (см. рисунок 1) из множества, построенных на основе входных и выходных оптимальных агрегированных моделей ТС ТЭО, выделены по частоте появления четыре вида авто- и взаимокф. Разработаны методики определения координат авто- и взаимокф в опорных точках, охватывающих интервал корреляции с наиболее сильной статистической взаимосвязью, и построения предложенных аппроксимирующих зависимостей с выбором из них по минимаксному критерию оптимальных.

Общие математические модели ТС ТЭО **третьего** иерархического уровня (см. рисунок 1) найдены непараметрическим решением интегрального уравнения по типу Винера-Хопфа методом разбиения полученных аппроксимирующих зависимостей на зависимости с положительным и отрицательным аргументами. Такое решение позволяет получить передаточные функции в общей и канонической формах: $G(s)$, $G_{ка}(s)$, с помощью которых получены аналитические модели как изменений ТС, так и интенсивности этих

изменений. Модификация решения позволяет разработать стройную классификацию аналитических моделей ТС ТЭО по трем критериям: класс – тип – группа, а также получить их символьные аналитические описания. Выявлен предельный порядок математических моделей и предложена обобщенная аналоговая модель для реализации в интегрированной среде визуального моделирования.

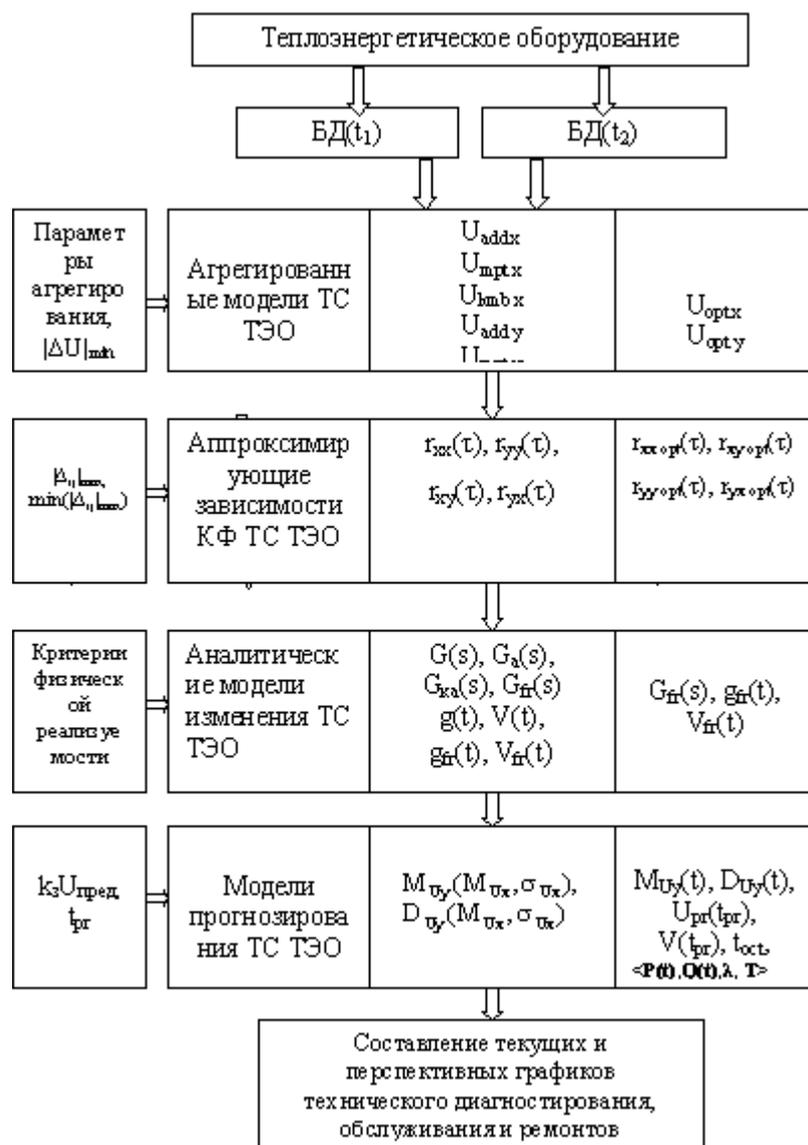
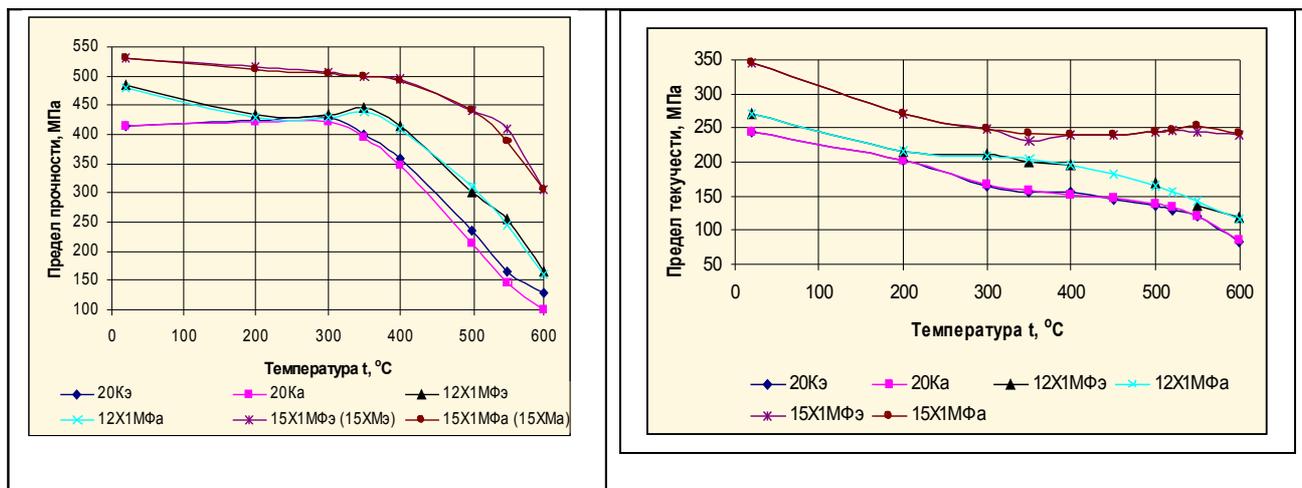


Рисунок 1 – Схема декомпозиции проблемы идентификации ТС ТЭО

Модели прогнозирования **четвертого** иерархического уровня (см. рисунок 1) найдены после решения задачи исследования точности полученных математических моделей ТС. На аналоговую модель физически реализуемой передаточной функции подается воздействие в виде случайной функции времени $U_x(t)$ с известными по результатам предыдущего диагностирования вероятностными характеристиками. Сопоставление математического ожидания (МО) и дисперсии выходной переменной $U_y(t)$ с результатами текущего диагностирования позволяет решить задачу оценки точности математических моделей, а также найти аналитические выражения для изменений МО и

дисперсии выходной переменной $U_y(t)$ в зависимости как от МО и стандартного отклонения входной переменной $U_x(t)$, так и времени t . Задаваясь прогнозным временем вычисляются прогнозные значения $m_{U_{ypr}}(t)$, $D_{U_{ypr}}(t)$, которые позволяют прогнозировать изменение ТС ТЭО, а также определять остаточный ресурс: $U_{pr}(t_{pr})$, $V(t_{pr})$, $t_{ост}$.

В процессе идентификации ТС ТЭО разработаны: 1) методика определения эквивалентной температуры эксплуатации с учетом наработки элементов на отказ, позволяющая скорректировать созданный для трех диагностированных комплекс баз данных энергетического котла и установить причины отказов элементов ТЭО за 30-тилетний период эксплуатации; 2) методика определения и сами полиномиальные аппроксимирующие зависимости выбранных физико-механических свойств металла ТЭО, вошедшие в надежность, температурную и механическую компоненты агрегированных моделей ТС трех котельных марок стали; 3) автоматизированный стенд с нагревательной камерой, снабженной системой автоматической стабилизации температуры, для испытаний на растяжение при повышенных температурах с уточнением аппроксимирующих зависимостей механической компоненты. На рисунке 2 выборочно приведены найденные зависимости пределов прочности (а) и текучести (б) для котельных марок стали, вошедших в базу данных.



б

)

Рисунок 2 - Экспериментальные (индекс э) и аппроксимирующие (индекс а) зависимости пределов прочности (а) и текучести (б) от температуры

Построенные статические характеристики для оптимальных агрегированных моделей на выходе и входе аппроксимированы линейными зависимостями с высоким уровнем достоверности (рисунок 3).

Найдены соответствующие переходные функции (1 и 2), отражающие изменение ТС энергетического котла по мере увеличения наработки:

$$u_{1_2}(t) = 0,145 - 0,031 \cos(0,619 \cdot t) e^{-0,268 \cdot t} + 0,234 \sin(0,619 \cdot t) e^{-0,268 \cdot t} - 0,114 e^{-2,155 \cdot t}; \quad (1)$$

$$u_{2_3}(t) = 0,522 - 0,471 e^{-1,552 \cdot t} - 0,051 \cos(0,625 \cdot t) e^{-0,235 \cdot t} + 0,046 \sin(0,625 \cdot t) e^{-0,235 \cdot t}. \quad (2)$$

Модели интенсивностей изменения ТС металла энергетического котла (3 и 4) получены с использованием обратного преобразования Лапласа от физически реализуемых передаточных функций:

$$V_{1_2}(t) = 0,245 e^{-2,155t} + 0,153 \cos(0,619 \cdot t) e^{-0,268t} - 0,044 \sin(0,619 \cdot t) e^{-0,268t}; \quad (3)$$

$$V_{2_3}(t) = 0,732 \cdot e^{-1,552t} + 0,04 \cos(0,625 \cdot t) e^{-0,235t} + 0,021 \sin(0,625 \cdot t) e^{-0,235t}. \quad (4)$$

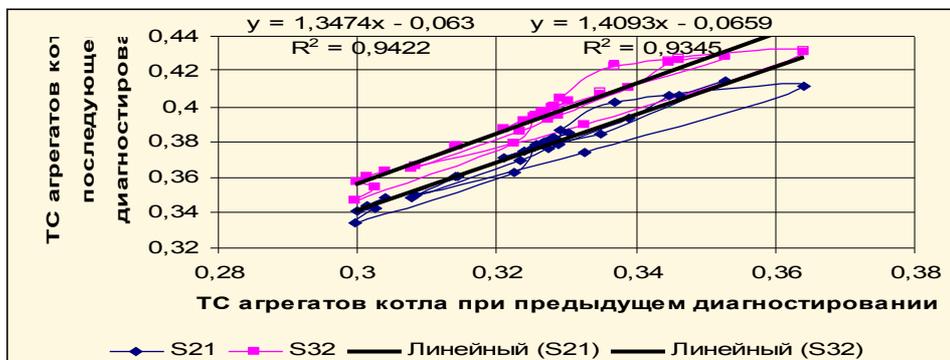


Рисунок 3 - Статические характеристики ТС энергетического котла: S21 - по результатам 1-го и 2-го, а S32 - по результатам 2-го и 3-го диагностирований

Построены идентограммы как совокупности графиков технического состояния и модуля интенсивности его изменения, развернутые по наработке с учетом проведенных диагностирований (рисунок 4).

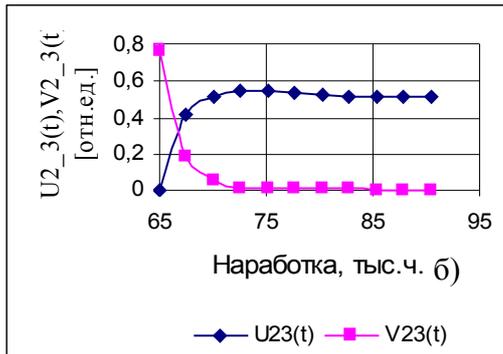
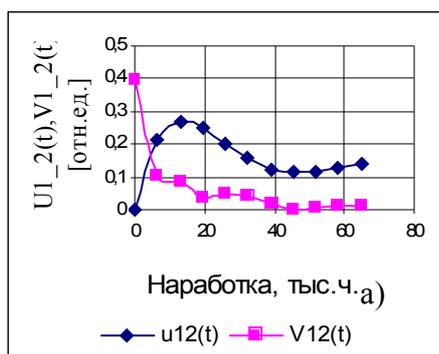


Рис.4 – Идентограммы, построенные по результатам 1-го и 2-го (а), 2-го и 3-го (б) диагностирований

Таким образом, предложенное решение проблемы предусматривает создание четырех совокупностей моделей: агрегированных, корреляционных, аналитических и прогнозных, на основе которых выстраивается методология аналитической идентификации ТС ТЭО.

Литература

1. Владов Ю.Р., Кушнаренко В.М., Кандыба Н.Е., Степанов Е.П., Владова А.Ю. Идентификация технического состояния теплоэнергетического оборудования: Монография. – Оренбург: ГОУ ОГУ, 2004. -200 с.
2. Владов Ю.Р. Аналитическая идентификация технического состояния и эффективность функционирования промышленных объектов. Автоматизация в промышленности, 2005, № 4. – С. 9-12.
3. Владов Ю.Р. Аналитическая идентификация технического состояния газоконденсатопроводов. Теоретические и практические аспекты научного

направления. Вестник Оренбургского государственного университета. № 2, Том 2, 2006. –С. 95-102.

4. Владов Ю.Р., Кушнарченко Е.В., Владова А.Ю. Модели и методы аналитической идентификации. Агрегированный подход. Третья международная конференция по проблемам управления: Тезисы докладов в двух томах. Том 1. -М.: Институт проблем управления РАН, 2006. –С. 102.

Гумовский Ю.Н. О частном регулировании тягодутьевых устройств тепловых электростанций

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Работа тягодутьевых устройств имеет существенное значение для бесперебойной работы электростанции, т.к. непредвиденная вынужденная остановка этого устройства приводит либо к прекращению работы котла, либо к снижению его производительности до 70%, если установлены два дымососа на один котёл. Двигатели дымососов должны обладать значительной мощностью, чтобы отсосать большое количество газов и создать в топке необходимое разряжение, преодолев аэродинамическое сопротивление котла, экономайзера, воздушного подогревателя, золоулавливающих устройств и всех соединяющих эти устройства трубопроводов.

Пусковые устройства двигателей тягодутьевых устройств блокируются между собой так, чтобы при отключении последнего дымососа отключались дутьевые вентиляторы, а отключение дутьевых вентиляторов вызывало бы остановку мельничных вентиляторов. В противном случае в топке котла может образоваться взрывоопасная смесь. Как правило, регулирование производительности вентиляторов и дымососов осуществляется обычно направляющими аппаратами или используют более экономичные регулирующие устройства – системы с гидроэлектроприводом (гидромуфты). Достоинства последних – плавное, бесступенчатое регулирование частоты вращения в широких пределах, возможность получения не только вращательного, но и поступательного движения. Недостатки гидромуфты – высокая стоимость оборудования и требования к качеству рабочей жидкости, зависимость механических характеристик привода от температуры рабочей жидкости и регулирование сопровождается потерями мощности, пропорциональными скольжению. Изменение вращения без дополнительных потерь даёт применение многоскоростных асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором с переключением статорной обмотки на большее число пар полюсов (2 или 3 скорости). Отечественная промышленность не выпускает многоскоростные АД на мощности порядка 1...2 МВт.

Можно считать перспективным использование тиристорных преобразователей частоты (ТПЧ) на рабочие напряжения 6 или 10 кВ, которые способны обеспечить независимое плавное регулирование частоты и напряжения в широком рабочем диапазоне. Но ТПЧ имеют серьёзные недостатки – создают высокочастотную кондуктивную помеху в схеме собственных нужд станции, дополнительные потери в магнитопроводе АД, ненормальное функционирование релейной защиты, большие сроки окупаемости при внедрении.

Дымососные установки являются одним из крупных потребителей энергии на собственные нужды (около 15 %), так что экономия электроэнергии, эффективность работы котла и турбоагрегата, достигаемая регулированием частоты вращения при различных нагрузках в целом на энергоблок, пониженных против номинальной, оправдывает усложнение устройств питания привода и в некоторой степени их удорожание.

Так как остановка двигателей тягодутьевых устройств приводит к нарушению нормального режима работы станции, то можно рекомендовать для использования систему синхронным преобразователям частоты, смонтированным на базе двух-трех синхронных генераторов. Система обеспечивает две-три точки стабилизированной пониженной рабочей частоты питания приводов дымососов и вентиляторов. Такой синхронный преобразователь можно собрать в условиях любой электростанции. Для этого потребуется в качестве электропривода синхронный двигатель (СД), механическая мощность которого должна на 5-10% превышать суммарную полезную мощность двух-трех СГ. Если взять за основу номинальную частоту вращения СД 750 оборотов в минуту и соединить через механический вал с двумя-тремя СГ, имеющих число пар полюсов 1-2-3, то получим пониженные против номинальной 50 Гц частоты, соответственно: 12.5 Гц, 25 Гц, 37.5 Гц. Для выбора оптимальной работы котла при суточной генерации электроэнергии за счет отсоса из топки продуктов горения необходима оптимизация режимов работы двигателей дымососов и соответствующий выбор рабочих частот.

В предлагаемой системе с синхронным преобразователем частот скорость вращения асинхронных двигателей (АД) дымососов и вентиляторов вторичного воздуха (подача воздуха в топку) должна быть, на наш взгляд, синхронизирована и одновременно изменяться ступенчато по выше указанным рабочим частотам. При этом одновременно изменяется амплитуда и частота напряжения, подводимого к статору АД мегаваттной мощности каждого. В системе обеспечивается закон пропорционального регулирования ($\alpha=1$). Диапазон ступенчатого регулирования обладает перегрузочной способностью и условиями перегрева АД и может достигать $D=(7:1)\dots(8:1)$. К недостаткам системы следует отнести большой запас установленной мощности электрических машин, постоянство отношения $(U/f)^\alpha$, КПД не хуже 0.65. Применение системы оправдано в данном случае, так как необходимо одновременно понижать частоту вращения нескольких двигателей (до 4 - 6) и при очень больших мощностях (порядка 5...6 МВт), на которые двигатели постоянного тока изготавливают, но на очень низкие частоты вращения и по условиям эксплуатации на станциях у них будет низкая надежность работы.

Если $\alpha=2$, то рабочий механизм вентиляторного типа, преодолевающий только динамическое сопротивление, момент сопротивления изменяется пропорционально квадрату, а мощность на валу дымососа (или вентилятора) – пропорционально кубу изменения скорости вращения, то есть частоте.

Одновременное изменение напряжения и частоты оказывает сложное влияние на работу АД, поскольку воздействие этих факторов зависит от соотношения изменений и при определенных пределах изменений даже

компенсируется. Понижение частоты в отношении влияния на потребление двигателем реактивной мощности примерно равнозначно увеличению напряжения. Поэтому, если при понижении частоты в системе одновременно, соответственно, снизить напряжение, то магнитные потоки в приводах, токи статора и ротора останутся примерно такими же, как и при нормальных напряжении и частоте. При этом, однако, скорость вращения АД и механизма, которой в конечном итоге определяется производительность агрегата, изменится пропорционально частоте. Снижение частоты и скорости вращения двигателя ухудшает охлаждение вентилируемых АД, особенно это наблюдается на низких частотах (примерно 10 Гц). У АД, класс нагревостойкости которых F или H, перегрев на низких частотах будет значительно меньше.

Следующим этапом модернизации частотного регулирования являются совмещение магнитных систем синхронных машин (СМ) преобразователя в общем магнитопроводе, то есть в одномашинном (совмещенном) исполнении. В одномашинном преобразователе частоты (ОПЧ) имеется один общий для СМ преобразователя магнитопровод, в котором расположены разнополюсные обмотки «отдельных» СМ преобразователя.

ОПЧ отличаются компактностью и простотой конструкции и технологией изготовления, имеют хорошие массовые и энергетические показатели, удобны в эксплуатации. Масса и габариты ОПЧ на 30...60 % меньше массы трехмашинных ПЧ за счет уменьшения расхода конструкционных и активных материалов.

Автором были разработаны и переданы заказчику (Минсудопром) в 70-80-х годах источники тока на базе ОПЧ, поэтому при имеющемся опыте можно организовать проектно-конструкторские и технологические работы совместными силами кафедры ЭПП ОГУ и РАО «ЕЭС России» по изготовлению и эксплуатации ОПЧ для частотного регулирования АД тепловых электростанций.

Литература:

1. Грудинский П.Г. и др. Техническая эксплуатация электрической части станций и подстанций. - М.:Госэнергоиздат, 1960. – 560 с.
2. Танатар А.И. Методы регулирования скорости асинхронных двигателей. – Киев: Техніка, 1968. – 158 с.
3. Гумовский Ю.Н. Разработка и исследования совмещенного электромашинного источника периодических импульсов тока. – Дисс. канд. тех. наук – Томск, 1981. – 193 с.

Жежера Н.И., Евсюкова Н.А. Исполнительное устройство систем автоматического управления амплитудой возмущений давления

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

В устройствах для контроля герметичности изделий используют пробную среду: жидкость (воду), газ (сжатый воздух) или смесь газов (сжатый воздух и гелий). В работе [1] предложено для повышения точности контроля герметичности изделий подавать в изделие при его испытаниях периодические возмущения давления пробной среды.

В производственной практике обычно используются системы автоматического управления (САУ), работа которых направлена на устранение колебаний давлений жидкости или газа в объектах управления. В работе [1] предлагается нетрадиционный для производственных процессов способ, основное содержание которого состоит в том, что в изделие при испытаниях его на герметичность генерируются непрерывные периодические колебания (возмущения) давления и амплитуда колебаний давления должна поддерживаться равная заданному значению.

Исполнительное устройство обычно содержит исполнительный механизм (электрический, гидравлический или пневматический двигатель с вращательным или возвратно-поступательным движением выходного звена) и регулирующий орган (клапан, задвижка, шибер или заслонка).

Разработано исполнительное устройство для создания возмущений давления при контроле герметичности изделий, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1. Исполнительное устройство подключается к изделию 1 и содержит: герконовые выключатели 3 и 10; регулируемый упор 4; толкатель с круглой головкой 5; цилиндрический редуктор 6 и 13; электрический двигатель 7 и 12; диск 8; качающийся рычаг 9; упругую емкость 11; возвратно-поступательный шарнир 14 качающегося рычага 9; винтовую пару 15. Через вентиль 2 подводится пробный газ заданного давления в изделие.

Исполнительное устройство (рисунок 1) позволяет создавать периодические возмущения давления газа в изделии, а также поддерживать заданное значение амплитуды возмущений давления при работе его в системе автоматического управления. Упругая емкость 11 (сильфон) выполняет в исполнительном устройстве роль регулирующего органа. Элементы 3-10, 12-15 относятся к исполнительному механизму рассматриваемого исполнительного устройства. Исполнительный механизм содержит две группы элементов: одна группа элементов предназначена для создания периодических возмущений давления газа в изделии, а другая – для регулирования заданного значения амплитуды возмущений давления.

В первую группу элементов входят: электродвигатель 7, редуктор 6, диск 8, на котором закреплен толкатель 5 с круглой головкой, качающийся рычаг 9 и упругая емкость 11. Во вторую группу элементов входят: электродвигатель 12, редуктор цилиндрический 13, винтовая пара 15 с

перемещающейся возвратно-поступательно гайкой, возвратно-поступательный шарнир 14, качающийся рычаг 9, герконовые выключатели 3 и 10 и регулируемый упор 4.

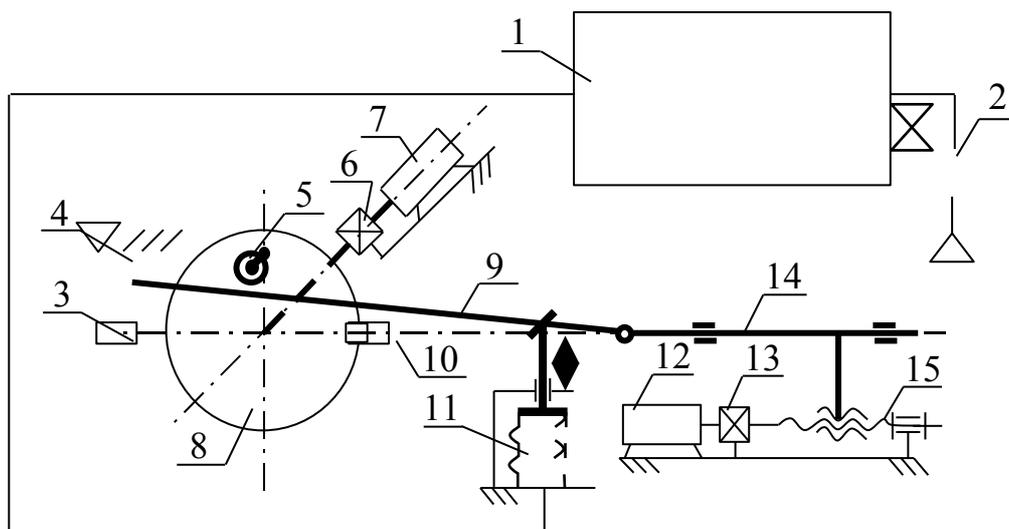


Рисунок 1 – Исполнительное устройство для создания возмущений давления при контроле герметичности изделий

При непрерывном вращении диска 8 от электродвигателя 7 качающийся рычаг 9 некоторую часть полного оборота диска 8 (около 60 %) совершает угловое движение, а другую часть оборота диска 8 – находится в неподвижном состоянии на регулируемом упоре 4.

Герконовый выключатель 10 подает сигналы на регулирующий блок и не пропускает управляющие сигналы на исполнительный механизм 12, когда толкатель с круглой головкой 5 входит в зацепление с качающимся рычагом 9 и поворачивает его. Герконовый выключатель 3 подает сигналы на регулирующий блок и пропускает управляющие сигналы на исполнительный механизм 12, когда толкатель с круглой головкой 5 выходит из зацепления с качающимся рычагом 9 и не поворачивает его.

Регулирующий блок обрабатывает по заданному закону управляющие сигналы и при наличии сигнала от герконового выключателя 3 подает управляющие сигналы на электрический моторный исполнительный механизм 12. Исполнительный механизм через цилиндрический редуктор 13 и винтовую пару 15 перемещает возвратно-поступательный шарнир 14 с качающимся рычагом 9. При перемещении возвратно-поступательного шарнира 14 с качающимся рычагом 9 влево происходит уменьшение плеча рычага 9, действующего на перемещение подвижной части упругой емкости 11, и амплитуда возмущений давления газа в изделии 1 уменьшается. При перемещении возвратно-поступательного шарнира 14 с качающимся рычагом 9 вправо происходит увеличение плеча рычага 9, действующего на перемещение подвижной части упругой емкости 11, и амплитуда возмущений давления газа в изделии 1 увеличивается.

В литературных источниках отсутствуют теоретические положения, устанавливающие взаимосвязи между перемещением подвижной части

упругой емкости (сильфона) и изменением давления в сильфоне, соединенном с изделием. Схема изделия 4, соединенного с сильфонным регулирующим органом 1, приведена на рисунке 2 (позиция 11 на рисунке 1). Изделие 4 соединено с сильфоном 1 каналом 3, а не трубопроводом, чтобы не учитывать потери давления газа при движении по трубопроводу. Это условие принимается потому, что потери в трубопроводах при движении среды зависят от скорости ее движения. Сильфон, подключенный к изделию, изменяет расход среды на очень малые значения, поэтому скорость среды и потери давления также малы. Сильфон 1 имеет объем V_c , м³, давление газа в нем P_c , Па, и масса газа m_c , кг. В изделии объемом V_u при давлении газа P_u находится масса газа m_u , кг.

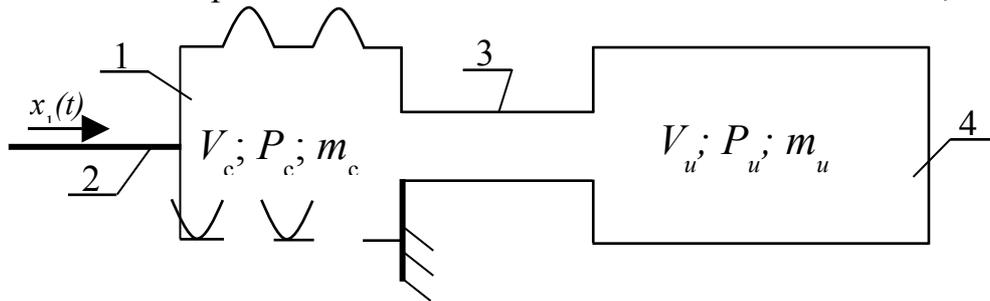


Рисунок 2 – Схема сильфонного регулирующего органа, соединенного с изделием

Для сильфонного регулирующего органа, соединенного с изделием (рисунок 2), $P_c = P_u = P_{cuc}$ – давления газа в системе, Па; $m_c + m_u = m_{cuc}$ – масса газа в системе, кг; $V_c + V_u = V_{cuc}$ – объем устройств системы, м³. Уравнение состояния газа для этих устройств: $P_{cuc} (V_c + V_u) = (m_c + m_u) RT$.

Когда сильфон 1 сжимается, тогда масса газа в сильфоне 1 и в изделии 4 остается неизменной, а изменяется их суммарный объем ($V_c + V_u$) и давление газа P_{cuc} . Поэтому переменными величинами в уравнении состояния газа для сильфона 1 и изделия 4 являются сумма объемов ($V_c + V_u$) и давление P_{cuc} . Если взять производные от переменных величин по времени в уравнении $P_{cuc} (V_c + V_u) = (m_c + m_u) RT$, тогда получим

$$dP_{cuc}(t)/(m_c + m_u)RT dt = - dV_c(t)/(V_c + V_u)^2 dt.$$

Если $(m_c + m_u) = \rho_z(V_c + V_u)$ и $dV_c(t) = -F_c dx_1(t)$, где ρ_z – плотность газа кг/м³, F_c – эффективная площадь поперечного сечения сильфона и $dx_1(t)$ – перемещение подвижного торца сильфона, тогда изменение давления в сильфонном регулирующем органе, соединенном с изделием, определяется в зависимости от перемещения подвижного торца сильфона выражением

$$dP_{cuc}(t)/dt = F_c \rho_z RT dx_1(t)/(V_c + V_u) dt.$$

Список использованных источников

1 Патент на изобретение №2234069 РФ. Устройство контроля герметичности изделий. Жежера Н.И, Сердюк А.И., Куленко Е.С., Ведехин А.В./ Заявл. 01.121.02;Опубл. 10.08.04, Бюл. №22.

Журавлев О.В. Выявление оборванных стержней короткозамкнутой клетки ротора асинхронного двигателя

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Асинхронные двигатели являются основными преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов, используемых во всех отраслях промышленности, сельского хозяйства, транспорта и в быту. Более 60 % всей электрической энергии, вырабатываемой в мире, преобразуется в механическую энергию с их помощью. Производство асинхронных двигателей является одной из важнейших составляющих электротехнической промышленности и занимает значительное место в экономике страны.

Одним из основных элементов, входящих в конструкцию электродвигателя, является ротор. В большинстве асинхронных двигателей обмотка ротора короткозамкнутая и выполняется литой из алюминия. От качества короткозамкнутой обмотки зависят энергетические и эксплуатационные показатели асинхронного двигателя, поэтому своевременное выявление дефектов обмотки ротора является важной задачей при производстве и эксплуатации асинхронных двигателей.

Основными видами дефектов короткозамкнутой обмотки ротора являются обрывы стержней, трещины, газовые включения и раковины в короткозамыкающих кольцах и стержнях, спаи и недоливы алюминия в различных элементах конструкции обмотки. Эти дефекты увеличивают электрическое сопротивление элементов клетки ротора, что приводит к электрической несимметрии обмотки ротора и электромагнитной несимметрии двигателя в целом.

Наиболее серьезным дефектом является обрыв стержня, который может возникнуть в процессе заливки ротора алюминием по технологическим причинам, либо в процессе эксплуатации при тяжелых условиях работы двигателя. Вероятность возникновения обрыва наиболее велика в местах соединения стержней с короткозамыкающим кольцом, однако возможен обрыв и в любом месте по длине стержня. Число дефектных стержней может составлять один, два или более. Визуальное выявление обрыва стержня затруднительно, поэтому разработан ряд способов для контроля качества короткозамкнутых обмоток роторов.

Все способы обнаружения дефектов стержней беличьей клетки условно можно разделить на три группы. К первой группе относятся способы, основанные на анализе электрических или механических характеристик двигателя при работе. Необходимые измерения производятся во время пуска или работы двигателя без его разборки. Способы второй группы основаны на регистрации тока в стержне ротора, который создается при возбуждении магнитного поля индуктором в сердечнике ротора. Способы третьей группы также основаны на регистрации электрического тока в стержне ротора, но ток,

переменный или постоянный, в этом случае пропускается через обмотку ротора с помощью посторонних источников тока.

Способы контроля качества короткозамкнутых обмоток роторов, относящиеся к первой группе, как правило, основаны на опытных данных о поведении тех или иных величин при повреждении обмотки ротора или сравнении данных об испытуемых двигателях с эталонными. Однако, несмотря на утверждения авторов таких способов о практическом их применении и получении достоверных результатов, следует осторожно относиться к возможности их использования, так как в основном они не имеют четкого теоретически и математически обоснованного описания принципа действия. Способы первой группы целесообразно применять для диагностики клетки ротора в процессе эксплуатации асинхронного двигателя, так как при этом не требуется его разборки; однако эти способы требуют тщательной научной проработки и накопления опытных данных для правильной оценки полученных результатов. Способы первой группы указывают только на наличие дефектов обмотки ротора, не позволяя определить место их нахождения в роторе.

В основе большинства способов, относящихся ко второй группе, лежит принцип индуцирования тока в отдельных стержнях с последующим определением магнитного потока рассеяния индуцированного тока. В дефектном стержне величина индуцированного тока будет меньше, чем в исправном стержне, соответственно, и его поток рассеяния тоже. Для регистрации индуцированного в стержне тока используются электромагниты. Запатентовано множество способов, использующих этот принцип для выявления дефектных стержней. Большинство из этих способов описаны в [5]. Например, посредством одного подковообразного электромагнита индуцируется ток в каждом стержне и с помощью другого подковообразного электромагнита, подключенного к амперметру, выявляют поврежденные стержни. Расстояние между полюсами магнитов равно зубцовому делению. В устройстве [12] для наведения тока и его регистрации используются также два электромагнита, однако индуктор охватывает два стержня, а электромагнит-датчик имеет Ш-образный магнитопровод, что позволяет дифференциально определять разность токов в соседних стержнях.

В описанных способах о качестве стержней судят по величине тока в обмотке электромагнита-датчика. Над оборванным стержнем ток датчика будет меньше, чем над исправным стержнем. Однако показания датчика изменяются при различном расположении над стержнем из-за наличия утечки индуцированного тока через пакет стали ротора. Это необходимо учитывать при проведении испытаний роторов. В принципе, о качестве стержней можно судить и по изменению тока индуктора, который будет иметь меньшее значение над оборванным стержнем.

Данные способы предполагают испытание роторов вручную. Токи индуктора и датчика сильно зависят от качества контакта их магнитопроводов с поверхностью ротора, силы прижатия, расположения над стержнем. Кроме того, для различных роторов нужны электромагниты с различными параметрами. Применение этих способов возможно только при проверке

небольшого количества роторов при ремонте асинхронных двигателей. Для увеличения производительности и точности диагностики роторов существуют автоматизированные способы определения дефектов стержней, имеющих такой же принцип действия.

Способы второй группы являются наилучшими для контроля качества залитых роторов при производстве асинхронных двигателей и для обнаружения места дефекта при их ремонте; выбор способа зависит от требуемой точности и имеющегося оборудования. При надлежащей настройке некоторые способы являются довольно точными и позволяют оценивать качество клетки ротора. При автоматизации процесса контроля их можно использовать при серийном производстве асинхронных двигателей.

Способы третьей группы также основаны на регистрации тока, протекающего в стержне ротора. Однако в отличие от способов второй группы ток не индуцируется в одном или нескольких стержнях, а пропускается через всю обмотку. Этот ток создается при подключении выводов источника питания к короткозамыкающим кольцам или вентиляционным лопаткам ротора. Ток может быть, в зависимости от применяемого способа, постоянным или переменным. Все способы третьей группы имеют существенный недостаток — необходимость подвода токов больших значений. Для получения таких токов необходимы специальные трансформаторы. При токах свыше 100 А нужно применять медные провода большого сечения, а присоединение токоподводящих проводов к испытываемому ротору представляет большую сложность. Такие способы требуют довольно значительных затрат электроэнергии. Способы третьей группы, наиболее трудоемкие и энергозатратные, могут применяться при ремонте асинхронных машин. Применение их при производстве асинхронных двигателей нецелесообразно из-за низкой производительности.

Один из способов, относящийся к третьей группе, можно усовершенствовать. Данный способ [16] выявления обрывов стержней основан на тепловом действии электрического тока. К кольцам испытываемого ротора подводится напряжение, при котором значение тока в стержнях превышает номинальное. На поверхность ротора накладывается лист целлофана, покрытый воском, парафином или другим легкоплавким веществом. При протекании большого тока по клетке ротора стержни обмотки начинают нагреваться. Автор способа утверждает, что поврежденный стержень нагревается слабее, чем исправные стержни, соответственно, легкоплавкий материал над таким стержнем плавиться не будет. Предполагается, что над целыми стержнями легкоплавкий материал расплавится. По визуальной оценке состояния покрытия листа целлофана и предлагается судить о качестве каждого стержня.

Усовершенствование заключается в использовании тепловизора для наблюдения за тепловым состоянием стержней ротора. О качестве стержней ротора предлагается судить по температуре нагрева во время протекания по ним электрического тока. Целые стержни нагреваются сильнее оборванных стержней. Разрешающая способность современного тепловизора позволяет определить температуру любой точки поверхности ротора с точностью до

десятой доли градуса. Картина теплового поля стержней фотографируется и обрабатывается на компьютере с помощью специального программного обеспечения. Схема установки для реализации данного способа представлена на рисунке 1.

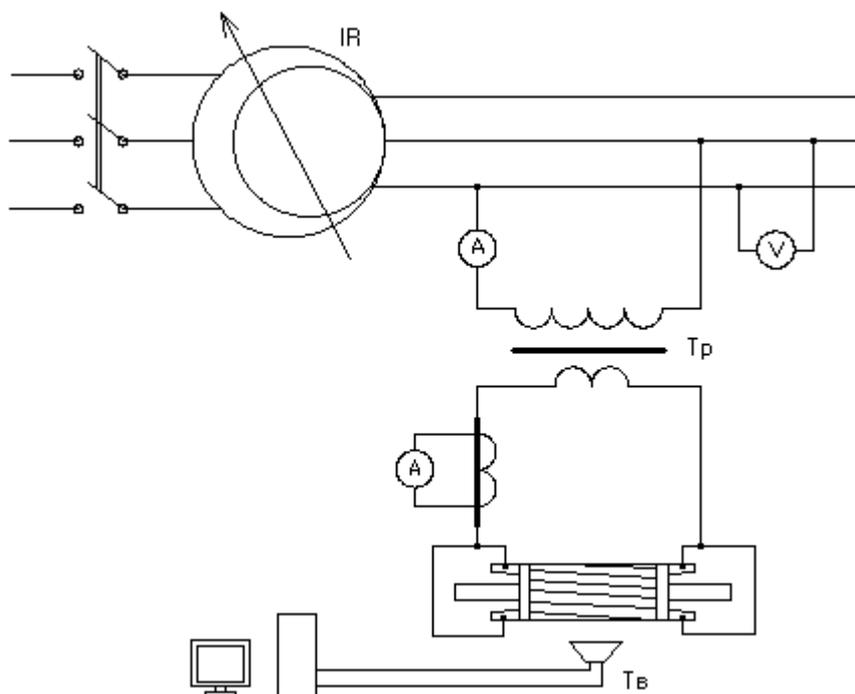


Рисунок 1 — Схема установки для выявления дефектов клетки ротора с помощью тепловизора

Усовершенствованный способ имеет ряд преимуществ. Он позволяет получать более точную картину теплового поля нагретых стержней на поверхности ротора, соответственно, повышается достоверность получаемых результатов. Температура нагрева стержней может всего на несколько градусов превышать температуру окружающей среды, в то время как для реализации способа с использованием легкоплавкого материала температура нагрева стержней должна быть существенно большей. Это означает, что уменьшается необходимый ток, пропускаемый через обмотку.

Однако усовершенствованный способ обладает всеми недостатками способов третьей группы. Кроме того, из-за большой теплопроводности пакета стали ротора картина теплового поля стержней на поверхности ротора будет нечеткой. При длительном времени проведения испытаний возможно выравнивание температуры по всей поверхности ротора, поэтому следует испытания проводить по возможности быстро. Следует также отметить, что для реализации данного способа требуется дорогостоящее оборудование.

Выбор метода определения оборванных стержней в короткозамкнутых обмотках зависит от требуемой точности получаемых результатов, производительности способов и имеющегося оборудования.

Использованная литература:

- 1 Антонов М.В. Технология производства электрических машин: Учебник для вузов.—2-е изд., перераб. и доп.—М.:Энергоатомиздат, 1993.—592 с.: ил.
- 2 Макаров Л.С., Урецкий И.З. Заливка роторов электродвигателей больших габаритов. М.—Л., изд-во «Энергия», 1996, 128 с. с ил.
- 3 Проектирование электрических машин: Учеб. для вузов / И.П Копылов, Б.К. Клоков, В.П. Морозкин, Б.Ф. Токарев; Под ред. И.П. Копылова. — 3-е изд., испр. и доп. — М.: Высш. шк., 2002. — 757 с.: ил.
- 4 Кутарев А.М. Проектирование асинхронных двигателей с короткозамкнутым ротором: Учебное пособие. — Оренбург: ОГУ, 2003.—128 с.
- 5 Никиян Н.Г. Многофазная реальная асинхронная машина: математическое моделирование, методы и средства диагностики: Монография.—Оренбург: ГОУ ВПО ОГУ, 2003. – 334 с.
- 6 Никиян Н.Г., Саликов М.П. Способ и установка для диагностики короткозамкнутых клеток электрических машин. // Электрические станции. — 1999. №3.
- 7 Петухов В.П., Соколов В.Г. Диагностика состояния электродвигателей. Метод спектрального анализа потребляемого тока. // Новости электротехники. — 2005. №1.
- 8 А.с.1257577. Устройство для контроля целостности стержней короткозамкнутой обмотки ротора асинхронного двигателя / Князев С.А., Брюханов Г.А.
- 9 А.с.585159/24. Способ контроля целостности стержней беличьей клетки ротора асинхронного двигателя / Светличный П.Л., Азарх В.А.
- 10 А.с.543891. Устройство для обнаружения обрыва стержней в роторах асинхронных двигателей / Бровкин А.С., Вязниковцев Е.В., Черваков В.В.
- 11 А.с.93833. Способ контроля роторов короткозамкнутых асинхронных двигателей / Синельников Е.М., Земляной М.И., Минкин М.М., Лавринович Л.Л.
- 12 А.с.116698. Устройство для контроля роторов короткозамкнутых асинхронных двигателей / Фокин В.А.
- 13 А.с.1182422. Способ контроля качества короткозамкнутой обмотки ротора и устройство для его осуществления / Сромин Ф.А., Николаев Р.Н., Прозоров В.А.
- 14 А.с.1449944. Устройство для испытаний короткозамкнутых обмоток роторов асинхронных двигателей / Ткаченко А.И.
- 15 А.с.2035047. Устройство для диагностики короткозамкнутых роторов асинхронных двигателей / Цветиков В.Я.
- 16 А.с.399689. Способ обнаружения лопнувших стержней в короткозамкнутых роторах / Гольдштейн А.Н.

Коваленко О.В. Вопросы обоснования внедрения регулируемых электроприводов

Оренбургский государственный университет, Оренбург

В условиях свободного рынка энергоресурсов и перспектив их удорожания возрастает актуальность внедрения энергосберегающего оборудования и технологий. Эффективность использования энергоресурсов в России в настоящее время не превышает 30%, то есть около 2/3 подведенной энергии теряется в процессе ее конечного использования. Между тем современный уровень развития техники позволяет иметь коэффициент полезного использования энергоресурсов не менее 50-60%, что может создать благоприятные условия для решения важных экономических и социальных проблем предприятия.

Одним из направлений энергосбережения в промышленности является внедрение частотно-регулируемого электропривода. В мировой практике регулируемый электропривод признан одной из наиболее эффективных энергосберегающих и ресурсосберегающих экологически чистых технологий. Его использование позволяет оптимизировать работу электродвигателей, исключить непроизводительное потребление электроэнергии.

Помимо экономии электроэнергии применение частотно-регулируемых электроприводов обеспечивает такие дополнительные преимущества, как:

- снижение электрических ударных нагрузок на питающую сеть;
- повышение долговечности двигателей за счет существенного снижения электродинамических усилий в обмотках двигателя при пуске;
- повышение долговечности контактно-коммутационной аппаратуры;
- минимизация затрат на ремонт и техническое обслуживание за счет увеличения межремонтного цикла и сокращения расходов на запчасти;
- наличие возможности точной настройки режима работы технологической системы;
- повышение комфортности работы обслуживающего персонала;
- повышение производственной безопасности и снижение вероятности аварийных ситуаций.

Опыт внедрения регулируемых электроприводов на насосных установках говорит о том, что экономия электроэнергии составляет около 50 %, увеличивается межремонтный цикл для насосных установок в 2 ... 2,5 раза, уменьшается вызов аварийных бригад.

Определение экономической эффективности, которую можно получить от внедрения регулируемого электропривода в производственном процессе является насущной проблемой. Потребителю хотелось бы до приобретения оборудования иметь гарантии, что средства будут израсходованы не зря, общие утверждения о том, что экономия электроэнергии составит 30—60%, требуют подтверждения.

Обоснование экономической целесообразности необходимо начинать еще на стадии проектирования при выборе системы электропривода. На выбор регулируемого электропривода оказывают влияние не только технические, но и экономические факторы. Причем факторы эти часто носят противоречивый характер, то есть система электропривода, предпочтительная, например, по капитальным затратам и реактивному потреблению, имеет худшие показатели по потерям активной мощности и затратам на обслуживание. Поэтому однозначно определить, какая система для каких условий является наиболее целесообразной, без специальных технико-экономических обоснований невозможно.

На предварительной стадии возможно использование экспертного метода, особенно когда рассматриваются новые прогрессивные системы управления приводами и важное значение имеют технические показатели, которые сложно или невозможно оценить в стоимостном выражении. К таким показателям относятся, например, быстродействие, точность и диапазон регулирования, габариты системы и т.д. Сложность выбора варианта в этом случае усугубляется тем, что часто решение требуется принимать в условиях неполноты информации и в сжатые сроки.

Для того, чтобы повысить обоснованность принимаемых решений и учесть различные факторы, оказывающие влияние на его результаты целесообразно применять экспертные методы, основанные на анализе и обобщении суждений специалистов, занимающихся проектированием, освоением и эксплуатацией автоматизированного электропривода. Опыт, чувство перспективы и интуиция экспертов позволяют частично компенсировать нехватку точных данных и помогают оценить значимость тех или иных факторов и показателей, то есть в конечном итоге принять рациональное решение.

Можно выделить следующие этапы проведения экспертной оценки электроприводов.

Первым этапом работы является выделение экспертами важнейших показателей, которые оказывают влияние на выбор того или иного варианта. Например, при выборе системы регулируемого привода это могут быть надежность системы, быстродействие, номинальная мощность и коэффициент мощности, точность и диапазон регулирования, уровень искажений, вносимых системой в сеть, габариты и масса и т.д. Кроме чисто технических показателей можно учесть и экономические показатели, такие как капитальные затраты, затраты на проектирование, затраты на потери электроэнергии, затраты на ремонт и обслуживание и другие.

Второй этап работы – это попарное сравнение выделенных показателей между собой по степени важности при решении поставленной задачи. Для облегчения сравнения составляют матрицу парных сравнений, которая позволяет определить «удельный вес» каждого показателя.

Следующим этапом решения задачи является оценка экспертами величины каждого показателя по сравниваемым вариантам и умножение его на «удельный вес».

В заключении для каждого варианта производится суммирование полученных значений показателей и наиболее целесообразным признается вариант, который имеет наибольшую сумму .

При определении экономического эффекта от применения регулируемого электропривода необходимо дать стоимостную оценку следующих затрат и результатов:

- единовременные затраты на проектирование системы, приобретение всех ее элементов (стоимость приводного двигателя, преобразовательных устройств с учетом затрат на системы управления, защиты и автоматики, затраты на компенсацию реактивной мощности), строительно-монтажные, пуско-наладочные и регулировочно-настроечные работы;

- изменение затрат на потребляемую электроэнергию за год, которые определяются исходя из фонда времени работы оборудования, тарифа на электроэнергию и суммарной мощности энергопотребления в системе до и после внедрения регулируемого электропривода;

- изменение затрат на ремонт и техническое обслуживание за год, которые определяются исходя из количества ремонтов в год, их трудоемкости и средней стоимости запасных частей до и после внедрения регулируемого электропривода;

- изменение затрат от повышения надежности системы за год, которые определяются исходя из стоимости среднечасовой выработки продукции и времени простоя оборудования до и после внедрения регулируемого электропривода;

- изменение величины ежегодных амортизационных отчислений, которые определяются исходя из срока службы и стоимости оборудования до и после внедрения регулируемого электропривода;

- изменение затрат при повышении производительности труда за счет увеличения точности обработки и сокращения штучного времени;

- изменение затрат на устройства, компенсирующие искажения в питающей цепи до и после внедрения регулируемого электропривода;

- изменение затрат на ликвидацию аварийных ситуаций, которое определяется исходя из среднестатистического количества аварийных ситуаций в год и средних затрат на их устранение.

Для более точной стоимостной оценки эффекта от энергосбережения при внедрении регулируемого электропривода необходимо организовать установку приборов учета электрической энергии и произвести замеры электропотребления до установки привода и после его установки. Очевидно, что для правильного выбора технического решения большое значение имеют результаты обследования нагрузок и режимов работы электродвигателей. Такое обследование проводят с помощью электроанализатора, регистрируя с его помощью график активной электрической мощности двигателя. Длительность регистрации составляет от одной смены до нескольких суток. Одновременно записываются значения линейных и фазных напряжений для контроля симметричности питающей сети, а также реактивной мощности и $\cos\varphi$ для выбора способа компенсации реактивной мощности. Предварительный

мониторинг режима работы поможет оптимизировать затраты при внедрении и эксплуатации привода.

Определенную сложность представляет расчет затрат на ремонты и обслуживание системы электропривода, так как нормативы СППР достаточно устарели, а это требует получения и обобщения новых, достаточно полных статистических данных. Стоимость сокращения затрат на ремонты и обслуживание можно определять экспертным путем.

В зарубежной практике экономический эффект от повышения надежности, срока службы и межремонтного ресурса оборудования за счет «щадящих» режимов его работы оценивается выше экономического эффекта от экономии электроэнергии. По результатам обследования института энергетики США 83,7 % пользователей главной причиной применения регулируемого привода назвали «надежность» работы технологической системы, оборудования в целом и «эффективность процесса». Только 7,5 % привлеклись чистой «энергетической эффективностью».

В заключении, можно отметить необходимость работ по сбору и анализу достаточно большого массива данных как технического, так и экономического характера из практики применения регулируемых электроприводов в производственном процессе, а также привлечение компетентных специалистов в вопросах как проектирования, так и эксплуатации регулируемого электропривода. Результатом таких работ должны стать рекомендации, позволяющие сделать с высокой степенью достоверности вывод о целесообразности применения регулируемых электроприводов на конкретных промышленных объектах и обеспечить эффективное расходование средств, выделяемых предприятием для решения задач энергосбережения.

Леонов А.В., Пикулев И.А. Исследование возможностей пид-регулятора ТРМ-10 для управления процессами тепло-массообмена

(Оренбургский филиал СамГАПС, Оренбургский государственный университет)

Потребность в теплоте у различных абонентов меняется в зависимости от различных условий потребления (метеорологические условия, расход теплоносителей, режим работы технологического оборудования и других факторов). Изменение количества теплоты, подаваемой потребителю, осуществляется системой регулирования. Тепловую нагрузку можно регулировать за счет изменения следующих величин: температуры горячих теплоносителей на входе в тепло-потребляющий прибор; расхода греющего теплоносителя; коэффициента теплопередачи; продолжительности работы и других факторов. Для этой цели можно создать динамическую модель управления конкретного тепло-потребляющего объекта и использовать регуляторы локальных систем. В ранней работе авторами уже была сделана попытка исследования возможностей применения ПИД-регулятора ТРМ1 для управления процессами тепло-массообмена /3/. С появлением более совершенных ПИД -регуляторов типа ТРМ10 появляются и новые возможности по расширению количества исследуемых параметров, повышения точности их регулирования.

Измерители (ПИД-регуляторы) ТРМ10 изготавливаются в различных модификациях, отличающихся друг от друга диапазоном напряжений питания, конструктивным исполнением, классом точности, типом подключаемых к их входам датчиков температуры (или электрических сигналов) и типом встроенных выходных устройств/2/.

Информация о модификации прибора зашифрована в коде полного условного обозначения:

Прибор **ТРМ 10** (диапазон напряжений питания) – (конструктивное исполнение).(тип входного датчика или сигнала).(тип встроенного выходного устройства).

Тестированию подвергался измеритель-регулятор **ТРМ 10А-Щ1-ТС-И**, что расшифровывается как **измеритель- регулятор температуры на напряжение питания 187...242 В переменного тока щитового крепления Щ1 с входным датчиком в виде термопреобразователя сопротивления, тип которого устанавливается пользователем при программировании прибора в параметре b0-1, с встроенным выходным устройством аналогового типа (цифро-аналоговый преобразователь с точностью до 10 разрядов, формирующий токовую петлю 4...20 мА на активной нагрузке 0...1000 Ом).**

Микропроцессорный программируемый измеритель-регулятор типа ТРМ10 совместно с входным датчиком предназначен для контроля и управления

различными технологическими производственными процессами, где требуется повышенная точность поддержания значения измеряемого параметра, и позволяет осуществлять следующие функции:

- измерение температуры и других физических величин (давления, влажности, расхода, уровня и т.п.) с помощью стандартных датчиков;
- регулирование измеряемой величины по пропорционально-интегрально-дифференциальному (ПИД) закону;
- отображение текущего измерения на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- автоматическое определение коэффициентов ПИД-регулятора (самонастройка);
- формирование дополнительного сигнала управления на выходе компаратора по двухпозиционному закону (реле «Авария»).

Функциональные параметры измерения и регулирования задаются пользователем и сохраняются при отключении питания в энергонезависимой памяти прибора.

Функциональная схема прибора приведена на рис.1. Прибор состоит из:

- входа для подключения первичных преобразователей (датчиков);
- блока обработки данных, предназначенного для цифровой фильтрации, коррекции и масштабирования входной величины, имеющего в своем составе логические устройства (ЛУ):

ПИД-регулятор и устройство сравнения;

- выходные устройства различного типа;
- цифровой индикатор регулируемой величины.

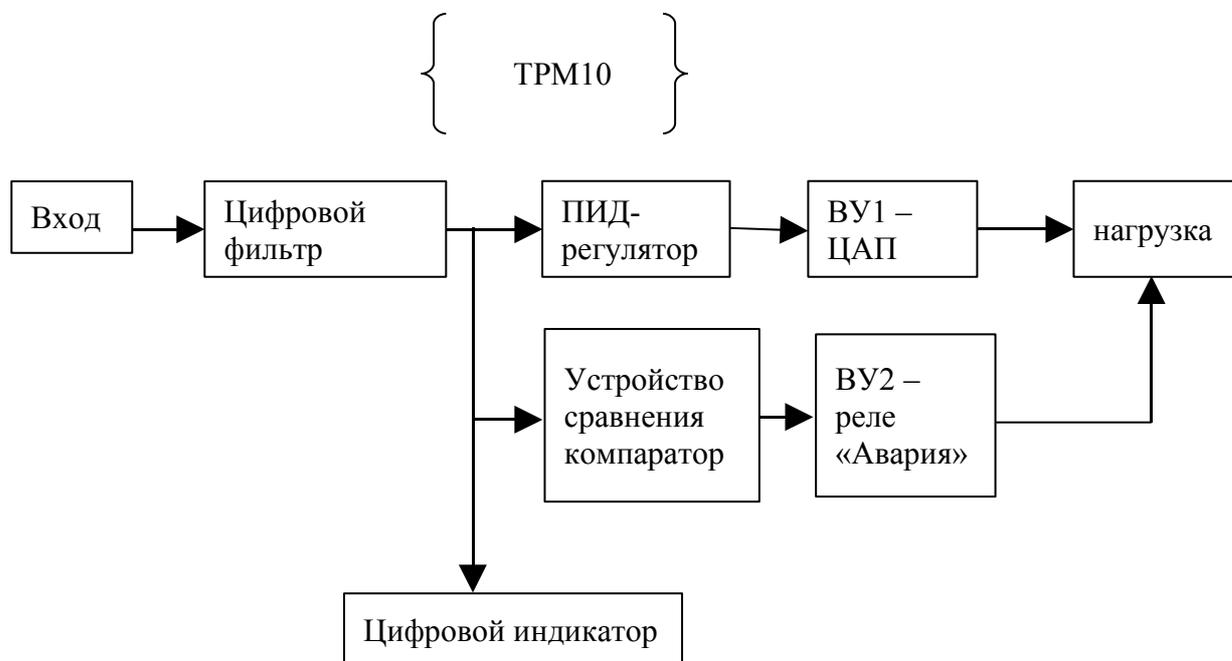


Рисунок 1 - Функциональная схема измерителя-регулятора TRM10.

Измерители. Преобразование сигнала, полученного с датчика, в текущее цифровое значение измеряемой величины (температуры, давления, расхода и

т.д.) производится в измерителе. Поскольку большинство датчиков температуры имеет нелинейную зависимость выходного сигнала от температуры, в измерителях заложены таблицы коррекции показаний для всех типов датчиков, которые могут быть подключены к прибору.

Цифровая фильтрация измерений. Для улучшения эксплуатационных качеств, в блок обработки входных сигналов введен цифровой фильтр, позволяющий уменьшить влияние случайных помех на измерение контролируемых величин. Работа фильтра описывается параметром **глубина цифрового фильтра**, определяющим количество последних N измерений, из значений которых прибор вычисляет среднее арифметическое. Полученная величина поступает на входы ПИД-регулятора и устройства сравнения. При значении параметра равном 0 или 1 фильтр выключен. Уменьшение значения N приводит к более быстрой реакции прибора на скачкообразные изменения контролируемой величины, но снижает помехозащищенность измерительного тракта. Увеличение значения N приводит к улучшению помехозащищенности, но вместе с тем повышает инерционность прибора.

ПИД-регулятор. На выходе регулятора вырабатывается управляющий сигнал Y (выходная мощность), действие которого направлено на уменьшение отклонения текущего значения контролируемой величины от заданного (E_i):

$$Y_i = \frac{1}{X_p} \cdot \left(E_i + \tau_d \frac{\Delta E_i}{\Delta t} + \frac{1}{\tau_u} \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t \right) \cdot 100\%, \quad (1)$$

где X_p -полоса пропорциональности;

E_i – разность между заданным $T_{уст}$ и текущим T_i значением измеряемой величины, или рассогласование;

τ_d – постоянная времени дифференцирования;

ΔE_i – разность между двумя соседними рассогласованиями E_i и E_{i-1} ;

$\Delta t=1,5с$ – время между двумя соседними измерениями T_i и T_{i-1} ;

τ_u – постоянная времени интегрирования;

$\sum_{i=0}^n E_i$ - накопленная сумма рассогласований.

Из формулы (1) видно, что при ПИД-регулировании сигнал управления зависит от:

1) разницы между текущим параметром T_i и заданным значением $T_{уст}$ измеряемой величины E_i , которая реагирует на мгновенную ошибку регулирования; отношение $\frac{E_i}{X_p}$ называется *пропорциональной составляющей* выходного сигнала;

2) накопленной ошибки регулирования $\sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t$, которая является дополнительным источником выходной мощности и позволяет добиться максимальной скорости достижения температуры уставки при отсутствии перерегулирования; выражение $\frac{1}{X_p} \cdot \frac{1}{\tau_u} \cdot \sum_{i=0}^n E_i \cdot \Delta t$ называется *интегральной составляющей* выходного сигнала;

3) скорости изменения параметра $\frac{\Delta E_i}{\Delta t}$, вызывающей реакцию регулятора на резкое изменение измеряемого параметра, возникшее в результате внешнего возмущающего воздействия; выражение $\frac{1}{X_p} \cdot \tau_d \cdot \frac{\Delta E_i}{\Delta t}$ называется *дифференциальной составляющей* выходного сигнала.

Для эффективной работы ПИД-регулятора необходимо установить правильные для конкретного объекта регулирования значения коэффициентов ПИД-регулятора X_p , τ_d , τ_u , которые можно определить либо в режиме САМОНАСТРОЙКА, либо ручной настройкой по специальной методике.

Для аналогового управления выходной сигнал ПИД-регулятора преобразуется в пропорциональный ему ток 4...20 мА (при помощи ЦАП).

Устройство сравнения (УС). Для работы устройства сравнения задаются уставки С1 и С2. В зависимости от характера изменения входной величины устройство сравнения работает по одному из типов логики /3/.

Выходное устройство аналогового типа (ВУ1 – ЦАП).

Выходное устройство аналогового типа в приборе ТРМ10 – это цифро-аналоговый преобразователь с точностью до 10 разрядов, который формирует токовую петлю 4...20 мА на активной нагрузке 0...1000 Ом (рис.2) и используется для управления электронными регуляторами мощности.

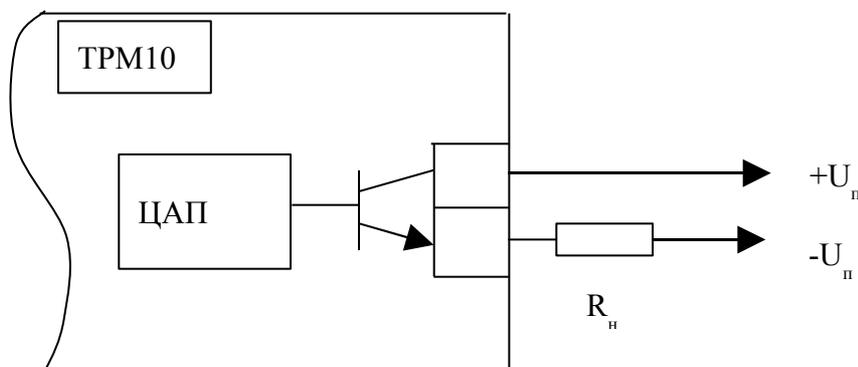


Рисунок 2 - Цифро-аналоговый преобразователь

Аналоговый выход имеет гальваническую развязку от схемы прибора.

Для работы аналогового выхода используется внешний источник питания постоянного тока, номинальное значение напряжения которого U_n рассчитывается следующим образом:

$$U_{n. \min} < U_n < U_{n. \max} ;$$

$$U_{n. \min} = 7,5 \text{ В} + 0,02 * R_n ;$$

$$U_{n. \max} = U_{n. \min} + 2,5 \text{ В}.$$

где $U_{n. \min}$, $U_{n. \max}$ - минимально- и максимально-допустимое напряжения источника питания, соответственно, В;

R_n - сопротивление нагрузки ЦАП, Ом.

Если по какой-либо причине напряжение источника питания ЦАП, находящегося в распоряжении пользователя, превышает расчетное значение, то последовательно с нагрузкой необходимо включить ограничительный резистор $R_{огр}$. Напряжение источника питания ЦАП не должно быть более 30 В.

Прибор ТРМ10 может функционировать в одном из четырех режимов:

- САМОНАСТРОЙКА;
- ПРОГРАММИРОВАНИЕ;
- РАБОТА;
- ЮСТИРОВКА.

Самонастройка

Режим САМОНАСТРОЙКА предназначен для автоматического определения оптимальных значений коэффициентов ПИД-регулятора τ_u , τ_d и X_p при работе конкретной системы. Самонастройку рекомендуется проводить при пуске и наладке системы, а также при значительном изменении характеристик объекта (загрузке печи, объема нагреваемой жидкости, мощности нагревательного элемента и т.п.).

Программирование

Режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ предназначен для установки значений параметров работы прибора, необходимых при эксплуатации, и записи их в энергонезависимую память ТРМ10 (заданные значения сохраняются в памяти при выключении питания).

ПРИМЕЧАНИЕ! Во время пребывания в режиме ПРОГРАММИРОВАНИЕ прибор не осуществляет регулирование, а выдает сигнал, полученный в момент входа в режим ПРОГРАММИРОВАНИЕ, устройство сравнения переводится в состояние ОТКЛЮЧЕНО.

В приборе предусмотрено программирование параметров на двух уровнях/2/.

Методика установки настроечных параметров различного уровня изложена в заводской документации на прибор.

В качестве исследуемых тепло-потребляющих объектов, были выбраны объекты с самовыравниванием, отличающиеся значениями постоянной времени и величиной запаздывания (низкотемпературная печь сопротивления и электрический водонагреватель). Кривые разгона объектов представлены на рис.3 и 4.

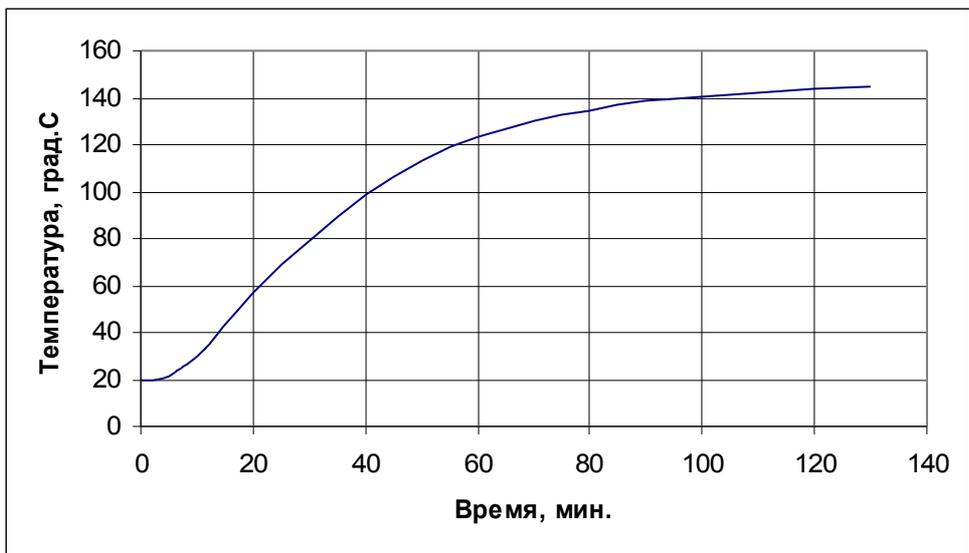


Рисунок 3 - Кривая разгона низкотемпературной печи сопротивления

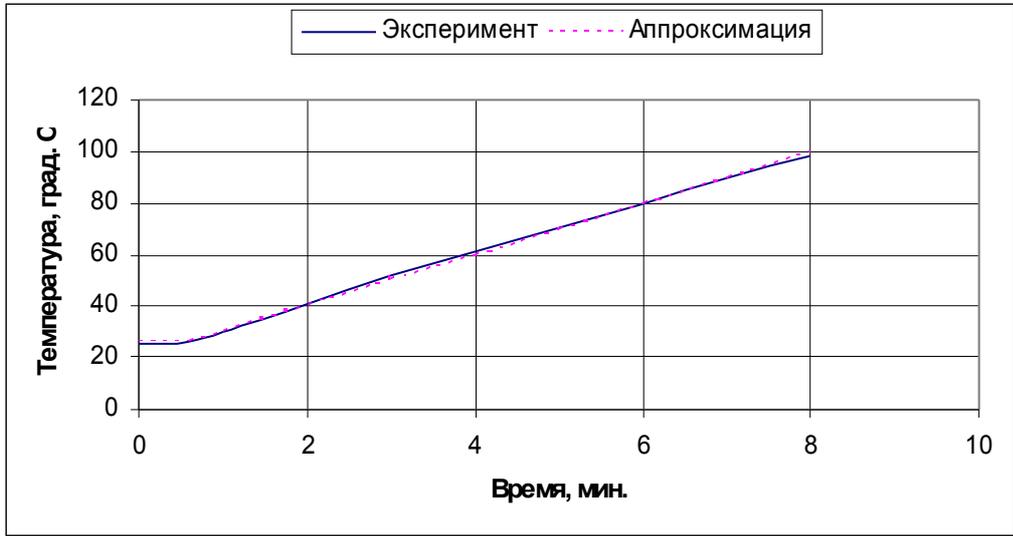


Рисунок 4 - Кривая разгона электроводонагревателя

Качество регулирования ПИД-регулятора ТРМ10 зависит от степени приближения настроечных параметров к динамическим параметрам объекта регулирования. В случае определения оптимальных настроечных параметров регулятора получаем наилучший переходный процесс регулирования с минимальным перерегулированием и минимальным числом колебаний. Настроечные параметры определялись на конкретном объекте (низкотемпературная печь сопротивления) по методике фирмы-изготовителя. На рис.5. приведены кривые переходных процессов по мере выхода на оптимальные настроечные параметры регулятора. Как видно из графиков, наилучшим является переходный процесс, обозначенный сплошной линией. Ему соответствует настройка регулятора: $X_p=18,0$ (пропорциональная составляющая), $\tau_i=2000c.$ (интегральная составляющая), $\tau_d=200c.$ (дифференциальная составляющая). Эти настроечные параметры были определены при ручной настройке ПИД-регулятора по методике фирмы-изготовителя. Настроечные параметры, полученные в режиме

АВТОНАСТРОЙКА, дают переходный процесс регулирования с несколько большей степенью колебательности (пунктирная кривая на рис.5). Поэтому, для получения наилучшего качества регулирования, можно рекомендовать получение настроечных параметров в режиме АВТОНАСТРОЙКА с последующим их уточнением в режиме ручной настройки регулятора.

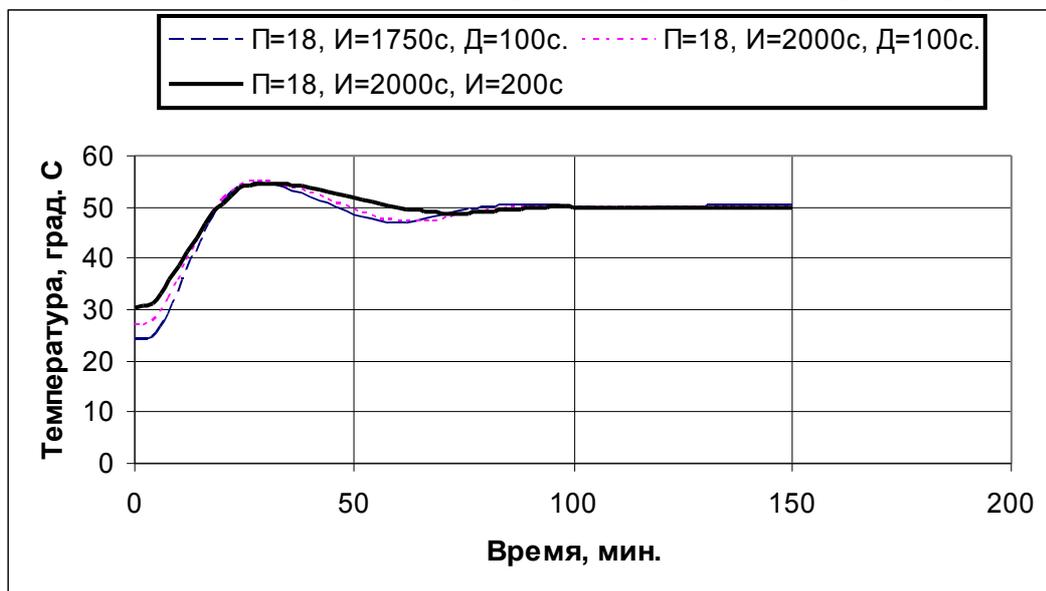


Рисунок 5 - Кривые переходных процессов для различных настроечных параметров регулятора (П-пропорциональная, И-интегральная, Д-дифференциальная настройки регулятора)

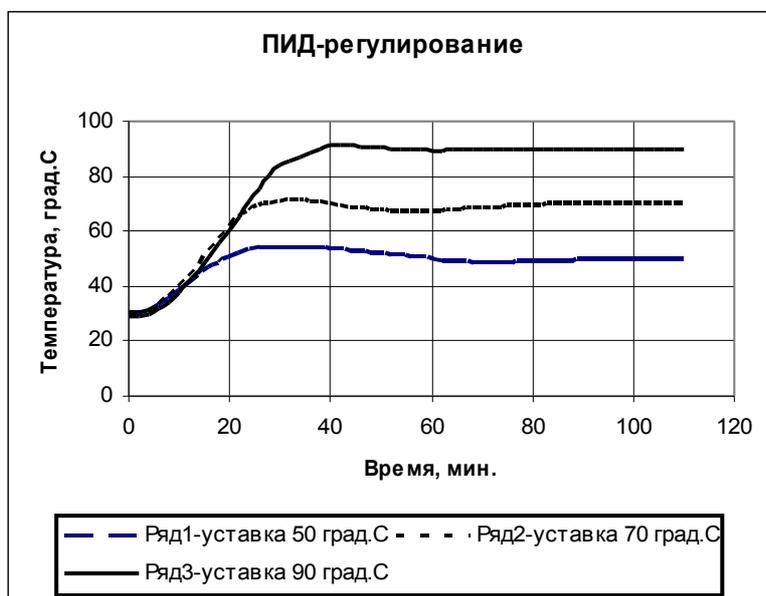


Рисунок 6 - Переходные процессы регулирования при различных уставках

Как видно из графиков переходных процессов, качество регулирования повышается (при неизменных настроечных параметрах) при увеличении значения уставки. Это объясняется изменением динамических свойств объекта

регулирования при изменении температуры и лучшим соответствием этих свойств настроечным параметрам регулятора.

Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что исследуемый измеритель ПИД-регулятор ТРМ10 обладает более широкими функциональными возможностями по сравнению с регулятором ТРМ1, обеспечивает более высокое качество регулирования и может рекомендоваться к применению для автоматизации широкого спектра объектов с различными динамическими свойствами. При этом обеспечивается повышенная точность поддержания значения измеряемого параметра.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Теория систем автоматического управления./ Бесекерский В.А., Попов Е.П. – Изд. 4-е перераб. и доп. – СПб, изд-во «Профессия»,2003. – 752с.
2. Комплект эксплуатационных документов фирмы «Овен» на измеритель ПИД-регулятор ТРМ10.
3. Исследование возможностей измерителя-регулятора ТРМ1 для управления процессами тепло-массообмена./ Леонов А.В., Пикулев И.А. Сб. Всероссийской научно-практической конференции «Вызовы XXI века и образование», ОГУ, 3-8 февраля 2006 г., Оренбург.: Изд-во ОГУ, 2006 г.

Митрофанов С.В. Программное обеспечение для определения допустимой нагрузки асинхронных двигателей с поврежденной клеткой ротора

Оренбургский государственный университет, г.Оренбург

Статистика повреждений АД показывает, что 10 – 20% повреждений составляет нарушение целостности короткозамкнутых клеток роторов. Наиболее характерными повреждениями являются обрывы стержней, трещины в них и частичная или полная распайка с короткозамыкающими кольцами.

Далеко не все предприятия в состоянии заменить АД с дефектами короткозамкнутой клетки ротора на новые. Поэтому предприятиям приходится оставлять в эксплуатации АД с дефектами клетки ротора, понизив при этом полезную мощность. Для того чтобы эксплуатировать АД с дефектами ротора необходимо знать допустимую степень несимметрии клетки ротора. Поэтому необходимо дать рекомендации к определению допустимой нагрузки АД с дефектами короткозамкнутой клетки ротора.

Для определения допустимой нагрузки было создано программное обеспечение “АД проект” на языке программирования Delphi 7.0. Для установки программного обеспечения требуется воспользоваться стандартными приемами установки программ Windows. Системные требования для работы с программой:

1. операционная система: Windows 95/98/ME/2000/NT/XP;
2. процессор: Р-III 300МГц;
3. оперативная память: 128 МВ;
4. объем свободного места на жестком диске: 1МВ.

Наличие офисного приложения Microsoft Office обязательно.

После появления заставки необходимо немного подождать или нажать любую клавишу или кнопку мыши. После исчезновения заставки появится основное окно программы, показанное на рисунке 1. Для начала работы с программой необходимо щелкнуть по кнопке с пиктограммой  проект откроется, и главное окно программы примет вид, показанный на рисунке 2. Необходимо заполнить все поля. Сведения о повреждениях ротора указываются в следующей последовательности: 1) указывается тип повреждения (стержень, кольцо или стержень и кольцо); 2) в открывшихся полях указывается количество поврежденных стержней или колец; 3) указываются номера поврежденных стержней или колец через пробел; 4) указывается степень повреждения (значением увеличения сопротивления стержня ΔZc или кольца ΔZk). Пример выполнения обрыва двух соседних стержней показан на рисунке 4.

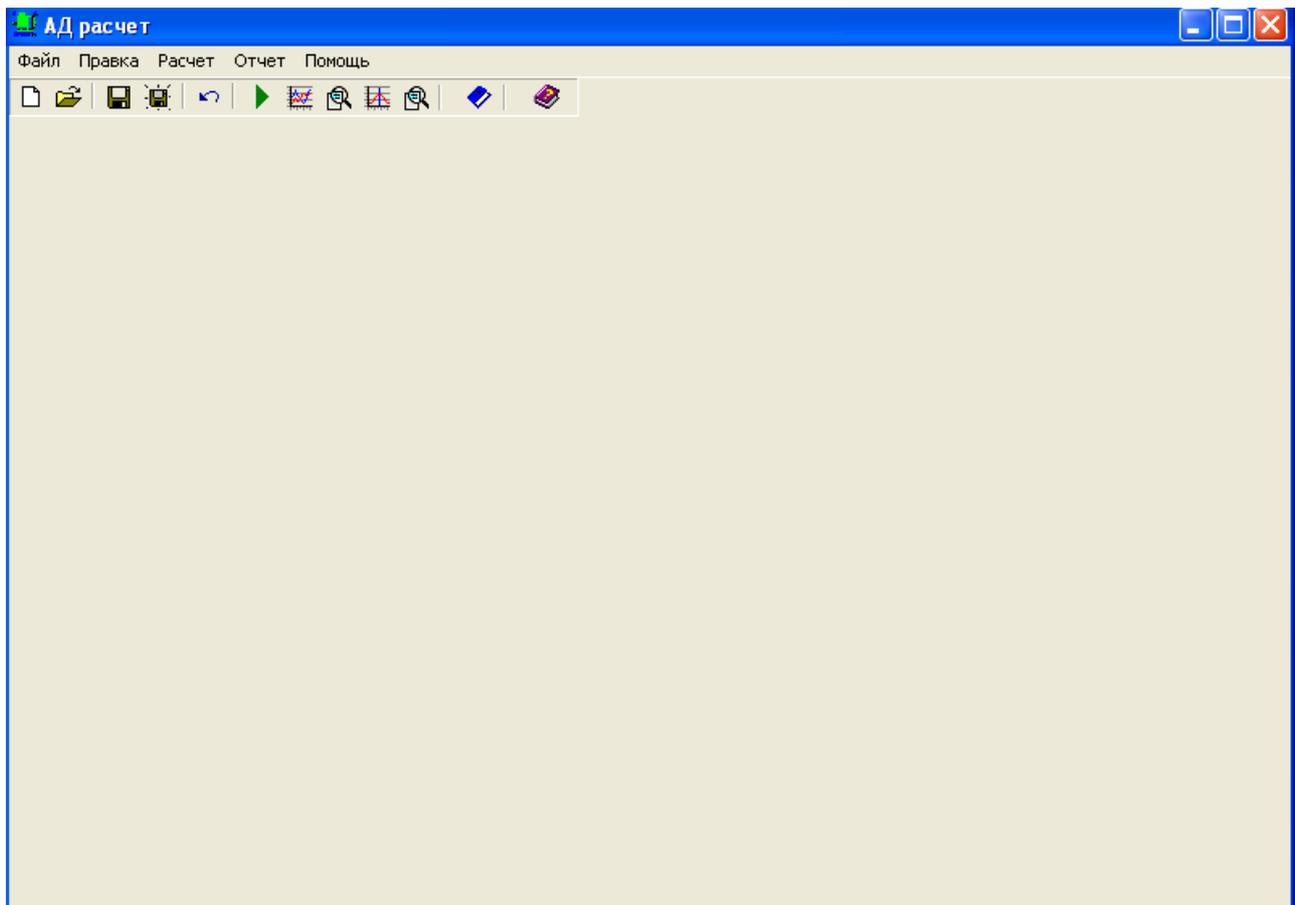


Рисунок 1 – Основное окно программы

Рисунок 2 – Главное окно открытого проекта

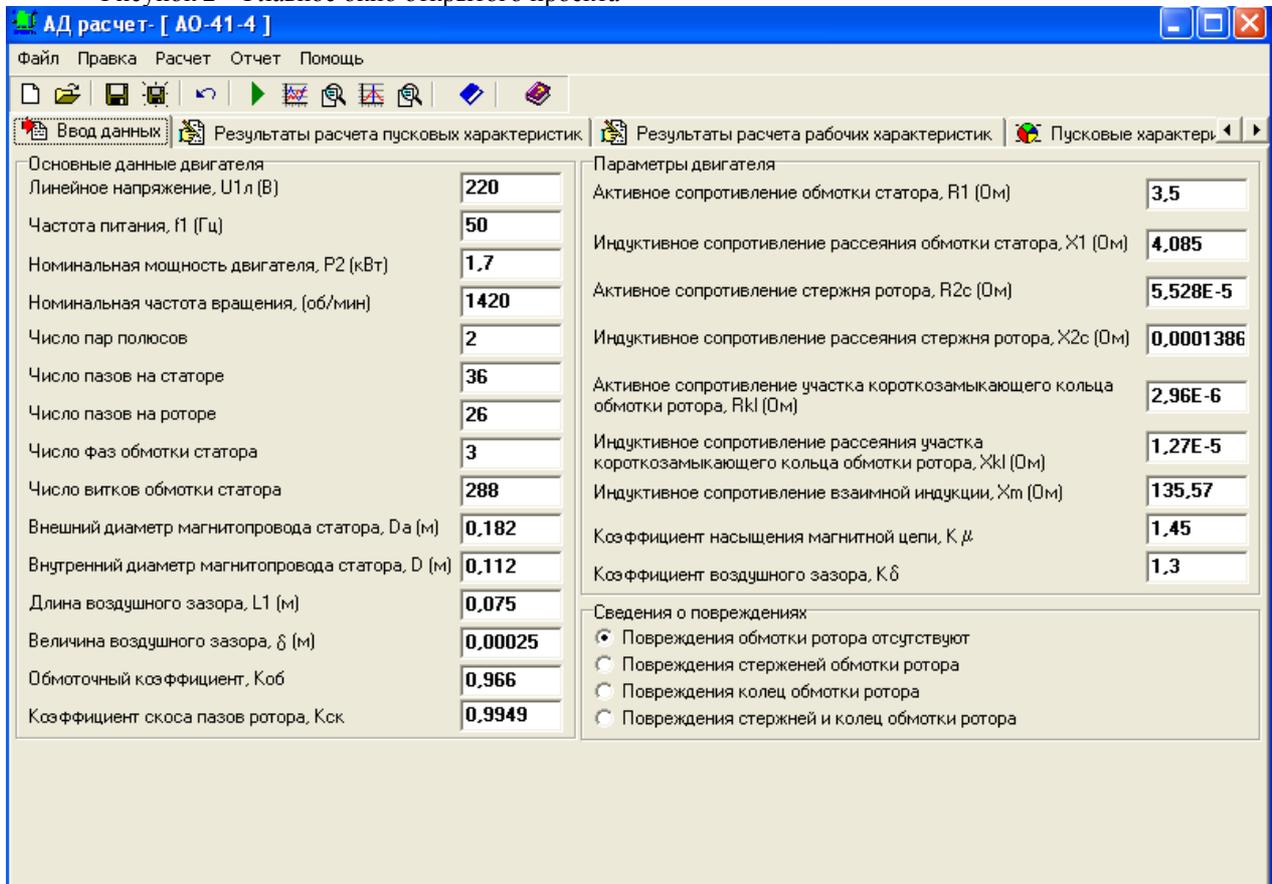


Рисунок 3 - Заполненное главное окно программы

Если повреждения отсутствуют, то нужно указать программе об отсутствии повреждений, как показано на рисунке 3. После заполнения всех полей необходимо нажать на кнопку расчета . Программа имеет возможность сохранять проект (кнопка ) , сохранять под другим именем (кнопка ). После нажатия одной из кнопок появится стандартное диалоговое окно Windows, в котором необходимо будет указать имя файла и место на жестком диске, куда пользователь намерен сохранить проект. Программное обеспечение автоматически создает файл с расширением *.ads. Этот файл можно будет открыть в программе с помощью кнопки открытия файла . После нажатия кнопки расчета  правом верхнем углу окна программы будет показан индикатор хода расчета, как показано на рисунке 5. После этого в закладках “Результаты расчета пусковых характеристик” и “Результаты расчета пусковых характеристик” можно посмотреть результаты расчетов, занесенных в таблицы, как показано на рисунке 6.

Для того чтобы посмотреть графическую часть расчетов необходимо построить характеристики, нажав соответствующие кнопки, как показано на рисунке 6. На рисунках 7 – 8 показаны результаты расчета пусковых и рабочих характеристик. На рисунке 8 вертикальной линией отмечено значение номинальной мощности асинхронного двигателя. Чтобы увеличить масштаб графика, необходимо выделить интересующую область графика мышью. Выделение необходимо проводить, удерживая левую кнопку мыши нажатой, перемещая курсор слева направо и сверху вниз, как показано на рисунке 9. После выполненных действий график примет вид, показанный на рисунке 10 (масштаб графика $s = f(P_2)$ увеличится).

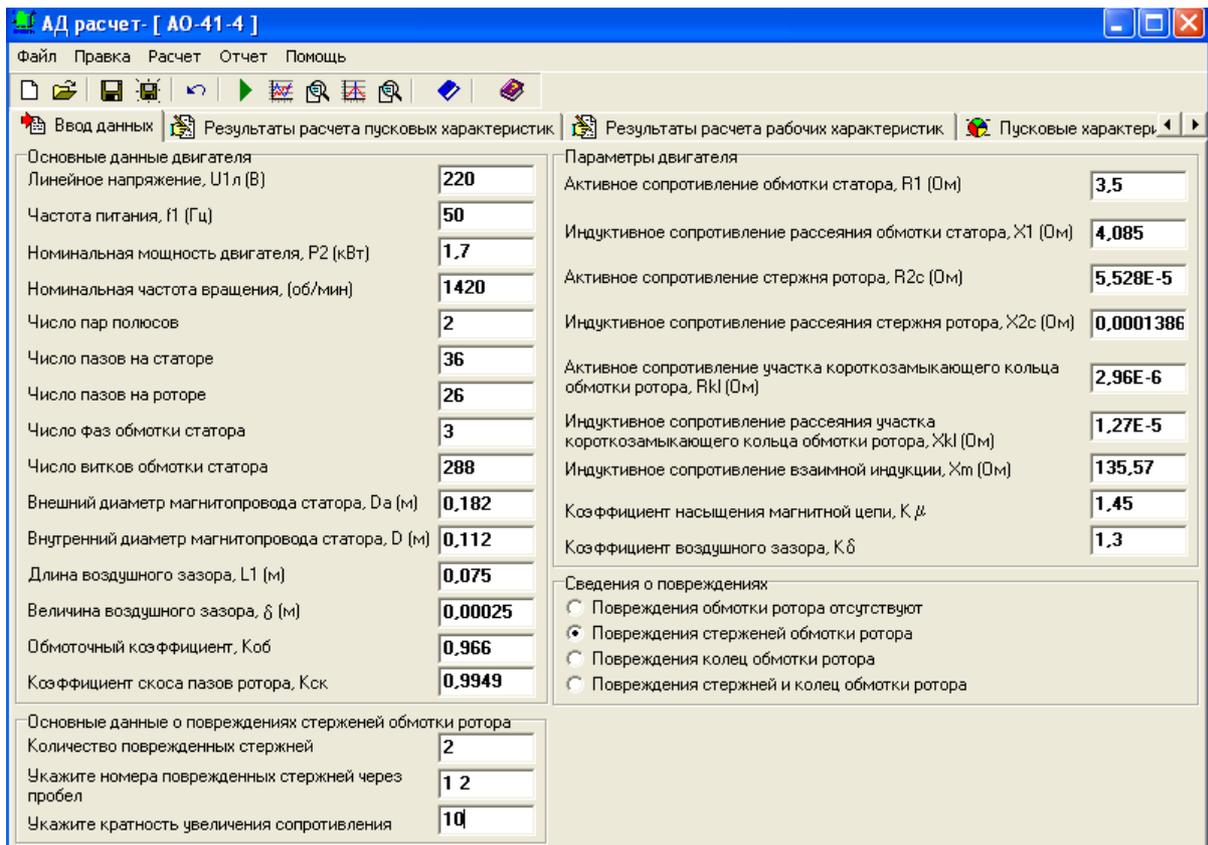


Рисунок 4 – Заполненное главное окно программы с указанием повреждений в стержнях обмотки ротора

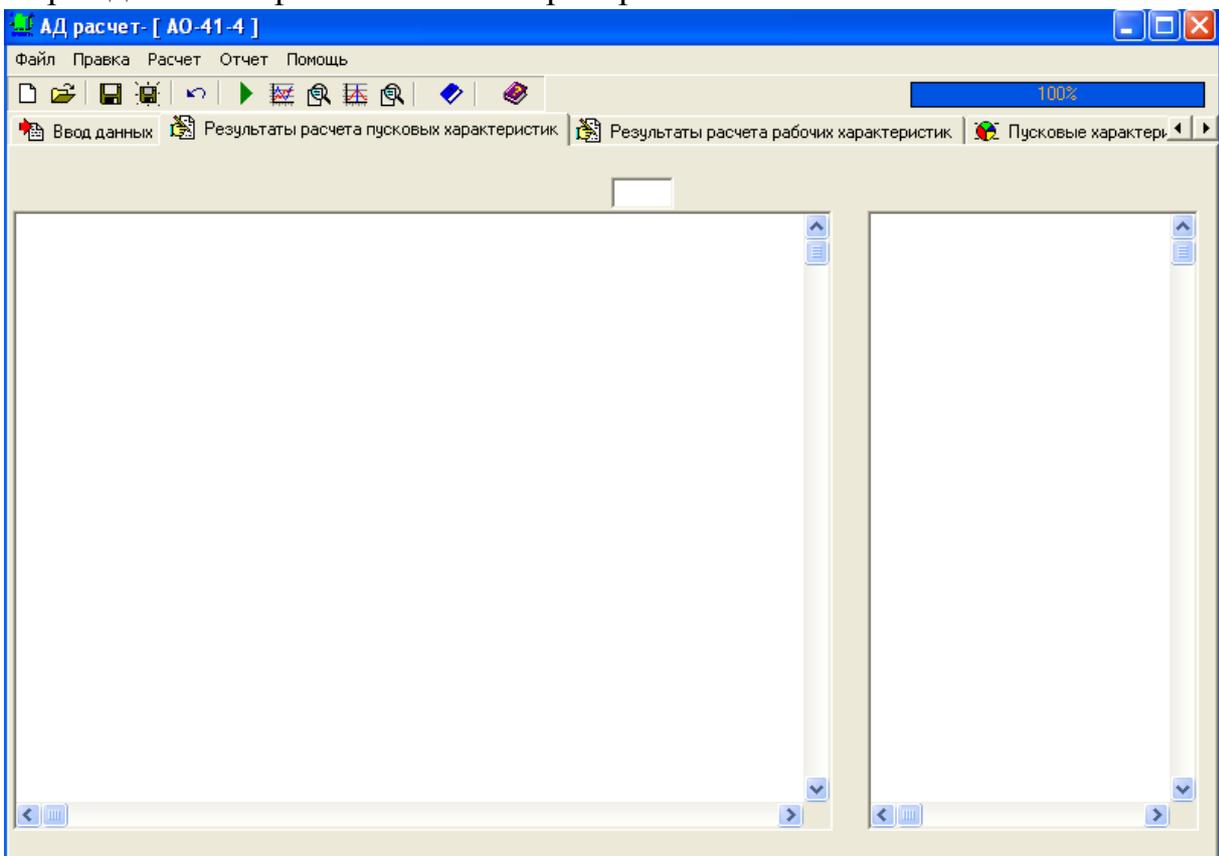


Рисунок 5 – Окно программы во время её выполнения

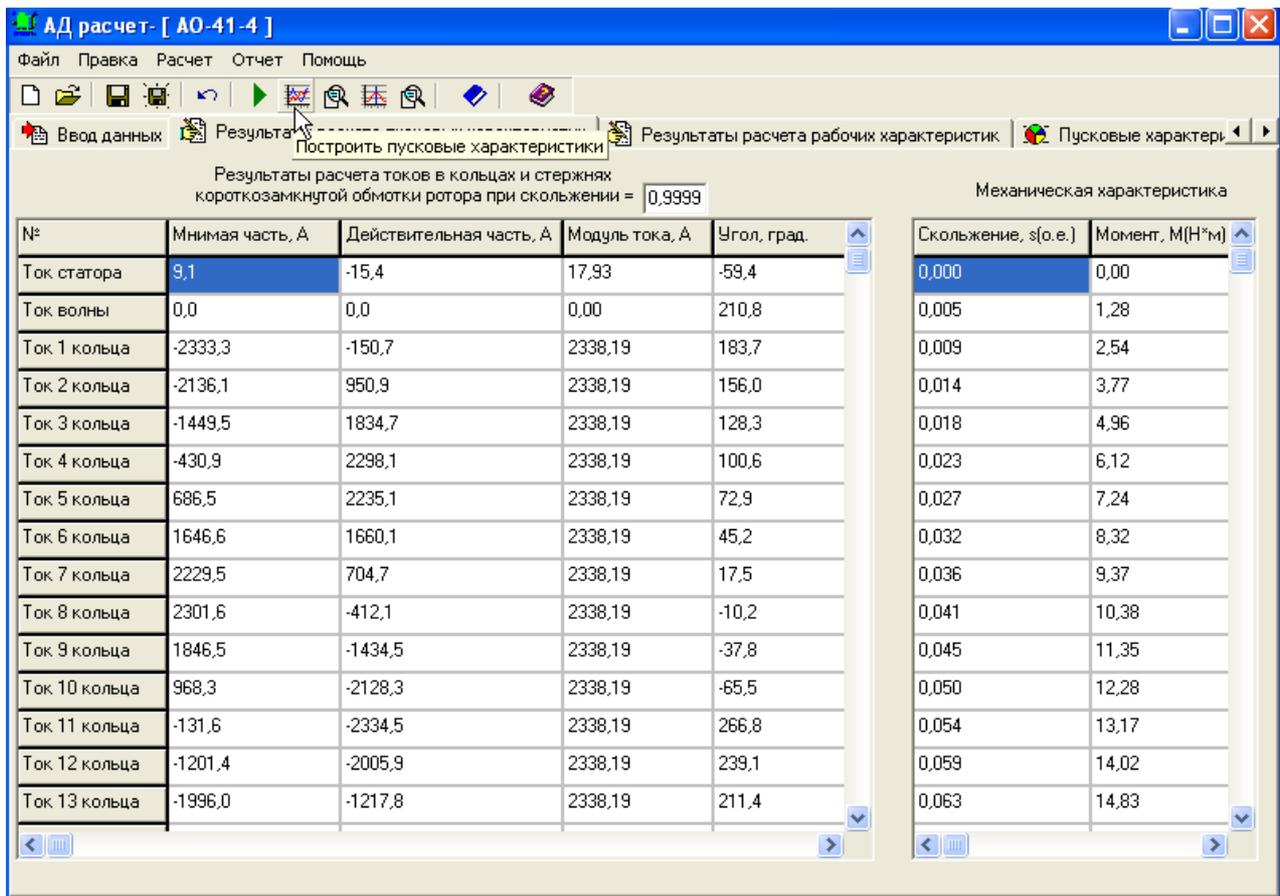


Рисунок 6 – Результаты расчета

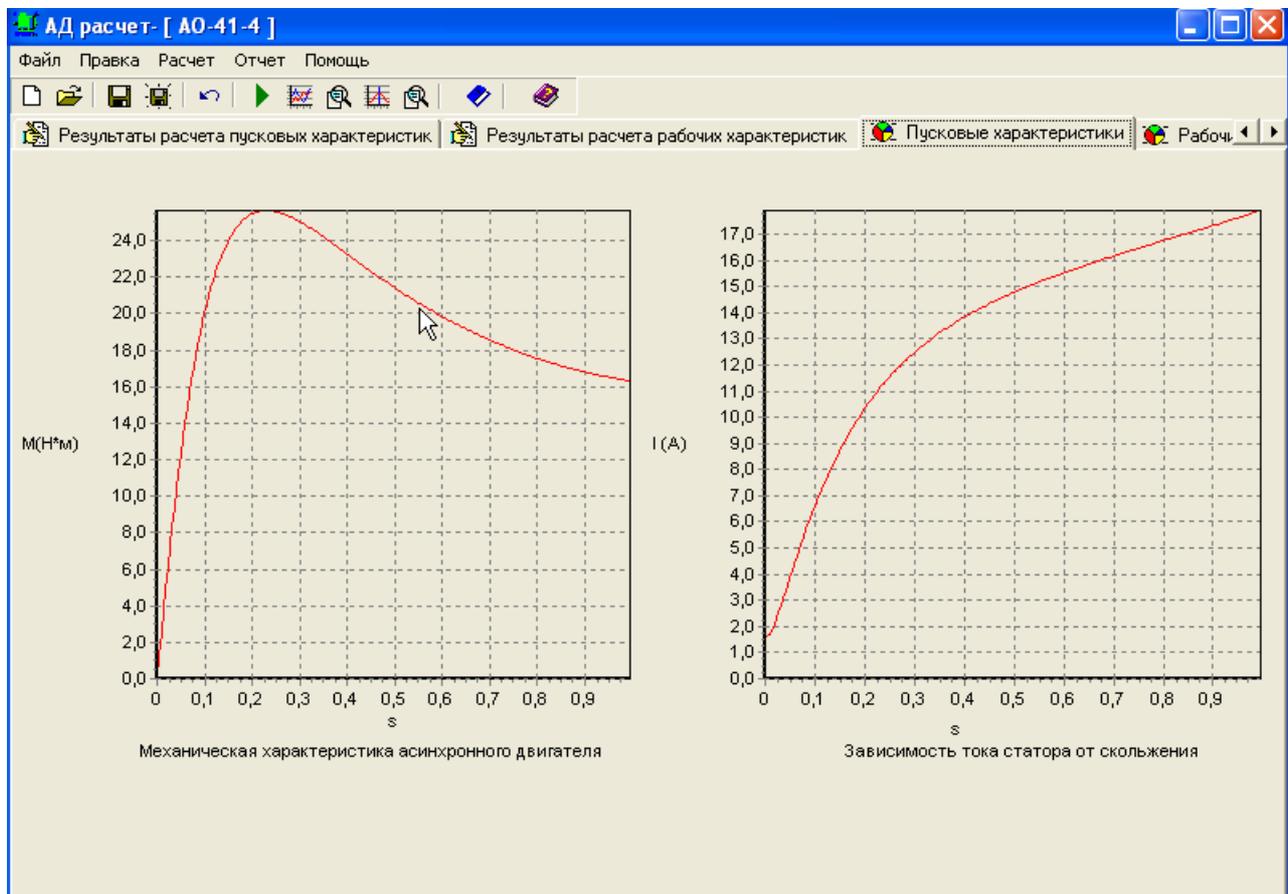


Рисунок 7 - Результаты расчета пусковых характеристик

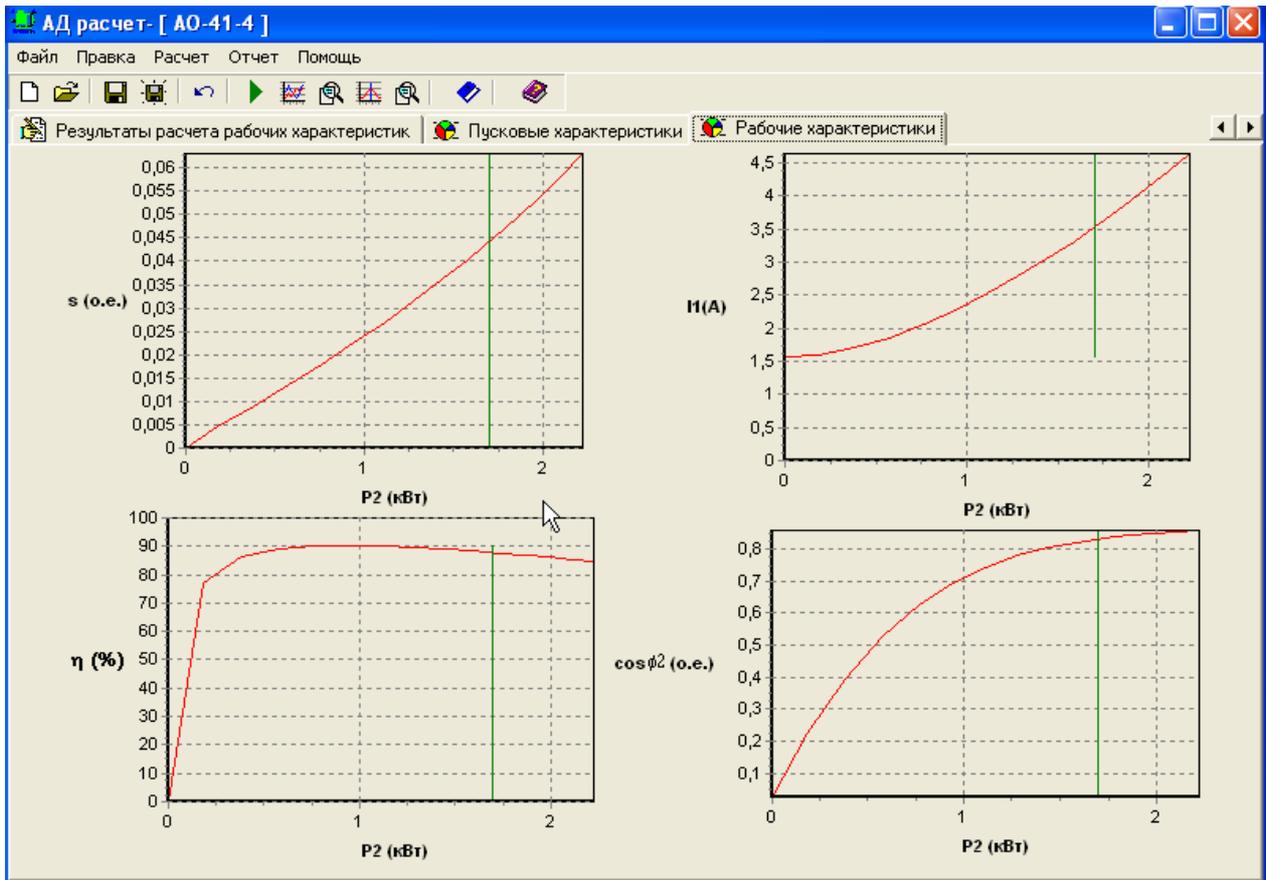


Рисунок 8 – Результаты расчета рабочих характеристик

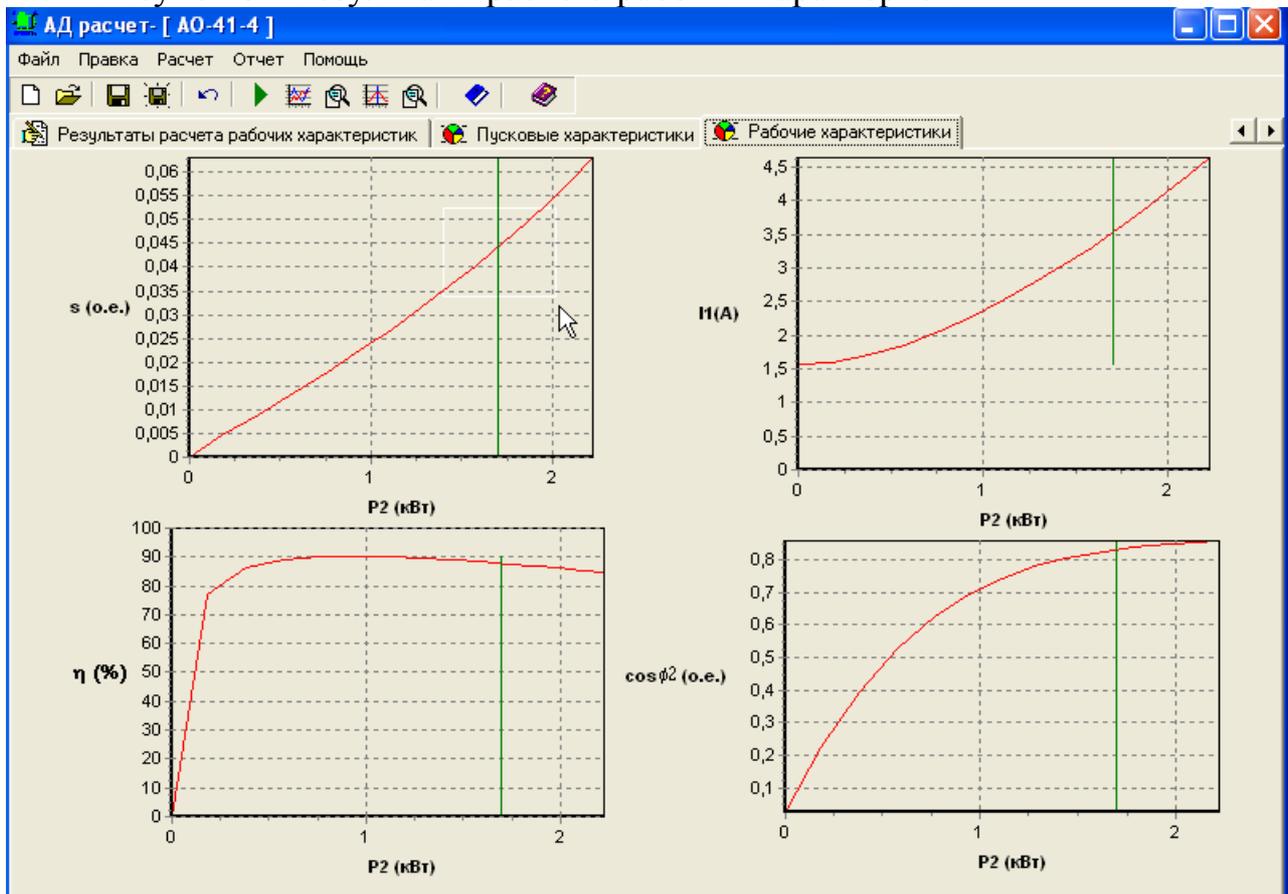
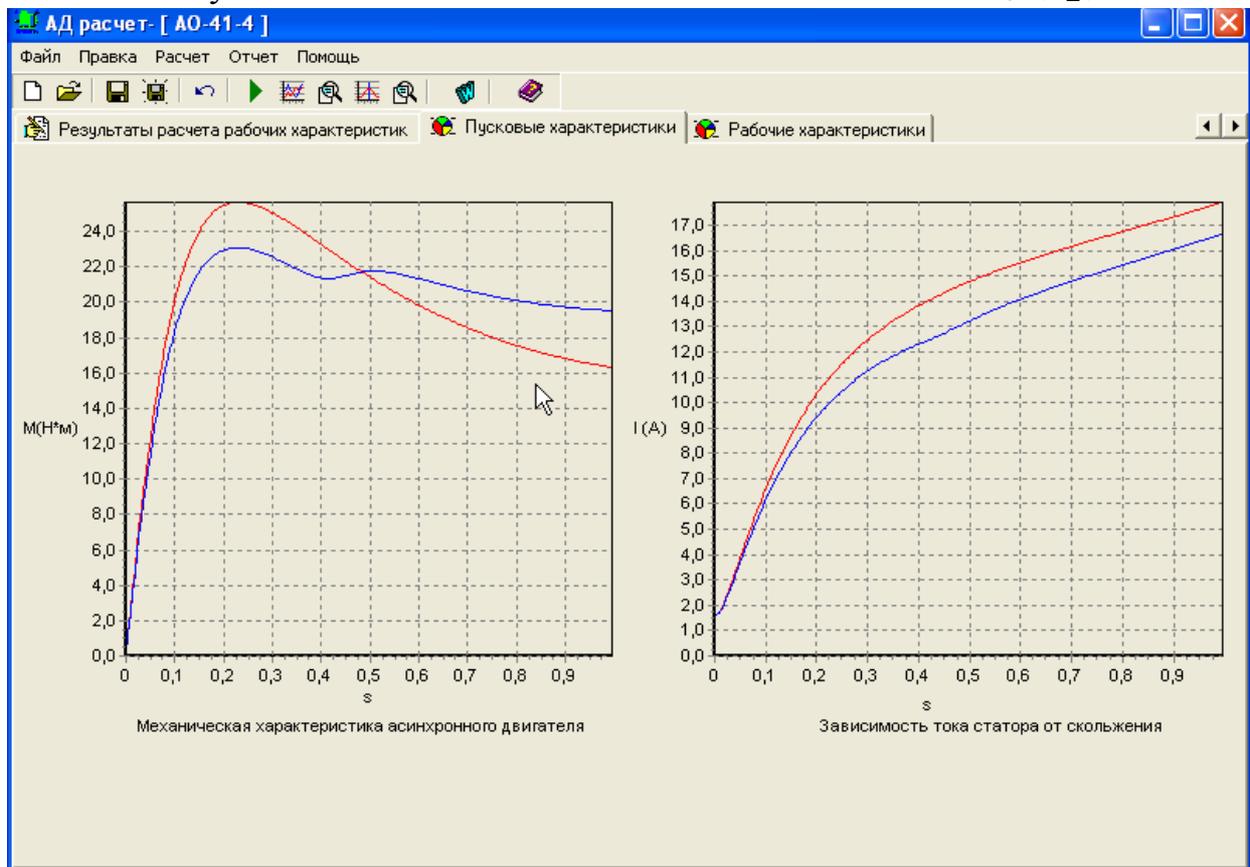
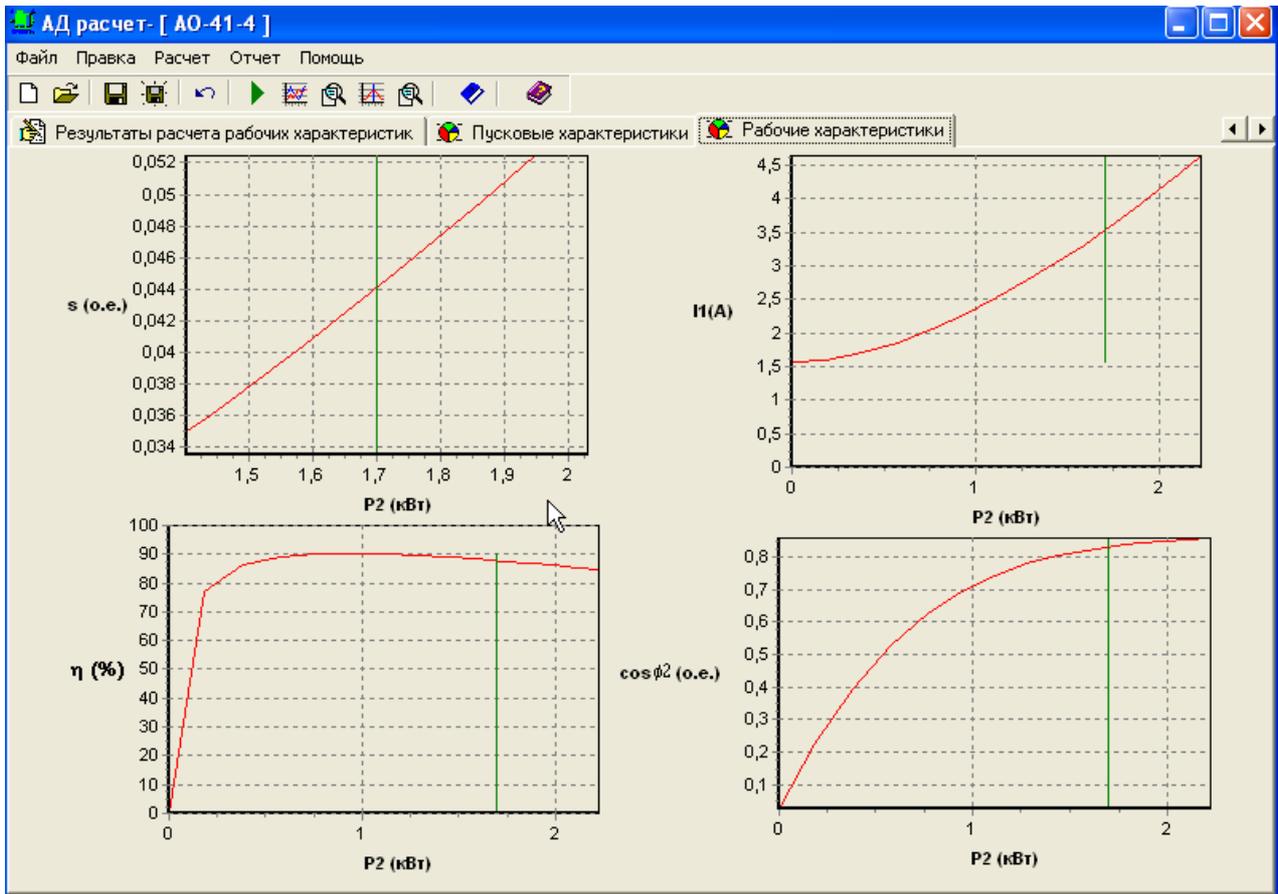


Рисунок 9 – Увеличение масштаба графика зависимости $s = f(P_2)$



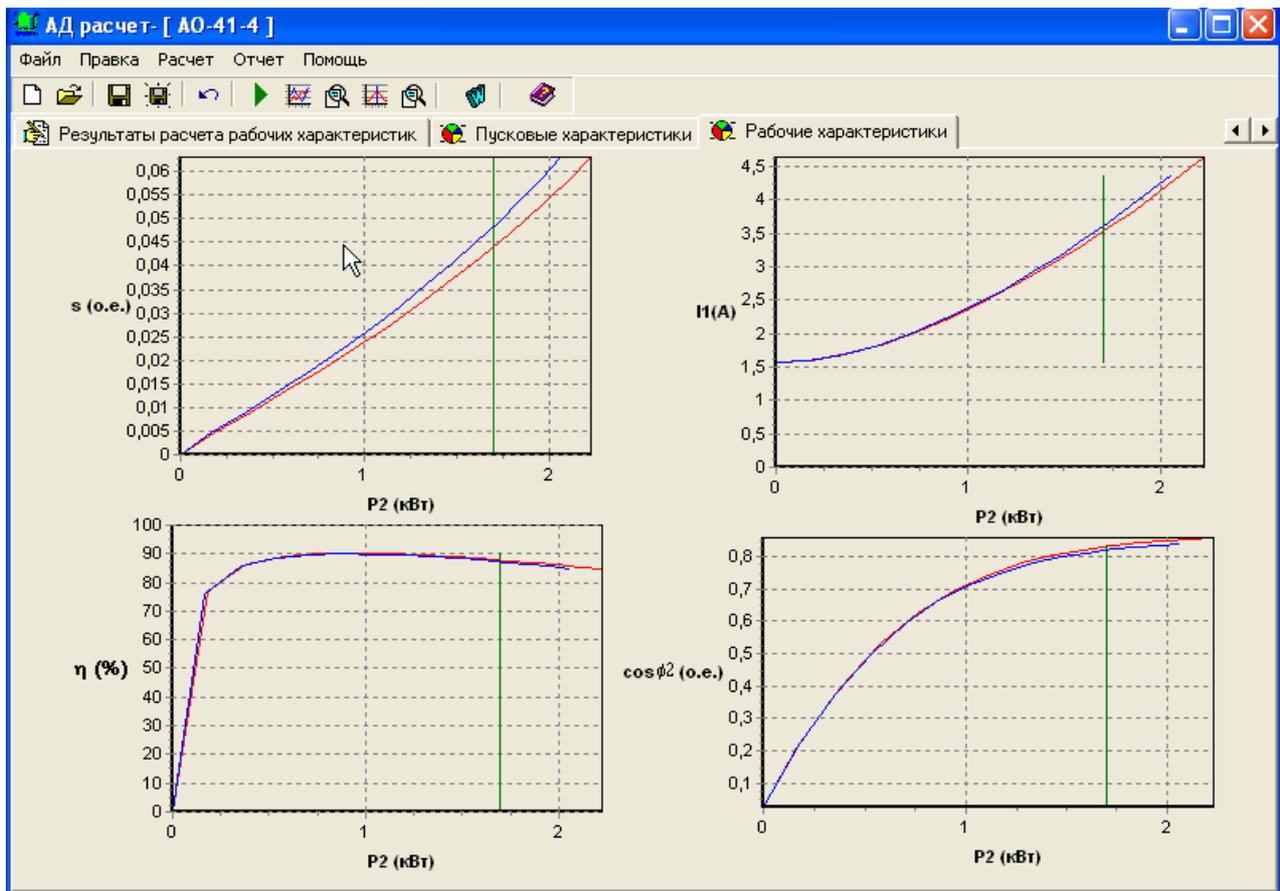


Рисунок 12 – Сравнение рабочих характеристик исправной машины и неисправной машины

Имеется возможность предварительного просмотра и печати графиков. Для этого необходимо нажать на соответствующие кнопки с пиктограммами . Программа имеет возможность выполнять отчет по расчетным данным. Отчет формируется в Microsoft Word при нажатии кнопки с пиктограммой . Во время формирования отчета в правом верхнем углу окна программы индикатор будет показывать ход формирования отчета.

После того как отчет будет сформирован, он будет доступен пользователю, который может начинать работу с документом Word.

Имеется возможность сравнения графиков зависимостей исправной и неисправной машины. Для этого необходимо сначала провести расчет для исправной машины, а затем неисправной. Примерный вид окна программы показан на рисунках 11, 12. за неисправную машину была принята машина, у которой оборваны два соседних стержня. В месте с программным обеспечением поставляются три файла проекта, которые можно использовать в качестве примера расчета.

Таким образом, можно сделать вывод о том, что создано современное программное обеспечение для определения допустимой нагрузки асинхронных двигателей с целью продления сроков эксплуатации.

схемы от узла j до узла баланса (источника питания), которые принадлежат К-му контуру, и это произведение берется со знаком плюс, если путь графа совпадает с направлением контурной мощности и со знаком минус, если они не совпадают.

Пример: Сформировать систему контурных мощностей для схемы представленной на рисунке 1.

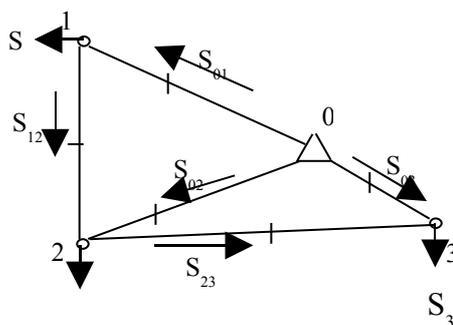


Рисунок 1

Сформируем граф сети, в котором ребра будут являться ветвями, а вершины узлами схемы сети.

Количество хорд всегда равно количеству контурных уравнений

$$k_x = k_k = m - (n - 1) = 5 - (4 - 1) = 2$$

Выберем в качестве хорд две внешние ветви (0-1 и 0-3, помеченные на рисунке 2 знаком \ast).

Тогда остальные ветви будут входить в дерево схемы.

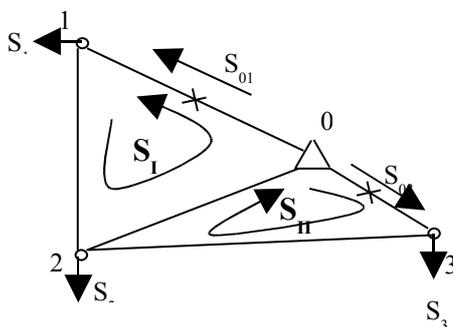


Рисунок 2

Принимаем значение и направление мощностей в хордах соответствующим контурным мощностям, то есть $\tilde{S}_I = \tilde{S}_{01}$ и $\tilde{S}_{II} = \tilde{S}_{03}$;

Запишем систему контурных уравнений в формализованном виде

$$\begin{cases} \tilde{S}_I \cdot \hat{Z}_{11} + \tilde{S}_{II} \cdot \hat{Z}_{12} = \dot{A}_I \\ \tilde{S}_I \cdot \hat{Z}_{21} + \tilde{S}_{II} \cdot \hat{Z}_{22} = \dot{A}_{II} \end{cases}$$

где \hat{Z}_{11} - сопряженное значение собственного сопротивления 1-го контура,

$$\hat{Z}_{11} = \hat{z}_{01} + \hat{z}_{12} + \hat{z}_{02};$$

\hat{Z}_{22} - сопряженное значение собственного сопротивления 2-го контура,

$$\hat{Z}_{22} = \hat{z}_{03} + \hat{z}_{23} + \hat{z}_{02};$$

$$\hat{Z}_{12} = \hat{Z}_{21} = -\hat{z}_{02}.$$

Для формирования \dot{A}_I рассматриваем пути графа по дереву схемы от каждой нагрузки до источника питания (показаны на рисунке 3 штрих -пунктирными линиями).

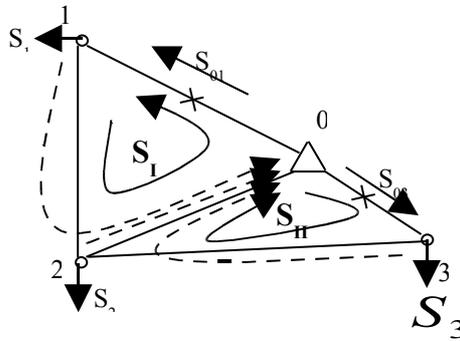


Рисунок 3

Формируем \dot{A}_I

$$\dot{A}_I = \tilde{S}_1 \cdot (\hat{z}_{12} + \hat{z}_{02}) + \tilde{S}_2 \cdot \hat{z}_{02} + \tilde{S}_3 \cdot \hat{z}_{02}$$

В этом выражении \tilde{S}_1 умножается на сумму комплексно сопряженных сопротивлений $\hat{z}_{12} + \hat{z}_{02}$ поскольку ветви 1-2 и 0-2 входят в путь графа от узла 1 до узла баланса (узла 0) и принадлежат 1-му контуру и это произведение берется со знаком плюс, так как путь графа совпадает с направлением 1-ой контурной мощности. Аналогично нагрузка \tilde{S}_2 умножается на \hat{z}_{02} , а \tilde{S}_3 умножается только на \hat{z}_{02} , хотя в путь графа от узла 3 до узла 0 входят ветви 3-2 и 0-2, но ветвь 3-2 не входит в рассматриваемый контур 1.

Аналогично формируем \dot{A}_{II}

$$\dot{A}_{II} = \tilde{S}_3 \cdot (\hat{z}_{23} + \hat{z}_{02}) + \tilde{S}_1 \cdot \hat{z}_{02} + \tilde{S}_2 \cdot \hat{z}_{02}$$

Таким образом, получим полную систему контурных уравнений

$$\begin{cases} \tilde{S}_I \cdot (\tilde{z}_{01} + \tilde{z}_{12} + \tilde{z}_{02}) + \tilde{S}_{II} \cdot \tilde{z}_{02} = \tilde{S}_1 \cdot (\tilde{z}_{12} + \tilde{z}_{02}) + \tilde{S}_2 \cdot \tilde{z}_{02} + \tilde{S}_3 \cdot \tilde{z}_{02} \\ \tilde{S}_I \cdot \tilde{z}_{02} + \tilde{S}_{II} \cdot (\tilde{z}_{03} + \tilde{z}_{23} + \tilde{z}_{02}) = \tilde{S}_3 \cdot (\tilde{z}_{23} + \tilde{z}_{02}) + \tilde{S}_1 \cdot \tilde{z}_{02} + \tilde{S}_2 \cdot \tilde{z}_{02} \end{cases}$$

Данная методика позволяет студентам при выполнении курсового проекта по дисциплине «Электрические сети и системы» существенно экономить время при расчете режимов сложно-замкнутых схем в нормальном и послеаварийных режимах.

Никиян Н.Г. О курсе «электрические машины» для студентов – ускоренников по специальности 140601 – Электромеханика

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Формирование набора дисциплин по конкретному блоку производится для ускоренного обучения на основе государственного образовательного стандарта по специальности и примерных учебных планов высшего и среднего специального образования. Для дисциплины «Электрические машины» (далее ЭМ) превышение объема университетского курса над курсом в колледже составило 25 часов. Из них на лекционный курс было отведено 17.

Первый прием на ускоренное обучение был произведен в 2004 году (группа 04 ЭМу). Было намечено провести обзорные лекции по общему курсу ЭМ для восстановления знаний студентов. Однако опрос на экзамене показал, что приблизительно 2/3 студентов в группе имеют неудовлетворительные знания. Сдача экзамена растянулась на продолжительное время.

В наборе 2005 года (группа 05 ЭМу) указанные 17 часов аудиторных занятий были использованы для контрольных работ по отдельным крупным разделам курса: «Трансформаторы», «Общие вопросы теории ЭМ переменного тока», «Асинхронные машины», «Синхронные машины», «Машины постоянного тока». Однако по плану выполнили задание только два студента из 13. Анализ результатов контрольных работ показал: 1) слабое знание курса ЭМ в колледже, 2) недостаточную подготовку студентов для усвоения материала учебника по ЭМ, 3) слабое знание (или незнание) курса ТОЭ.

Таким образом, складывается ситуация, когда выпускники колледжа, поступившие в ОГУ по конкурсу, слабо знают базовый курс ЭМ. Между тем они в последующем изучают специальные дисциплины: «Инженерное проектирование и САПР ЭМ», «Математическое моделирование ЭМ» и другие. Выход из сложившейся ситуации видится нам следующим образом.

Дисциплина ЭМ является базовой по специальности «Электромеханика», поэтому в университетской ООП она подкрепляется дисциплинами регионального компонента «Введение в электромеханику» и «Практикум по электромеханике» (решение задач по теории и проектированию ЭМ).

Для полноценного изучения курса ЭМ следует использовать часть объема курсов «Введение в ЭМ» и «Практикум по ЭМ». При этом необходимо перестроить график изучения этих дисциплин. Дисциплина «Введение в ЭМ» имеет объем 34 лекционных часа, а дисциплина «Практикум в ЭМ» также 34 часа.

Сюда следует добавить остаток в 25 часов. Имеется также небольшой запас неиспользованных часов. Для обеспечения полноценного курса ЭМ необходимо иметь 51 час лекций и 34 часа лабораторных занятий.

Таким образом, резервы рабочего времени имеются.

Омон А. Б. Физические модели асинхронных машин с повреждениями обмотки статора

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Асинхронные машины (АМ) являются наиболее распространенными приемниками электрической энергии на промышленных предприятиях. Хотя асинхронные двигатели достаточно надежны и процент их выхода из строя не велик, но из-за массовости использования количество выведенных из эксплуатации машин достигает больших значений. Это сказывается на возникновении аварийных ситуаций и нарушении ответственных технологических процессов.

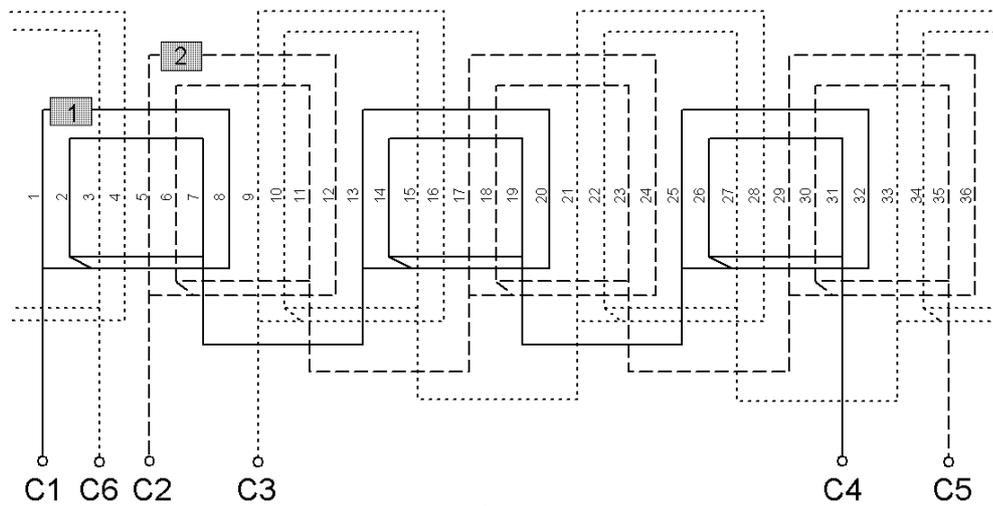
По статистике около 50 % повреждений электродвигателей приходится на статор и ротор, что связано с пробоем изоляции. В АМ различают следующие виды изоляции: между витками обмотки, между фазами и обмотки от корпуса. Различают также изоляцию пазовой и лобовой частей обмоток. В наиболее тяжелых условиях находится витковая и корпусная изоляция в месте выхода обмотки из пазов, где она подвержена действию повышенных электрических и механических нагрузок.

К основным факторам износа изоляции относят:

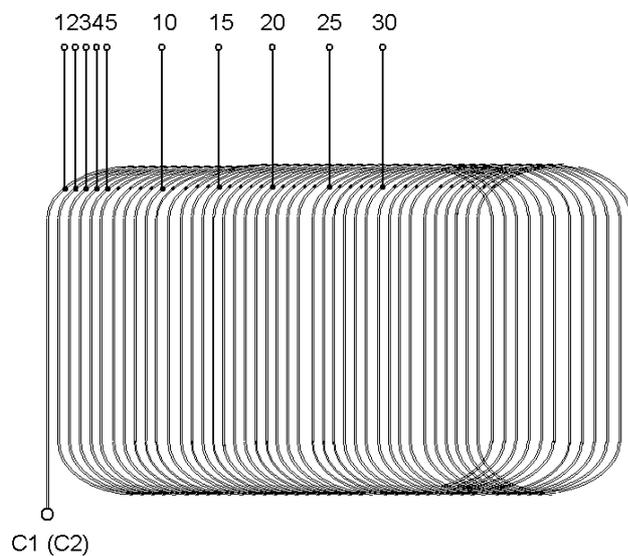
- температурное старение;
- искажения питающего напряжения;
- механические нагрузки;
- смещение обмоток при пуске и перегрузке.

Пробой изоляции опасен тем, что является прогрессирующим повреждением. Междувитковое замыкание переходит в междуфазное или замыкание на корпус. Явными признаками такого повреждения можно считать появление местных нагревов в обмотке, нарушение симметрии фазных токов, понижение крутящего момента, высокий уровень шума, вибрации. Междувитковое замыкание оказывает влияние на электромагнитные, механические и вибро-акустические процессы машины.

Для исследования явлений, возникающих при междувитковых замыканиях, была изготовлена экспериментальная АМ, схема обмотки которой показана на рисунке 1.



а)



б)

Рисунок 1 – Обмотка экспериментальной АМ (4А100L6, 2,2 кВт): а) схема обмотки статора (1, 2 – выводы на клеммные зажимы); б) схема отводов от секции.

Обмотка машины, выполненная таким образом, позволяет замыкать накоротко различное количество витков секции, что моделирует различную степень повреждения АМ в разных режимах работы.

Междувитковое замыкание может существовать некоторое время, не переходя в более тяжелые виды повреждений. Следствием замыканий является выгорание поврежденной секции обмотки. При ремонте низковольтных двигателей производится частичная или полная замена статорной обмотки. Ремонт высоковольтных двигателей достаточно трудоемок и требует большого количества времени и материальных ресурсов, и поэтому на предприятиях он часто сводится к вырубанию поврежденной секции. АМ при этом вводится в работу с несимметричной обмоткой статора, что накладывает некоторые

ограничения при эксплуатации: по нагрузке, температурному режиму, ресурсу. В процессе работы возможно усиление шума и вибраций.

Для исследования высоковольтных асинхронных двигателей при несимметричной обмотке изготовлена экспериментальная АМ, схема обмотки которой показана на рисунке 2. Отличием двигателей высокого напряжения от низковольтных является то, что их обмотка выполняется двухслойной.

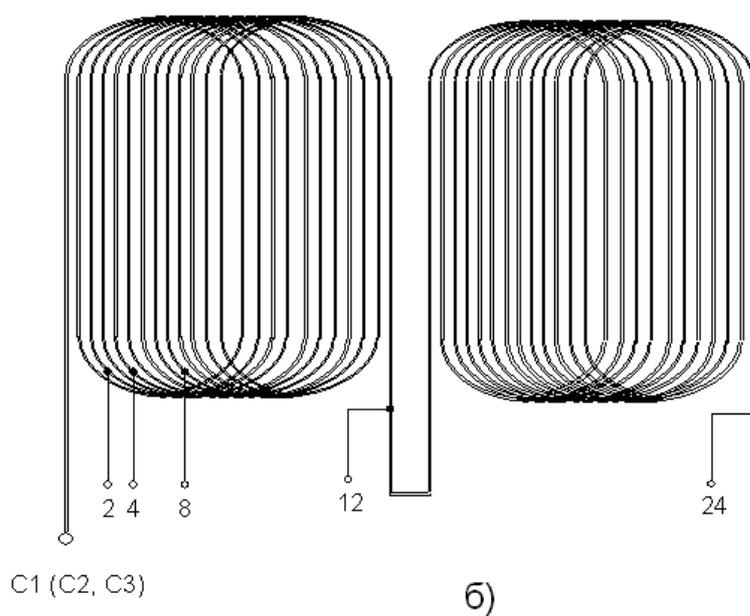
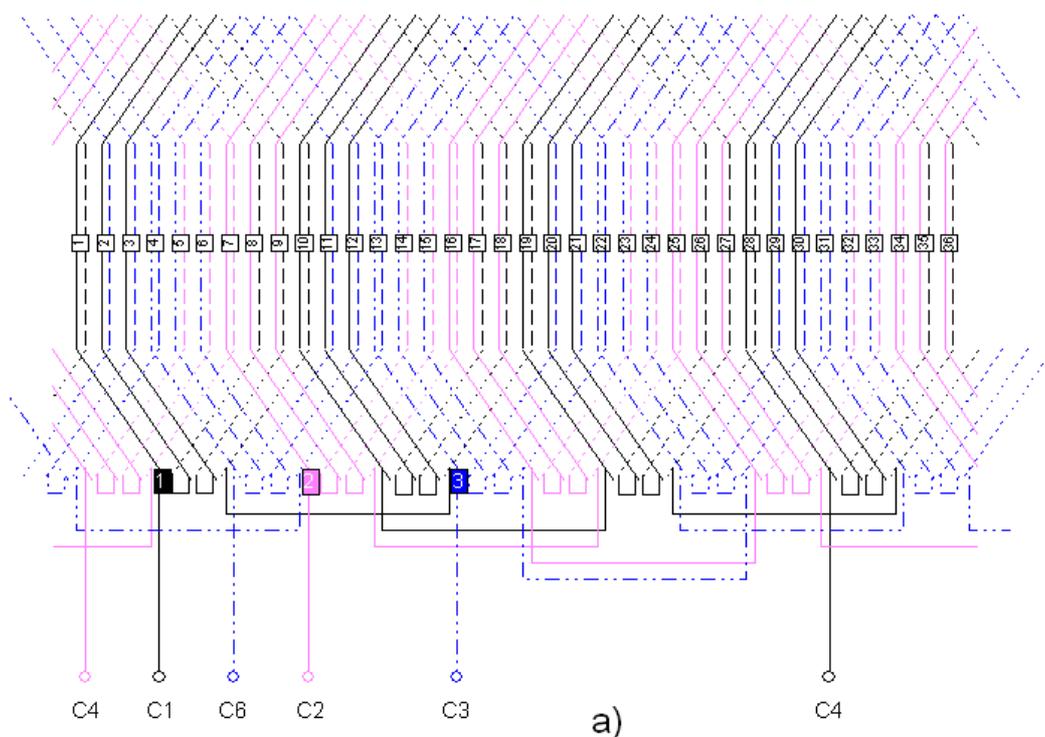


Рисунок 2 – Обмотка экспериментальной АМ (АИР132S4, 7,5 кВт): а) схема обмотки статора (1, 2, 3 – выводы на клеммные зажимы); б) схема отводов от секций.

Эксперименты на этих асинхронных двигателях позволят проверить правильность математического описания процессов и установить допустимые величины несимметрии обмотки статора при эксплуатации.

Полынев В.Т., Полынев Т.В. Определение тестируемости и веса переменных на основе алгебры Жегалкина

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Запишем уравнение булевой функции на базе алгебры Жегалкина и, задаваясь значениями переменных, меняя при этом x_i с нуля на единицу, определим, меняется ли функция с нуля на единицу, то есть если задана функция

$$f(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

Определим вес интересующей переменной x_1

$$\begin{aligned} f(1, x_2, \dots, x_n) &= y_1 \\ f(0, x_2, \dots, x_n) &= y_0 \end{aligned}$$

решая данную систему уравнений, для каких значений x_2, \dots, x_n

оцениваем, возможно ли изменение значения $f(x)$, при изменении x_1 с нуля на единицу

Это дает нам возможность не брать производную.

Рассмотрим пример:

$$\begin{aligned} &x_1 \bar{x}_2 \bar{x}_3 + x_1(x_2 + 1) \bar{x}_3 + x_1(x_2 + 1)x_3 + x_4(\bar{x}_3 + 1) + x_4(x_3 + 1) \\ &+ \{x_1(x_2 + 1) \bar{x}_3 + x_1(x_2 + 1)x_3 + x_4(\bar{x}_3 + 1) + x_4(x_3 + 1)\} \end{aligned}$$

Пусть оцениваем x_1 , принимаем $x_1 = 1$:

$$\begin{aligned} &\{(x_2 + 1) \bar{x}_3 + (x_2 + 1)x_3 + x_4(\bar{x}_3 + 1) + x_4(x_3 + 1)\} + \{(x_2 + 1) \bar{x}_3 + (x_2 + 1)x_3 + x_4(\bar{x}_3 + 1) + x_4(x_3 + 1)\} \\ &\text{Ч} \{(x_2 + 1) \bar{x}_3 + (x_2 + 1)x_3 + x_4(\bar{x}_3 + 1) + x_4(x_3 + 1)\} = y \quad (1) \end{aligned}$$

и принимаем $x_1 = 0$:

$$\{(x_2 + 1) \bar{x}_3 + (x_2 + 1)x_3 + x_4(\bar{x}_3 + 1) + x_4(x_3 + 1)\} = y \quad (2)$$

Так как у либо ноль, либо единица, то если комбинация тестопригодна, суммируя первое и второе уравнение, имеем вместо y единицу. Решая полученное уравнение, убеждаемся, возможно ли это.

Аналогично можно представить преобразования, которые можно произвести с устройствами, имеющими три и более состояния и описываемых с помощью многочленов Лагранжа. Для трех состояний имеют место:

$$L_0(x) = 2x^2 + 1; L_1(x) = 2x^2 + 2x; L_2(x) = 2x^2 + x$$

Соответственно L_n при $x = 0$; $x = 1$; $x = 2$.

$$L_0(x) = L_1(x) = L_2(x) = 1$$

При $x \in \mathbb{N}_n$

$$L_0(x) = L_1(x) = L_2(x) = 0.$$

Рассмотрим пример:

$$x_1^0 \bar{x}_2 x_3^2$$

Нижний и верхний индексы соответственно показывают номер переменной и ее состояние.

В случае применения многочленов Лагранжа, данное выражение записывается следующим образом:

$$\prod_{i=1}^3 (2x_{10}^2 + 1) + (2x_{20}^2 + 1)(2x_{32}^2 + x_3)_2 + 2(2x_{20}^2 + 1)(2x_{32}^2 + x_3)(2x_{10}^2 + 1) \prod_{i=1}^3 \text{ mod } 3$$

Индексы 10, 20, 32 соответствуют номеру элемента (первая цифра) и состоянию элемента (вторая цифра).

Если использовать выражение $L_n(x)$, то можно использовать двухзначную логику

$$L_0(x_1) + L_0(x_2)L_2(x_3) + L_0(x_1)L_0(x_2)L_2(x_3) \text{ mod } 2$$

Если проверять выражение на тестируемость, допустим для x_1 , то последнее выражение будет иметь место:

$$1 + L_0(x_2)L_2(x_3) + 1 \cdot L_0(x_2)L_2(x_3) = y$$

$$0 + L_0(x_2)L_2(x_3) + 0 \cdot L_0(x_2)L_2(x_3) = y$$

Сумма по модулю два, если для x_1 выражение тестируемое, будет равна

$$1 + 2L_0(x_2)L_2(x_3) + L_0(x_2)L_2(x_3) = 1 \text{ mod } 2$$

$$1 + L_0(x_2)L_2(x_3) = 1 \text{ mod } 2$$

Перебирая возможные сочетания значений $L_0(x_2)$ и $L_2(x_3)$ выясняем, при каких значениях $L_0(x_2)$ и $L_2(x_3)$ последнее выражение может быть равно единице.

То есть для тестируемости по x_n и выяснения веса переменный нет необходимости брать производную, логические уравнения заменяются алгебраическими, что упрощает проверку.

Пряхин Д.А. Анализ существующих методов определения места повреждения воздушных линий 110-500 КВ

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Общие сведения

В процессе восстановления энергоснабжения потребителей, отключенных в результате коротких замыканий (КЗ) на линиях электропередачи, значительные затраты времени приходится на осуществление поиска места повреждения. Технические средства для определения места повреждения (ОМП) воздушных линий электропередачи (ВЛ) с применением различных методов широко внедрены в энергосистемах и используются при эксплуатационном обслуживании электрических сетей всех классов напряжений. Обладая достаточной точностью, они способствуют ускорению поиска поврежденных элементов ВЛ, их быстрейшему восстановлению, что повышает надежность работы электрических сетей и потребителей электрической энергии.

Все известные виды повреждений подразделяются на короткие замыкания и обрывы. Короткие замыкания бывают однофазными и междуфазными (двух- и трехфазные). Для сетей с изолированной нейтралью или компенсацией емкостных токов существенное значение имеют также двойные замыкания на землю, т. е. замыкания двух фаз на землю в разных точках электрически связанной сети.

Распределение КЗ по видам зависит от класса изоляции и конструкции элементов сетей. По данным многих исследований, однофазные КЗ составляют примерно 65 %, двухфазные и двойные замыкания на землю 20 %, двухфазные замыкания «без земли» 10 %, трехфазные замыкания 5 %. Из этой информации следует, что в подавляющем большинстве случаев (примерно 85 %) происходит «замыкание на землю» или однофазное КЗ.

Разнообразие видов и характера повреждений, а также структуры и условий работы электрических сетей не позволяет разработать какой-либо универсальный метод ОМП. Еще более сложно создать какую-либо универсальную аппаратуру. Достаточно отметить, что необходимо находить повреждения как в сверхмощных и сверхдальних электропередачах, так и во внутренних проводках к отдельным светильникам при расстояниях в несколько метров.

Общими требованиями к ОМП всех типов и классов линий электропередачи являются быстрота и точность. Наиболее быстро можно произвести дистанционное ОМП, заключающееся в измерении расстояния до места повреждения от конца или концов линии. Однако любое дистанционное ОМП обладает ограниченной точностью.

Характеристика высокочастотных методов ОМП.

К высокочастотным методам ОМП относятся: импульсные, локационные, волновые и метод стоячих волн.

Принцип действия импульсных методов основан на измерении интервалов времени распространения электромагнитных волн (импульсов) по участкам линий.

По признаку использования для отсчета времени специально генерируемых импульсов или же возникающих в месте повреждения линии электромагнитных волн выделяют локационные и волновые методы. В свою очередь волновые методы подразделяют на двусторонние и односторонние по фиксации моментов прихода фронтов волн на обоих концах линии или на одном конце. При двусторонних измерениях необходима посылка так называемых хронизирующих сигналов, обеспечивающих «привязку» к общему началу отсчета времени измерительных элементов на обоих концах линии. По периоду посылки хронизирующих сигналов различают методы с предварительным и с последующим хронизирующими сигналами.

Локационный метод основан на измерении времени между моментами посылки в линию зондирующего электрического импульса и прихода к началу линии импульса, отраженного от места повреждения.

Волновой метод основан на измерении времени между моментами достижения концов линии фронтами электромагнитных волн, возникающих в месте повреждения.

Метод стоячих волн называют еще «высокочастотным». Он основан на измерении полного входного сопротивления поврежденной линии в широком диапазоне частот.

Характеристика низкочастотных методов ОМП.

Низкочастотные дистанционные методы ОМП, основанные на измерении параметров аварийного режима, сегодня находят все большее применение. Параметры аварийного режима (ПАР) – это такие комбинации токов и напряжений промышленной частоты в аварийном режиме, по которым можно вычислить расстояние до места КЗ. Эти параметры фиксируются, т. е. измеряются и запоминаются непосредственно в период протекания токов КЗ в электроэнергетической системе, элементом которой является поврежденная линия. Как и автоматическое импульсное ОМП, измерение ПАР осуществляется до автоматического отключения линии высоковольтным выключателем.

Рассматриваемые методы подразделяются на односторонние и двусторонние в зависимости от расположения измерительных средств по сторонам (концам) линии. Наибольшее распространение получили двусторонние методы, позволяющие исключить влияние переходного сопротивления в месте КЗ на результат расчета искомого расстояния. При возникновении КЗ на включенной в сеть линии с глухозаземленной нейтралью (110...750 кВ) специальные фиксирующие приборы (ФП) запоминают значения ПАР на концах поврежденной ВЛ.

Эти зафиксированные значения вместе с заранее известными постоянными линии и примыкающей к ней сети используются для вычисления

расстояния до места КЗ. Вычисления могут производиться вручную, по графикам, номограммам и с помощью ЭВМ. В большинстве случаев в качестве ПАР служат напряжения и токи нулевой последовательности.

Односторонние методы позволяют непосредственно измерять расстояние до места КЗ. Однако в этом случае существенное влияние на результаты измерения оказывает переходное сопротивление, особенно при наиболее распространенном виде повреждения – однофазном КЗ.

Выводы.

В электрических сетях с глухозаземленной нейтралью распространены две группы дистанционных методов и соответственно средств ОМП: импульсные, основанные на измерении временных интервалов распространения электромагнитных волн вдоль воздушной линии и методы, основанные на измерении параметров аварийного режима (токов и напряжений в момент короткого замыкания).

Наибольшее распространение получила вторая группа методов и средств, предусматривающая измерение параметров аварийного режима, их запоминание и дальнейший расчет расстояния от шин подстанции до места КЗ. Широкое распространение этого метода объясняется его простотой и использованием алгоритмов, применяющихся в практике реализации релейной защиты и автоматики электрических сетей.

Эффективность решения задачи в любом из перечисленных методов зависит от возможности оперативного построения математической модели задач, а существующие методы расчёта токов КЗ не позволяют выполнить эту операцию.

Таким образом, проведённый анализ позволяет сделать вывод, что методика расчёта и существующие программы имеют ограничения не позволяющие выполнить в необходимом объёме анализ токов КЗ. Главным образом это связано с различными допущениями и упрощениями математической модели сети, что само по себе связано со сложностью реальной модели, точно отражающей исходную схему и её параметры.

Для ОМП в сетях 110-500 кВ Оренбургской области в настоящее время применяются в основном низкочастотные дистанционные методы, основанные на измерении параметров аварийного режима (ПАР), их запоминание и дальнейший расчет расстояния от шин подстанции до места КЗ. При возникновении КЗ на включенной в сеть линии с глухозаземленной нейтралью (110...750 кВ) специальные фиксирующие приборы (ФП) запоминают значения ПАР на концах поврежденной ВЛ. Эти зафиксированные значения вместе с заранее известными постоянными линии и примыкающей к ней сети используются для вычисления расстояния до места КЗ. Вычисления могут производиться вручную, по графикам и с помощью ЭВМ.

Основным недостатком приведенного способа ОМП является большая погрешность при локализации места повреждения (5-10%). Снижение погрешности при локализации места повреждения возможно путем разработки уточненной расчетной модели сети либо совершенствованием средств и методов ОМП, что является предметом наших дальнейших исследований.

Садчиков А.В. Оптимизация теплотребления учебного корпуса университета

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Основная задача оптимизации теплотребления заключается в обеспечении минимального расхода тепловой энергии на отопление здания при условии поддержания на заданном уровне температуры внутреннего воздуха за счет автоматического регулирования температуры теплоносителя на входе в отопительные приборы.

В настоящее время автоматизированные системы управления теплотреблением используются достаточно широко. Известны системы, ориентированные на управление теплотреблением непосредственно учебных корпусов или общежитий (НПО «Лайф», г. Новосибирск, ЗАО «Промсервис», г. Ульяновск и др.). Такие системы позволяют регулировать теплотребление всего здания в целом, регулировать тепловые ветви (стояки) для оптимального распределения тепла внутри здания (пофасадное регулирование) и поддерживать заданную потребителем температуру непосредственно в конкретном помещении. При этом управление системой осуществляется с одного рабочего места при помощи персонального компьютера или переносного пульта.

Для разработки оптимальных алгоритмов управления автоматизированной системой и мероприятий по теплосбережению строится тепловая математическая модель здания (корпуса). Тепловая модель здания позволяет для заданных условий окружающей среды (температуры наружного воздуха, направления и скорости ветра, атмосферного давления и т.п.) при заданном графике качественного регулирования температуры теплоносителя (сетевой воды) определить требуемую тепловую мощность на отопление, температуру внутреннего воздуха в каждом помещении корпуса и их зависимость от положения исполнительных механизмов системы регулирования. Под помещением понимается замкнутый объем пространства (аудитория, комната, кабинет, лестничная клетка, санузел, вентиляционные шахты и т.д.), сообщающийся с другими помещениями как на одном этаже, так и на выше- и нижерасположенных этажах, а также с окружающей средой через стены, окна, пол, потолок и дверные проемы. Необходимые для моделирования поэтажные планы здания, в том числе аксонометрические, должны быть реализованы в электронной форме.

Для каждого помещения в электронной базе данных тепловой модели задаются следующие параметры:

- объем, площадь, толщины всех стен, окон, и дверных проемов;
- перечень всех помещений, сообщающихся с рассматриваемым на одном этаже;
- перечень всех помещений вышерасположенного этажа, сообщающихся с рассматриваемым помещением; то же для нижерасположенного этажа;

- площади стен, окон и дверных проемов, сообщающихся с наружной средой;

- количество людей;

- наличие и мощность осветительных приборов.

Для каждого помещения производится расчет:

- массового расхода инфильтрующегося и вентиляционного воздуха;

- характеристик отопительных приборов;

- средней температуры теплоносителя в каждом приборе;

- коэффициентов теплоотдачи к внутренней и наружной поверхности каждой стены или перекрытия.

Температура воздуха в помещении определяется путем решения балансовых уравнений, составленных для каждого из помещений.

$$Q_T = \sum \frac{F_i}{R_i} (t_g - t_n) n \varphi , \quad (1)$$

где:

n - поправка на температурную разность. Учитывается для пола 1-го этажа и потолка верхнего ($n \leq 1$);

φ – коэффициент, учитывающий добавки на ориентацию относительно сторон света, этажность здания, скорость ветра, размещения помещения в здании. Приводится в СНиП.

$$\varphi = 1 + \Delta , \quad (2)$$

где Δ – поправка, учитывающая ориентацию по сторонам света.

Зависимость температур теплоносителя в подающей и обратной магистралях от температуры наружного воздуха выражается утвержденным графиком центрального регулирования. Температура теплоносителя определяет температуру внутреннего воздуха в помещениях и расход тепловой энергии.

Саликов М.П. Активизация творческого процесса при изучении темы «скользящий контакт в электрических машинах»

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Почему коллекторные пластины делают из меди?

Почему изоляционные прокладки — из материала на основе слюды?

Почему современные щетки не похожи «на, собственно, щетки?»

Почему состоящие из множества частей коллекторы такие прочные и надежные в работе?

Эти и многие другие вопросы подчас ставят в тупик студентов. И, если ответ ими дается, то, как правило, односторонний, учитывающий лишь одно явление, имеющее место в скользящем контакте.

Примеры ответов студентов:

— пластины медные, потому что у меди высокая электрическая проводимость;

— слюда применяется по причине высоких изоляционных свойств;

— электрические щетки скользят по коллектору (контактным кольцам) так же, как бытовые щетки скользят по полу или обуви.

Из таких ответов видно, что многообразие явлений и требований к материальному воплощению скользящего контакта ускользает от студентов. А в учебниках эта тема не раскрывается в полной мере.

Вот суждения, которые активизируют процесс мышления студентов:

— площадь поперечного сечения коллекторных пластин много больше площади поперечного сечения выводов обмотки якоря и поэтому требования к высокой электрической проводимости материала пластин не имеют решающего значения;

— существуют материалы с большим удельным электрическим сопротивлением, чем слюда, например, полиэтилен или полипропилен;

— на заре электротехники применялись щетки, похожие на современные проволочные;

— еще в древнем мире использовались приемы упрочнения сооружений, которые и переняли разработчики современных коллекторов.

Студентам обычно трудно отвечать на вопрос о требованиях к материалу щеток. Чаще отвечают так: необходимы высокие антифрикционные свойства и износостойкость. А как же быть с электрической проводимостью? К какой проводимости стремиться, выбирая материал щеток?

Приходится возвращаться к общему курсу электрических машин, вспоминать, почему щетки устанавливают вблизи от геометрической нейтральной, почему скользящий контакт лабораторного автотрансформатора делают из углеграфитного материала, а не металлическим.

Раздел «Углеграфитовые коллекторы и контактные кольца» желательно начинать с перечисления достоинств и недостатков медных коллекторов, употребляя такие слова, как технологические свойства, политура,

а заканчивать перечислением достоинств и недостатков углеграфитовых коллекторов и обозначением областей применения тех и других.

Сандаков С.А. Задача гидродинамической устойчивости двухфазных потоков в системах водоочистки

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Разработка оптимальных технологических систем и совершенствование технологий очистки сточных вод с внедрением высокопроизводительных устройств для их реализации - наиважнейшая задача в сфере энергосбережения и минимизации техногенного воздействия промышленных стоков на окружающую среду. При выборе методов очистки необходимо учитывать не только исходный физико-химический состав сточных вод [1], но и требования, которым должны удовлетворять очищенные воды: при отводе их в водоем это предельно допустимые сбросы и предельно допустимые концентрации веществ (ПДК), а при использовании очищенных сточных вод в водообороте - требования, которые необходимы для осуществления конкретных производственных процессов.

В современных экономических условиях при дальнейшем развитии сырьевых отраслей промышленности и с учетом интенсификации технологических процессов производства проектируемые и применяемые системы очистки сточных вод должны обеспечивать максимальное их использование в основных технологических процессах предприятий с минимальным сбросом стоков в природные водоемы [2].

Известно, что для обеспечения нормативных показателей в ряде случаев применение только биохимической очистки производственных сточных вод недостаточно, поэтому широкое распространение получили физико-химические методы, в том числе и реагентный. Этот способ можно применять практически для неограниченных объемов сточных вод.

Эффективность реагентного способа можно улучшить, применяя для этого физические воздействия на обрабатываемые жидкофазные системы, например, электрические (электрофлотация, электрокоагуляция и электрофлокуляция) и магнитные поля, ультразвук, радиацию и другие методы [3-6].

Однако внедрение метода интенсификации процессов электрофлотации и электрофлокуляции тормозится недостаточной изученностью электро- и гидродинамических процессов, протекающих на границе раздела фаз.

В направлении существенной интенсификации взаимодействия обрабатываемой жидкости с реагентами и электролизными газами развивается конструктивная разработка электрореакторов. При проектировании конструктивных элементов и режима действия электрореакторов рекомендуется учитывать закономерности коагуляционного и флокуляционного [7] структурообразования и гидродинамического режима, определяющие начальные значения скоростного градиента, необходимость постепенного перемешивания и концентрации твердой, жидкой и газообразной фаз по поверхности раздела [8].

В работе [6,8] для интенсификации процессов очистки производственных сточных вод предложен электрореактор, позволяющий повысить эффективность коагуляции и флокуляции при одновременном снижении энергетических затрат на их проведение за счет увеличения степени турбулизации потока жидкости.

Известно [9], что на формирование гетерогенных (многофазных) смесей в масштабе электрореактора при коагуляции и флокуляции частиц примесей сказывается влияние ряда факторов, в том числе геометрические особенности и форма рабочего объема электрореактора [8], поэтому для анализа этого процесса необходимо рассматривать математические модели, позволяющие описать процесс взаимодействия потока с образующимися в нем реагентами [10,11].

Исследование динамики многофазных потоков и, в частности, двухфазных потоков (смесей газов с твердыми частицами) является одним из важных направлений в механике сплошных сред [11]. Частицы в этом случае называют дисперсными частицами или дисперсной фазой, а окружающую несущую фазу (газ) - дисперсионной средой.

К настоящему времени имеется значительное число работ, посвященных проблемам описания моделей гидромеханики многофазных сред. Наиболее полно решения таких уравнений представлены в монографии Нигматулина Р.И. [12].

Уравнения устойчивости двухфазных потоков в линейной постановке сводятся к решению следующей системы с однородными краевыми условиями [12]:

$$\frac{1}{ik \text{Re}} D^2 \psi - \left(U - \lambda + \frac{f}{ik\tau} \right) D\psi + \frac{d^2 U}{dx^2} \psi + \frac{f}{ik\tau} D\psi = 0, \quad (1)$$

$$\frac{1}{ik\tau} D\psi - \left(U - \lambda + \frac{1}{ik\tau} \right) D\psi + \frac{d^2 U}{dx^2} \psi = 0 \quad (2)$$

где Re - число Рейнольдса, k - волновое число, f и τ - массовая концентрация и время релаксации частиц, ψ - амплитуда функции тока для возмущений чистого газа, φ - та же амплитуда для частиц, $\lambda = \lambda_r + i \lambda_i$ - собственные значения, U - скорость несущей фазы вдоль оси x , $D = d^2/d\eta^2 - k^2$ - дифференциальный оператор.

Рассмотрим уравнения (1) и (2) при следующих граничных условиях:

$$\Psi(\eta) = d\Psi/d\eta = 0, \quad \varphi(\eta) = 0 \text{ при } \eta = \eta_0, \quad (3)$$

$$\Psi(\eta) = d\Psi/d\eta = 0, \quad \varphi(\eta) = 0 \text{ при } \eta = \eta_l. \quad (4)$$

Для конкретного вида течений $U(\eta)$ краевые условия (3) и (4) имеют вполне определенный физический смысл.

Дифференциальные уравнения (1) и (2) с однородными граничными условиями (3) и (4) формируют задачу поиска собственных значений для определения неизвестной постоянной λ . Устойчивость или неустойчивость решения системы при исследовании двухфазного потока зависит от λ : если $\lambda_i < 0$, то течение устойчиво; если $\lambda_i > 0$ - то неустойчиво. При $\lambda_i = 0$ колебания нейтрально устойчивы.

Решение задачи (1) - (4) наталкивается, однако, на определенные трудности. Во-первых, уравнения (1) и (2) содержат малый параметр при старшей производной, поэтому возникают значительные трудности при получении более точных решений. Во-вторых, задача становится многопараметрической, так как она характеризуется четырьмя параметрами: Re, k, f, τ . В этом случае определение параметрических зависимостей приводит к резкому увеличению объема вычислений. В-третьих, с ростом числа уравнений (каждая фаза имеет свои уравнения движения) порядок алгебраической системы уравнений удваивается. Рост порядка ведет к квадратичному возрастанию размерности системы (матриц коэффициентов), что при численном нахождении собственных значений сильно уменьшает достоверность расчетов.

В связи с этим желательно иметь такой метод численного решения, который обеспечивал бы более высокую точность расчётов при небольшом объеме задействованной оперативной памяти ПЭВМ.

В основу решения уравнений (1) - (4) положим метод конечных разностей или спектрально-сеточный метод [14]. Интервал интегрирования $[\eta_0, \eta_i]$ разобьем на сетку с шагом:

$$\eta_0 < \eta_1 < \eta_2 < \dots < \eta_N = \eta_i.$$

Краевые условия (3) и (4) запишем для точек η_0 и η_N , а во внутренних узлах сетки наложим требования непрерывности решения уравнений (1) и (2) и его производных до некоторого порядка:

$$\begin{aligned} \Psi_j^{(t)}(\eta_j) &= \Psi_{j+1}^{(t)}(\eta_j), \quad t = 0, 1, 2, 3; \quad j = 1, 2, \dots, N-1, \\ \varphi_j^{(p)}(\eta_j) &= \varphi_{j+1}^{(p)}(\eta_j), \quad t = 0, 1; \quad j = 1, 2, \dots, N-1, \end{aligned} \quad (5)$$

где t и p - указывают на порядок производной.

Решение задачи (1) - (5) представим в виде ряда по полиному Чебышева первого рода. Для этого каждый элемент сетки $[\eta_j, \eta_{j+1}]$, $j = 0, 1, \dots, N-1$ отобразим в интервале от -1 до +1. Тогда уравнения (1) и (2) приобретают вид:

$$F_j \psi_j + M_j \varphi_j = 0, \quad (6)$$

$$S_j \psi_j + K_j \varphi_j = 0, \quad (7)$$

где принято:

$$F_j = \frac{1}{ik_j Re_j} D_j^2 - \left(U_j(y) - \lambda - \frac{if}{k\tau} \right) D_j + \frac{d^2 U}{dx_j^2},$$

$$M_j = \frac{f}{ik\tau} D_j, \quad S_j = \frac{1}{ik\tau} D_j,$$

$$K_j = - \left(U_j(y) - \lambda - \frac{i}{k\tau} \right) D_j + \frac{d^2 U_j}{dx_j^2},$$

$$D_j = \frac{d^2}{dx_j^2} - k_j^2, \quad K_j = \frac{l_j}{2} k, \quad Re_j = \frac{l_j}{2} Re.$$

В этом случае краевые условия (3), (4) и условия непрерывности (5) принимают вид:

$$\begin{aligned}
\psi_1(-1) &= 0, \quad \frac{d\psi_1}{dx}(-1) = 0, \\
l_j^{-t} \psi_j^{(t)}(+1) &= l_{j+1}^{(t)} \psi_{j+1}^{(t)}(-1), \quad t = 0, 1, 2, 3; \quad j = 1, 2, \dots, N-1, \\
\psi_N(+1) &= 0, \quad \frac{d\psi_N}{dx}(+1) = 0, \\
\varphi_1(-1) &= 0, \quad \varphi_N(+1) = 0, \\
l_j^{-p} \varphi_j^{(p)}(+1) &= l_{j+1}^p \varphi_{j+1}^{(p)}(-1), \quad p = 0, 1; \quad j = 1, 2, \dots, N-1.
\end{aligned} \tag{8}$$

Решение задачи (6) - (8) на каждом из элементов сетки $[\eta_j, \eta_{j+1}]$ находим в виде следующих рядов:

$$\begin{aligned}
\psi_j(x) &= \sum_{n=0}^{p_j} a_n^{(j)} T_n(x), \quad \varphi_j(x) = \sum_{n=0}^{p_j} d_n^{(j)} T_n(x), \\
U_j(x_l^j) &= \sum_{n=0}^{p_j} b_n^{(j)} T_n(x_l^j),
\end{aligned} \tag{9}$$

где $T_n(x)$ - полиномы Чебышева первого рода, $x_l^{(j)}$ - их узлы, p_j - количество полиномов, используемых для аппроксимации решения на j -м элементе.

Подставляя ряды (9) в (6) и (7), потребуем, чтобы левая часть уравнения (6) на каждом из элементов была ортогональна к первым $(p_j - 4)$, аналогично и левая часть уравнения (7) - к первым $(p_j - 2)$ полиномам Чебышева, тогда:

$$(F_j \psi_j + M_j \varphi_j, T_n) = 0, \quad n = 0, 1, \dots, p_j - 4; \quad j = 1, 2, \dots, N, \tag{10}$$

$$(S_j \psi_j + K_j \varphi_j, T_n) = 0, \quad n = 0, 1, \dots, p_j - 2; \quad j = 1, 2, \dots, N, \tag{11}$$

где φ_j - скалярное произведение на отрезке $[-1, +1]$.

Таким образом, для определения $m = 2 \sum_{j=1}^N (p_j + 1)$ неизвестных $a_n^{(j)}, d_n^{(j)}$

($n = 0, 1, \dots, p_j, j = 1, 2, \dots, N$) имеем m уравнений. Этими уравнениями будут:

$\sum_{j=1}^N (p_j - 3) + \sum_{j=1}^N (p_j - 1)$ - уравнения ортогональности (10), (11) и $6N$ -

дополнительные условия (8).

Систему линейных алгебраических уравнений (8), (10) и (11) запишем в виде матрицы:

$$(A - \lambda B)x = 0, \tag{12}$$

где A и B - комплексные матрицы,

$$x^T = \left(a_0^{(1)}, a_1^{(1)}, \dots, a_{p_1}^{(1)}, \dots, a_0^{(N)}, a_1^{(N)}, \dots, a_{p_N}^{(N)}, d_0^{(1)}, d_1^{(1)}, \dots, d_{p_1}^{(1)}, \dots, d_0^{(N)}, d_1^{(N)}, \dots, d_{p_N}^{(N)} \right)$$

В этом случае матрица B содержит $6N$ -нулевых строк, соответствующих $6N$ условиям (8), эти условия входят только в матрицу A , так как они не зависят от λ .

С помощью элементарных преобразований столбцов матриц A и B приведем уравнение (12) к удобному для численного решения виду:

$$(AQ - \lambda BQ)(Q^{-1}x) = 0, \quad (13)$$

где Q - соответствующее невырожденное преобразование.

После применения преобразования Q в системе (13) $6N$ - уравнений становятся автономными, так как соответствующие им компоненты собственных векторов, очевидно, будут равны нулю.

Из оставшихся уравнений получаем алгебраическую систему вида:

$$(T - \lambda W)Y = 0, \quad (14)$$

где W - в общем случае невырожденная квадратная матрица, причём матрицы T и W имеют размерность $(m - 6N) \times (m - 6N)$,

$$Y^T = \left(\bar{a}_4^{(1)}, \bar{a}_5^{(1)}, \dots, \bar{a}_{p_1}^{(1)}, \dots, \bar{a}_4^{(N)}, \dots, \bar{a}_{p_N}^{(N)}, \bar{d}_2^{(1)}, \dots, \bar{d}_2^{(1)}, \dots, \bar{d}_{p_N}^{(N)} \right).$$

Умножая (14) на W^{-1} , получим:

$$(D - \lambda E)Y = 0, \quad D = TW^{-1}. \quad (15)$$

где собственные значения системы (15) определялись с помощью QR - алгоритма.

Для решения задачи (15) с вещественной матрицей D реализация одного шага QR -алгоритму требует примерно $(10/3)n^3$ арифметических операций [13, с. 255]. В случае комплексной матрицы D один шаг QR -алгоритма требует приблизительно $Z \sim (20/3)n^3$ арифметических операций, где через n обозначен порядок матрицы D . Эффективность спектрально-сеточного метода по числу арифметических операций Z представлены в таблице, где сравнены спектральный и спектрально-сеточный методы.

Таблица

m	Спектральный метод	Спектрально-сеточный метод	
	Z	N	Z
20	17496	2	4620
50	471842	5	46880
100	4875822	10	477860

Здесь через m обозначено общее количество полиномов для аппроксимации решения, N - число элементов в спектрально-сеточном методе.

Сравнительный анализ результатов моделирования, построенных по различным методикам, показывает, что при использовании спектрально-сеточного метода при аппроксимации сеточной области по m результаты моделирования уменьшают количество арифметических операций с известной степенью точности в пять и более раз.

Проводимые в данной работе исследования показывают, что для точного моделирования целесообразнее использовать метод построения сеточных

областей конечно-разностных аппроксимаций в уравнениях движения и неразрывности.

Применение метрических сеток рекомендуется для моделирования, где требуется точное определение площади ячейки сеточной области или неизменность площади ячейки, например, для расчета электрореакторов с вертикальным двухфазным потоком.

Литература

1. Преображенский, А.Б. Особенности и преимущества электрохимического метода очистки и обработки воды /А.Б. Преображенский. - М.: Аква-Терм, 2003. - № 2. - С.40-43.
2. Воробьева, С.В. Об очистке промышленных стоков завода стабилизации газового конденсата / С.В. Воробьева, В.Н. Коновалов, О.В. Смирнов // Изв. вузов. Нефть и газ. 2002. - № 5. - С. 103-105.
3. Назаров, В.Д. Тенденции развития водоподготовки от физико- химических до электрокоагуляционных процессов / В.Д. Назаров [и др.] // Башкирский химический журнал. – 2005. - Т. 11, - № 5.- С. 97-99
4. Грановский, М.Г. Электрообработка жидкостей / М.Г. Грановский, И.С. Лавров, О.В. Смирнов. - Л., Химия. 1976.- 216 с.
5. Колесников, В.А. Электрохимическая очистка сточных вод с водооборотом / В. И. Ильин, В.А. Колесников // Экология производства. – 2005, № 12- С. 62-64
6. Электролизер для очистки нефтесодержащих вод: а.с. № 1560481 СССР, МКИ5 С02F1/46 /С.А. Сандаков, А.П. Васильев [и др.].- № 3735119; заявл. 29.04.84; опубл. 1990 //Открытия. Изобрет. - 1990.- № 16
7. Сандаков, С. А. Электрообработка питательной воды в теплоснабжении / С. А. Сандаков // Материалы Рос. науч. -практ. конф. Вызовы XXI века и образование [Электронный ресурс] – Оренбург., ОГУ, 2006.- 1электрон. опт. диск (CD-ROM), 12 см. - Режим доступа: http://www/osu.ru/img/news/konf_feb_2006.doc
8. Сандаков, С.А. Расчет электрофлотоустановки с электродами на квазиупругих связях / С.А. Сандаков // Оренбург.- Вестник ОГУ. Естественные и технические науки.- 2006. - № 6. - С. 103–108.
9. Волгин, В.М. Математическое моделирование ионного переноса при электрохимическом формообразовании [Электронный ресурс] / В.М. Волгин*, В.В. Любимов*, О.В. Волгина**. - *Тульский гос. университет., 2006. - Режим доступа*: E-mail: volgin@uic.tula.ru: **Институт электрохимии им. А.Н. Фрумкина РАН Москва, 2006. - Режим доступа**:
E-mail: olga_v@newmail.ru.- Дата доступа: 12.01.2006.
10. Dzew, D.A. Stability of a Stokes layer of a dusty gas // Phys. fluids.1979, vol. 22, № 11, - p. 2081-2086.
11. Нигматулин, Р.И. Основы механики гетерогенных сред / Р.И. Нигматулин. - М.: Наука, 1978.-335 с.
12. Нигматулин Р.И. Динамика многофазных сред /Р.И. Нигматулин. - М.: Наука, 1987. Том 1 - 464с., Том 2 - 360 с.

13. Воеводин, В.В. Вычислительные основы линейной алгебры / В.В. Воеводин. - М.: Наука, 1977. -304 с.
14. Марчук, Г.И. Введение в проекционно-сеточные методы / Г.И. Марчук, В.И. Агошков. - М.: МГУ, 1981. – 416 с.

Соколов В.Ю. Особенности эксплуатации расходомеров постоянного и переменного перепада давления

Оренбургский государственный университет, г.Оренбург

В настоящее время предложено достаточно много различных методов исследования режимов движения ньютоновских и неньютоновских жидкостей. При выборе типа расходомера необходимо определиться с тем, в каких единицах будет задан расход. Расход может быть объемный (Q), выражаемый в м³/с, или массовый (M), выражаемый в кг/с. Внесистемной единицей измерения расхода является литр в секунду (л/с).

Массовый и объемный расходы связаны между собой зависимостью

$$M = Q \cdot \rho, \text{ где } \rho - \text{плотность газа или жидкости.}$$

Расходомеры, применяемые для измерения расхода жидкостей и газов, подразделяются на следующие типы: скоростные тахометрические и объемные счетчики, работающие по принципу измерения частоты вращающихся частей прибора, находящихся в потоке измеряемой среды; расходомеры постоянного перепада давления, воспринимающие рабочим телом (поплавком) гидродинамическое давление измеряемого потока среды; расходомеры переменного перепада давления, воспринимающие перепад давления на сужающем устройстве, установленном в измеряемом потоке; индукционные расходомеры, работающие на принципе измерения электродвижущей силы, индуцированной в магнитном поле при протекании потока жидкости; ультразвуковые расходомеры, работающие на принципе измерения скорости распространения ультразвука в измеряемом потоке.

Наибольший интерес для исследования движения различных потоков жидкостей и газов представляют расходомеры постоянного и переменного перепада давления.

Расходомеры постоянного перепада давления. Расходомеры обтекания, относящиеся к расходомерам постоянного перепада давления, применяются при измерении расходов газов и жидкостей.

Название приборов (расходомеры обтекания) связано с тем, что рабочая среда (газ или жидкость) обтекает чувствительный элемент прибора — поплавок.

Расходомеры обтекания имеют: высокую чувствительность; малую стоимость; незначительные потери давления; простоту конструкции и эксплуатации; возможность использования при измерении агрессивных жидкостей и газов, а также в тех случаях, когда невозможно использовать другие приборы измерения расхода.

Наиболее распространенным прототипом такого расходомера может являться ротаметр, который имеет расширяющуюся в верхней части коническую трубку и поплавок перемещающийся внутри трубки. Шкала этого стеклянного ротаметра имеет 100 делений, а ротаметры с электрическим и пневматическим выходным сигналом имеют дополнительно вторичные приборы для определения расхода.

В зависимости от пределов измерений поплавков изготавливают из эбонита, дюралюминия или нержавеющей стали. По типу поплавков выполняется цельным или облегченным. Поплавок имеет нижнюю коническую часть, среднюю цилиндрическую и верхнюю со скошенным бортиком и направляющими канавками, которые служат для придания вращательного движения поплавку, центрирующего его в измеряемом потоке.

Принцип действия ротаметров состоит в том, что гидродинамическое давление измеряемого потока среды воздействует снизу на поплавок и вызывает его вертикальное перемещение. Под действием перемещения поплавок из-за конусности трубки изменяется площадь проходного сечения между поплавком и трубкой, а перепад давления по обе стороны поплавка остается постоянным. Поэтому такие приборы называют расходомерами постоянного перепада давлений. Под действием потока жидкости или газа, направленного по трубке снизу вверх, поплавок поднимается до тех пор, пока не уравниваются его сила тяжести и подъемная сила, возникающая от перепада давления по обе стороны. По положению поплавка определяют расход жидкости или газа. Шкалу ротаметра градуируют в единицах объемного расхода.

В установленном режиме при определенном расходе масса поплавка уравнивается динамическим давлением потока. Поплавок при этом занимает соответствующее положение относительно стеклянной трубки, открывая часть проходного сечения прибора.

Расходомеры переменного перепада давления. Для измерения расходов пара, газа и жидкостей широко используют различные типы расходомеров переменного перепада давления. Принцип действия таких приборов, объединенных общим методом измерений, основан на измерении перепада давления, образующегося в результате изменения скорости измеряемого потока на специальном дроссельном устройстве, предназначенном для сужения струи потока: диафрагмы, сопла, трубы Вентури. Перепад давления на сужающем устройстве зависит от скорости движения измеряемой среды и служит мерой расхода. Расходомеры этого типа обязательно включают в себя два элемента: сужающее устройство и прибор для измерения перепада давления дифференциальный манометр.

Диафрагма представляет собой круглый диск с отверстием по центру, вставляемый в трубопровод. Центр отверстия должен лежать на оси трубопровода. Диаметр отверстия меньше, чем внутренний диаметр трубопровода, поэтому струя жидкости, газа или пара сужается при проходе через диафрагму. Сужение струи начинается перед диафрагмой и заканчивается на некотором расстоянии позади нее. В месте сужения струи возрастает скорость движения жидкости или газа, а давление понижается. Минимальное давление образуется на некотором расстоянии позади диафрагмы.

Диафрагма должна иметь острую прямоугольную кромку со стороны входа измеряемого потока жидкости или газа. К установке диафрагмы относительно оси трубопровода, остроте прямоугольной входной кромки и допуску диаметра диафрагмы предъявляются определенные требования: входная кромка диафрагмы не должна иметь следов затуплений, задиоров и закруглений.

Нормальные диафрагмы устанавливают на прямолинейном горизонтальном или вертикальном участке трубопровода. В зависимости от схемы трубопровода (наличие вентилей, задвижек, колен и закруглений участков трассы) определяют прямые участки до и после диафрагмы. Ориентировочно длина прямого участка должна составлять: до диафрагмы — не менее 10 диаметров трубопровода, после диафрагмы — не менее 5 диаметров трубопровода. Отборы «+» и «—» от камеры при измерении расходов жидкостей устанавливают сбоку перпендикулярно оси трубопровода для исключения погрешности измерений, от воздушных «подушек».

В качестве материала диафрагм обычно используют нержавеющую сталь марки Х18Н9Т, устойчивую в условиях агрессивных сред. На верхнюю часть диафрагмы наносят паспортные данные. Камерные диафрагмы применяют для трубопроводов диаметром 50-400 мм. Бескамерные диафрагмы применяют в трубопроводах диаметром более 400 мм.

Отборы «+» и «—» от камеры при измерении расходов паров и газов устанавливают вверх перпендикулярно оси трубопровода, с тем чтобы исключить попадание конденсата (влаги) от паров (или газов), влияющего на точность измерений.

Методом переменного перепада давления измеряется расход газа с давлением более 1 кгс/см², а также расход газа, превышающий пропускную способность двух параллельно работающих ротационных газовых счетчиков.

При прохождении реальных измеряемых сред через сужающее устройство возникают дополнительно такие физические явления, как потери давления на вязкое трение, изменение плотности и другие, которые соответствующим образом учитывают при расчетах сужающих устройств.

К стандартным сужающим устройствам, в соответствии с ГОСТ 8.563.1-97, относятся диафрагмы, сопла и трубки Вентури. Наиболее распространенным типом сужающих устройств являются диафрагмы дисковые нормальные типа ДДН и диафрагмы камерные нормального типа ДКН.

Сопло представляет собой насадку цилиндрической формы с закругленными краями на входе. Труба Вентури имеет дополнительную насадку в форме раструба. Это позволяет уменьшить потерю давления на сужающем устройстве и повысить точность измерения.

Все дифманометры переменного перепада для измерения расхода имеют неравномерную (квадратичную) шкалу в связи с существующей квадратичной зависимостью между перепадом давлений и расходом:

$$Q = hF \sqrt{\frac{\Delta P g}{\gamma}}$$

где Q , — расход, м³/с; ΔP — перепад давления, кгс/м²; γ — удельный вес среды, кг/м³; h — коэффициент, зависящий от диаметров трубопровода и диафрагмы, удельного веса жидкости, заполняющей манометр и др.; p — сечение диафрагмы, м²; g — ускорение силы тяжести, м/с².

Расчет диафрагм, их монтаж на трубопроводах производят в соответствии со стандартами Государственной системы обеспечения единства измерений

(ГСИ); ГОСТ 8.563.1-97 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Диафрагмы, сопла ИСА 1932 и трубы Вентури, установленные в заполненных трубопроводах круглого сечения. Технические условия», ГОСТ 8.563.2-97 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Методика выполнения измерений с помощью сужающих устройств», ГОСТ 8.563.3-97 «Измерение расхода и количества жидкостей и газов методом переменного перепада давления. Процедура и модуль расчетов. Программное обеспечение».

Турков В.В., Владов Ю.Р. К идентификации технического состояния газоперекачивающих агрегатов

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Газовая промышленность является одной из важнейших составных частей топливно-энергетического комплекса Российской Федерации. Трубопроводный транспорт – важнейшая составная часть производственной инфраструктуры, поэтому создание динамично развивающейся и устойчиво функционирующей системы транспортировки газа – необходимое условие стабилизации и подъема экономики страны.

Транспортировка природного газа по магистральным газопроводам осуществляется компрессорными станциями, оснащенными газоперекачивающими агрегатами (ГПА), около 30% которых выработали установленный для них ресурс (наработка свыше 100 тыс. часов) и морально устарели. Это приводит к снижению уровня надежности и эффективности функционирования транспортной системы.

Повышение стоимости ремонтно-восстановительных работ и запасных частей делает актуальными задачи по внедрению в производство новых современных технологий, обеспечивающих надежную работу газоперекачивающих агрегатов. В этих условиях резко возрастает необходимость в научных разработках, направленных на совершенствование методов и средств идентификации технического состояния ГПА, на основе универсальных подходов к оценке функционирования агрегатов, как в реальном времени, так и на основе анализа ретроспективных данных с целью прогнозирования поведения оборудования при различных условиях и выявления дефектов и неисправностей на ранней стадии их возникновения.

Отказы ГПА можно подразделить на три группы:

- конструкционные отказы, являющиеся следствием дефектов конструкции, погрешностей технологии производства и технической документации, они одинаковы для всех других (или группы) экземпляров системы;
- производственные отказы, которые вызваны случайным разбросом или ограниченностью сроков службы комплектующих элементов, случайными неблагоприятными сочетаниями разбросов параметров отдельных элементов, случайными неблагоприятными сочетаниями режимов работы или условиями эксплуатации и т.д.;
- эксплуатационные, происходящие в результате износа подвижных сопряжений и рабочих органов под влиянием сил трения или вследствие длительного воздействия пульсирующих и знакопеременных нагрузок, коррозии.

Отказы никогда не возникают мгновенно, всегда прослеживается некоторый промежуток времени между отказом и вызвавшей его причиной. Следовательно, отказ возникает в том случае, если вызвавшая его причина не

устранена за этот промежуток времени, в течение которого еще возможно предотвращение аварийной ситуации, а это возможно лишь при адекватной оценке (диагностики) технического состояния ГПА на основе обработки производственной информации.

Идентификация технического состояния газоперекачивающего агрегата решает три типа задач:

- определение состояния, в котором находится объект или его элементы в настоящий момент времени;
- определение состояния, в котором окажется система в некоторый будущий момент времени (это задача прогноза);
- определение технического состояния, в котором отказавший объект находился в некоторый момент времени в прошлом и истинных причин, приведших к отказу.

Оценка состояния ГПА требует одновременного измерения и регистрации большого количества функционально и стохастически взаимосвязанных параметров. Опыт эксплуатации и результаты стендовых испытаний свидетельствуют о том, что объективная оценка технического состояния агрегата, в зависимости от сложности его конструкции возможна путем измерения и анализа 40-50 параметров. Обработка такого количества данных позволяет обеспечить контроль работоспособности, соответствия рабочих режимов технической документации.

В настоящее время для диагностики газоперекачивающих агрегатов практикуется в основном пять групп методов неразрушающего контроля текущего технического состояния:

динамические методы – контроль вибраций, шумов, ПДК вредных выбросов, контроль текущих параметров (параметрическая диагностика)

дефектоскопия – совокупность методов неразрушающего контроля, предназначенных для обнаружения и предупреждения появления дефектов или определенного типа разрушений;

контроль загрязнений – метод определения присутствия продуктов износа в смазке;

анализ тенденций – это прогнозирование развития обнаруженного дефекта (или неисправности) во времени для предупреждения возникновения критических ситуаций;

анализ предпосылок – предупреждение появления возможных нежелательных событий в соответствии с разработанным деревом отказов, изучения технической и ремонтной документации, опыта эксплуатации.

Для оценки технического состояния газоперекачивающих агрегатов наиболее эффективны трибодиагностика, параметрическая диагностика и вибродиагностика.

Триботехника занимается изучением сопряженных поверхностей деталей машин и механизмов при их относительном движении, охватывая области

смазки, трения и износа. В основу трибодиагностики положены критерии дифференциальной оценки технического состояния узлов трения агрегатов по результатам анализа частиц износа в системе смазки. Знание механизма износа позволяет установить его причину и своевременно принять соответствующие профилактические меры, что очень важно с точки зрения обеспечения должной надежности и безопасности эксплуатации оборудования.

Возможность оценки механического состояния агрегата, технологическая простота диагностирования и возможность предсказания времени аварийного отказа по тренду характеристик виброспектра являются несомненными преимуществами вибродиагностики. При работе ГПА все его детали, узлы и агрегаты совершают вынужденные и резонансные колебания, которые зависят от величины и характера возмущающих сил, упругомассовых характеристик элементов конструкции, на которые, в свою очередь, влияет ряд конструктивных, технологических и эксплуатационных факторов. В рамках данного метода определяющей характеристикой оценки технического состояния ГПА рекомендовано использование среднеквадратического вибрационного параметра (виброскорости).

Наиболее традиционным, а потому наиболее широко методически оснащенным методом диагностирования газоперекачивающих агрегатов является параметрическая диагностика, основанная на измерении газодинамических параметров эксплуатации ГПА, в частности, величины температуры и перепадов давления используемых сред вдоль по ходу трактов.

Если оценить вклад каждого из методов в изучение текущего состояния компрессорной установки, то большая часть дефектов и неисправностей, примерно 60%, может быть установлена методами вибродиагностики; около 20% – обнаруживается при параметрической диагностике и около 20% – по уровню загрязнений.

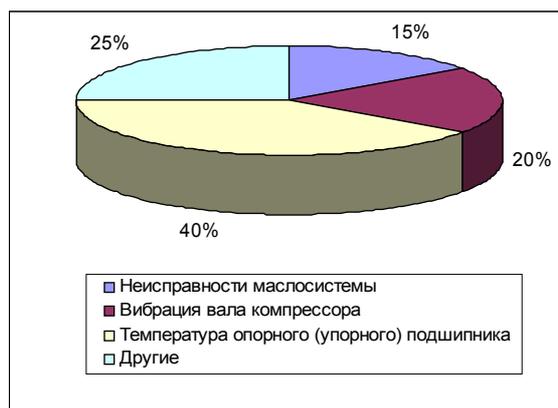
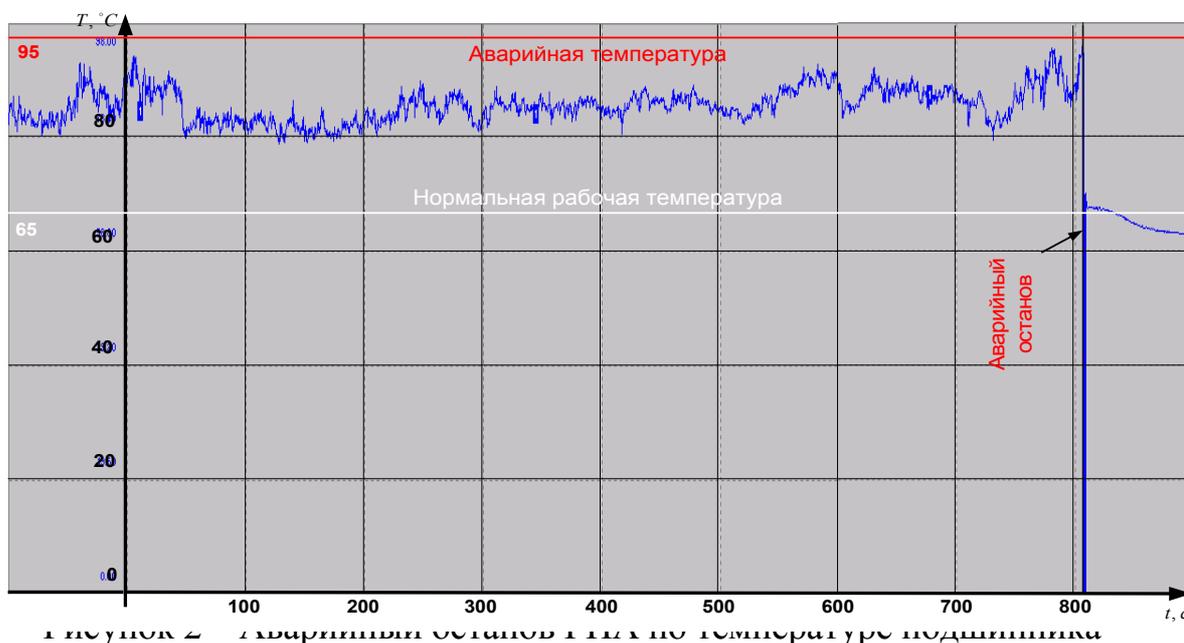


Рисунок 1 – Причины аварийного останова ГПА

Анализ причин аварийных отказов ГПА позволяет выявить узлы агрегатов, чаще всего выходящие из строя и лимитирующие их ресурс. В первую очередь, это опорные и опорно-упорные подшипники газовых турбин высокого и низкого давления и центробежных нагнетателей, о чем свидетельствует анализ аварийных остановов ГПА за период в 12 месяцев, представленный на рисунке

1. На рисунке 2 представлен график изменения температуры опорного подшипника до аварийного останова ГПА системой управления.



Газоперекачивающий агрегат можно представить как сложную жесткую техническую систему (структурная схема ГПА с центробежным нагнетателем представлена на рисунке 3), поэтому для качественного исследования технического состояния его необходимо разделить на подсистемы со своими параметрами, связями и характерными неисправностями. Фрагмент логической модели, позволяющей качественно выделить характерные неисправности ГПА, представлен на рисунке 4.

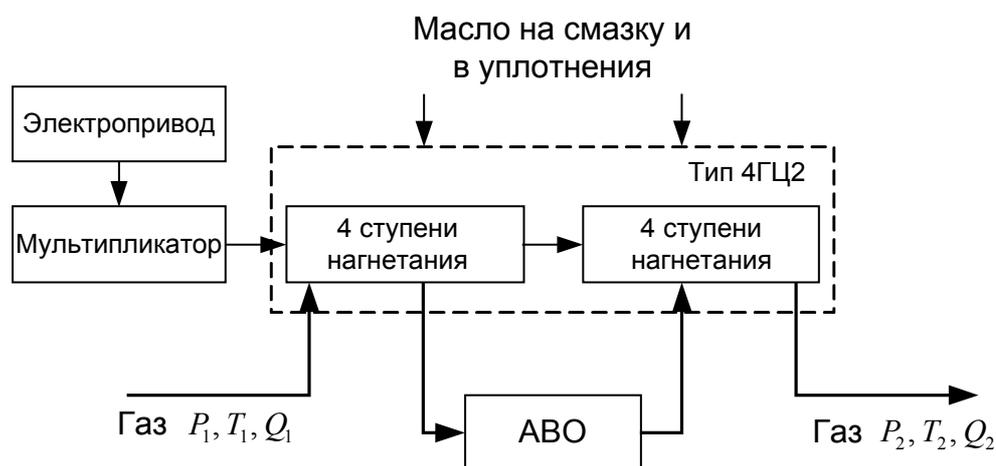


Рисунок 3 – Структурная схема ГПА

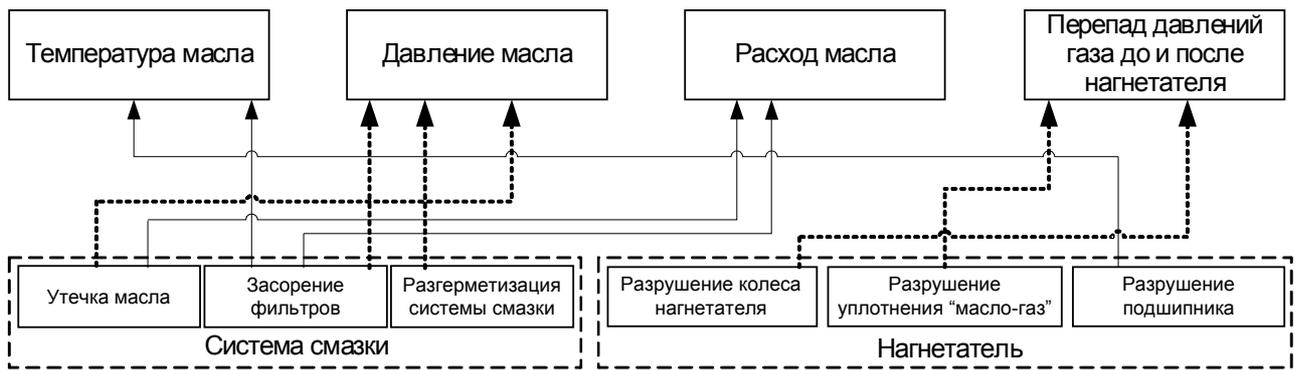


Рисунок 4 – Фрагмент логической модели связей функциональных параметров с характерными неисправностями ГПА

(сплошными стрелками обозначено увеличение параметра, пунктирными - уменьшение)

Анализ методов диагностики и наблюдения за эксплуатацией ряда ГПА позволяет сделать вывод о необходимости расширения набора диагностических признаков и совершенствование методов идентификации, что позволило бы адекватно оценивать техническое состояние ГПА. К тому же при непрерывном росте стоимости ремонтно-восстановительных и планово-предупредительных ремонтов необходима разработка методов, позволяющих перейти к эксплуатации ГПА по их фактическому состоянию.

Усенков Н.И. Автоматизация лабораторных работ в учебном курсе «электроника»

Оренбургский государственный университет, г. Оренбург

Персональный компьютер, как универсальный виртуальный инструмент, широко применяется в научных исследованиях, производственных технологиях, энергетике, на транспорте и в образовании. В проектах государственного стандарта высшего профессионального образования предусматривается расширение таких функций компьютера, как моделирование, разработка и исследование реальных объектов в лабораторных условиях.

Для успешной реализации программы модернизации высшего профессионального образования, во многом базирующейся на его компьютеризации и интернетизации, потребуется не только современное техническое оснащение учебных лабораторий, но и специальная подготовка преподавателей. Учебно-методическая работа преподавателей выходит на новый уровень в области инновационных технологий (по изучаемым дисциплинам), которые создаются в процессе преподавания при активном участии обучающихся, что обеспечит их предварительную апробацию. Сотрудничество преподавателей со студентами, многоплановость создаваемой продукции (моделирующие программы для виртуальных лабораторий, базы данных, информативно-технические рефераты по практико-ориентированной тематике) придадут учебно-методической работе действительно новое качество.

Структура высшего образования является открытой к внедрению в учебный процесс новых информационных технологий. Применяются не только относительно доступные программные комплексы: текстовые и графические редакторы; средства для работы с таблицами и подготовки презентаций, но и узкоспециализированные: системы программирования и управления базами данных, интегрированные пакеты символьной математики и статистической обработки (см. блок-схему).

Трансформация макетирования и натурального моделирования в математическое моделирование с возможностью представления исследуемого объекта его экспериментальными характеристиками на экране монитора компьютера привели к созданию специализированных систем «Виртуальный прибор – прикладная программа», выполненных по виртуально-приборной технологии [1].

Как показывает учебная практика, максимальная эффективность обучения достигается при совместном использовании компьютерных технологий и натуральных экспериментов с реальными электрическими элементами, электронными устройствами и измерительной аппаратурой.

Если использовать только схмотехническое моделирование на компьютере, например, с помощью программ Electronics Workbench или

Multisim, Micro-Cap и MatLab, то у студентов теряется физическая реальность. Если не использовать компьютерные технологии, то только обработка и оформление данных лабораторного эксперимента в рамках традиционно-организованного учебного процесса занимает у студентов необоснованно много времени.

Методика проведения натуральных работ давно и подробно разработана, проанализирована и обобщена в деталях, поэтому в докладе на примере учебно-лабораторного комплекса «Силовая электроника» [2] рассматриваются вопросы комплекса аппаратных, программных и методических средств, обеспечивающих проведение автоматизированных лабораторных и учебно-исследовательских работ на физических и технических объектах – лабораторных установках, стендах и моделях.



Излагаются общие вопросы: место и функции компьютера в эксперименте, а также при проведении лекционных и практических занятий; назначение и структура компьютерной лаборатории; ее аппаратные и

программные средства; штатные интерфейсы компьютера; способы представления информации; схемотехника эксперимента и обработка его результатов.

Одной из причин использования моделирующих программ в обучении является необходимость моделирования и визуализации динамических процессов, которые невозможно воспроизвести в обычной учебной лаборатории. В моделирующих программах используется интерактивная графика, позволяющая обучаемому наблюдать изучаемый процесс и исследовать эффекты влияния регулируемых параметров на конечный результат, например, регулирование напряжения и тока в нагрузке.

Перспективным направлением в учебном процессе является организация и выполнение лабораторных работ на основе аппаратно-программного комплекса, использующего инструментальные средства компьютерного моделирования по виртуально-приборной технологии [3].

Программа, созданная в LabVIEW (Laboratory Virtual Instrument Engineering Workbench – среда разработки лабораторных виртуальных приборов), называется виртуальным инструментом или прибором.

Многоплатформенная среда LabVIEW используется на компьютерах с различными операционными системами: Windows, MacOS, Linux, Solaris и HP-Ux. Программный продукт LabVIEW представляет собой среду графического программирования, который используется в промышленности, образовании и научно-исследовательских лабораториях в качестве стандартного инструмента для проведения измерений, сбора данных и их анализа и управления измерительными приборами.

Виртуальный прибор в учебной лаборатории – это средство измерений, представляющее собой, как правило, персональный компьютер, снабженный дополнительно прикладным программным обеспечением, например, таким как «Исследование статических характеристик полупроводниковых приборов; одно- и многокаскадных усилителей; операционных усилителей» в курсе физических основ электроники и различными измерительными модулями, например, многофункциональной платой аналогового и цифрового ввода-вывода и внешним макетным коннектором, на котором собираются электрические схемы лабораторных работ.

Учебно-методический комплекс «Силовая электроника» предназначен для моделирования реальных объектов и процессов с помощью компьютера.

Основной целью внедрения комплекса в лабораторную практику по курсам промышленной и энергетической электроники является: а) совершенствование учебного эксперимента; б) реализация его основных видов – натурального, модельного и вычислительного; в) расширение функций компьютера в учебном процессе; г) использование новых информационных технологий в преподавании общепрофессиональных и специальных дисциплин.

Аппаратная часть учебно-методического комплекса выполнена по модульному принципу и содержит: а) натурные аналоги электрических компонентов выпрямительно-инверторных преобразователей; б) измерительные преобразователи и приборы; в) IBM – совместимый персональный компьютер

со встроенной платой ввода-вывода информации PCI6024E фирмы «National Instruments»; г) электромашинную нагрузку с маховиком: машина постоянного тока, асинхронный двигатель и преобразователь угловых перемещений; д) нагрузки: активная, индуктивная и активно-индуктивная с противо-ЭДС; е) источники питания.

Аппаратные средства комплекса «Силовая электроника» обладают следующими свойствами:

- модульностью, то есть лабораторный стенд состоит из отдельных блоков, которые можно конфигурировать по-разному в зависимости от требований соответствующей учебной дисциплины, уровней преподавания и подготовки обучаемых, содержания лабораторной работы;
- совместимостью, то есть возможностью сопряжения с уже имеющимися и вновь создаваемым учебно-лабораторным и экспериментальным оборудованием, а также со стандартной измерительной и вычислительной аппаратурой;
- универсальностью, то есть возможностью использования учебного стенда на разных уровнях образования, при разной профессиональной направленности обучения и для организации междисциплинарных связей.

Программная часть комплекса «Силовая электроника» включает:

- программную среду персонального компьютера Windows 98/2000/XP;
- LabVIEW программное обеспечение;
- универсальную программу «Виртуальный прибор – преобразовательная техника» и комплект специализированных программ, созданных в инструментальной среде разработки приложений LabVIEW, например, таких как управление выпрямителем и инвертором; реверсивный преобразователь; преобразователь частоты и напряжения и т.д.

Особенностью работы в учебной лаборатории является необходимость и возможность использования разнообразных программных средств для создания прикладного программного обеспечения в учебных курсах. Программы высокого технологического уровня используют готовые оболочки типа LabWindows и LabVIEW, предназначенных для различных компьютерных систем, сбора и обработки экспериментальных данных (информационный канал электропривода) и управления техническим оборудованием (силовой канал автоматизированного электропривода). Разработка интерфейса пользователя в виде виртуальных приборов, имитирующих реальные устройства, заметно облегчает работу пользователя. Однако их создание требует значительных затрат времени и высокой квалификации программистов.

Таким образом, эффективное проведение лекционных, практических и лабораторных занятий по учебному курсу электроники предполагает наличие персональных компьютеров, специального учебного оборудования, программного и методического обеспечения.

Литература

1. Тревис Дж. LabVIEW для всех. – М.: ДНК Пресс; Прибор Комплект, 2004. – 544 с.

2. Сенигов П.Н., Карпеш М.А., Красногорцев И.Л. Учебный комплекс «Силовая электроника». Руководство по выполнению базовых экспериментов. /Под ред. П.Н.Сенигова. – Челябинск: ООО «Учебная техника», 2003. – 173 с.
3. Батоврин В.К., Бессонов А.С., Мошкин В.В. LabVIEW: практикум по электронике и микропроцессорной технике: Учебное пособие для вузов. – М.: ДМК Пресс, 2005. – 182 с.