

## **Секция 14**

**Современные технологии в электротехнике,  
электромеханике, электроэнергетике**

## Содержание

Абрамова Е.Я., Алешина С.К. К ВОПРОСУ О ПОТЕРЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ.....	3
Голубенко Д.В. ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА.....	7
Горбунова С.В. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ.....	14
Гумовский Ю.Н. ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА.....	18
Кувайцев В.И. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ.....	23
Леонов А. В., Пикулев И. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ–РЕГУЛЯТОРА ТРМ1 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОМАССООБМЕНА.....	26
Липилин А.А. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ (АИИС КУЭ).....	34
Никиян Н.Г., Митрофанов С.В. БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ КЛЕТКОЙ РОТОРА.....	43
Омон А. Б. СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТКИ СТАТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН .....	48
Пилипенко В.Т., Пилипенко О.И. РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ-ЭЛЕКТРИКОВ.....	52
Полынев В.Т., Полынев Т.В. СИНТЕЗ СХЕМ НА ОСНОВЕ ТРЕХЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ.....	54
Раимова А.Т. РАЗРАБОТКА АСУ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ.....	55
Сандаков С.А. ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ.....	60
Смотраева Г.Н. ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ПРОИЗВОДСТВО.....	71
Чиндяскин В.И. РЕШЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРИ РЕМОНТЕ И ЗАМЕНЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ.....	79
Чиндяскин В.И., Кильметьева О.И., Кузнецова О.С. ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ ПРОГРАММ-ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ».....	81

# Абрамова Е.Я., Алешина С.К. К ВОПРОСУ О ПОТЕРЯХ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ В ЭНЕРГОСИСТЕМАХ

## Оренбургский государственный университет

Производство на электростанциях каждого киловатт-часа требует определенных затрат, поэтому стоимость потерянных «киловатт-часов» должна быть возмещена увеличением стоимости энергии, дошедшей до потребителя.

Покупатель электроэнергии не может выбрать более дешевую энергию, так как существует естественный монополист, и законы рынка в отношении цены не действуют. Поэтому проверку обоснованной цены (то есть уровня потерь) проводят государственные органы – региональные энергетические комиссии (РЭК).

Единственной величиной, известной достоверно и не требующей проверки, являются фактические (отчетные) потери. Они представляют собой простую разность между количеством электроэнергии, полученной сетью от электростанций, и электроэнергией, оплаченной потребителями. Входят ли в эту разность только транспортные потери или включают в себя и другие виды потерь электроэнергии (например, коммерческие) и определяет РЭК, оценивая, соответствует ли уровень потерь, предполагаемый энергоснабжающей организацией для включения в тариф, техническим параметрам оборудования сети или покрывает и часть хищений электроэнергии. Решить эту задачу можно, лишь правильно представляя себе реальную структуру отчетных потерь.

Структура потерь может быть представлена с различной степенью детализации. Детальная структура потерь необходима для поиска очагов потерь и разработки конкретных мероприятий по их снижению. В общем виде структуру потерь можно разделить на четыре основные группы:

1. Технические потери электроэнергии, обусловленные физическими процессами, происходящими при передаче электроэнергии по электрическим сетям и выражающимися в преобразовании части электроэнергии в тепло в элементах сетей. Технические потери не могут быть измерены. Их значения получают расчетным путем на основе известных законов электротехники.

2. Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций, необходимый для обеспечения работы технологического оборудования подстанций и жизнедеятельности обслуживающего персонала. Расход электроэнергии на собственные нужды подстанций регистрируется счетчиками, установленными на трансформаторах собственных нужд.

3. Потери электроэнергии, обусловленные инструментальными погрешностями ее измерения (инструментальные потери). Эти потери получают расчетным путем на основе данных о метрологических характеристиках и режимах работы используемых приборов.

4. Коммерческие потери, обусловленные хищениями электроэнергии, несоответствием оплаты за электроэнергию бытовыми потребителями показаниям счетчиков и другими причинами в сфере организации контроля за потреблением энергии. Коммерческие потери не имеют самостоятельного математического описания и, как следствие, не могут быть рассчитаны автономно. Их значение определяют как разницу между фактическими (отчетными) потерями и суммой первых трех составляющих, представляющих собой технические потери.

Из приведенной структуры очевидно, что основной задачей является правильная оценка первых трех составляющих потерь электроэнергии. Методы расчета технических потерь электроэнергии разрабатывались и совершенствовались в течение длительного времени. В настоящее время они внедрены в большинстве АО-энерго и у специалистов практически нет разногласий по принципиальным положениям методологии их расчета.

Фактический расход электроэнергии на собственные нужды подстанций фиксируется счетчиками, а нормативный расход определяется в соответствии с действующей инструкцией. Несмотря на то, что этот документ весьма старый и необходим его пересмотр, сама методология нормирования также не вызывает особых споров.

Менее проработанной является методология расчета и нормирования потерь, обусловленных погрешностями приборов учета электроэнергии. Отчетные данные по этому вопросу подтверждают – реальная ситуация соответствует недоучету, а не переучету энергии. Причины этого следующие:

1. Технические характеристики новых трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН) таковы, что в реальных условиях они работают в зоне отрицательных погрешностей.

2. Старение магнитных материалов ТТ и ТН, а также механизмов электросчетчиков (сроки службы которых не вышли за пределы нормированных межпроверочных интервалов) приводит к недоучету 7-10 % энергии за счет измерительных трансформаторов и тех же 7-10 % за счет счетчиков.

3. Реальные режимы и условия эксплуатации измерительного оборудования (перегрузка вторичных цепей ТТ и ТН, эксплуатация счетчиков с просроченными сроками проверки и т.п.) приводят к еще большему увеличению отрицательной погрешности.

Очевидно, что не все из перечисленных обстоятельств, приводящих к систематической отрицательной погрешности систем учета электроэнергии, можно считать нормальным (особенно последние два). Энергоснабжающие организации должны проводить целенаправленные мероприятия по улучшению характеристик систем учета. Приведение ситуации в порядок требует времени и значительных средств, поэтому в течение достаточно длительного времени недоучет электроэнергии будет реально существовать, а игнорирование этого обстоятельства при анализе отчетных потерь будет приводить к искажению

представлений о направлениях работ по их снижению. Недоучет электроэнергии будет необоснованно списан на ее хищение.

Между тем в настоящее время в России нет нормативного документа, устанавливающего порядок оценки недоучета электроэнергии в реальных условиях эксплуатации измерительных приборов.

Конечной целью проведения мероприятий по снижению потерь электроэнергии в электросетях является снижение расхода топлива на электростанциях в расчете на отпущенный потребителю киловатт-час. Величина этого расхода снижается как за счет проведения мероприятий по снижению удельных расходов топлива на станциях, так и за счет снижения фактических потерь электроэнергии. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии (МСП) делятся на три группы:

1) организационные, к которым относятся МСП по совершенствованию эксплуатационного обслуживания электрических сетей и оптимизации их схем и режимов (практически беззатратные МСП);

2) технические, к которым относятся мероприятия по реконструкции, модернизации и строительству сетей (МСП, требующие дополнительных капиталовложений);

3) мероприятия по совершенствованию учета электроэнергии, которые могут быть как практически беззатратными, так и требующими дополнительных затрат (при организации новых точек учета). Эти мероприятия не снижают физически существующих потерь электроэнергии, однако, они упорядочивают учет, уточняют исходную информацию, делая более эффективными организационные МСП, и в ряде случаев снижают коммерческие потери, приводя к снижению и отчетных потерь. Структура МСП показана на рисунке 1:



Рис. 1 Структура мероприятий по повышению экономичности работы энергосистемы

Как показывают оценочные расчеты, около 10 % всего необходимого снижения потерь может быть достигнуто за счет организационных (в первую очередь режимных) мероприятий. Остальное снижение потерь может быть получено с помощью дополнительных капиталовложений в сети энергосистемы и потребителей.

Основным МСП является установка компенсирующих устройств (КУ) в сетях потребителей электроэнергии – 60 % всего необходимого снижения достигается с ее помощью. Около 20 % обеспечивает установка КУ в сетях 35-110 кВ энергосистемы, и в сельских сетях 0,4 кВ, и последние 10 % - остальные технические мероприятия.

# Голубенко Д.В. ВЕЙВЛЕТ-АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ ТЕПЛООБМЕНА

(Оренбургский государственный университет)

В настоящее время основным методом исследования процессов теплообмена в промышленном оборудовании является физический эксперимент. Использование измерительно-вычислительного комплекса /1/ в экспериментальных установках позволяет выполнять сбор и обработку на ЭВМ информации о важнейших параметрах процессов теплообмена.

На рисунке 1 приведены временные диаграммы потребляемой мощности, полученные в результате исследования автомобильного радиатора. Экспериментальная установка включала электродный парогенератор, питающийся от трехфазной сети напряжением 380 В, потребителем тепловой энергии пара служил исследуемый радиатор. По значениям потребляемой от электрической сети мощности и энергии можно получать оценки (с учетом потерь) тепловой мощности и энергии, рассеиваемой радиатором.

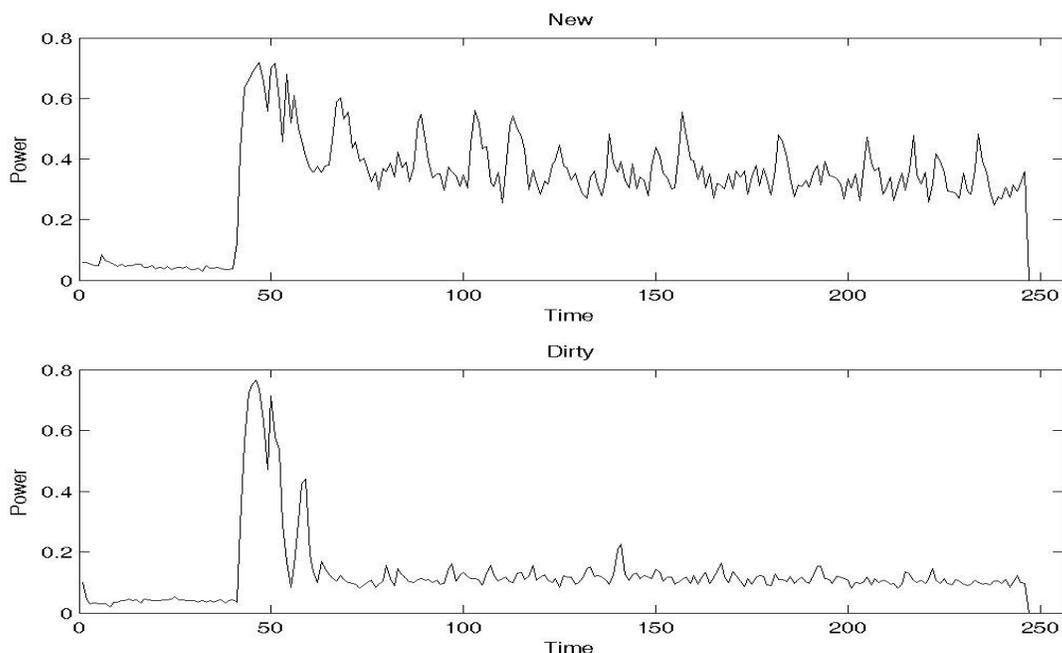


Рисунок 1 – Потребляемая мощность при новом и грязном радиаторе

Основным параметром, оценивающим качество радиатора, является рассеиваемая мощность, т.е. чем больше мощность, тем лучше радиатор. На рисунке 1 верхний график мощности получен при исследовании нового радиатора, а нижний график – старого радиатора с загрязненной поверхностью.

Интегрирование на временном интервале рабочего режима этих графиков позволяет получить оценки средней мощности. Сравнение полученных результатов позволяет сделать вывод о снижении эффективности радиатора в результате длительной эксплуатации более чем в два раза.

Также представляет интерес исследование характера диаграмм мощности. Диаграммы явно свидетельствуют о недостатках конструкции экспериментальной установки, выражающихся в наличии бросков мощности. Броски возникают вследствие колебаний уровня воды в парогенераторе при изменении давления пара. Вытесненная из парогенератора при повышении давления вода поступает в резервную емкость, в результате чего снижается потребляемая мощность. При этом часть энергии, затраченной на нагрев воды, теряется, т.е. происходят потери мощности. Эти потери снижают к.п.д. экспериментальной установки и искажают результаты измерения эффективности работы радиатора.

Для совершенствования конструкции установки необходимо понимание природы протекающих процессов. Дополнительную информацию можно получить, исследуя не только графики мощности во временной области, но их частотные отображения.

На сегодняшний день основным методом анализа информационных сигналов являются спектральные методы анализа, в частности преобразование Фурье, основанные на использовании тригонометрических базисных систем. Особенно эффективно Фурье преобразование, если исследуемый сигнал близок по своему характеру к периодическим колебаниям. При исследовании локальных особенностей сигнала, имеющих резкие перепады или единичные пики, преобразование Фурье теряет свою эффективность вследствие того, что базисная система не локализована во временной области.

Для преодоления этой трудности в последние годы был предложен новый подход, на базе которого возникло целое направление в теории сигналов, получившее название вейвлет-анализа. На данный момент накоплены многочисленные примеры применения вейвлет-технологии в решении ряда математических и физических задач /2/:

- передача данных от сейсмических датчиков с высокой скоростью и высокой степенью компрессии;

- анализ радиационных и нейронных спектров;
- решение задач численного дифференцирования зашумленных сигналов;
- восстановление сигнала из свертки;
- решение гиперболических уравнений в задачах геофизики;
- исследование явлений турбулентности и др.

Использование вейвлетов в медицине, уже стало классическим примером, вейвлет обработка кардиограммы /3/ или анализ сигналов, излучаемых мозгом человека, позволяет по-новому взглянуть на процесс постановки диагноза.

Большой интерес вызывает применение вейвлетов для оценки локальных свойств различных функций – например, элементарных и специальных математических. С помощью вейвлет-спектрограмм можно выявить наличие у функции разрывов и точек перегиба, нарушения непрерывности производных и другие детали их формы – в том числе и не относящиеся к локальным (например, существование периодичности функций, асимптот и т.д.). Особенно поражает способность вейвлетов выделять скачки и разрывы у функций.

Вейвлет-анализ изображений с успехом применяется в микроскопических исследованиях, в ходе которых на микрофотографии после вейвлет-анализа можно выделить особенности, визуально обнаружить которые до обработки, практически невозможно. Этот факт позволил использовать вейвлеты для решения задач распознавания образов. В результате была создана методика идентификации эритроцитов крови, основанная на вейвлет-корреляции, совмещаемой с обработкой изображения по данным микроскопического исследования.

На вейвлет-обработке и компрессии/декомпрессии сигналов изображений построен массовый и перспективный стандарт сжатия изображений фотографического качества JPEG-2000. Новый стандарт обеспечивает степень сжатия изображений цветных фотографий до 200 раз при значительном снижении искажений изображений.

Системы компьютерной математики (СКМ), такие как MatLAB, MatCAD, Mathematica, включают в свой состав пакеты расширения по вейвлетам, являющихся мощными инструментальными средствами для изучения, создания и применения вейвлетов и проведения вейвлет-преобразования (ВП). В данной работе применялся пакет расширения системы MatLAB Wavelet Toolbox /3/.

Интересуясь в исследуемом сигнале, прежде всего локальными особенностями, первым шагом в исследовании был кратномасштабный вейвлет-анализ, позволяющий провести многоуровневый анализ исследуемого сигнала.

При исследовании сигналов полезно их представление в виде совокупности последовательных приближений грубой (аппроксимирующей)  $A_m(t)$  и уточненной (детализирующей)  $D_m(t)$  составляющих

$$S(t) = A_m(t) + \sum_{j=1}^m D_j(t) \quad (1)$$

с последующим уточнением итерационным методом. Каждый шаг уточнения соответствует определенному масштабу  $a^m$  (т.е. уровню  $m$ ) анализа (декомпозиции) и синтеза (реконструкции) сигнала. Такое представление каждой составляющей сигнала вейвлетами можно рассматривать как во временной, так и в частотной областях. В этом суть кратномасштабного анализа (КМА).

Пусть имеется непрерывный сигнал  $S(t)$ . Дискретный сигнал  $S_d$  интерпретируем как последовательность коэффициентов  $a_k$ , полученную в ходе КМА сигнала  $S(t)$  при масштабирующих функциях  $\varphi_{0k}(t)$ :

$$S(t) = A_0(t) = \sum_k a_{0k} \varphi_{0k}(t), \quad (2)$$

где  $a_k$  – коэффициенты аппроксимации.

По концепции КМА сигнал  $S(t)$  декомпозируется на две составляющие:

$$S(t) = A_1(t) + D_1(t) = \sum_k a_{1k} \varphi_{1k}(t) + \sum_k d_{1k} \psi_{1k}(t), \quad (3)$$

где  $\psi_k$  – вейвлет функция.

Следовательно, получаются две новые последовательности  $a_{1k}$  и  $d_{1k}$ . Далее процесс декомпозиции может быть продолжен по  $A_1(t)$  [2].

В ходе исследования графиков мощности в СКМ MatLAB с помощью функции `detcoef` были получены детализирующие (вейвлет) коэффициенты первого и второго уровня. Большой интерес представляют компоненты сигнала, которые соответствуют найденным вейвлет коэффициентам. Для нахождения компонент сигнала было произведено прямое восстановление по каждому набору детализирующих коэффициентов (функция `ircscoef`).

Полученные результаты необходимо было представить в виде, пригодном для непосредственного анализа. Для этого были выбраны два подхода: статистический и спектральный.

Для статистического исследования детализирующих коэффициентов и элементов сигнала, соответствующих этим коэффициентам, было найдено среднее квадратичное отклонение.

Второй способ получения характеристик сигналов состоял в том, чтобы исследовать энергетический спектр их преобразования Фурье.

Рассмотренное выше использование ВП основывалось на временном подходе. Однако также плодотворна трактовка ВП в частотной области на базе частотной фильтрации. В этом случае КМА сигнала рассматривается как поэтапная процедура фильтрации. При этом частотный образ  $\psi(\omega)$  вейвлета  $\psi(t)$  можно разбить на низкочастотную и высокочастотную составляющую с частотой раздела, равной  $\omega_d/2$ , т.е. представить реализацией двух фильтров.

Процесс декомпозиции сигнала применяется как для низкочастотных, так и для высокочастотных компонент сигнала, в ходе которой получается структура (дерево) вейвлет-представления сигнала. Вейвлет коэффициенты, полученные в узлах дерева, носят название пакетных вейвлет-коэффициентов.

Для получения очередных числовых характеристик можно использовать пакетные вейвлет-коэффициенты и соответствующие компоненты сигналов аналогично операциям, проведенным при многоуровневом анализе. Для полученных таким образом компонент сигнала можно получить статистические характеристики.

В случае пакетного вейвлет-разложения есть возможность для получения еще одной числовой характеристики – значения энтропии коэффициентов в узлах

дерева разложения. Существует много разных определений энтропии, например по Шеннону

$$E = - \sum_i S_i^2 \cdot \log(S_i^2) \quad (4)$$

В случае пакетного разложения большая энтропия свидетельствует о “размазанности” сигнала по базисным функциям, малая - имеет место, когда большая часть нормы сигнала сосредоточена на малом числе базисных функций /4/. Хотя основным применением энтропии является компрессия сигнала, в данном случае это еще один числовой параметр.

При использовании прямого непрерывного вейвлет-преобразования (ПНВП) в исследовании свойств сигнала, основным объектом исследования становится вейвлет-спектрограмма. ПНВП сигнала  $S(t)$  задается, по формальной аналогии с преобразованием Фурье, путем вычисления вейвлет-коэффициентов по формуле /2/:

$$C(a,b) = \int_{-\infty}^{\infty} S(t) a^{-1/2} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (5)$$

При этом вейвлет  $\psi(t)$  должен обеспечить две основные операции:

- сдвиг по оси времени  $t - \psi_0(t - b)$  при  $b \in R$ ;
- масштабирование  $- a^{-1/2} \psi_0(t/a)$  при  $a > 0$  и  $a \in R^+$ ;

Спектрограммы исследуемых сигналов мощности, построенные в MatLAB с помощью функции `cwt`, представлены на рисунке 2.

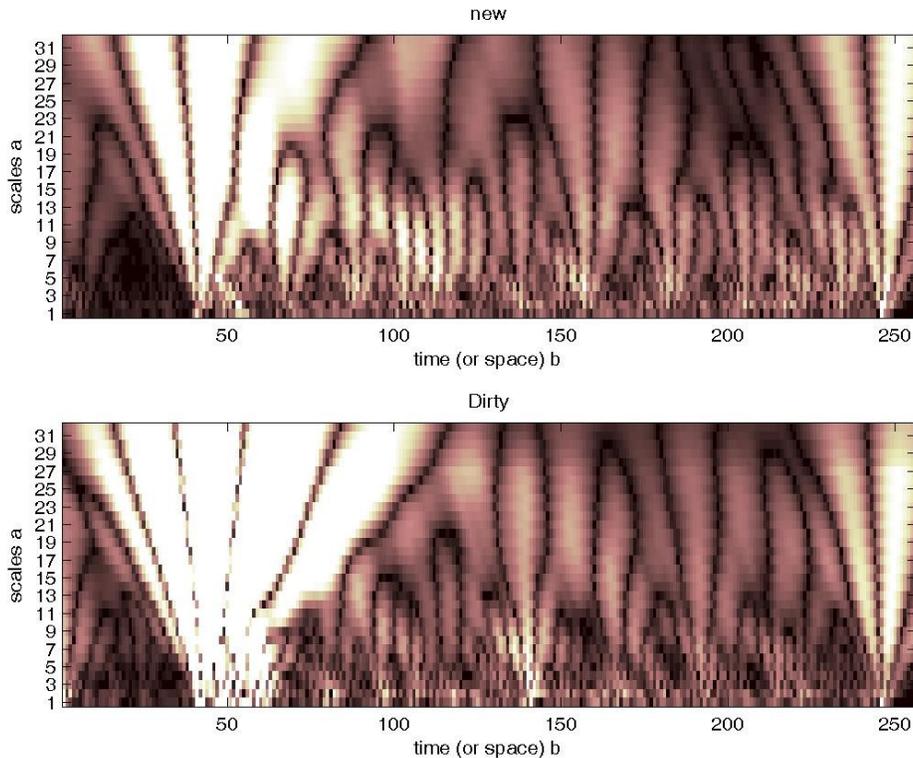


Рисунок 2 – Вейвлет-спектрограмма

Спектрограмма представляет собой зависимость коэффициентов вейвлет-представления (масштаба) от времени. При этом внизу спектрограммы расположены малые значения масштаба, представляющие детальную картину сигнала, а вверху – большие значения  $a$ , дающую огрубленную картину. Значения коэффициентов определяют цвет соответствующей области вейвлет-спектрограммы.

В нижней части спектрограммы хорошо просматриваются высокочастотные составляющие. Наличие расхождения белых полос (максимальные значения вейвлет-коэффициентов) свидетельствует о разрывах сигнала. Чередование светлых и темных областей в средней части спектрограммы говорит о периодичности процессов. Это не вся информация, которую можно получить из вейвлет-спектрограммы. Детальное изучение вейвлетов различных типов делают возможным исследовать особенности представления сигналов, полученных экспериментально, как во временной, так и частотной областях и получать дополнительную информацию о исследуемых объектах и процессах.

### **Список использованной литературы:**

1. Пославский А.П., Хлуденев А.В. Оценка эффективности энергосберегающих технологий и оборудования на предприятиях автотранспортного комплекса. //Вестник ОГУ (Приложение “Автотранспортные системы”). – 2004. – С. 66 - 70.
2. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М. СОЛОН-Пресс. – 2004. – 400 с.
3. Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MatLAB. – М. ДМК Пресс. – 2005. – 304 с.
4. Яковлев А.Н. Основы вейвлет-преобразования сигналов. Учебное пособие. – М.: САЙНС-Пресс, 2003. – 80 с.

# Горбунова С.В. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ В ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИКЕ

## ГОУ СПО Кумертауский горный колледж

Современные технологии в электроэнергетике – это означает, во-первых, формирование эффективной, инновационной политики, во-вторых, создание интеллектуальной безотказной системы передачи и распределения энергии в условиях формирующегося рынка электроэнергии и обеспечения доступа объектов к этому рынку на всей территории Российской Федерации и других стран.

В последние годы большое и обоснованное внимание уделяется малой энергетике, развитию нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии. Это дизельные электротепловые станции, обеспечивающие комбинированную выработку электрической и тепловой энергии за счет утилизации тепловых потерь. На таких электротепловых станциях в выхлопной тракт дизеля включаются пассивные или активные котлы-утилизаторы, в которых теплота горячих газов передается в воде системы теплоснабжения объекта. В тепловую схему дизельных электротепловых станций могут включаться тепловые насосы для повышения температуры охлаждающей дизель воды до уровня, при котором возможно ее использование в системе теплоснабжения.

Применение дизельных электротепловых станций особенно эффективно для небольших объектов с потребляемой электрической мощностью до нескольких тысяч кВт и относительно ограниченным теплоснабжением при соотношении между тепловой и электрической нагрузкой от 1,0 до 4,0. Коэффициент использования топлива при раздельном получении электроэнергии от дизельных электростанций и тепла от котельной на таких объектах находятся в пределах 0,45 – 0,65. Применение дизельных электротепловых станций увеличивает этот коэффициент до 0,8 – 0,85.

В последнее время большое внимание привлекают газодизельные электростанции и электростанции с газовыми двигателями, использующие в качестве топлива природный газ. Газодизельные электростанции обладают хорошими экологическими характеристиками, поскольку состав выхлопных газов у них отвечает самым строгим мировым экологическим стандартам.

Применение газодизельных электростанций целесообразно в зонах, имеющих систему газоснабжения. В этих условиях по стоимости электроэнергии и срокам окупаемости капиталовложений газодизельные электростанции могут конкурировать не только с обычными дизельными электростанциями, но даже и с системами централизованного электроснабжения, использующими мощные традиционные электростанции. В зонах без систем газоснабжения возможно

применение газодизельных электростанций, использующих привозной сжиженный природный газ.

Электростанции с дизельными и газовыми двигателями имеют большое значение для решения проблемы как обеспечение энергией огромных территорий, не охваченных централизованным электроснабжением.

### **Малая и нетрадиционная теплоэнергетика**

В теплофикации в настоящее время преобладают мощные централизованные системы теплоснабжения, вырабатывающие около двух третей всего потребляемого тепла. Однако наряду с совершенствованием и модификацией централизованных систем теплоснабжения даже в зоне их действия в последние годы набирает темпы строительство автономных децентрализованных систем, главным образом от газовых котельных. Преимуществом такого решения является то, что котельные установки малой мощности требуют значительно меньших инвестиций при строительстве, обеспечивают потребителю большую независимость и надежность снабжения теплом. Коэффициент полезного действия современных автоматизированных газовых котлов достигает 92 – 93%. В автономных системах отсутствуют потери, связанные с транспортировкой теплоносителя на значительные расстояния и с неточным избыточным распределением тепловой энергии между многочисленными потребителями. Соответственно в таких системах металлоемкость распределительных трубопроводов значительно ниже. Для размещения автономных газовых котлов не требуется строительство специальных зданий, а для их обслуживания нет необходимости в постоянном эксплуатационном персонале (котельная на замке).

Указанное направление малой теплоэнергетики является очень перспективным и требует к себе самого пристального внимания.

Новая технология направлена на оптимизацию работы систем теплоснабжения, повышения их надежности при упрощении обслуживания и автоматизации процессов. Безаварийная надежная работа тепловых сетей определяется комплексом мероприятий по борьбе с коррозией, которая является бичом современной теплоэнергетики. И если с наружной коррозией можно кардинально бороться при помощи антикоррозионных покрытий или, применяя современные инструкции тепловых сетей в пенополиуретановой изоляции типа «труба в трубе» (т.е. закладывая при строительстве или ремонте длительный ресурс и высокую надежность), то все усилия и затраты могут быть напрасными, если не соблюдается водно-химический режим на теплоснабжающем предприятии.

Именно внутренняя коррозия требует к себе более тщательного подхода и постоянного контроля, или, другими словами, громоздкого оборудования и грамотного персонала. Наверное поэтому, многим проще не использовать уже установленное в котельной оборудование химводоподготовки, чем наладить его

нормальную работу. Тем более что выключенный из работы деаэратор (или его отсутствие) на подачу тепла «не влияет», а о причинах роста аварийности на тепловых сетях и требуемых ежегодных переключений никто не задумывается, при том что 40 – 50% всех аварий на тепловых сетях происходят из-за внутренней коррозии, т.е. от несоблюдения водно-химического режима.

Предлагается новая вакуум-атмосферная технология деаэрация воды «АВАКС». Деаэрацией воды называется процесс, имеющий целью удаления из нее растворенных агрессивных газов – кислорода и углекислоты. Деаэрация увеличивает срок службы котлов и теплосетей в 2-5 раз. Техническая характеристика этой установки на фоне традиционных решений выглядит почти неправдоподобно: при производительности выпускаемых деаэраторов от 5 до 50 м<sup>3</sup>/час, температура воды от 6<sup>0</sup> С, а масса деаэратора 30 – 40 кг! Давление деаэрированной воды на выходе из деаэратора превышает атмосферное, несмотря на то, что выпар удаляется эжектором. В вакуум-атмосферных деаэраторах «АВАКС» кроме термической деаэрации используются процессы дросселирования, кавитации, турбулентной диффузии, центрабежной сепарации, что позволяет увеличить скорость деаэрации в 300 раз. Это дало возможность уменьшить объем деаэратора, рабочую массу, «сухую массу» по сравнению с вакуумными деаэраторами типа ДВ в десятки и сотни раз. Испытания показали не только работоспособность конструкции, но и ее практичность в эксплуатации.

Но самая главная особенность оборудования «АВАКС» заключается в том, что деаэрация осуществляется без подвода пара. Учитывая то, что эксплуатация установки очень проста и сводится только к ее пуску и остановке, такое оборудование может стать типовым решением проблем с деаэрацией в водогрейных котельных, в т.ч. муниципальных, где вопрос квалифицированных кадров стоит сегодня особенно остро.

Установка может стать находкой для ведомственных котельных, которые, потеряв промышленную паровую нагрузку из-за остановки предприятий, продолжают осуществлять теплоснабжение близлежащего жилищного фонда и в связи с этим переводятся в более экономичный водогрейный режим. Нужно отметить, что деаэраторы «АВАКС» не требуется регистрировать в органах Госгортехнадзора и Госэнергонадзора.

Конструктивная особенность оборудования «АВАКС» позволяет устанавливать его непосредственно в котельной на «нулевой отметке», т.е. деаэратор вписывается в схему котельной без необходимости его поднимать на несколько метров т.е. не требуется монтаж вышки и прокладка внешних коммуникаций (что иногда в небольших котельных приводит к установке обычного деаэратора на крыше).

Малые габариты, минимальные затраты на монтаж, низкая стоимость, запуск и выход на режим в течение двух минут и стабильные результаты деаэрации ( $O_2 < 20$  мкг/дм<sup>3</sup>) – все эти качества позволяют говорить о высокотехнологичной «революции» в теплоэнергетике.

Параметры деаэрации

T – от 60<sup>0</sup>C

O<sub>2</sub> < 20 мкг/дм<sup>3</sup>.

Время выхода на рабочий режим - 2 мин.

Пара и вышки не требуется.

Затраты на монтаж «АВАКСа» - меньше в 100 раз.

Рабочая масса – меньше в 50 раз.

Габариты – меньше в 250 раз в сравнении с деаэраторами типа ДВ.

Масса «АВАКСа» - 30-40 кг.

Производительность «АВАКСа» - от 5 до 50м<sup>3</sup>/час.

# Гумовский Ю.Н. ИСТОЧНИК ТОКА ДЛЯ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ СВАРОЧНОГО ПРОИЗВОДСТВА

Оренбургский государственный университет

Автономная энергетическая система «источник тока – сварочная дуга» находится под непрерывным воздействием различных возмущений. Если источник тока электродуговой сварки подключен к промышленной энергосистеме, то появляются дополнительные возмущения в системе «источник тока – сварочная дуга». Это явления переходного режима, которые возникают в результате разнообразных коммутационных операций и других нежелательных переходных явлений, связанных с замыканиями на землю, короткими замыканиями и обрывами проводов, грозами и т.п. Подобные происшествия приводят к серьезным нарушениям нормальной работы не только промышленной энергосистемы, но и в системе «источник тока – сварочная дуга» через индуктивные трансформаторные связи. В результате происходит изменение количественных и качественных параметров, характеризующих внутреннее состояние системы, режим ее работы, а также количество подводимой и отводимой от нее энергии. Вследствие изменения этих параметров может произойти нарушение внутреннего равновесия в системе, возникнуть недопустимое отклонение тока и напряжения сварочной дуги, приводящее к снижению качества сварки.

Применение автоматических регуляторов, воздействующих на энергетическую систему «источник тока – сварочная дуга», позволяет свести до минимума влияние этих возмущений на технологический процесс сварки. Задача регулирования чаще всего сводится к стабилизации тока и напряжения сварочной дуги, к изменению количественных параметров, характеризующих приток энергии в систему, и, тем самым, к восстановлению заданного режима работы энергетической системы [Л. 1]. Задача регулирования усложняется, если в качестве источника тока используется понижающий сварочный трансформатор или трансформатор с управляемым мостовым выпрямителем, которые потребляют первичную электроэнергию из промышленной энергосистемы. Дело в том, что переходные процессы в промышленной энергосистеме в этом случае затухают сравнительно медленно [Л. 2], в течение времени, которое иногда превышает 1 с (постоянная времени сварочной дуги  $\tau \approx 10^{-8}-10^{-9}$  с). Волнообразное распределение напряжений и токов в промышленной электросети может явиться причиной очень серьезных нарушений сварочных режимов.

Динамическое равновесие системы [Л. 3] «источник тока – сварочная дуга» характеризуется уравнением:

$$\Delta I = \Delta I_0 e^{-1/L_{\text{ли}}(dU_{\text{д}}/dI - dU_{\text{и}}/dI)t}$$

Чтобы система была устойчивой, необходимо выполнение условия:

$1/L_n (dU_d/dI - dU_n/dI) > 0$ , где  $dU_d/dI = R_d$  – динамическое сопротивление дуги;

$dU_n/dI = R_n$  – динамическое сопротивление источника питания.

Постоянная времени дуги  $\tau_d = L_n/R_d$  обусловлена в данный момент времени параметрами – индуктивностью источника тока и динамическим сопротивлением дуги.

Постоянная времени источника  $\tau_n = L_n/R_n$  обусловлена в данный момент времени индуктивностью источника и динамическим сопротивлением источника питания.

Различают три основных случая поведения системы после возмущения:

- система не может восстановиться в равновесное состояние,  $\Delta I$  все больше отклоняется от заданного, расходящийся процесс объясняется нарушением:  $\tau_n > \tau_d$ ;
- система возвращается к равновесному состоянию, значение  $\Delta I$  отличается от заданного на величину статической погрешности системы; устойчивость и качество переходного процесса повышаются с увеличением разности между быстродействием сварочной дуги и быстродействием источника питания в приведённом неравенстве  $1/\tau_d - 1/\tau_n > 0$ ;
- система характеризуется установившимися периодическими колебаниями  $\Delta I$ ; незатухающий колебательный процесс обусловлен равенством  $\tau_n = \tau_d$ ; угловая частота колебаний  $\Omega$  определяется из условия  $\Omega = 1/\tau_d = 1/\tau_n$ , а период колебаний  $T = 2\pi\tau_d = 2\pi\tau_n$ .

На основании вышеизложенного, в 70<sup>х</sup> гг. XX в. автором настоящей статьи была разработана физическая модель источника пульсирующего тока для полу- и автоматической импульсно-дуговой сварки плавящимся электродом в среде защитных газов.

Газоэлектрический метод сварки имеет ряд технологических преимуществ перед постоянным и переменным током промышленной частоты. С одной стороны, этот метод обеспечивает ограниченный объем наплавленного (электродного) металла без разбрызгивания и физически сплошные сварные швы с высокими механическими свойствами, а, с другой стороны, - нуждается в компактных преобразователях энергии с оптимальной адаптацией к динамическому и квазистатическому поведению сварочной дуги.

Для питания импульсных потребителей энергии применяют разнообразные типы источников, различающиеся как по принципу генерирования, накопления, преобразования энергии и ее передачи потребителю, так и по конструктивному исполнению.

Применение полупроводниковых приборов во многих областях техники дает значительный эффект. Особенно большие перспективы открываются в связи с развитием силовой полупроводниковой техники и возможностью создания органических электромашинно-полупроводниковых комплексов, где полупроводниковые вентили составляют неотъемлемую часть электрической машины и сообщают ей ряд свойств, которых она лишена как таковая. Недостатки существующих источников питания выдвинули необходимость создания универсальных электрических машин совмещенного (одномашинного) типа, которые могли бы генерировать регулируемый постоянный ток и однополярные импульсы, превышающие в несколько раз постоянный базовый ток. При этом частота, амплитуда и скважность импульсов должны иметь плавное изменение в заданных пределах. Одним из весьма эффективных и в то же время сравнительно недорогих способов является применение одномашинных электромеханических преобразователей с использованием намагничивающего действия реакции якоря в системе возбуждения [Л. 4; Л. 5].

Переход к одномашинному исполнению, т.е. тройное совмещение в одном магнитопроводе асинхронного двигателя и синхронных генераторов постоянного и импульсного токов, позволяет на 30-60% снизить массу источника, уменьшить его габариты, упростить конструкцию и технологию изготовления, повысить коэффициент мощности и КПД; обладает автономностью.

Исследования электромеханических и псевдоустановившихся процессов совмещенной машины проводились по полной системе дифференциальных уравнений, записанных в неподвижных осях  $\alpha$   $\beta$  для асинхронного двигателя и непреобразованных фазовых осях  $a - b - c$  для синхронных генераторов, с учетом переменного насыщения стали по путям основных разнополюсных магнитных потоков; учет насыщения стали по путям потоков рассеяния производился выбором насыщенных значений индуктивностей рассеяния обмоток отдельно для двигателя и генераторов. Решение дифференциальных уравнений осуществлялось численным методом Эйлера при использовании отдельных систем относительных единиц с базисными насыщенными взаимоиндуктивными сопротивлениями двигателя и генераторов. Анализ точности полученных результатов проводился сравнением данных численного решения и экспериментальных исследований в реальных промышленных условиях одномашинных вентильных преобразователей средней мощности.

Результаты испытаний одномашинного вентильного асинхронно-синхронного источника тока средней мощности при работе на дуговую нагрузку приводятся в таблице.

Таблица 1. Результаты промышленных испытаний на дуговую нагрузку

№ П/П	L <sub>выл.</sub> , мм	V <sub>св.</sub> , м/час	V <sub>п/п.</sub> , м/час	I <sub>возб.</sub> , А	U <sub>хх</sub> В	I <sub>ср дуги</sub> А	U <sub>ср дуги</sub> В	i <sub>баз.</sub> , А	i <sub>имп.</sub> , А	К	Газ Ar+CO <sub>2</sub>	Электрод (проволока) марка / d мм	Дуговой процесс	Угол наклона $\alpha^{\circ}$
1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.
1	25	22,2	16	15	48	410	29	180	825	4,6	Смесь: Ar-90%, CO <sub>2</sub> -10%	ЭП 704 / 2	чистый	31
2	25	22,2	16	14	46	410	27	220	800	3,6			хороший	31
3	25	22,2	16	14	44	410	24	250	750	3			хороший	31
4	25	22,2	7	18	40	210	22	105	450	4,3			струйный	20
5	25	22,2	11	12	46	340	28	140	720	5,1			хор., стр.	20
6	25	22,2	11	12	44	320	27	160	670	4,2			хор., стр.	20
7	20	22,2	14	14	48	420	27	200	600	3			хор., стр.	20
8	20	22,2	14	14	46	420	26	220	825	3,8			хор., стр.	20
9	20	22,2	11	12	46	320	29	110	790	7,2			хор., стр.	20
10	20	22,2	11	12	44	335	24,5	165	700	4,2			хор., стр.	20
11	20	22,2	7	8	40	220	21	115	490	4,2			хор., стр.	26

Благодаря простоте электрической схемы и конструкции одномашинный вентильный асинхронно-синхронный источник пульсирующего тока регулируемой частоты и амплитуды импульсов может найти широкое применение в энергостроительстве и других отраслях производства, позволит снизить массогабаритные показатели в целом и обеспечить автономность (независимость от промышленной энергетики), безбрызговые дуговые процессы в любых пространственных положениях крупногабаритных металлоконструкций со 100%-ным вложением электродного материала в сварочный шов, что является важным фактором в сварочных технологиях.

### Литература

1. Арсенов Г.П. Анализ переходных процессов энергетической системы «источник тока – сварочная дуга». – Судостроение, 1976. №5.

2. Гумовский Ю.Н., Редько Д.Н., Кильметьева О.И. Об особенностях коммутации линий электропередач // «Энергосбережение, электрооборудование, электроника». Материалы Всероссийской научно-технической конференции. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2005. – с.44-46.

3. Никитин В.П. Основы теории трансформаторов и генераторов для дуговой сварки. – М.: Изд. АН СССР, 1956.

4. А.С. 792518 (СССР). Сварочный преобразователь / Ю.Н. Гумовский, Г.А. Сипайлов, А.В. Лоос, А.А. Яковлев, Г.А. Федоренко. Оpubл. в Б.И., 1980, № 48. С. 265.

5. А.С. 792505 (СССР). Машинно-вентильный импульсный сварочный генератор / Ю.Н. Гумовский, А.В. Лоос, А.А. Яковлев. Оpubл. в Б.И., 1980, № 48. С. 262.

# Кувайцев В.И. ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЯ И НАДЕЖНОСТЬ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ

Оренбургский государственный университет

В настоящее время комплектные распределительные устройства (КРУ) на напряжения 6-35 кВ оснащаются в основном вакуумными и элегазовыми выключателями в силу их неоспоримых преимуществ (высокая надежность, простота эксплуатации, экологическая безопасность, высокие коммутационный и механический ресурсы) по сравнению с другими типами выключателей. Однако, при коммутации цепей этими выключателями возникают перенапряжения, величина которых может быть опасной с точки зрения пробоя изоляции электрооборудования, о чем свидетельствуют многочисленные проведенные исследования /1,2,3/.

Причинами возникновения перенапряжений являются, с одной стороны объективно существующие процессы в электрических сетях при их коммутации, с другой – вид дугогасящей среды и конструкция выключателя.

Любое включение или отключение какого-либо элемента сети (трансформатора, электродвигателя, конденсаторной батареи, воздушной или кабельной линии и т.д.) вызывает переходный процесс с установлением нового режима, в котором напряжение на емкостях оборудования относительно земли или между фазами может достигать величин значительно больших, чем номинальное напряжение электрической сети. Например, при включении (пуске) высоковольтного электродвигателя возможно возникновение перенапряжений с кратностью до 3,3 относительных единиц (о.е.) по отношению к амплитуде наибольшего рабочего напряжения, что опасно для его изоляции. При отключении двухфазного или трехфазного замыкания на землю в сети с изолированной или заземленной через дугогасящий реактор нейтралью на все присоединения подключенных к данной секции, воздействуют перенапряжения с кратностью до 3,4 о.е., в следствии неодновременного отключения тока в поврежденных фазах. При этом в процессе колебаний напряжение достигает величины двойного линейного. Именно эти перенапряжения могут вызывать повреждения изоляции, когда из строя выходят сразу несколько высоковольтных электродвигателей или кабелей. Процесс возникновения этих перенапряжений объективен и не зависит от типа используемого выключателя, а определяется особенностями сети и коммутируемых присоединений, а также временем включения и его разбросом в замыкании контактов разных фаз выключателя.

Основными причинами возникновения перенапряжений на изоляции отдельного присоединения (и только его, а не всей сети) при отключении нагрузки, связанными с особенностями дугогасящей среды и конструкцией выключателя, являются срез тока и эскалация напряжения.

Срез тока характерен для выключателей любого типа (маломасляных, электромагнитных, воздушных, вакуумных, элегазовых), причиной которого

являются интенсивное дутье и развитие высокочастотных колебаний на спадающем участке синусоиды отключаемого тока. Дутье вызывает значительное охлаждение плазмы в дуговом промежутке и быстрое уменьшение ее проводимости. Высокочастотные колебания, развивающиеся в контуре: емкость на шинах – нелинейное сопротивление дуги – индуктивность и емкость присоединения, налагаются на ток 50 Гц и приводят к тому, что суммарный ток в дуговом промежутке переходит через ноль и происходит гашение со срезом. В вакуумных выключателях причиной среза тока является неустойчивость дуги при малых токах, так как она горит в парах металла контактов.

При срезе тока кратность перенапряжений определяется индуктивностью нагрузки, емкостью присоединения (в основном длиной кабельной или воздушной линии) и величиной тока среза, которая различается для выключателей с разными дугогасящими средами. На рис.1 приведена диаграмма относительных токов среза для выключателей разного типа.

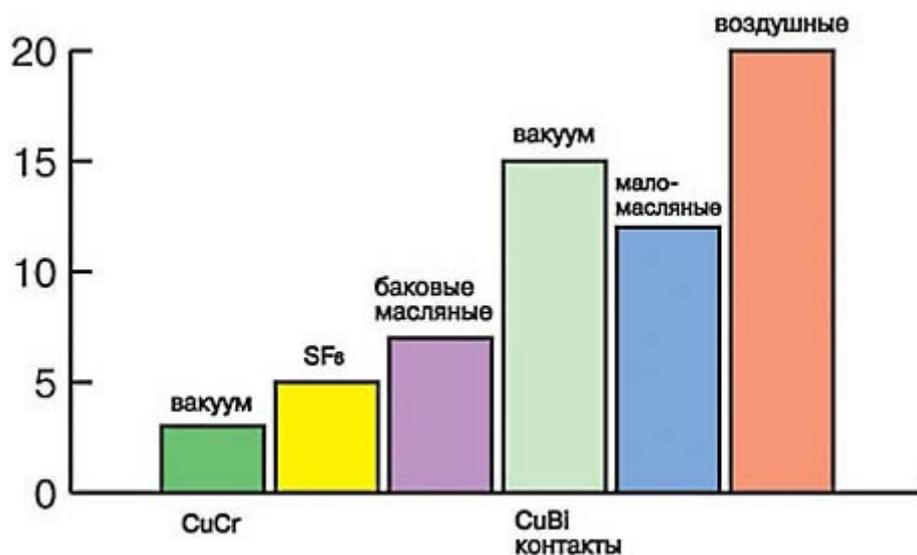


Рис.1 Относительные токи среза выключателей с разными дугогасящими средами.

Как видно из рисунка1, с точки зрения величины тока среза и создаваемых при этом перенапряжений элегазовые выключатели не имеют никаких преимуществ перед вакуумными выключателями с хром-медными контактами. Ток среза элегазовых выключателей зависит от величины отключаемого тока, конструкции выключателя (способа гашения дуги) и емкости присоединения.

Величина перенапряжений после повторного зажигания дуги определяется в основном скоростью восстановления электрической прочности межконтактного промежутка вакуумной дугогасительной камеры при расхождении контактов выключателя, так и характеристиками коммутируемого присоединения (длины и марки кабеля, мощностью двигателя). Проведенные исследования показали, что даже при правильном выборе нелинейных ограничителей перенапряжений, применяемых для ограничения величины перенапряжений, характеристики которого скоординированы с

характеристиками, характеризующими электрическую прочность корпусной изоляции, величина возможных перенапряжений может превысить электрическую прочность витковой изоляции, что также не допустимо. Для исключения повторных зажиганий дуги рекомендуется на зажимы двигателя подключать RC-цепочку, параметры которой должны выбираться как с учетом режима работы электродвигателя, так и режима работы нейтрали сети. /4/. При этом следует учесть, что при значительной длине присоединения перенапряжений из-за среза тока в выключателе вообще не возникает. Наличие даже небольшой активной нагрузки на вторичной стороне отключаемого силового трансформатора также исключает возникновение перенапряжений по причине среза.

Проблема возникновения перенапряжений актуальна в силу того, что вакуумные и элегазовые выключатели интенсивно внедряются в настоящее время на электростанциях в сетях генераторного напряжения и в сетях потребителей собственных нужд, а также на компрессорных и насосных станциях магистральных газо- и нефтепроводов, где преобладает в основном двигательная и генераторная нагрузка. Именно при коммутации этого типа нагрузки рассматриваемыми выключателями возникают опасные перенапряжения. Замена маломасляных и электромагнитных выключателей на вакуумные без проработки вопросов ограничения величины перенапряжений, как правило, приводит к снижению эксплуатационной надежности электрооборудования из-за ускоренного старения изоляции электродвигателей, а в ряде случаев и полного ее разрушения, что имело место на практике при их коммутации вакуумными выключателями.

Рассмотренные проблемы, возникающие при внедрении вакуумных выключателей, особенно актуальны для таких предприятий как газоперерабатывающий и гелиевый заводы, так и электростанций расположенных на территории Оренбургской области с точки зрения повышения эксплуатационной надежности высоковольтных двигателей и генераторов.

## Литература

- 1.Евдокунин Г., Титенков С. Перенапряжения в сетях 6(10) кВ. - Новости электротехники, 2002, № 5(17)
2. Борисов В.В. Особенности дуговых процессов в выключателях 6-35 кВ с различными дугогасящими средами// Методы и средства оценки состояния энергетического оборудования. Вып. 7. -1998. - С. 59-67.
- 3.Базуткин В.В., Евдокунин Г. А., Халилов Ф.Х. Ограничение перенапряжений, возникающих при коммутациях индуктивных цепей вакуумными выключателями. - Электричество, 1994, № 2.
- 4.Иванов А.В., Кадомская К.П. Ограничение перенапряжений и режимы заземления нейтрали сетей 6-35кВ. Труды третий Всероссийской научно-технической конференции.- Новосибирск.2004 – стр.81-90.

# Леонов А. В., Пикулев И. А. ИССЛЕДОВАНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ ИЗМЕРИТЕЛЯ–РЕГУЛЯТОРА ТРМ1 ДЛЯ УПРАВЛЕНИЯ ПРОЦЕССАМИ ТЕПЛОМАССООБМЕНА

СамГАПС, Оренбургский филиал

В настоящее время при расчете настроек регуляторов локальных систем широко используются достаточно простые динамические модели промышленных объектов управления. В частности, использование моделей инерционных звеньев первого или второго порядка с запаздыванием для расчета настроек регуляторов обеспечивает, в большинстве случаев, качественную работу реальной системы управления.

В связи с этим возникает задача определения численных значений параметров динамических моделей. Опыт показывает, что весьма просто, с достаточной точностью, можно определить эти параметры экспериментально на реальном объекте управления. Особенно оправдан такой подход для одномерных объектов управления, работающих с системой автоматической стабилизации.

В зависимости от вида переходной характеристики (кривой разгона) задаются чаще всего одним из трех видов передаточной функции объекта управления, к примеру, в виде передаточной функции инерционного звена с запаздыванием

$$W(P) = \frac{K \cdot e^{-\tau \cdot P}}{T \cdot P + 1}, \quad (1)$$

где  $K, T, \tau$  – соответственно коэффициент усиления, постоянная времени и запаздывание, которые должны быть определены в окрестности номинального режима работы объекта управления.

Для объекта управления без самовыравнивания передаточная функция имеет вид:

$$W(P) = \frac{K \cdot e^{-\tau \cdot P}}{P}, \quad (2)$$

Более точно динамику объекта описывает модель второго порядка с запаздыванием:

$$W(P) = \frac{K \cdot e^{-\tau \cdot P}}{(T_1 \cdot P + 1)(T_2 \cdot P + 1)}, \quad (3)$$

Экспериментальные методы определения динамических характеристик объектов управления делятся на:

1. методы определения временных характеристик объектов управления;
2. методы определения частотных характеристик объектов управления.

Временные методы определения динамических характеристик делятся, в свою очередь, на активные и пассивные.

Активные методы предполагают подачу на вход объекта пробных тестирующих сигналов, каковыми являются:

- регулярные функции времени (ступенчатый или прямоугольный импульсы, гармонический сигнал, периодический двоичный сигнал);
- пробные сигналы случайного характера (белый шум и т.д.).

В зависимости от вида пробного сигнала выбирают соответствующие методы обработки выходного сигнала.

Так, при подаче ступенчатого управляющего сигнала, снимают кривую разгона объекта, а при подаче прямоугольного импульса – снимают кривую отклика. Кривая отклика снимается для объектов, не допускающих подачу на вход объекта ступенчатых сигналов.

Достоинства активных методов:

- достаточно высокая точность получения математического описания;
- относительно малая длительность эксперимента.

Так как активные методы в какой-то степени приводят к нарушению нормального хода технологического процесса, то проведение эксперимента должно быть тщательно спланировано.

На основании вышеизложенного, в качестве пробных объектов были выбраны объекты с самовыравниванием (водонагреватель и печь сопротивления), отличающиеся значениями постоянной времени и величиной запаздывания.

Параметры электрического водонагревателя:  $T = 7,4$  мин,  $\tau = 0,4$  мин.

Параметры низкотемпературной печи сопротивления:  $T = 25,3$  мин,  $\tau = 2,36$  мин.

В экспериментальной части работы используется установка, выполненная в виде отдельного блока. Установка состоит из объектов регулирования двух типов, представляющих собой камерную печь сопротивления (объект 1) и электрический водонагреватель (объект 2). Принципиальная схема установки показана на рис.1.

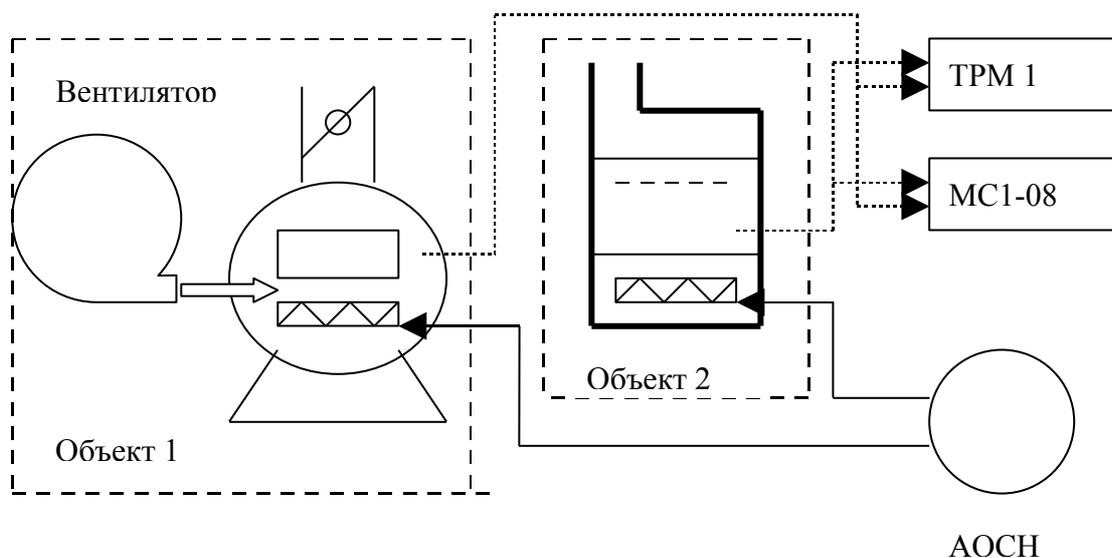


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

Выбор двух типов объектов объясняется их различной инерционностью, а также различной степенью тепловой асимметрии. В объекте 1 рабочей средой является воздух в нагреваемом объеме печи, а в объекте 2 рабочей средой является вода. Выходной величиной объектов является температура рабочей среды. Контроль температуры осуществляется термометром сопротивления типа ТСМ, сигнал с которого поступает на вход терморегулятора ТРМ1. В установке предусмотрена возможность регистрации временной характеристики с помощью автоматического самопишущего моста переменного тока МС1-08. Для изменения уровня входной величины (напряжения, подаваемого на электронагреватель) используется автотрансформатор АОСН. Положение воздушной заслонки в объекте 1 позволяет изменять динамические свойства объекта за счет изменения степени связи объекта с окружающей средой. Вентилятор создает в рабочем объеме объекта 1 равномерное температурное поле.

Экспериментальная установка позволяет при проведении экспериментов снимать с объектов кривые разгона, импульсные временные характеристики, а также кривые переходных процессов регулирования при различных состояниях объектов и различных настроечных параметрах регулятора.

Параметры электрического водонагревателя:  $T = 7,4$  мин,  $\tau = 0,4$  мин.

Параметры низкотемпературной печи сопротивления:  $T = 25,3$  мин,  $\tau = 2,36$  мин.

Терморегуляторы ТРМ 1 изготавливаются в различных модификациях, отличающихся друг от друга диапазоном напряжений питания, конструктивным исполнением, классом точности, типом подключаемых к их входам датчиков температуры и типом встроенных выходных устройств.

Информация о модификации прибора зашифрована в виде полного условного обозначения.

В качестве входного датчика применяются термопреобразователи сопротивления различного типа (ТСМ или ТСР) с номинальными статическими характеристиками (НСХ) или термопарные преобразователи типа ТХК, ТХА, ТНН, ТЖК, ТПП.

Микропроцессорный программируемый измеритель-регулятор типа ТРМ совместно с входным датчиком предназначен для контроля и управления различными технологическими производственными процессами 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 двухпозиционному (релейному) закону регулирования;
- отображение текущего измерения на встроенном светодиодном цифровом индикаторе;
- формирование выходного тока 4...20 мА для регистрации или управления исполнительными механизмами по П-закону регулирования.

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

Тестированию подвергался измеритель-регулятор ТРМ 1А-Щ1-ТС-Р с входным датчиком в виде термопреобразователя сопротивления типа ТСМ.

**Функциональная схема** прибора приведена на рис. 1. Прибор имеет вход для подключения первичных преобразователей (датчиков), блок обработки данных, состоящий из **измерителя физических величин, цифрового фильтра и логического устройства**. Логическое устройство в соответствии с запрограммированными пользователем параметрами формирует сигналы управления выходным устройством, которое в зависимости от модификации прибора может быть дискретного или аналогового типа.

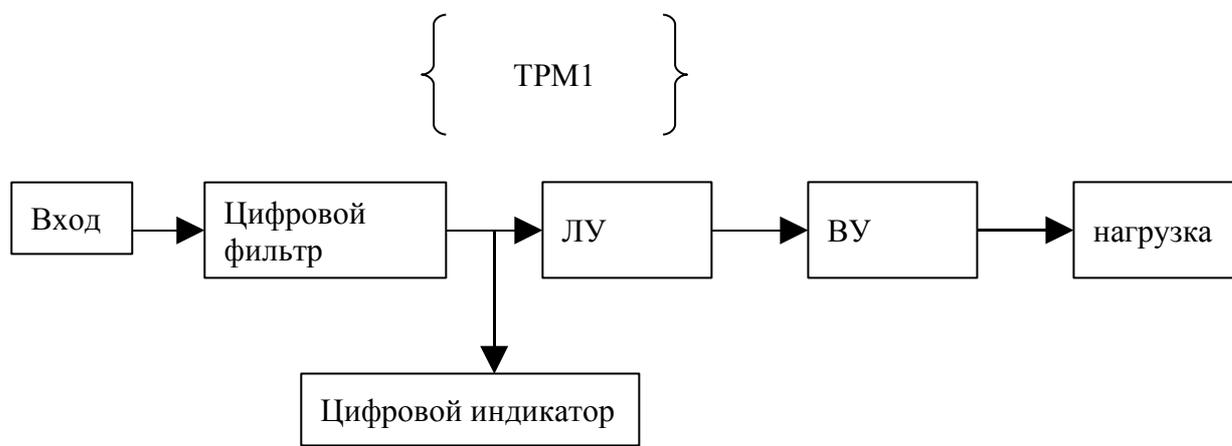


Рисунок 2 - Функциональная схема измерителя-регулятора ТРМ1.

**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 двумя параметрами, задаваемыми при программировании (b0-2, b0-3). Параметр b0-2, называемый полосой цифрового фильтра, позволяет защитить измерительный тракт от единичных помех. Полоса фильтра задается в единицах измеряемой величины.

**Глубина фильтра (b0-3)** – позволяет добиться более плавного изменения показаний прибора. В этом параметре задается количество последних N измерений, из значений которых прибор вычисляет среднее арифметическое. Полученная величина поступает на вход логического устройства (ЛУ). 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.

**Логическое устройство (ЛУ).** В приборе ТРМ1 имеется логическое устройство, которое может работать в одном из режимов:

- устройство сравнения;
- П-регулятор;
- регистратор.

Режим работы ЛУ устанавливается соответствующим кодом в параметре А1-1.

**Режим устройства сравнения.** При работе в режиме устройства сравнения ЛУ работает по одному из следующих типов логики.

**Тип логики 1** (прямой гистерезис). Применяется в случае использования прибора для управления работой нагревателя (например, ТЭНа) или сигнализации о том, что значение текущего измерения меньше уставки  $T$ . При этом выходное устройство, подключенное к ЛУ, первоначально включается при значениях  $T_{\text{тек}} < T - \Delta$ , выключается при  $T_{\text{тек}} > T + \Delta$  и вновь включается при  $T_{\text{тек}} < T - \Delta$ , осуществляя тем самым двухпозиционное регулирование по уставке  $T$  с гистерезисом  $\pm \Delta$ .

**Тип логики 2** (обратный гистерезис) применяется в случае использования прибора для управления работой охладителя (например, вентилятора) или сигнализации о превышении значения уставки. При этом выходное устройство первоначально включается при значениях  $T_{\text{тек}} > T + \Delta$ , выключается при  $T_{\text{тек}} < T - \Delta$ .

**Тип логики 3** (П-образная) применяется при использовании прибора для сигнализации о входе контролируемой величины в заданные границы. При этом выходное устройство включается при  $T - \Delta < T_{\text{тек}} < T + \Delta$ .

**Тип логики 4** (U-образная) применяется при использовании прибора для сигнализации о выходе контролируемой величины за заданные границы. При этом выходное устройство включается при  $T_{\text{тек}} < T - \Delta$  и  $T_{\text{тек}} > T + \Delta$ .

Задание уставки ( $T$ ) и гистерезиса ( $\Delta$ ) проводится при программировании параметров регулирования прибора.

Для ЛУ, работающего в режиме устройства сравнения, может быть задано время задержки включения и время задержки выключения.

В режиме устройства сравнения ЛУ может работать, если в приборе установлено связанное с ним выходное устройство дискретного типа: электромагнитное реле, транзисторная оптопара, оптосимистор.

**Режим П-регулятора.** При работе в режиме П-регулятора ЛУ сравнивает текущее значение измеряемой величины с заданной уставкой « $T$ » и выдает на выход сигнал 4...20 мА, пропорциональный величине отклонения. Зона пропорциональности ( $\Pi$ ) задается параметром  $\Delta$ . Ток 4...20 мА формируется в соответствии с установленной в параметре А1-1 характеристикой регулятора либо по прямо пропорциональному (нагреватель) либо по обратно пропорциональному (охладитель) закону регулирования. В режиме П-регулятора ЛУ может работать только при установленном выходном устройстве аналогового типа – формирователе тока 4...20 мА.

**Режим регистратора.** При работе в режиме регистратора ЛУ сравнивает поданную на вход величину с заданными в параметрах b1-3, b1-4 значениями и выдает на выходное устройство аналоговый сигнал в виде тока 4...20 мА, который можно подавать на самописец или другое регистрирующее устройство.

Системы двухпозиционного регулирования относятся к нелинейным САР, т.к. содержат нелинейное звено релейного типа (позиционный регулятор). Математический аппарат, используемый для описания таких систем, является более сложным, чем для случая линейных систем регулирования (метод фазовых траекторий, метод точечных преобразований, частотный метод В.М. Попова и др.).

В случае применения двухпозиционных регуляторов возмущения вносятся не только по нагрузке, но и самим регулятором, т.к. регулирующее воздействие на объект принимает два значения: при отключенном нагревателе подача тепла равна нулю, а при включенном нагревателе – максимуму.

Важнейшей особенностью систем позиционного регулирования является то, что автоколебательный процесс является здесь единственно возможным видом установившегося процесса, а строгое поддержание заданного параметра на уровне уставки регулятора практически невозможно. Автоколебательный процесс регулирования характеризуется амплитудой автоколебаний  $Y_a$  и периодом этих колебаний  $T_a$ . Кроме того, важным показателем качества позиционного регулирования является установившееся отклонение  $Y_{уст}$  среднего значения регулируемой величины от заданного  $Y_{зад}$ . В общем случае положительная  $Y_{a+}$  и отрицательная  $Y_{a-}$  амплитуды колебаний регулируемой величины не равны между собой и среднее значение регулируемой величины  $Y_{cp}$  отличается от заданного  $Y_{зад}$  на величину  $Y_{уст}$ . Это объясняется наличием тепловой асимметрии объектов, когда приток и отток тепловой энергии происходят с различной скоростью (подтверждается кривыми разгона объектов).

Применение двухпозиционных регуляторов (как наиболее простых по конструкции и принципу действия) целесообразно, если отношение  $\tau/T < 0,2$  (где  $\tau$  – время запаздывания объекта;  $T$  – постоянная времени объекта).

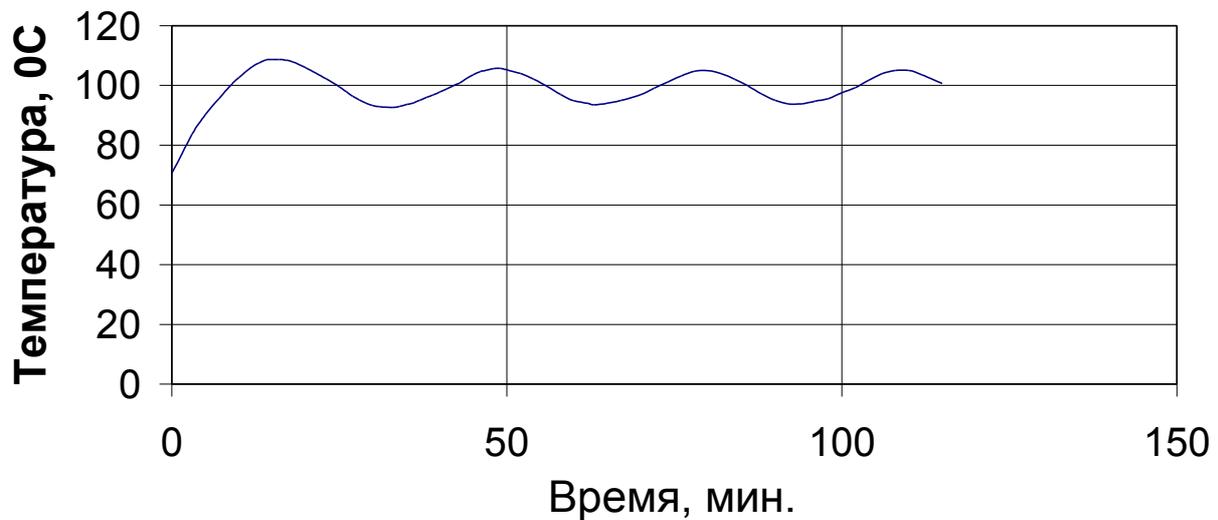
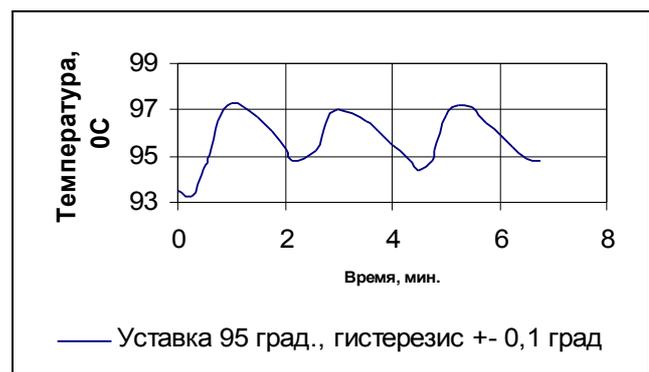


Рисунок 3- График позиционного регулирования

Полученные экспериментальные данные (рис. 3), представленные в виде графиков регулирования температуры (для печи сопротивления при  $t = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , (для водонагревателя при  $t = 95\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta = 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\Delta = 1\text{ }^{\circ}\text{C}$  (см. рис. 4)), позволяют рекомендовать позиционный регулятор типа ТРМ1 для применения на объектах с самовыравниванием с малым временем запаздывания  $\tau$  и относительно небольшой постоянной времени  $T$  в различных теплоэнергетических установках, связанных с тепломассообменом (сушильные установки, пропарочные камеры, автоклавы).



а)



б)

Рисунок 4 – Позиционное регулирование температуры. а) – для водонагревателя; б)- для печи сопротивления

Предварительный анализ полученных графиков позиционного регулирования позволяет предположить существование зависимостей

показателей качества такого регулирования от динамических свойств объектов. Так, например, период автоколебаний зависит от постоянной времени объекта  $T$  и величины запаздывания  $\tau$ . С увеличением значений этих параметров период автоколебаний увеличивается.

Амплитуда автоколебательного процесса регулирования, величина установившейся ошибки, соотношение между положительными и отрицательными составляющими амплитуды также зависят от динамических свойств объектов, степени их тепловой асимметрии, однако характеры этих зависимостей существенно нелинейны.

Для выявления этих зависимостей необходимы дальнейшие эксперименты с использованием положений теории оптимального планирования эксперимента и численных методов обработки полученных данных. Проведение таких экспериментов планируется в будущем, так как прямое решение нелинейных дифференциальных уравнений в условиях практической деятельности инженера весьма затруднительно. Цель дальнейшей работы – получение этих закономерностей в простой и наглядной форме для выбора оптимальных настроек двухпозиционных регуляторов.

#### **Библиографический список**

1. Теория систем автоматического управления./ Бесекерский В.А., Попов Е.П. – Изд. 4-е перераб. и доп. – С-Пб, изд-во «Профессия», 2003. – 752с.
2. Комплект эксплуатационных документов фирмы «ОВЕН» на измеритель-регулятор ТРМ1. – М.:, 2004. – 76с.

# **Липилин А.А. АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ИНФОРМАЦИОННО-ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ КОНТРОЛЯ И УЧЕТА ЭНЕРГОРЕСУРСОВ ПРЕДПРИЯТИЯ (АИИС КУЭ)**

## **«Самарский» филиал ЗАО «СМАРТС»**

На любом промышленном предприятии перед энергетической службой стоит одна из главных задач – экономия энергетических ресурсов, контроль за рациональностью их использования.

Главный энергетик предприятия, имеет разветвленную сеть разнородных потребителей электрической, тепловой энергии, газа, воды, сжатого воздуха, кислорода, должен заботиться о снижении издержек и стоимости покупки электрической энергии и других энергоресурсов, об оперативном получении достоверных и точных данных об их потреблении, о снижении затрат на эксплуатацию энергетического оборудования. Попробуем комплексно, учитывая опыт создания систем автоматизированного контроля и учета энергоресурсов (АСКУЭ) в России, подойти к решению данных задач.

Основными решающими критериями к принятию решения о создании АИИС КУЭ на предприятии должны быть:

- достижение экономического эффекта;
- автоматизация сбора и анализа данных;
- внедрение современных технологий;
- простота и надежность в эксплуатации;
- возможность получения информации для разработки энергосберегающих мероприятий, контроля за их осуществлением, оценки их эффективности;
- возможность оперативно реагировать на внештатные ситуации.

Оценив экономический и технический эффект, и убедившись в очевидной необходимости создания такой системы, энергослужба предприятия приступает к разработке технического задания на проектирование АИИС КУЭ, исходя из конкретно поставленных задач.

Возьмем энергетическую систему среднего по величине промышленного предприятия, имеющего сеть потребителей энергетической энергии с узлами учета в количестве  $x$  штук, из них  $n$  точек наиболее удалены. Имеется узел раздачи тепловой энергии и горячей воды, узел раздачи городской водопроводной воды, автоматизированная газовая котельная. Определим принципы построения и задачи создаваемой автоматизированной информационно-измерительной системы контроля и учета энергоресурсов:

1. Сбор, обработка данных о потреблении электроэнергии, тепловой энергии, горячей и холодной воды, газа.
2. Расчет показателей по потреблению электроэнергии, тепла, горячей и холодной воды, газа.
3. Измерение электроэнергии и электрической мощности по заданным тарифным зонам.



Предлагаемые АИИС КУЭ можно выделить три подсистемы:

1. Учета электрической и тепловой энергии;
2. Горячей и холодной воды;
3. Газа.

И как подгруппу можно рассматривать систему сигнализации об отказах, аварийных режимах и сбоях в работе энергооборудования.

Подсистема имеет следующие иерархические уровни:

- Нижний – уровень информационно–измерительных комплексов точек учета (ИИК ТУ);
- Средний – уровень измерительно-вычислительного комплекса энергоустановок (ИВКЭУ);
- Верхний – уровень измерительно-вычислительного комплекса (ИВК).

Подсистема учета электропотребления строится на базе электронных приборов учета типа «Альфа», «Евро-Альфа».

Учет тепловой энергии и горячей воды предлагается построить на базе электронного вычислителя количества теплоты ВКТ – 5. Учет расхода холодной воды предлагается выполнить на базе прибора ВСТ. (Все предлагаемые расходомеры оснащены импульсными выходами).

Учет расхода газа предлагается выполнить на базе расходомера газа типа РГА.

Передачу данных с отдаленных приборов учета представляется возможным осуществить через модем:

- а) с помощью выделенной линии электросвязи;
- б) с помощью линии GSM сотового оператора.

Предлагается применить устройство для сбора и передачи данных типа RTU 325 – E – 512 – M11 – G.

Программное обеспечение подбирается на основе ПО «AlphaPlus» на определенное количество точек учета, пользователей, соответствующей системой мониторинга (количество точек контроля) и учитывая необходимость анализа данных.

Все подсистемы объединены в рамках единого информационно – вычислительного комплекса. Такое решение позволяет предприятию снизить затраты на внедрение и последующую эксплуатацию, а также, расширение, в случае необходимости, количества точек учета энергоресурсов.

Информация по учету и оперативному контролю поступает на сервер базы данных, доступ к данным осуществляется с автоматизированного рабочего места главного энергетика.

Применение данной системы дает возможность:

1. Провести целый комплекс мероприятий, результатом которых станет получение существенной прибыли предприятия за счет:
  - повышение точности учета энергопотребления;
  - за счет снижения потребляемой мощности в часы пиковых нагрузок энергосистемы (будет известно, где и когда

можно отключить в «холостую» работающие двигатели, оптимизировать цеховые нагрузки);

- перейти на расчет за электрическую энергию с энергосистемой по дифференцированным тарифам (тарифам наиболее выгодным предприятию, учитывая часы максимальной загрузки и сменность работы).

## **2. Автоматизации сбора данных.**

Главный энергетик и заинтересованные службы получают возможность:

- получать своевременную информацию об энергопотреблении предприятия;
- получать информацию о режимах работы энергооборудования;
- получать своевременную информацию об аварийных ситуациях и аномальных режимах работы энергооборудования;
- систематизировать аналитические данные, представляемые системой АИИС КУЭ, по отключениям, сбоям и отказам энергооборудования.

## **3. Получения реальной экономии за счет:**

- оптимизации энергетических нагрузок в часы максимального энергопотребления;
- снижение затрат, связанных с выездами на отдаленные точки учета энергопотребления;
- принятия на предприятии наиболее приемлемых договорных отношений (тарифных планов) с энергоснабжающей организацией;
- своевременного принятия решений административным и дежурным персоналом по устранению аварийных режимов;
- рационального планирования денежных средств на расходы, связанные с энергопотреблением и эксплуатацией энергооборудования.

## **4. Внедрения современных технологий.**

Буквально через год после внедрения данной системы будет возможно:

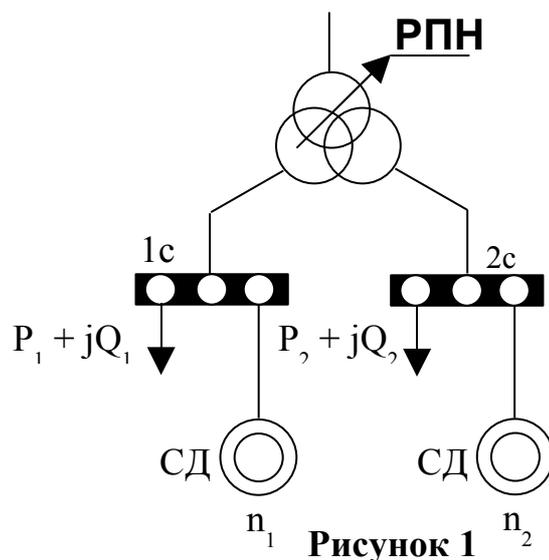
- подсчитать и доказать, какую экономию будут приносить те или иные технические мероприятия (это позволит оправдать покупку нового энергосберегающего оборудования);
- определить энергозатраты на конкретные технологические процессы, изменить технологию для того, чтобы еще более снизить затраты по энергопотреблению и, следовательно, затраты по ее оплате.

# Нелюбов В.М., Алешина С.К. РЕГУЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕНИЯ НА ШИНАХ ГПП ОБОРУДОВАННЫХ ТРАНСФОРМАТОРАМИ С РАСЩЕПЛЕННОЙ ОБМОТКОЙ

Оренбургский государственный университет

При установке на ГПП промышленных предприятий трансформаторов с расщепленной обмоткой и использовании в качестве приводов производственных механизмов одновременно высоковольтных асинхронных и синхронных электродвигателей становится возможным регулирование напряжения на шинах ГПП с учетом фактора энергосбережения.

Рассмотрим некоторые способы энергосберегающего регулирования напряжения на шинах на примере расчетной схемы, представленной на рисунке 1.



К секциям шин ГПП (1с и 2с) трансформатора с расщепленной обмоткой подключена обобщенная активно-индуктивная нагрузка  $P_i + jQ_i$ ,  $i = 1, 2$  и соответственно  $n_1$  и  $n_2$  синхронных двигателя.

В первом случае ставится задача поддержания напряжения на шинах ГПП близких к желаемым значениям за счет управления возбуждением синхронных двигателей без участия в регулировании РПН трансформаторов при минимуме потерь мощности в синхронных двигателях.

Такой способ регулирования может иметь место в случае нехватки располагаемого диапазона регулирования РПН трансформатора, когда анцапфы трансформатора устанавливаются в крайние положения или в случае неработоспособности РПН.

Выразим напряжения на секциях шин ГПП через приращение реактивной мощности генерируемой синхронными двигателями

$$U_1 = \sqrt{U_{10}^2 + 2 \cdot \gamma_{11} \sum \Delta Q_{1i} + 2 \cdot \gamma_{12} \sum \Delta Q_{2i}} ; \quad (1)$$

$$U_2 = \sqrt{U_{20}^2 + 2 \cdot \gamma_{12} \sum \Delta Q_{1i} + 2 \cdot \gamma_{22} \sum \Delta Q_{2i}} ,$$

где  $U_{10}$  и  $U_{20}$  – напряжения на секциях шин до введения поправок  $\Delta Q_{km}$  ;

реактивные составляющие сопротивлений влияния изменения реактивной мощности в  $j$ -ом пункте на напряжение  $i$ -го узла;

$$\Delta Q_{km} (k = \overline{1,2}; m = \begin{cases} \overline{1, n_1} & \text{для } k = 1 \\ \overline{1, n_2} & \text{для } k = 2 \end{cases}) - \text{приращения реактивной}$$

мощности соответствующих синхронных электродвигателей  $k$ -ой секции.

Активные потери мощности в синхронных двигателях от генерации реактивной мощности составят

$$\Delta P = \sum_{i=1}^2 \sum_{j=1}^{n_1+n_2} (K_{1i}(Q_{ij} + \Delta Q_{ij}) + K_{2i}(Q_{ij} + \Delta Q_{ij})^2) \quad (2)$$

$$K_{1i} = \frac{D_{1i}}{Q_{ni}} \quad (3)$$

$$K_{2i} = \frac{D_{2i}}{Q_{ni}^2} , \quad (4)$$

где  $D_{1i}$  и  $D_{2i}$  – коэффициенты активных потерь (кВт) в  $i$ -ом синхронном двигателе;

$Q_{ni}$  – номинальная реактивная мощность  $i$ -ого синхронного двигателя;

$Q_i$  – значения реактивной мощности, соответствующие начальным значениям напряжений на секциях -  $U_{10}$  и  $U_{20}$ .

Математически задача регулирования запишется

$$F = (U_1 - U_{1ж})^2 + (U_2 - U_{2ж})^2 + \lambda \cdot \Delta P \Rightarrow \min \quad (5)$$

при условиях, что

$$- Q_i \leq \Delta Q_i \leq Q_{i\max} - Q_i, \quad \forall i = \overline{1, n_1 + n_2} , \quad (6)$$

где  $\lambda$  - масштабирующий коэффициент, учитывающий различную природу слагаемых входящих в целевую функцию (5);

$Q_{i \max}$  – максимальная располагаемая реактивная мощность  $i$ -го синхронного двигателя.

Значение параметра  $\lambda$  влияет на чувствительность функции  $F$  к изменению качества регулирования и экономичности.

Заменяем задачу (5) эквивалентной

$$F = (U_1^2 - U_{1ж}^2)^2 + (U_2^2 - U_{2ж}^2)^2 + \lambda \cdot \Delta P \Rightarrow \min \quad (7)$$

с тем же ограничением (6).

Подставив (1) в (7) получим

$$\begin{aligned} F = & (U_{10}^2 + 2 \cdot \gamma_{11} \sum \Delta Q_{1i} + 2 \cdot \gamma_{12} \cdot \sum \Delta Q_{2i} - U_{1ж}^2)^2 + \\ & + (U_{20}^2 + 2 \cdot \gamma_{12} \sum \Delta Q_{1i} + 2 \cdot \gamma_{22} \cdot \sum \Delta Q_{2i} - U_{2ж}^2)^2 + \\ & + \lambda \cdot \left[ \sum_i^2 \sum_{j=1}^{n_1+n_2} (K_{1i}(Q_{ij} + \Delta Q_{ij}) + K_{2i}(Q_{ij} + \Delta Q_{ij})^2) \right] \end{aligned} \quad (8)$$

Вычислив и приравняв к нулю,  $\frac{\partial F}{\partial \Delta Q_{ij}} = 0$  получим систему из  $n = n_1 + n_2$  линейных уравнений, решение которой дает оптимальные приращения реактивных мощностей синхронных двигателей обеспечивающих желаемые уровни напряжений на секциях ГПП.

В случае нарушения условия (6), для каких либо переменных, эти переменные фиксируются на границе нарушенных ограничений, выводятся из состава вектора независимых переменных и задача решается вновь с меньшей размерностью.

Рассмотрим задачу регулирования напряжения на секциях шин ГПП с помощью синхронных двигателей и РПН трансформаторов.

В этом случае регулирование напряжения с помощью генерации в сеть реактивной мощности синхронными двигателями будет являться вспомогательным средством, с помощью которого выравниваются напряжения на секциях шин ГПП. Такое подрегулирование наиболее актуально для ГПП с неоднородной нагрузкой по секциям. Например, на ГПП третьей очереди Оренбургского газоперерабатывающего завода на секции 10 кВ подключена чисто активная нагрузка (синхронные двигатели с номинальным коэффициентом мощности равным единице), а к секции 6 кВ активно-индуктивная нагрузка. В ремонтных режимах при работе с одним трансформатором на секциях ГПП образуется перекося напряжения, устранить который невозможно с помощью регулятора РПН.

Целевая функция данной задачи будет иметь вид

$$F = (U_1^2 - U_2^2)^2 + \lambda \cdot \Delta P \Rightarrow \min, \quad (9)$$

или в развернутом виде

$$F = (U_{10}^2 + 2 \cdot \gamma_{11} \cdot \sum \Delta Q_{1i} + 2 \cdot \gamma_{12} \cdot \sum \Delta Q_{2i} - U_{20}^2 - 2 \cdot \gamma_{12} \cdot \sum \Delta Q_{1i} - 2 \cdot \gamma_{22} \cdot \sum \Delta Q_{2i} - U_{2жс}^2)^2 + \lambda \cdot \left[ \sum_i^2 \sum_{j=1}^{n_1+n_2} (K_{1i}(Q_{ij} + \Delta Q_{ij}) + K_{2i}(Q_{ij} + \Delta Q_{ij})^2) \right] \quad (10)$$

При различных номинальных напряжениях вторичных обмоток трансформатора в выражении 10 следует использовать приведение напряжения обмоток к одному из номинальных напряжений или использовать относительные величины.

Вычислив и приравняв к нулю,  $\frac{\partial F}{\partial \Delta Q_{ij}} = 0$  получим систему из  $n = n_1 + n_2$  линейных уравнений, после решение, которой определятся поправки  $\Delta Q_{ij}$ , а затем уровни напряжений на секциях ГПП по выражению (1).

Дальнейший алгоритм регулирования связан с выбором необходимой отпайки РПН трансформатора (приращения -  $\Delta n$ ):

1 Определяется среднее напряжение относительно которого производится регулирование

$$U_{cp} = \begin{cases} U_1 + \frac{|U_1 - U_2|}{2}, & \text{если } U_2 > U_1 \\ U_2 + \frac{|U_1 - U_2|}{2}, & \text{если } U_1 > U_2 \end{cases} \quad (11)$$

2 Определяется необходимая добавка напряжения РПН трансформатора

$$, \quad (12)$$

и необходимое число ступеней переключения РПН

$$, \quad (13)$$

где  $\Delta U_{cm}$  - величина добавки напряжения в кВ, соответствующая переключению на одну ступень РПН.

$$, \quad (14)$$

где  $\Delta K\%$  - величина одной ступени регулирования в процентах от номинального напряжения трансформатора.

3 Величину  $\Delta n$  округляем до ближайшего целого.

4 Если  $\Delta n > 0$  то принимаем  $\Delta n_1 = \Delta n + 1$ , иначе  $\Delta n_1 = \Delta n - 1$ .

5 Проверяем условие

$$\left| U_{жс} - U_{ср} + \Delta n \cdot \Delta U_{см} \right| < \left| U_{жс} - U_{ср} + \Delta n_1 \cdot \Delta U_{см} \right| \quad (15)$$

Если условие (15) выполняется, то переходим на п. 6, иначе следует положить  $\Delta n = \Delta n_1$ .

6 Проверяем если

$$n_0 + \Delta n > n_{\max}, \quad (16)$$

то принимаем  $\Delta n = n_{\max}$ , иначе проверяем если

$$n_0 + \Delta n > -n_{\max}, \quad (16)$$

то принимаем  $\Delta n = -n_{\max}$ , где  $n_{\max}$  – максимальное число отпаек которое имеется у РПН в сторону уменьшения или увеличения коэффициента трансформации.

Рассмотренные способы регулирования могут быть реализованы с помощью микропроцессорных регуляторов.

В заключении следует отметить, что аналогичный алгоритм можно предложить для случая использования вместо синхронных двигателей регулируемых высоковольтных конденсаторных батарей. В этом случае величину потерь активной мощности в конденсаторных батареях определяют по выражению

$$, \quad (17)$$

где  $tg\epsilon$  - тангенс угла диэлектрических потерь в конденсаторах.

# **Никиян Н.Г., Митрофанов С.В. БАЗА ДАННЫХ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭНЕРГОМЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ С НЕСИММЕТРИЧНОЙ КЛЕТКОЙ РОТОРА**

**Оренбургский государственный университет**

Самым простым и надежным электромеханическим преобразователем энергии был и остается асинхронный двигатель (АД) с короткозамкнутым ротором. При высокой надежности такой электрической машины встречаются повреждения статора и ротора. Статистика показывает, что в АД в 20 % случаев из строя выходит обмотка ротора, особенно это характерно для крупных АД. При изготовлении литого ротора в стержнях и короткозамыкающих кольцах могут появляться трещины и раковины. При изготовлении составного ротора могут появиться трещины между кольцом и стержнем из-за слабой пайки. В эксплуатации при частых пусках и реверсах стержень может оторваться от кольца. При возникновении таких ситуаций не каждое предприятие может позволить себе произвести капитальный ремонт или заменить неисправный двигатель на новый. Поэтому возникла задача спрогнозировать остаточный ресурс эксплуатации двигателей с повреждениями в клетке ротора.

Авторами ранее была проделана большая работа в этом направлении. На базе двух основных методов (метода наложения и прямого решения) была разработана математическая модель для расчета энергомеханических характеристик асинхронных двигателей /1/. На основе математической модели было разработано программное обеспечение, реализованное сначала на языке программирования DOS FORTRAN 77. Расчеты показали хорошую сходимость с экспериментальными данными. За последние 5 лет произошло стремительное развитие компьютерных технологий, что позволило создать программное обеспечение под Windows на языке Delphi 6.0 и в системе MathCad. Созданное программное обеспечение позволяет рассчитать характеристики АД независимо от числа пазов ротора.

Для того чтобы определить остаточный ресурс эксплуатации АД с повреждениями в клетке ротора необходимо сначала найти или определить все исходные данные для расчета. С начала 60-х годов выпущено и находятся в эксплуатации около тысячи типоразмеров АД. Выполнить справочник по техническим данным всех существующих АД типографским способом невозможно. В технической литературе справочные данные разрознены и освещены недостаточно и вследствие этого малодоступны для специалистов. Например, для расчета методами прямого решения и метода наложения необходимы данные о геометрии пазов ротора АМ, которые приведены далеко не во всех справочниках. Поэтому авторами было принято решение о создании базы данных, в которой приводился бы справочный материал по асинхронным двигателям существующих серий.

База данных предназначена для автоматизации процесса поиска и представления справочных технических материалов (обмоточных данных), требующихся для расчета энергомеханических характеристик АМ с поврежденной клеткой ротора. Главное окно программы представлено на рисунке 1. После выбора нужной серии двигателей появляется окно поиска, которое представлено на рисунке 2.

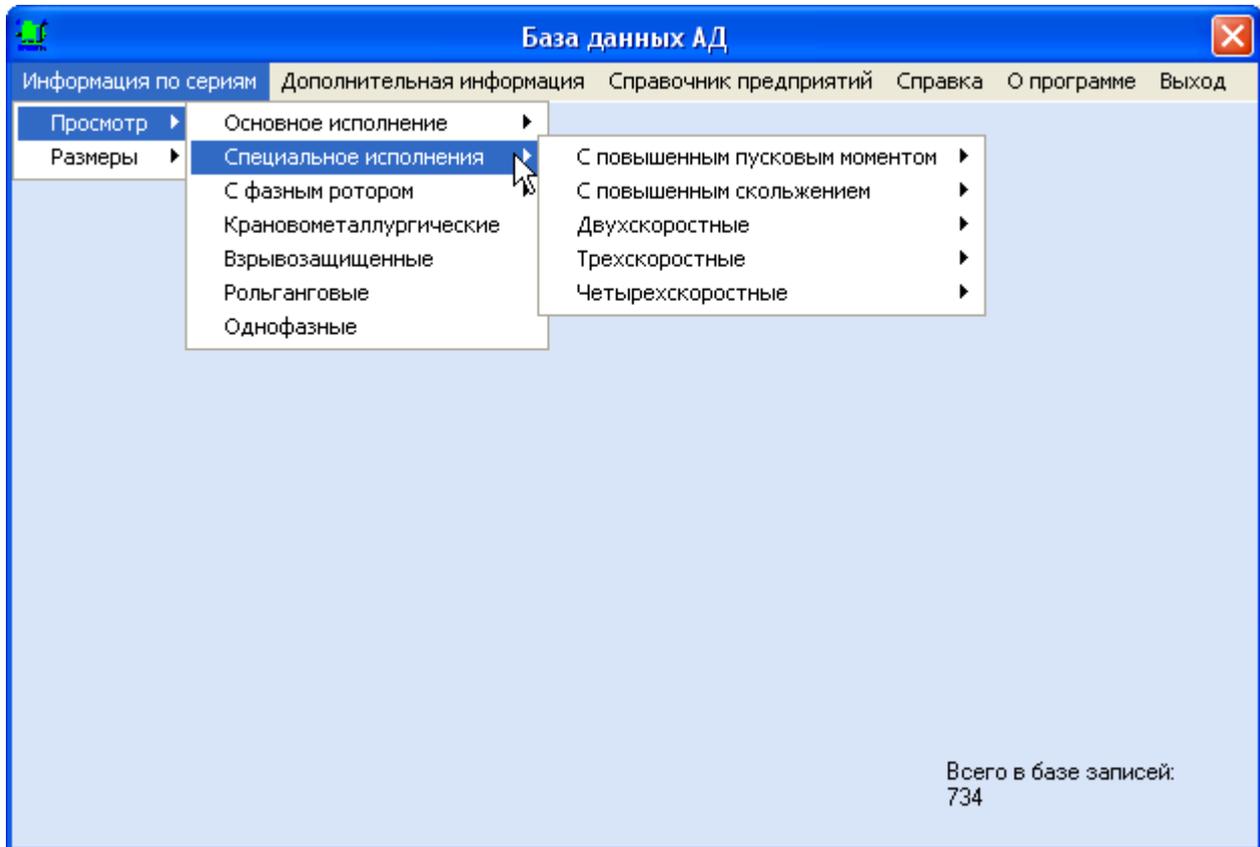


Рисунок 1- Главное окно базы данных

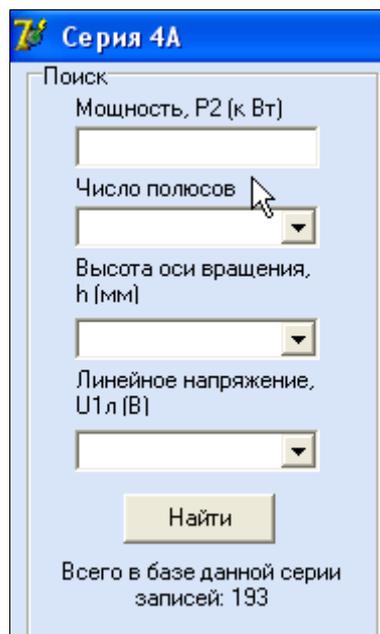


Рисунок 2 – Окно поиска

Поиск ведется по четырем критериям:

- по мощности;
- по числу полюсов;
- по высоте оси вращения (габариту);
- по линейному напряжению.

Параметры поиска могут выбираться в свободном сочетании и объеме.

Можно задать жесткие параметры поиска (поиск конкретного двигателя).

Результаты поиска двигателей представляются в виде информационного окна (рисунок 3), которое состоит из трех частей.

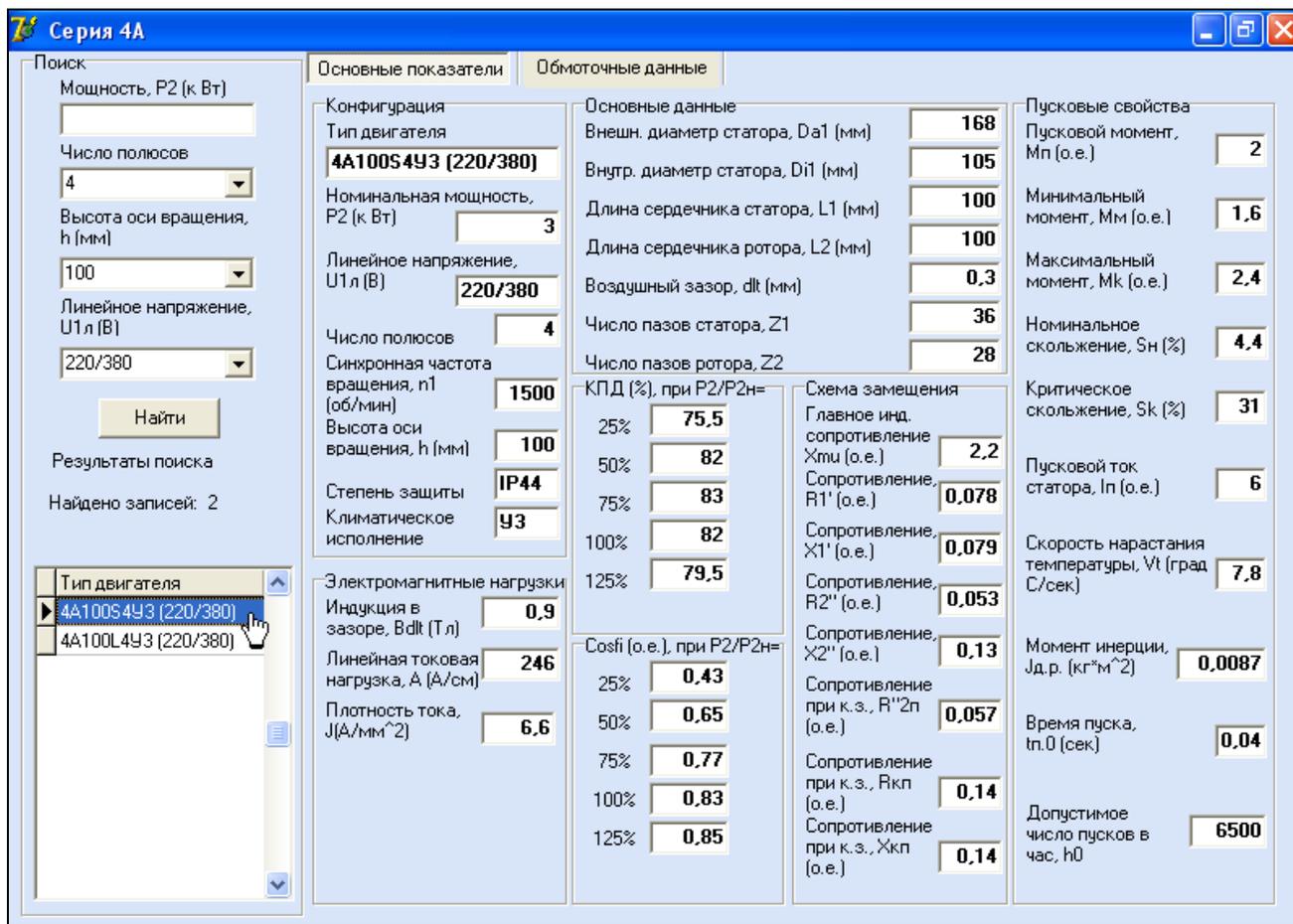


Рисунок 3 – Окно результата поиска асинхронных двигателей серии

4A

В левой части окна отображаются условия поиска и список найденных двигателей. В правой части окна отображается информация о двигателе – закладка “Основные показатели”. На рисунке 4 показаны обмоточные данные выбранного двигателя – закладка “Обмоточные данные”. В связи с тем, что в справочной литературе в большинстве случаев используются оригинальные обозначения, нами введена функция представления геометрических форм и обозначений пазов статора и ротора. Чтобы просмотреть изображения форм пазов, следует щелкнуть мышкой в области отображения данных о пазах, как показано на рисунке 4. Появится окно, в котором изображен паз выбранного двигателя с размерными обозначениями. Можно сформировать и распечатать

отчет о выбранном двигателе, который содержит все сведения, содержащиеся в базе данных.

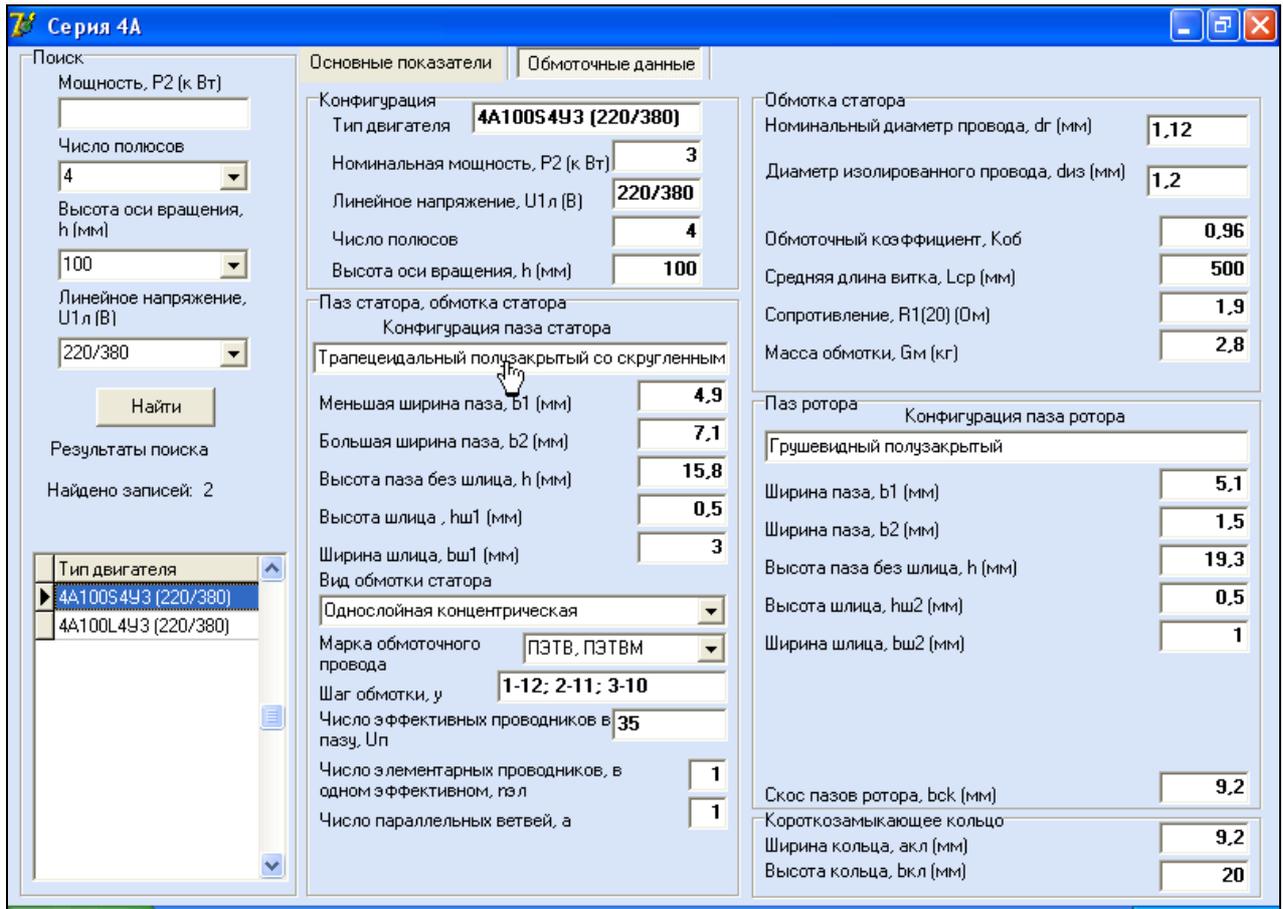


Рисунок 4 – Окно результата поиска асинхронных двигателей серии 4А

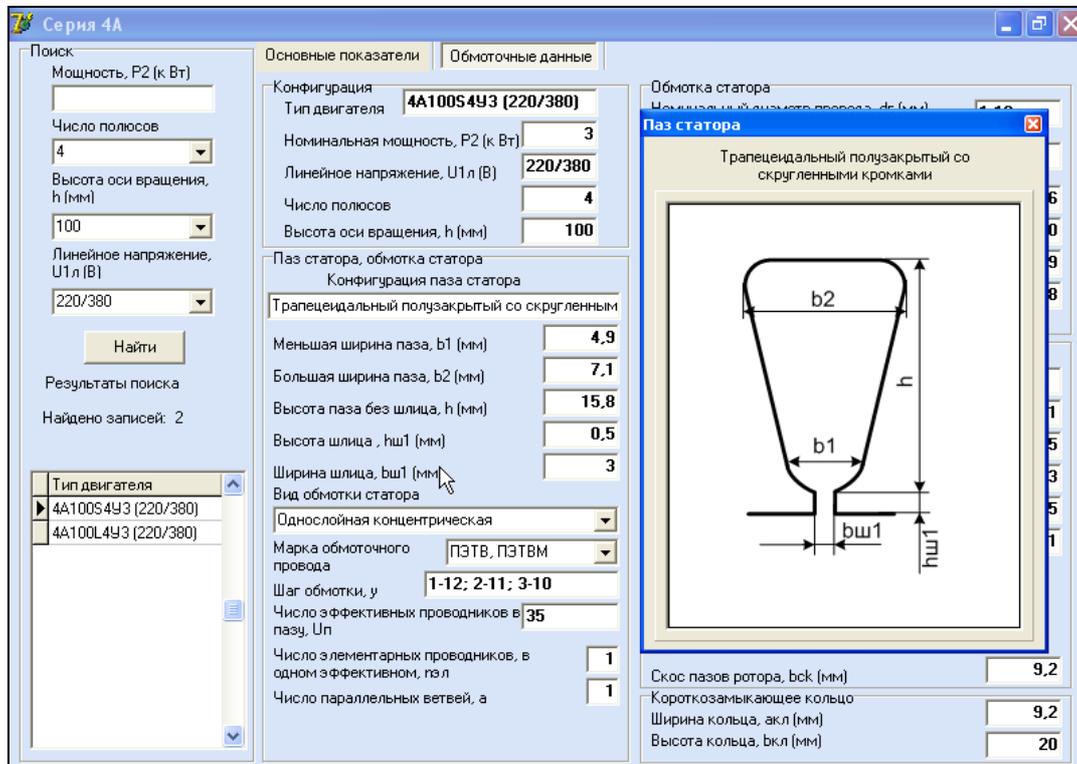


Рисунок 5 – Окно результата поиска асинхронных двигателей серии 4А

На рисунке 6 представлены результаты поиска асинхронных двигателей большой мощности. Специфика каталожных данных этих машин состоит в том, что в базе данных нужно отразить еще и сведения о размерах катушек, спецификации паза и о размерах клина. Для полного отражения сведений о катушке двигателей предусмотрены три вида. На виде А и В отражены размеры лобовых и пазовых частей секции. На виде С отражены способы укладки катушек в пазы и изоляция.

**Катушка статора - Вид С**

Вариант 1: A-A, B-B. Размеры:  $B_1, B_2, B_3, H_1, H_2, H_3$ .

Вариант 2: A-A, B-B. Размеры:  $B_1, B_2, B_3, H_1, H_2, H_3$ .

Провод:	марка	ПБД
	размеры, (мм)	2,83x4,70
	ГОСТ	16513-79
	масса, (кг)	3,24
Лента слюдопластовая:	размеры, (мм)	0,13x20
(ГОСТ 19758-74)	масса, (кг)	0,119
Микалента ЛМЧ 6610:	размеры, (мм)	0,13x20
(ГОСТ 4268-75)	масса, (кг)	0,33
Лента стеклянная ЛЭС:	размеры, (мм)	0,2x25
(ГОСТ 5937-81)	масса, (кг)	0,075
Шнур льнопеньковый:	размеры, (мм)	1,5
(ГОСТ 5107-70)	масса, (кг)	0,0023
Слюда пластовая СЛФИ:	размеры, (мм)	0,13x20
(ГОСТ 19758-74)	масса, (кг)	0,415

Тип двигателя	d, (мм)	Катушка статора (вид А)
АВ-16-31-10	6	Катушка статора (вид В)
	k, (мм)	Катушка статора (вид С)
	L, (мм)	
	Dср, (мм)	
	r1, (мм)	
	r2, (мм)	
	alfa, (мм)	
	R1 (мм)	
	R2 (мм)	

Клин пазовый		Клин пазовый	
Вариант клина	1		
Размеры клина:			
L1, (мм)	170	a1, (мм)	4+-0,5
L2, (мм)	64	h1, (мм)	18,7
L3, (мм)	38	h2, (мм)	17

Рисунок 6 – Окно результата поиска асинхронных двигателей серии АВ.

В данный момент база данных содержит сведения по следующим исполнениям АМ: а) основное исполнение; б) с повышенным пусковым моментом; в) с повышенным скольжением; г) высокоточное исполнение. База данных содержит сведения о следующих сериях: 4А, 4АН, 4АР, 4АС, АО2, АВ. Общий объем двигателей в базе – 734. В последующем база данных будет пополняться по мере поиска справочных данных о АМ.

### Литература

1 Никиян Н.Г., Митрофанов С.В. Методы расчета токов и потерь асинхронной машины с несимметричной клеткой ротора [Текст]: Монография/Н.Г. Никиян, С.В. Митрофанов. – Оренбург: ОГУ, 1999. – 49с.

# Омон А. Б. СОВРЕМЕННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ КОНТРОЛЯ СОСТОЯНИЯ ОБМОТКИ СТАТОРА ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ МАШИН

Оренбургский государственный университет

В условиях эксплуатации различные неисправности электрических машин становятся причиной возникновения аварийных ситуаций и нарушений ответственных технологических процессов на электрических станциях и промышленных предприятиях. Поэтому своевременное диагностирование неисправностей технического состояния является одним из основных факторов обеспечения безаварийного режима работы и эффективности функционирования этих машин.

По статистике 45 % повреждений электродвигателей приходится на статор и ротор (рис. 1), что связано с пробоем изоляции.

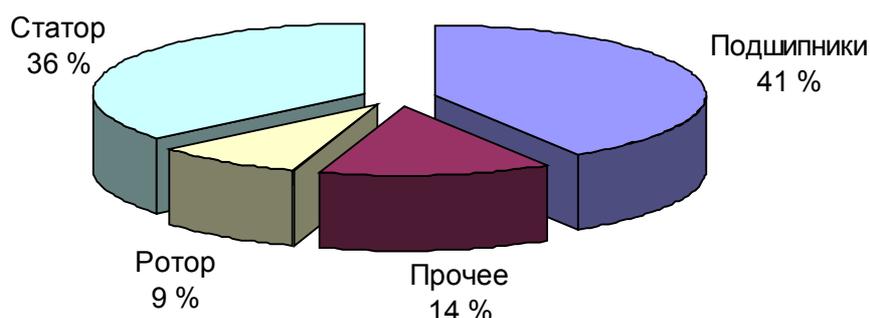


Рисунок 1 – Статистика отказов

Выделяются четыре основных фактора износа изоляции:

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

Как показывает мировая статистика ремонтных предприятий за 20 лет, более 70 % разрушений изоляции вызвано недостаточной электрической прочностью диэлектрика и лишь менее 30 % вызвано перегревом и старением изоляции.

Междувитковое замыкание – наиболее часто встречающаяся и опасная неисправность обмотки статора. 70 % пробоев изоляции начинаются с междувитковых замыканий и за считанные минуты переходят в пробой на корпус. Явными признаками такого повреждения являются появление местных нагревов в обмотке, нарушение симметрии фазных токов, понижение крутящего момента, высокий уровень шума, вибрации, во время работы

машины происходит задевание ротора за статор. Междувитковое замыкание оказывает влияние на параметры электромагнитных, механическо-вибрационных и акустических процессов машины.

Возможны следующие замыкания: между витками одной катушки, между катушками или катушечными группами одной фазы, между катушками разных фаз.

Основным признаком, по которому можно найти замыкание в обмотке статора, является нагрев короткозамкнутого контура. Для этого необходимо ощупать обмотку после ее отключения. В некоторых случаях короткозамкнутую часть обмотки можно сразу определить по внешнему виду – по обуглившейся изоляции. При наличии параллельных ветвей в обмотке короткое замыкание в одной из ветвей фазы (при значительном числе замкнувшихся витков) может вызвать нагрев и другой ветви, не имеющей короткого замыкания. Фазу, имеющую замыкание, можно найти по несимметрии потребляемого тока из сети. При соединении обмотки звездой (рис 2, а) в фазе, имеющей замыкание, ток (А3) будет больше, чем в двух других фазах. При соединении обмотки треугольником (рис 2, б) в двух фазах сети, к которым присоединена дефектная фаза, токи (А1 и А3) будут больше, чем в третьей фазе (А2). Опыт определения дефектной фазы рекомендуется производить при пониженном напряжении ( $\frac{1}{3}$  –  $\frac{1}{4}$  номинального).

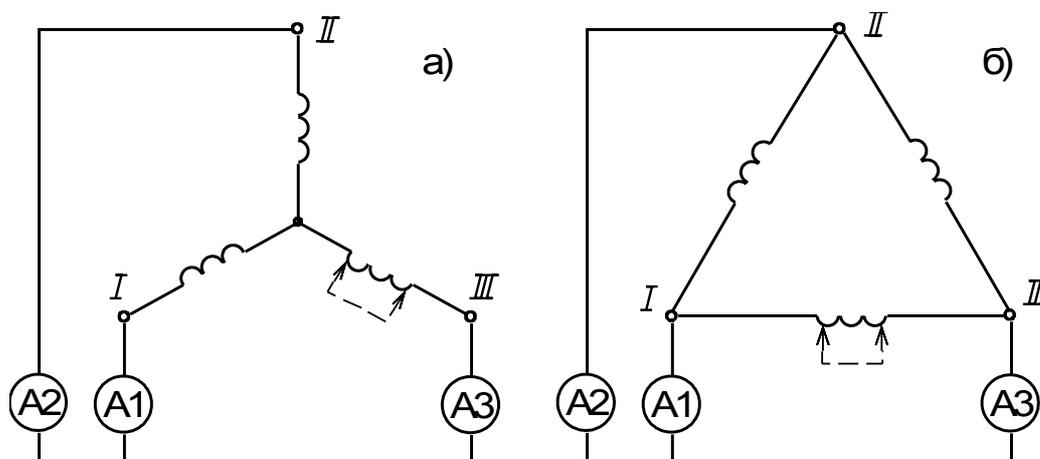


Рисунок 2 – Пояснение признаков замыкания в обмотках при соединении звездой (а) и треугольником (б).

Фаза, имеющая замыкание, может быть определена и по значению ее сопротивления постоянному току – меньшее сопротивление будет иметь фаза с замыканием. Если нет возможности разъединить фазы, то производятся измерения трех междуфазных сопротивлений. В случае соединения фаз звездой наибольшим будет междуфазное сопротивление, измеренное на концах фаз, не имеющих замыканий; два других сопротивления будут равны между собой и будут меньше первого. В случае соединения фаз треугольником наименьшее

сопротивление будет на концах поврежденной фазы; два других сопротивления будут большего значения и равны.

Катушечные группы или катушки, имеющие замыкание, могут быть найдены при питании переменным током всей обмотки или только дефектной фазы по нагреву или по значению падения напряжения на их концах. Катушки с замыканием будут сильно нагреты и будут иметь меньшее падение напряжения.

В сложных случаях (при замыкании большого числа катушек) или когда короткозамкнутую ветвь по каким-либо причинам не удастся выявить, прибегают к методу деления обмотки на части. Для этого обмотку делят сначала пополам и проверяют мегомметром соединение между собой этих частей. Затем одну из этих частей делят снова на две части и каждую из них проверяют на соединение с первой половиной и так далее до тех пор, пока не будут найдены катушки, имеющие замыкание.

Так как замыкания между фазами или катушечными группами чаще бывают в лобовых частях обмотки или соединительных проводниках, то иногда удается найти место соединения путем приподнимания и шевеления лобовых частей с одновременной проверкой мегомметром.

В настоящее время разработана специальная аппаратура для нахождения места повреждения обмотки статора.

Индикатор дефектов обмоток электрических машин ИДО-05 – это портативный прибор, предназначенный для контроля трехфазных обмоток электрических машин. Согласно рекламному листу, ИДО-05 позволяет выявить дефекты трехфазной обмотки машины напряжением до 1000 В без демонтажа и разборки и обеспечивает обнаружение:

- междувитковых замыканий;
- обрыва проводников;
- неправильного соединения схемы обмотки;
- неудовлетворительного состояния изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.

Принцип работы индикатора: при проверке обмотки на наличие междувитковых замыканий, обрыва проводников и на правильность соединения схемы сравниваются полные сопротивления двух фаз обмотки при подключении к ним генератора высокочастотного стабилизированного тока. При наличии дефектов полные сопротивления фаз обмотки и соответственно токи в них будут различными.

Индикатор дефектов обмоток электрических машин ИДВИ-02 – это портативный прибор, предназначенный для контроля витковой изоляции и цепей катушек электрических машин, изоляции обмоток относительно корпуса машины и между обмотками.

Согласно рекламному листу, ИДВИ-02 обеспечивает обнаружение:

- пазов и катушек с короткозамкнутыми витками;
- неудовлетворительного состояния изоляции обмоток относительно корпуса машины и обмотками.

Принцип работы индикатора: при проверке состояния междувитковой изоляции и цепей катушек индуцируется импульсная ЭДС в проверяемой

катушке. В случае наличия в последней короткозамкнутых витков происходит регистрация импульса магнитного поля от тока короткого замыкания, протекающего по ним.

К недостаткам таких приборов можно отнести то, что они предназначены для диагностики машин в статическом состоянии. За циклы работы происходят нагрев и остывание обмотки. Также в моменты пуска и во время работы она испытывает механическое воздействие, вибрации, в результате чего возможно перемещение витков относительно друг друга.

Учитывая вышесказанное, на кафедре «Электромеханика» Оренбургского Государственного университета намечается разработка методики определения токов и моментов электрической машины при существовании короткозамкнутых витков в обмотке статора в переходных режимах работы (пуск, перегрузка). Такая методика позволит проводить опережающую диагностику машин для выявления возможных повреждений на ранних стадиях.

# **Пилипенко В.Т., Пилипенко О.И. РОЛЬ ИНФОРМАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ В ОБРАЗОВАТЕЛЬНОМ ПРОЦЕССЕ ПРИ ПОДГОТОВКЕ ИНЖЕНЕРОВ-ЭЛЕКТРИКОВ**

**Оренбургский государственный университет**

Интенсивное развитие информационных технологий (ИТ) в последние годы не могло не отразиться на характере образовательного процесса в высшей школе. Традиционная форма представления учебного материала исчерпала свои возможности и вряд ли имеет какие-либо перспективы. Поэтому сейчас при подготовке инженеров, в том числе и в области электроэнергетики, всё больше и больше используются достижения ИТ, позволяющие вывести образовательный процесс на качественно новый уровень, изменяющий систему представления учебного материала с целью повышения эффективности восприятия и усвоения последнего.

К примеру, представляется достаточно перспективным использование при чтении лекций, которые в нашей системе образования являются по-прежнему основной формой представления учебного материала, мультимедийных технологий (ММТ), основанных на применении компьютерной техники.

Эти технологии пока не являются широко распространёнными и имеют свои недостатки. Тем не менее, их преимущества очевидны. Необычный способ представления материала сам по себе привлекает студентов, чему способствуют широкие возможности таких программных продуктов, как Microsoft PowerPoint, Macromedia Flash, Liquid Media и др. Лектор не тратит время на изображение схем, рисунков, формул на доске, получая тем самым возможность более полно комментировать представленный материал. Да и изобразительные способности преподавателя нельзя сравнить с возможностями указанных программ, особенно в случаях, когда речь идёт о сложных схемах и рисунках.

Кроме того, возможность использования анимации позволяет рассматривать, например, графически представленные процессы в динамике, что принципиально невозможно при изображении на доске.

На кафедре электроснабжения промышленных предприятий ММТ используются при чтении лекций по дисциплине «Переходные процессы в электроэнергетических системах». Подобная форма обучения, несомненно, имеет будущее и должна быть распространена и на другие специальные дисциплины кафедры.

Разумеется, подобные технологии, могут использоваться и при проведении практических занятий. Основным препятствием, сдерживающим их применение при проведении этого вида занятий, являются финансовые проблемы.

При реализации лабораторного практикума возможности применения ИТ также весьма обширны. Например, изучение переходных и установившихся процессов в электрических системах и сетях возможно на основе их математического моделирования с помощью специальных программ, в

написании которых, кстати говоря, могут участвовать и сами студенты. Такой подход в настоящее время реализован на кафедре ЭПП при преподавании ряда дисциплин.

Перспективным является и создание виртуальных лабораторий на базе пакетов программ Electronics Workbench, MatLab, SamSim и др. Главными достоинствами подобных лабораторий являются уникальные возможности для планирования и проведения широкого спектра экспериментов (от простейших опытов до реальных объектов), а также индивидуализация процесса обучения и выход его за рамки привычных учебных лабораторий.

Программа Electronics Workbench чаще всего используется для изучения процессов в простейших электрических цепях, однако она применима и для более сложных цепей и схем. В частности, на кафедре ЭПП была составлена модель электрической системы, которая используется для изучения переходных процессов при несимметричных коротких замыканиях. Характер протекания переходного процесса анализируется с помощью графиков, которые создаются самой программой.

Для изучения режимов электрических сетей может использоваться программа MatLab. Модель электрической сети, составленная с помощью этой программы, показана на рисунке 1. Все необходимые для анализа величины представляются в виде графических зависимостей.

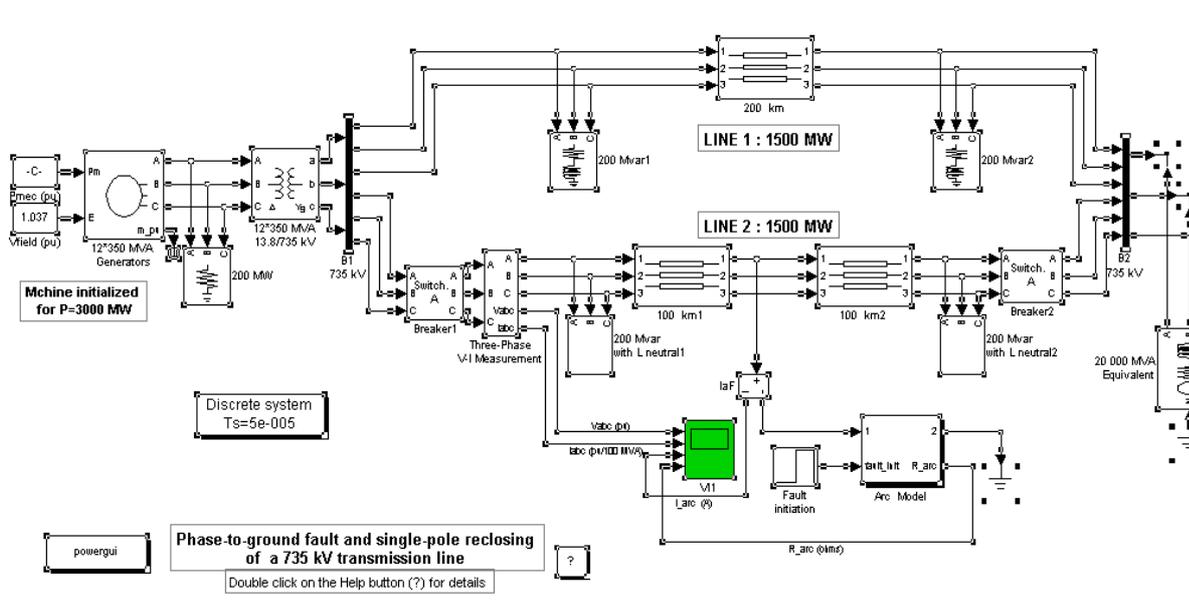


Рисунок 1

Наиболее перспективным, вероятно, является сочетание натурального и виртуального моделирования, например, на базе пакета программ LabVIEW. Такой подход используется в ООО «ИНЖЕНЕРНО-ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЦЕНТР «УЧЕБНАЯ ТЕХНИКА», однако предлагаемые ими лабораторные стенды довольно дороги и более или менее полное комплектование учебных лабораторий такими стендами в ближайшее время представляется маловероятным.

# Полынев В.Т., Полынев Т.В. СИНТЕЗ СХЕМ НА ОСНОВЕ ТРЕХЗНАЧНОЙ ЛОГИКИ

(Оренбургский государственный университет)

Использование аппарата 3-х значных состояний, образующими многочленами которого являются  $L(0)=2X^2+1$ ;  $L(1)=2X^2+2X$ ;  $L(2)=2X^2+X$  и принимающих соответственно значения равные единице при  $X=0$ ;  $X_1=1$ ;  $X_2=2$ , дает возможность математически описывать работу схем в которых одновременно используются реле, имеющие два и три состояния. При этом нет необходимости кодирования состояний как при аппарате двухзначной логики. Введение временных булевых функций позволит оценить работу схемы с учетом конечного времени перехода из одного состояния в другое (двухпозиционное реле). Для трехпозиционного реле для учета времени перехода из одного состояния в другое необходимо иметь аппарат пятизначной логики.

Если контакт в данном состоянии разомкнут, то это записывается как  $\bar{L}(\theta)=L(1)L(2) \bmod 3$ ;  $\bar{L}(1)=L(0)L(2) \bmod 3$ ;  $\bar{L}(2)=L(1)L(0) \bmod 3$ .

Параллельное соединение эквивалентно  $L_1+L_2+2L_1L_2 \bmod 3$ , последовательное –  $L_1L_2$

Зададимся следующим, для двухпозиционных реле  $L(0)$  соответствует отсутствию питания или если это двухпозиционное поляризованное реле, то оно находится в одном из возможных состояний, известных предварительно или реле находится в среднем положении, если это трехпозиционное поляризованное реле.

$L(1)$  и  $L(2)$  – находится в одном из рабочих положений,  $L(1)$  для обычного двухпозиционного реле это переход из нерабочего состояния  $L(0)$  в рабочее  $L(2)$  за время « $t$ ». Для реле времени с проскальзывающим контактом:

$L(0)$  – питание отсутствует

$L(1)$  – питание подано, сработал мгновенный контакт

$L(1)* t_1$  – замкнут проскальзывающий контакт

$L(2)=L(1)* t_2$  замкнут контакт, работающий на упор.

# Раимова А.Т. РАЗРАБОТКА АСУ МЕТРОЛОГИЧЕСКОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ РЕГИОНАЛЬНЫХ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОИЗВОДСТВ

Оренбургский государственный университет

Идеи, возникающие на стыке метрологии и программирования, нашедшие свое воплощение в автоматизированных поверочных комплексах, приносят первые плоды и позволяют надеяться на блестящие результаты в будущем. Помимо обеспечения практических результатов – автоматизации труда поверителя со всеми вытекающими из этого преимуществами – развитие программирования оказывает существенное влияние и на теоретическую метрологию, являясь одновременно и причиной, и следствием алгоритмизации процесса измерения.

Высокие темпы развития средств измерительной техники и программирования, появление персональных ЭВМ, обеспечив значительные успехи в области автоматизации метрологических исследований, в то же время привели к известной путанице в терминологии, смешению понятий и т.д. В настоящей работе делается попытка внести какой-то, хотя бы минимальный, порядок в эту ситуацию, а также обобщить собственный опыт, полученный при разработке программного обеспечения автоматизированного поверочного комплекса для контроля параметров переменного напряжения [4].

Для метрологических исследований физических величины разработан *автоматизированный поверочный комплекс (АПК)*. Это автоматизированное средство измерения и обработки информации, представляющее собой совокупность измерительных, вычислительных и программных модулей, позволяющее компоновать автоматизированные поверочные системы, приспособленные к конкретным целям пользователя. Совокупность программных модулей, определяющих поведение АПК во времени в соответствии с его назначением, образуют *прикладное программное обеспечение (ППО) АПК*.

Основные функции ППО АПК, выполняемые в реальном масштабе времени, и требования к их выполнению, представленные в таблице 1, можно выразить в виде трех уровней иерархии: системный (не путать с системным программным обеспечением), системно-прикладной и прикладной. Общим требованием к функциям всех трех уровней является наличие режима диалога с оператором.

Функция ППО прикладного уровня сводится к выполнению следующих действий: обеспечение управления измерительным подкомплексом оператором и ЭВМ; организация диалога оператора и ЭВМ; формирование контрольных воздействий (эталонных сигналов) для объекта метрологических исследований; анализ и фиксация реакции объекта метрологических исследований (результатов измерений); реконфигурация измерительного подкомплекса.

Таблица 1 – Иерархии функций ППО АПК и требований к ним

№ п/п	Уровни иерархии	Функции	Требования
1	Системный	Управление базой данных	Адаптация к типу ЭВМ
2	Системно-прикладной	Конструирование с помощью подсказки или автоматическая генерация программы поверки. Архивирование результатов проверок	Легкость составления программ поверки пользователем, не знакомым с программированием
3	Прикладной	Полная и достоверная поверка средства измерения	Наличие исследовательского режима поверки. Адаптация к типу образцовой аппаратуры, методике поверки, типу измерительного интерфейса

Еще 5-7 лет назад ППО АПК составляло набор специализированных программ на языке высокого уровня, каждая из которых была предназначена для поверки приборов конкретного типа. ППО современных АПК – это универсальный программный комплекс с базой данных, возможностью как интерактивного, так и автоматического синтеза процедур поверки с обучающимися программами, развитой диалоговой системой и т.д. В связи с этим и появилась необходимость в более высоких по сравнению с прикладным уровнях, которые по отношению к программам поверки следует рассматривать как системные.

Возможны три основных метода создания программ поверки:

- традиционная технология без использования проблемно-ориентированных средств;
- конструирование программ в диалоговом режиме с помощью системы подсказок и специальных средств, ориентированных на программирование измерительных процедур;
- автоматический синтез программ из заранее заготовленных программных модулей на основе информации из базы данных по средствам измерений (СИ).

Первый метод наиболее экономичен при написании единичных программ, но при длительной эксплуатации АПК и большой номенклатуре поверяемых СИ становится самым дорогим, что является обычной платой за отсутствие гибкости.

Метод конструирования программ поверки является самым гибким, но требует наличия входного языка, средств его трансляции, мощной меню диалоговой системы, базы данных и т.д. Начальные затраты здесь самые большие, но они быстро окупаются.

Автоматический синтез менее гибок, но зато может обходиться без входного языка. Оператору достаточно ввести в ЭВМ только тип объекта метрологических исследований и ответить на вопросы, касающиеся особенностей аппаратурной конфигурации АПК.

Видимо сочетание двух последних методов может дать наиболее рациональные варианты ППО АПК. Основная цель дальнейшего совершенствования ППО АПК – достижение максимального удобства поверителя, что обеспечивается максимальной гибкостью ППО и достоверностью организуемой с его помощью поверки.

На рисунке 1 приведена обобщенная универсальная структура ППО АПК, в которой *база данных* играет фундаментальную роль. Она содержит как исходные данные, так и результаты метрологических исследований (поверок), хранит информацию о каждом типе объекта метрологических исследований и ресурсах АПК, т.е. образцовых измерительных модулях.

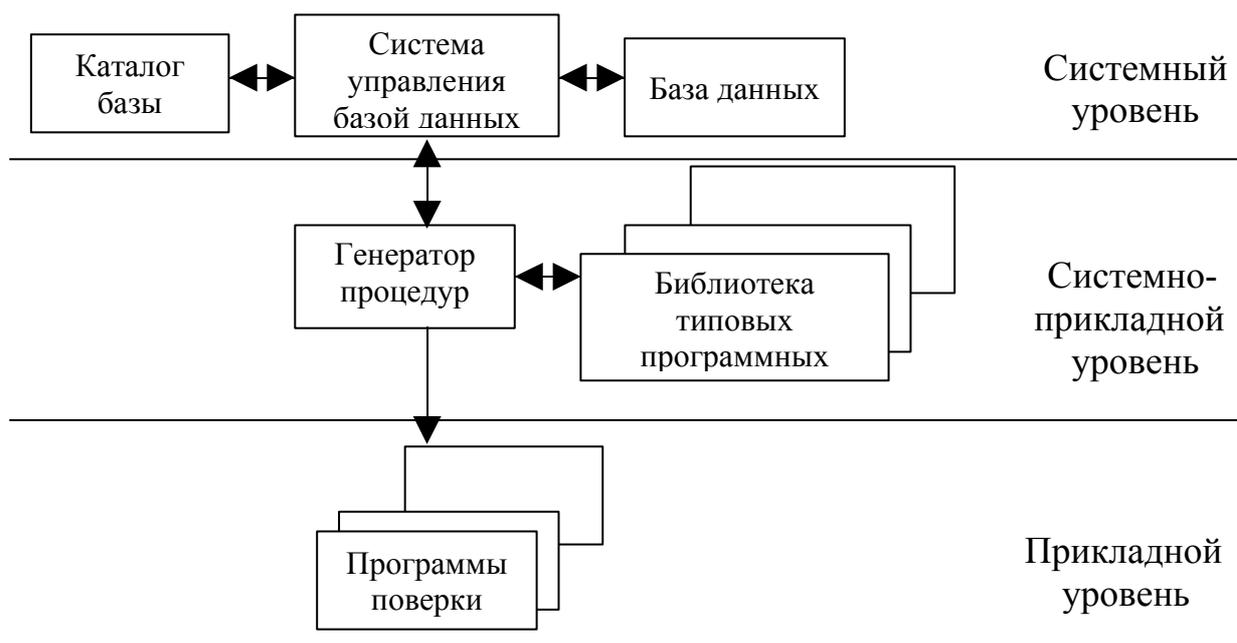


Рисунок 1 – Обобщенная структура ППО АПК

*Библиотека типовых программных модулей* представляет собой исходное множество типовых программ, в которых есть возможность учесть опыт квалифицированного программиста и многие тонкости, связанные с аппаратной конфигурацией вычислительного комплекса и операционной системой.

Вид, предел измерений, поверяемая точка и другие параметры задаются *диспетчерами*, которые управляют процессом поверки (не путать с диспетчером операционной системы), последовательно вызывая необходимые в каждый момент времени модули из перечисленных выше, т.е. пользуясь информацией, полученной из базы данных.

Синтез программы поверки производится на основе данных транслятора входного языка тремя генераторами:

- генератор текста программы, который переводит данные, регламентирующие условия поверки конкретного СИ, в текст программы поверки;

- генератор драйвера, который позволяет автоматизировать процесс разработки программ управления средствами измерений и особенно удобен при введении в состав АПК нештатных измерительных модулей или ОМИ;

- генератор протокола поверки.

Во время обработки данных происходит накопление информации для протокола поверки СИ, который формируется регистратором из данных, подготовленных модулем обработки данных измерений. Для этого обычно необходимы следующие виды документов:

1. Результаты испытаний СИ с выводом информации на экран дисплея и (или) в виде твердой копии на бумаге.

2. Свидетельство о результатах метрологических испытаний СИ в виде твердой копии. Этот документ выдается по окончании поверки и должен содержать такие обязательные сведения, как заводской номер СИ, его тип, дату поверки и подпись поверителя, сообщение о степени пригодности СИ к применению.

Проблема здесь может возникнуть в связи с ограниченным объемом оперативной памяти, когда необходимо запоминать многомерные данные для каждой поверяемой точки. Например, при поверке СИ переменного тока необходимость измерения эталонного сигнала на различных частотах приводит к возрастанию объема запоминаемых данных в число раз, кратное количеству частотных точек. В этом случае необходимо либо организовать временное хранение данных на диске, либо рационально размещать данные.

В настоящее время существуют методики поверки, разработанные институтами Госстандарта СССР: МИ 860–85; МИ 1202–86; МИ 1533–86 [2, 5], которые регламентируют соотношение величины допускаемой погрешности поверяемого СИ и образцовой меры, выбор поверяемых точек, количество измерений в одной точке, выбор методики обработки в зависимости от степени существенности случайной составляющей правила принятия решения о годности поверяемого СИ. При разработке программ обработки измерений следует руководствоваться рекомендациями этих методик. Следует иметь в виду, что эти методики во многом идеализируют измерительный процесс, накладывая ряд ограничений на область их применения.

Конечной целью поверки является не нахождение оценки истинного значения измеряемой величины, а принятие решения о годности поверяемого СИ, т.е. классификация его погрешностей. С этой точки зрения значительный интерес представляют пакеты прикладных программ, которые позволяют проводить обработку неколичественной информации и информации смешанного типа с использованием робастных методов оценивания, методов квалиметрии и непараметрической статистики. Хорошее введение в область нетрадиционных подходов к обработке данных измерений можно найти в работе В.И. Мудрова и В.Л. Кушко [3], где так же подробно освещены получившие широкое распространение методы наименьших квадратов и наименьших модулей. В оперативном режиме, т.е. во время поверки, многие задачи обработки результатов измерений могут ставиться и решаться как оптимизационные.

Таким образом, можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время заметно возрастание роли баз данных в АПК, где они используются не только как составная часть средств автоматизации программирования измерительных процедур, но и при архивировании результатов измерений для организации их анализа и учета в последующих измерениях, а также в автоматизированных информационно-поисковых системах (АИПС) средств измерений. АИПС обеспечивает ввод и корректировку данных о СИ в базу данных, автоматическое составление графиков государственной и ведомственной поверок, выдачу извещений о сроках поверок, поиск СИ по произвольному набору параметров.

2. Развитие ППО АПК, подкрепленной развитием аппаратных средств, почти неизбежно приводит к приобретению им основных особенностей экспертной системы [1, 6]. Видимо в этом направлении следует ожидать значительных достижений в области автоматизации метрологических исследований.

#### Список использованных источников:

1. Антонюк Б.Д. Разработка экспертных систем искусственного интеллекта в США.- М.: ВНИИСИ.- 1985.- 78 с.
2. Вольтметры цифровые. Алгоритмы автоматизированной поверки. Методические указания. МИ 860-85.- М.: Изд-во стандартов, 1986.- 48 с.
3. Мудров В.И., Кушко В.Л. Методы обработки измерений. Квазиправдоподобные оценки.- М.: Радио и связь, 1983.- 304 с.
4. Повышение эффективности АСУ качеством электроэнергии спектральными методами воспроизведения параметров эталонных моделей. Автореф. Дис. (...) канд. техн. наук: 05.13.07 / Оренбургский государственный университет.- Оренбург: ОГУ, 1997.- 16 с.
5. Частотомеры электронно-счетные. Алгоритмы автоматизированной поверки. Методические указания. МИ 1533-86.-М.: Изд-во стандартов, 1987.-41с.
6. Abbreviated Test Language for Avionics Systems (ATLAS). ARING specification 416-1//Aeronautical Rario, Inc.1969.20 p.

# Сандаков С.А. ЭЛЕКТРООБРАБОТКА ПИТАТЕЛЬНОЙ ВОДЫ В ТЕПЛОСНАБЖЕНИИ

Оренбургский государственный университет

Большинство котельных в системах теплоснабжения работает на питательной воде, подготовленной по схеме ионообменного обессоливания. Концентрация солей жесткости в такой воде обычно не превышает 10 мкг-экв/дм<sup>3</sup>, а взвешенных веществ (в основном продуктов коррозии) не более 20 мкг/дм<sup>3</sup> [1,2].

В процессе водоподготовки для систем теплоснабжения неполное удаление солей жесткости из природных вод приводит к возникновению процесса накипеобразования, т.е к образованию нерастворимой накипи, что вызывает существенный перерасход топлива за счет снижения значения коэффициента теплопередачи, уменьшения проходного сечения с увеличением гидродинамического сопротивления теплопередающих трубок теплогенераторов и трубопроводов, разрушения труб вследствие локального перегрева и ускорение коррозионных процессов. Кроме того, накипь и коррозия, оказывают влияние на процессы теплообмена в теплогенераторах, на объёмы ремонтно-предупредительных работ и определяют период эксплуатации технологического оборудования и трубопроводов

При водоподготовке также следует учитывать концентрацию нефтепродуктов, содержание которых в системе теплоснабжения строго регламентировано. Например, наличие нефтепродуктов в питательной воде котлов снижает степень надежности котельного оборудования вследствие сорбции нефтепродуктов накипью, имеющей пористую структуру [2]. Тем самым нефтепродукты участвуют в загрязнении поверхности нагрева, что приводит к снижению коэффициента теплопередачи и, соответственно, к увеличению расхода топлива.

Следовательно, предварительная обработка теплоносителя - воды необходима как в открытых, так и в закрытых системах централизованного теплоснабжения и тем более необходима в автономных системах теплоснабжения.

Процесс водоподготовки заключается в очистке природной и оборотной воды от грубодисперсных и коллоидных частиц и содержащихся в ней солей [2] и включает следующие основные этапы [3]:

- осветление (удаление из воды коллоидных и суспензированных загрязнений методами коагуляции, отстаивания или фильтрацией);
- умягчение (уменьшение жёсткости воды осаждением солей кальция и магния известью и содой или их удаление из воды катионированием);
- обессоливание и обескремнивание (ионный обмен или дистилляция в испарителях);
- удаление растворённых газов (термическим или химическим методом) и окислов железа и меди (фильтрованием).

Выбор того или иного метода определяется исходным физико-химическим составом природной воды и требованиями технологического регламента водоподготовки.

Несмотря на соблюдение в процессе эксплуатации нормативных требований к питательной воде котлов, определенных правилами технической эксплуатации и систематические химические промывки поверхностей нагрева, в ряде случаев не удается избежать аварийных ситуаций с повреждением экранных поверхностей нагрева.

Кроме того, применяемые в настоящее время методы водно-химического режима представляют большую экологическую опасность для окружающей среды. Из-за необходимости дозирования одновременно 3...4 реагентов практически не решается задача автоматизации ВХР.

Традиционные способы обработки питательной и сетевой воды на крупных котельных не могут быть использованы для водогрейных котлов малой и средней мощности и в теплосетях вследствие громоздкого аппаратного оформления установок химводообработки, а также отсутствия квалифицированного персонала и постоянного лабораторного контроля.

Кроме того подпитка котлов водой в большинстве случаев осуществляется непосредственно из городского водопровода без какой-либо предварительной очистки. Очевидно, что нормальная эксплуатация таких систем невозможна без применения эффективной обработки воды.

Поэтому применительно к котельным установкам и теплогенераторам малой и средней мощности в настоящее время все больше внимания уделяется поиску новых перспективных методов очистки подпиточной воды, более компактных, дешевых и простых в эксплуатации по сравнению с традиционными методами. К их числу можно отнести физические методы водоподготовки, в том числе мембранные методы: обратный осмос, ультрафильтрацию и нанофильтрацию [5-7], а также: электрохимические [8-11], электронные, магнитоимпульсные и акустические методы обработки воды, позволяющих в полной мере осуществлять процессы водоподготовки.

Как альтернатива традиционным ионообменным методам предотвращения накипеобразования в статье рассматривается апробированный электрохимический способ водоподготовки [13-15], который предусматривает изменение кинетики кристаллизации солей из воды и основан на пропускании через воду постоянного электрического тока.

Электрохимический процесс, с одной стороны, ускоряет выделение из обрабатываемой воды микрокристаллов солей жесткости, не способных осаждаться при данной дисперсности на теплопередающих поверхностях, а с другой стороны выполняет роль электрофильтра, причем этот процесс протекает с поглощением растворенного в воде кислорода (деаэрация).

Однако практическое отсутствие в технической и методической литературе информации по алгоритму расчета и проектированию установок электрообработки воды создает определенные трудности для более широкого внедрения указанного способа водоподготовки и делает крайне актуальным публикацию материалов по теоретическим основам их расчета с учетом

степени влияния гидродинамических особенностей многофазных потоков на оптимизацию работы электрохимических аппаратов (ЭХА) на действующих энергетических объектах.

Такая информация позволит уточнить технико-экономические возможности и граничные условия использования аппаратов электрохимической обработки воды в системах теплоснабжения, в том числе в котельных и теплопунктах.

Важнейшим вопросом, возникающим при расчете электроустановок, является также вопрос электролиза воды, так как соли жесткости наряду с пузырьками электролизных газов являются неэлектропроводными и тем самым увеличивают электрическое сопротивление канала ЭХА, чем и определяют энергетические затраты [16,17].

Для экспериментальной проверки адекватности процессов в ЭХА нами были выполнены исследования по определению давления  $P^*$  и коэффициента сопротивления  $R^*$  по высоте канала для различных расходов несущей фазы и сопоставлены их опытные и расчетные значения.

В связи с чем на начальном этапе была изучена зависимость электропроводности питательной воды от содержащейся в ней накипи и неоднородности электрического поля при электрохимическом воздействии.

Электрическое сопротивление элементарной ячейки канала ЭХА рассчитывали по следующей методике.

Рассмотрим в канале слой двухфазной жидкости ABCD и элементарный проводник в ней MBEF (рис.1).

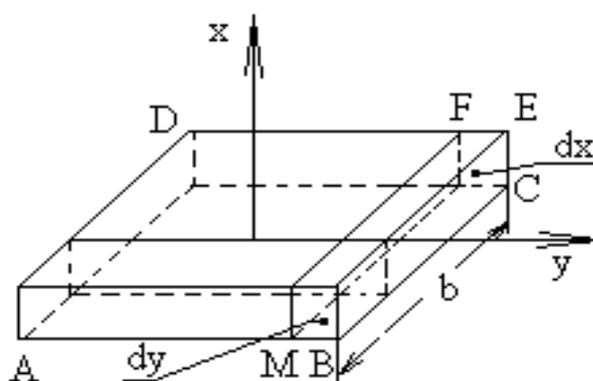


Рисунок 1 – К расчету электрического сопротивления двухфазного потока жидкости

Электрическое сопротивление  $\Delta r_i$  элементарного проводника определяется зависимостью

$$\Delta r_i = \frac{dy}{\sigma_i b dx} \quad (1)$$

Электрическое сопротивление слоя ABCD представляет последовательное соединение сопротивлений  $\Delta R_i$ , т.е.

$$\Delta R_i = \sum_{i=1}^n \Delta r_i = \sum_{i=1}^n \frac{dy}{\sigma_i b dx} = \sum_{i=1}^n \frac{dy}{\sigma_i(y) b dx} = \sum_{i=1}^n \frac{dy}{\sigma_1^0 \sigma_{*i}(y) b dx} \quad (2)$$

где

$\sigma_*$  - коэффициент эффективной электропроводности.

Устремляя  $n \rightarrow \infty$  находим для слоя

$$\begin{aligned} \Delta R_{\text{слоя}} &= \lim_{n \rightarrow \infty} \sum_{i=1}^n \frac{dy}{\sigma_1^0 \sigma_{*i} b dx} = \frac{1}{\sigma_1^0 b dx} \sum_{i=1}^n \frac{dy}{\sigma_{*i}(y)} = \\ &= \frac{1}{\sigma_1^0 b dx} \int_{-l}^{+l} \frac{dy}{\sigma_{*i}(y)} = \frac{2l}{\sigma_1^0 b dx} \int_0^1 \frac{d\eta}{\sigma_{*i}(\eta)} \end{aligned} \quad (3)$$

Электрическое сопротивление канала определим как параллельное соединение сопротивлений  $\Delta R_{\text{исл}}$ , т.е.

$$\frac{1}{R_{g+l}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{\text{исл}}} = \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{2l}{b \sigma_1^0 dx} \int_0^1 \frac{d\eta}{\sigma_{*i}(\eta)}} \quad (4)$$

Устремляя  $n \rightarrow \infty$ , получаем:

$$\begin{aligned} \frac{1}{R_{g+l}} &= \sum_{i=1}^n \frac{1}{\frac{2l}{b \sigma_1^0 dx} \int_0^1 \frac{d\eta}{\sigma_{*i}(\eta)}} = \frac{\sigma_1^0 b L}{2l} \int_0^L \frac{dx}{\int_0^1 \frac{d\eta}{\sigma_{*}(\eta, x)}} = \\ &= \frac{\sigma_1^0 b L}{2l} \int_0^1 \frac{d\zeta}{\int_0^1 \frac{d\eta}{\sigma_{*}(\eta, \zeta)}}, \quad \text{где } \zeta = x/L \end{aligned} \quad (5)$$

Подставляя сюда зависимость  $\sigma$  от локального газосодержания  $\alpha_2(x, y)$  получим следующее выражение:

$$\frac{1}{\sigma_*} = 1 + \frac{3}{2} \frac{\alpha_2(x, y)}{1 - \sqrt[3]{\frac{9\pi}{16}} \alpha_2^{2/3}(x, y)} = 1 + \frac{3}{2} \frac{\alpha_2(\zeta) \left(1 - \cos \frac{\pi}{2} \eta\right)}{1 - \sqrt[3]{\frac{9\pi}{16}} \alpha_2^{2/3}(\zeta) \left(1 - \cos \frac{\pi}{2} \eta\right)^{2/3}} \quad (6)$$

Увеличение электрического сопротивления  $R_*$  канала ЭХУ неэлектропроводными пузырьками электролизного газа можно охарактеризовать коэффициентом

$$R_* = R_{q+l} / R_l,$$

где  $R_l$  и  $R_{q+l}$  – соответственно, электрическое сопротивление канала электроустановки на " однофазном" и " двухфазном" потоках, причем  $R_l = \sigma_{2l} / (bL)$  при отсутствии краевых эффектов;

$\sigma_3$  - электропроводность жидкой фазы.

Воспользовавшись зависимостью эффективной электропроводности пузырькового потока  $\sigma_3 = f(\alpha_2)$  [19] от локального газосодержания для коэффициента  $R_*$  увеличения электрического сопротивления получим следующее выражение:

$$R_* = 1 / \int_0^1 \frac{d\zeta}{\left( 1 + \frac{3}{2} \frac{\alpha_2(\zeta) \left( 1 - \cos \frac{\pi}{2} \eta \right)}{1 - \sqrt[3]{\frac{9\pi}{16} \alpha_2^{2/3}(\zeta) \left( 1 - \cos \frac{\pi}{2} \eta \right)^{2/3}}} \right)} \quad (7)$$

На рис. 2 изображены данные опытных и расчетных значений изменения  $P_*$  от параметра  $\zeta$ . Отклонение этих параметров от линейной зависимости характеризует роль скоростной неравномерности фаз на диссипацию механической энергии потока.

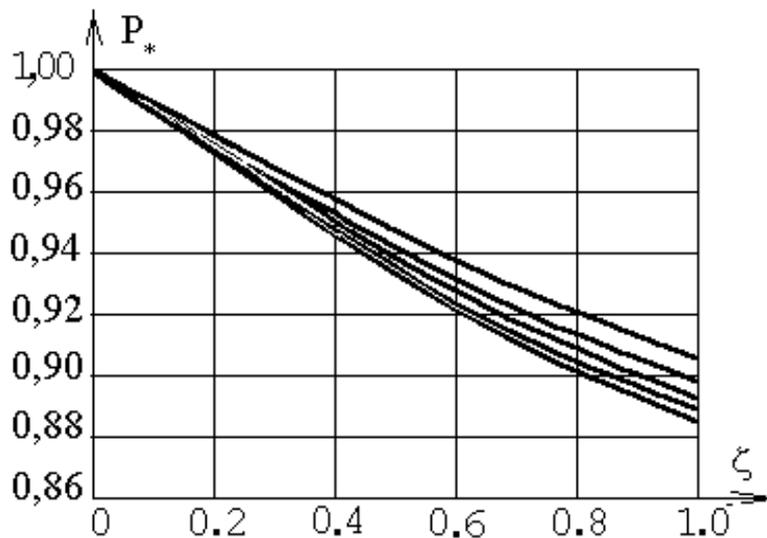


Рисунок 2 - Зависимость приведенного давления  $P_*$  по высоте канала для различных расходов

На рис. 3 представлены графики зависимости коэффициента  $R_*$  от чисел Рейнольдса для различных напряжений на электродах. Остальные параметры были неизменными [20].

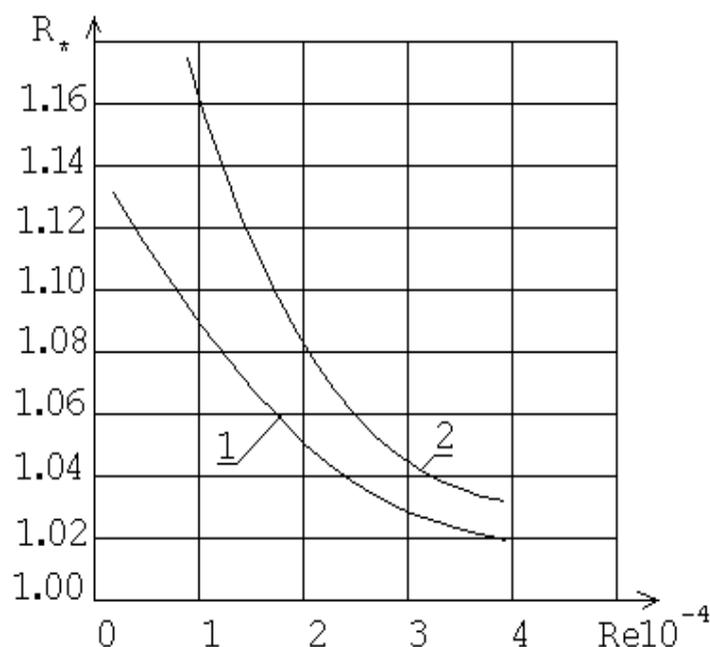


Рисунок 3 – Зависимость опытных и расчетных значений электрического сопротивления  $R_*$  от чисел Рейнольдса для различных напряжений на электродах (1 -36 В; 2 -70 В)

Графики показывают, что диссипация механической энергии в канале ЭХА с плоскопараллельными электродами зависит не только от плотности электрического тока при  $\sigma_1^0 = \text{const}$ , но и от распределения пузырьков по длине канала ЭХА, в отличие от известных [12]. Несоответствие между расчетными формулами и опытными данными не превышает 5%, что позволяет судить о достаточной степени достоверности результатов исследований.

Так как в литературе [8,11] практически не показана взаимосвязь между газонаполнением активной зоны канала ЭХА и степенью очистки жидкости от накипи, отсутствуют рекомендации по выбору конструктивных характеристик электродного блока, увязывающие эти параметры и обеспечивающие процесс очистки при минимально возможных энергозатратах нами были выполнены исследования с целью нахождения оптимальных параметров, таких как:  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$ ,  $J$ ,  $v$ ,  $U$  и установления их степени влияния на повышение эффективности электрохимической обработки подпиточной воды в системах теплоснабжения.

В связи с чем был исследован процесс обработки воды в ЭХА с графитовыми электродами, который был выполнен на полупромышленной установке, показанной на рис. 4 (фото автора) с использованием подпиточной воды для централизованной системы теплоснабжения. Максимальный расход воды через установку составлял  $150 \text{ м}^3$  в час.

Физико-химические показатели воды, поступающей на ХВО централизованной системы теплоснабжения и их изменение представлены в табл. 1.

Таблица 1 - Изменение индекса стабильности  $I_k$  воды на этапе водоподготовки (усредненные значения)

Таблица 1

Наименование системы теплоснажения	Общая жесткость исходной воды, мг-экв/дм <sup>3</sup>	Объем подпитки, м <sup>3</sup> /ч	Индекс стабильности при химводоподготовке		Индекс стабильности при электрохимическом способе	
			исходная вода	сетевая вода	исходная вода	сетевая вода
Система отопления	6,0	10	0,75	-0,9	0,75	0,39
Система отопления	3,6	2,5...3,0	0,62	-0,3	0,62	0,36

При электрохимическом способе водоподготовки сетевая вода практически стабильна (индекс стабильности не более 0,5) и при отсутствии деаэрационной установки не коррозионно активна, вследствие чего на указанных объектах отсутствуют как ненормируемое накипеобразование так и коррозия.

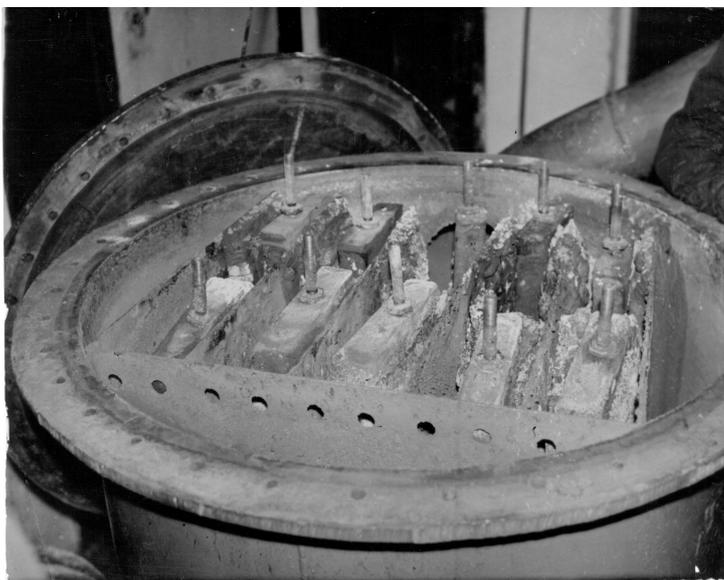


Рисунок 4- Электродный блок ЭХА с плоскопараллельным расположением электродов (крышка снята)

Исследования по зонам устойчивой работы ЭХА с графитовыми электродами, проведенные в диапазоне напряжений от 20 В до 220 В на постоянном и переменном токе с шагом через 20 В и скорости движения потока жидкости через электродный блок от 0,4 до 2,0 м/сек показали, что при фиксированной плотности электрического тока на электродах с увеличением скорости потока, концентрации солей жесткости и нефтепродуктов в исходной воде необходимо увеличивать напряженность электрического поля (рис.5).

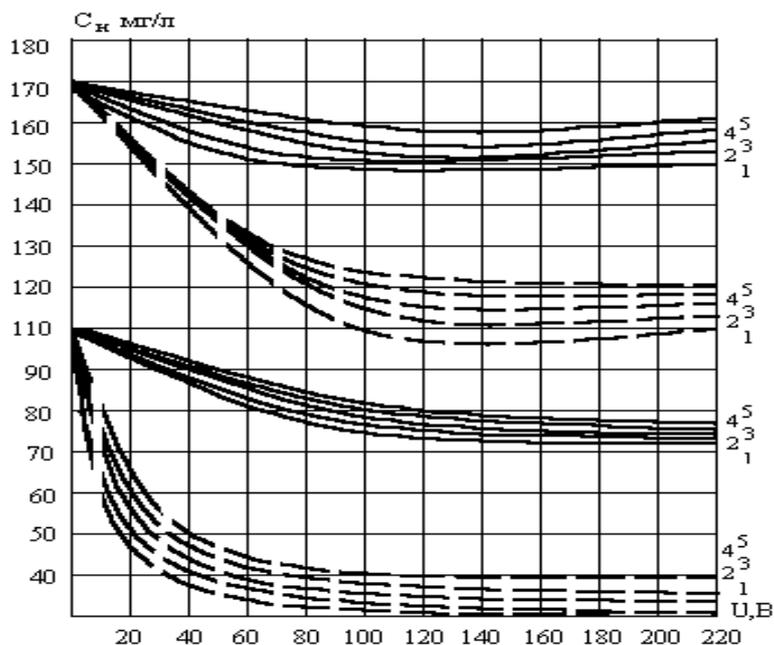


Рисунок 5 – Качество очистки воды от нефтепродуктов в зависимости от напряжения на электродах для различных скоростей несущего потока. 1 – 0,4 м/с, 2 – 0,8 м/с, 3 – 1,2 м/с, 4 – 1,6 м/с, 5 – 2,0 м/с (постоянный - - - , переменный ---)

На постоянном токе эффективность очистки выше, чем на переменном токе, что подтверждается авторами известной монографии [12].

В отдельных опытах с увеличением концентрации солей жесткости наблюдалось повышение на 10...15% разделяющей способности электрического поля, что можно объяснить лавинообразным повышением агрегации частиц и последующей их коагуляцией. Одновременно возрастало гидравлическое сопротивление и снижалась пропускная способность ЭХА.

Установлено, что температура воды в ЭХА при проведении экспериментальных исследований повышалась незначительно, с 90 до 90,4 °С, что свидетельствует о незначительных тепловыделениях. В оптимальном режиме работы величина энергопотребления не превышала 0,15...0,20 Вт ч/дм<sup>3</sup> [20,21].

Последующие исследования электродного блока ЭХА с графитовыми электродами в диапазоне плотности электрического тока от 50 до 100 А/м<sup>2</sup>, в отдельных случаях до 350А/м<sup>2</sup>, позволили получить более полное представление о зонах устойчивой работы электродного блока.

Химический состав отложений на электродах представлен в табл. 2.

Таблица 2 - Состав отложений на электродах в электрохимическом аппарате

№ п/п	Показатель	Значение в %
1	Концентрация Са (кальция)	26,6
2	Содержание Мд (магния)	7,8
3	Содержание Fe (железа)	1,12
4	Содержание иона SO <sub>4</sub>	4,2
5	Содержание CO <sub>3</sub>	53,9
6	Содержание нерастворимых примесей	6,3

Таким образом, в процессе исследований на полупромышленных установках ЭХА были получены следующие результаты: определена область устойчивых режимов работы ЭХА с постоянной геометрией канала, позволяющая улучшить эффективность очистки, повысить надежность работы ЭХА и ресурс при общем снижении энергетических затрат на единицу обрабатываемой жидкости.

#### Выводы

1. Решена задача расчета активной зоны канала ЭХА с плоскопараллельным расположением электродов и экспериментально исследованы его гидродинамические характеристики.

2. Натурные исследования электрохимической установки показали, что накипеобразование на электродах зависит не только от энергетических параметров установки, но в значительной мере определяется гидродинамическими характеристиками течения двухфазного потока.

3. При значениях тока на электродах выше расчетных начинается выделение пузырьков электролизных газов, которые поднимаясь вдоль поверхности электродов коалесцируют в виде больших пузырей и вызывают нежелательные колебания столба жидкости, вследствие чего препятствуют отложению накипи на электродах и тем самым ухудшают процесс очистки.

### Библиографический список:

1. Кострикин, Ю.А., Мещерский Н.А., Коровин О.В. Водоподготовка и водный режим энергообъектов низкого и среднего давления / М.: Энергоатомиздат. - 1990. - 252 с
2. Лапотышкина Н.П., Сазонов Р.П. Водоподготовка и водно-химический режим тепловых сетей /М.: Энергоиздат. - 1982. - 200 с.
3. Шапров, М. Ф. Водоподготовка для промышленных отопительных котельных / Изд-е 2-е, перераб. и доп. - М.: Стройиздат. - 1976.- 112с.
4. Дрикер, Б.Н. и др. Ресурсосберегающие технологии в водоподготовке промышленных предприятий и теплоэнергетике / Энергосбережение и водоподготовка. № 4. - 2001. – С. 13-19.
5. Первов, А.Г., Юрчевский Е.Б. О применении ультрафильтрации в сочетании с обратноосмотической технологией для обессоливания добавочной воды ТЭС. // Теплоэнергетика. 2004, №7, стр. 25-31.
6. Ruppriecht Werner, Mullrick Thomas. Ultrafiltration / Tab: Techn. Bau. № 12 – 2002. - С. 43–44.
7. Новик, А.А. Ультразвуковые установки для борьбы с отложениями накипи / ООО Ультразвуковая техника – ИНЛАБ; [www/utinlab.ru](http://www.utinlab.ru)
8. Ильин, В.И. Умягчение природных вод электрохимическим способом / Энергосбережение и водоподготовка. № 1. - 2001. – С. 66-68.
9. Акользина, А.Б., Бухгалтер Л.Б., Хабаров В.А. Электрохимическая обработка воды как экологически безопасный метод снижения численности коррозионно-активных микроорганизмов / Энергосбережение и водоподготовка. № 3. - 2003. – С. 53-56.
10. Иванов, В.Г. и др. Обеззараживание питьевых и сточных вод продуктами электрохимической активации / Водоснабжение и санитарная техника. № 10. - 2000. – С. 26-29.
11. Преображенский, А.Б. Особенности и преимущества электрохимического метода очистки и обработки воды/ Аква-Терм. № 2. - 2003. – С. 40-43.
12. Грановский, М.Г., Лавров И.С., Смирнов О.В. Электрообработка жидкостей -Л.: Химия. 1976. -216с.
13. Изыскание способов использования очищенных сточных вод для питания паровых и водогрейных котлов: отчет о НИР (заключ.) / Оренбург. политехн. ин-т; рук. В. П. Малкин; исполн.: С. А. Сандаков. - Оренбург, 1978.- 112с. - № ГР 78059514.- Инв. № Б760450.
14. Разработка способов умягчения оборотной воды и составление режимной карты водоподготовки паровых котлов: отчет о НИР (заключ.) / Оренбург. политехн. ин-т; рук. А. С. Хоментовский; исполн.: С. А. Сандаков. - Оренбург, 1981.- 128с. - № ГР 81073020.-Инв. № Б964035.
15. Изучение возможности применения очищенных сточных вод в системе оборотного водоснабжения теплоэнергетических станций. Отчет о НИР (заключ.) Рук. А. И. Дзюбан; исполн.: С. А.Сандаков / Оренбург. политехн. ин-т;- Оренбург, 1983. – № ГР 01830042329. - Инв. № 02860115698

- 16.Сандаков, С.А., Васильев А. П. К расчету электрофлотатора с пространственной системой электродов. Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1986. - № 11. - С. 90-94.
17. Сандаков, С. А., Васильев А. П. и др. Установка для обработки жидкости. А. с. 1498716, МКИ С02F1/46 № 4099463 /31-26; заявл. 29.07.86; опубл. 07.08.89, Бюл. № 29.
- 18.Сандаков, С.А., Васильев А. П. Расчет газонаполнения активной зоны канала электрофлотатора. Изв. вузов. Строительство и архитектура. - 1990. - № 9. - С. 90–96.
- 19.Сандаков, С. А., Бондаренко В. А. Зависимость электропроводности жидкости от концентрации нефтепродуктов и газосодержания при ее обработке в неоднородном электрическом поле // Современные технологии в энергетике, электронике и информатике: тез. докл. Рос. науч.-практ. конф. / Оренбург. Оренбург. гос. ун-т. – 1998. –С. 86 - 89.
- 20.Сандаков, С.А. Повышение эффективности очистки сточных вод разработкой аппаратных схем электрофлотационных установок оборотного водопользования. Автореф. дис...канд. техн. наук. Оренбург. 1998. - 22с.
21. Сандаков,С.А. Расчет электрофлотоустановки с электродами на упругих связях. Вестник ОГУ. Том 2. – 2005. - № 10. - С.103-108.

# Смотраева Г.Н. ВНЕДРЕНИЕ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ЭЛЕКТРОПРИВОДА В ПРОИЗВОДСТВО

ГОУ СПО Кумертауский горный колледж

Современное промышленное производство характеризуется большим многообразием технологических процессов. Для их осуществления человеком созданы тысячи самых разнообразных машин и механизмов.

Известно, что рабочие органы машин совершают различные виды движения, однако их привод, как правило, осуществляется электродвигателями вращательного действия. Поэтому, в передачах надо устанавливать всевозможные преобразователи движения.

Анализируя эти недостатки, можно прийти к выводу, что все они обусловлены традиционной кинематической схемой преобразования вращательного движения в требуемое движение рабочего органа. Следовательно, необходим принципиально новый подход при конструировании прогрессивных механизмов и машин.

Современная автоматизация производства невозможна без использования ЭД и средств управления ими или, точнее, без применения электропривода. Использование автоматизированного и автоматического электропривода позволяет повышать производительность труда, культуру производства и быта человека.

Анализ мирового опыта создания нового и модернизации действующего технологического оборудования показывает высокую динамику развития регулируемых электроприводов, компьютерных средств автоматизации, использования информационных средств. Она обусловлена стремлением к максимальному повышению производительности технологического оборудования и качества производимой продукции. Все ведущие электротехнические корпорации выпускают регулируемые электроприводы комплектно с компьютерными средствами автоматизации в виде гибко программируемых систем, предназначенных для широкого использования. Окупаемость средств, вложенных в такие системы, является наиболее быстрой. Кроме непосредственного применения регулируемые электроприводы совместно с технологическими устройствами используются в качестве средств регулирования технологических переменных — уровня, давления, влажности, температуры, дозирования, производительности и др.

Можно выделить следующие общие тенденции развития электроприводов, имеющие устойчивый характер:

- постоянно расширяющееся применение регулируемых электроприводов в промышленном оборудовании, транспорте, авиационной и космической технике, медицине, бытовой технике для достижения новых качественных результатов в технологии;

- замена нерегулируемых электроприводов регулируемыми в энергоемком оборудовании (насосы, компрессоры, вентиляторы и др.) с целью энергосбережения;

- распространение блочно-модульных принципов построения электроприводов, информационных средств, средств управления и систем управления в целом;

- динамичная компьютеризация электроприводов, механизмов, агрегатов и комплексов и новая идеология проектирования систем;

- дальнейшее развитие методов каскадного (подчиненного) управления, получивших широкое распространение в электроприводах и органично применимых к управлению технологическими переменными и интегральными показателями качества обработки, переработки и производства вещества;

- активное развитие и внедрение систем диагностирования, обслуживания, визуализации технологических процессов и процессов управления.

Регулируемые электроприводы, как правило, являются и автоматизированными, многие операции в них выполняются средствами управления без участия оператора. Принимая во внимание, что основными средствами управления в электроприводах являются программируемые микроконтроллеры и (или) промышленные компьютеры, уместно определять современный автоматизированный электропривод как компьютеризированный. Это определение подходит для интегрированных систем многодвигательных электроприводов, объединяемых с компьютерными средствами автоматизации и разветвленными информационными сетями в составе технологических агрегатов и комплексов.

С учетом отмеченных ранее тенденций развития автоматизированных электроприводов ведущие электротехнические корпорации мира считают разработку и продажу электроприводов главной для себя и перспективной для рынка серий с широкими функциональными и структурными возможностями, различными вариантами их технической реализации по условиям применения для самых разнообразных машин и механизмов. В главных сериях электроприводов разных корпораций можно отметить много аналогичных признаков.

Классификационными являются потребительские признаки, характеризующие функциональные, конструктивные и энергосберегающие возможности электроприводов, их электромагнитную совместимость с технологической средой.

Автоматизация современных технологических объектов сопровождается применением большого числа электромеханических систем, с помощью которых решаются задачи повышения качества продукции и эффективности технологического оборудования. Во многих случаях автоматические системы управления электроприводами следует рассматривать как взаимосвязанные системы, так как в состав технологического оборудования могут входить десятки электроприводов, объединенных по целям управления, питания и нагрузки. Стремление к электросбережению в результате замены нерегулируемых электроприводов регулируемыми приводит к необходимости рассматривать взаимосвязи электромеханических систем по цепям нагрузки в

объектах, для которых ранее такие задачи не ставились. Следует отметить и взаимосвязь выходных переменных электромеханических систем при формировании технологических показателей обрабатываемых изделий, характеризующих их качество. Эта взаимосвязь осуществляется через систему функциональных устройств технологического объекта.

Современные компьютеризированные электроприводы оснащаются большой библиотекой программных средств, с помощью которых можно решать многие функциональные задачи управления технологическим оборудованием разного производственного назначения. Эти средства распространяются на нижний (управление локальным оборудованием) и средний (координированное управление оборудованием) уровни управления и ориентированы на связь с верхним (административным) уровнем.

Современные технологии учитывают большие изменения, происходящие в теории и практике применения автоматизированного электропривода.

Электропривод переменного тока стал доминирующим в новых разработках технологического оборудования, а частотно-регулируемый электропривод с асинхронным короткозамкнутым двигателем широко применяется и выпускается многими электротехническими фирмами мира. Совместно с компьютерными средствами управления привод переменного тока имеет большие функциональные возможности и адаптирован ко всем объектам применения, где ранее использовался привод постоянного тока.

Управляющими устройствами приводов являются программируемые микроконтроллеры и промышленные компьютеры, а алгоритмы управления реализуются в виде программ.

Инженеры при математическом описании объектов и алгоритмов управления используют топологическое представление математических описаний в виде структурных и функциональных схем с выделением основных модулей управления (регуляторов, функциональных преобразователей, ограничителей, делителей, умножителей и др.).

Подобные схемы являются виртуальными по отношению к их программной реализации, но при высокой сложности современных систем управления электроприводами и особенно взаимосвязанных систем управления многодвигательными электроприводами они позволяют легко выполнять синтез алгоритмов управления без использования математических формальных процедур.

Оснащение одного производственного механизма или технологического агрегата современным компьютеризированным электроприводом не дает заметного эффекта в технологическом процессе.

Эффективным является автоматизация технологического комплекса, объединяющего в технологическом процессе много агрегатов и механизмов.

Это учитывается всеми ведущими электротехническими корпорациями, которые выпускают компьютеризированные электроприводы с развитыми сетевыми и другими средствами, превращающими электропривод в эффективный инструмент автоматизации

технологических процессов, где широко используются машины и механизмы. В состав интегрированных систем многодвигательных электроприводов включают средства среднего (технологического) уровня автоматизации, которые ранее относились к автоматизированным системам управления технологическими процессами (АСУ ТП).

В последние годы рядом авторов было указано на перспективность применения колебательного электромагнитного привода в виброперемешивающих устройствах, насосах, компрессорах, вибраторах и прессах. Многие из этих машин выпускаются серийно. Одинаковое движение привода и рабочего органа упрощает кинематическую цепь и эксплуатацию, уменьшает массу, габариты и энергопотребление, повышает надежность, безопасность и долговечность за счет исключения преобразовательных механизмов и простоты осуществления заданных законов движения рабочих органов. Рассматриваются вопросы рационального преобразования энергии в машинах и механизмах с электромагнитным приводом колебательного движения. Строится и исследуется их обобщенная математическая модель.

Электроприводами потребляется более 60% производимой в мире электроэнергии, поэтому вопросы энергосбережения имеют чрезвычайно важное значение. Для России это тем более важно, поскольку стоимость электроэнергии возрастает и при неэкономичных системах электроприводов возрастает стоимость вырабатываемой технологическими комплексами продукции.

Установленные стандартами показатели качества электроэнергии делают необходимым при выборе систем электроприводов, особенно при большой их установленной мощности, рассмотрение всей электротехнической цепи от КТП, где осуществляется контроль потребляемой активной и реактивной мощности и качества электроэнергии, до исполнительных органов рабочих и транспортных машин. Следует оптимально осуществлять набор силовых модулей (трансформаторов, реакторов, фильтров, полупроводниковых преобразователей, тормозных средств), при которых обеспечиваются минимальные потери электроэнергии, не нарушаются показатели качества электроэнергии у источника питания и решаются все задачи технологии.

К основным методам сбережения электроэнергии в автоматизированных электроприводах технологических агрегатов и комплексов относятся следующие.

1. Применение вместо нерегулируемых электроприводов регулируемых, с помощью которых возможно при изменении режимов работы технологического оборудования и физико-механических свойств обрабатываемого вещества устанавливать оптимальные по энергетическим затратам условия обработки, например, устанавливать оптимальные скорости насосов при изменении расхода и свойств жидкости, шпинделей металлообрабатывающих станков при изменении размеров и материала обрабатываемых деталей, роторов дробилок при изменении размеров и свойств дробимых веществ и др.

2. Применение силовых модулей регулируемых электроприводов, имеющих максимальные коэффициенты полезного действия и мощности

(главными среди них являются электродвигатели, управляемые полупроводниковые преобразователи — выпрямители и инверторы, тормозные модули, обеспечивающие рекуперацию электроэнергии от двигателя в сеть переменного или постоянного напряжения); максимально возможное исключение потерь электроэнергии при использовании тормозных резисторов.

3. Исключение режимов пуска и торможения технологически агрегатов и комплексов в результате применения дополнительных механизмов с регулируемыми электроприводами, обеспечивающих совмещение движений основных механизмов в технологическом процессе для перевода их в непрерывные режимы работы.

4. Использование адаптивных методов управления режимами электроприводов исполнительных органов технологических и транспортных машин для минимизации электропотребления при соблюдении заданных требований к производительности машин и качеству обработки вещества.

Возможности современного автоматизированного ЭП продолжают постоянно расширяться за счет использования достижений в смежных областях науки и техники — электромашиностроении и электроаппаратостроении, электронике и вычислительной технике, автоматике и электротехнике.

#### Новые технологии в системах электроснабжения.

Системы электроснабжения это комплекс технологических средств обеспечивающих транспорт электрической энергии от производителя к потребителю. В состав этого комплекса входят линии электропередач различных классов напряжения, трансформаторные и преобразовательные подстанции, а так же коммутационные аппараты обеспечивающие гибкое изменение конфигурации сети. Исходя из этого, условно, технологическое развитие этого комплекса, можно рассматривать по 5 направлениям:

1. Разработка новых изоляционных материалов.
2. Разработка новых методов гашения дуги и коммутационных аппаратов на этой основе.
3. Разработка дистанционно управляемых приводов для коммутационных аппаратов и преобразователей (прежде всего РПН).
4. Разработка, с учетом достижений предыдущих трех направлений, новых, высокоэффективных методов монтажа и обслуживания электроэнергетического оборудования.
5. Развитие систем автоматизированного и автоматического управления, контроля, и обслуживания.

Основным достижением по первому направлению последнего десятилетия стало широкое внедрение в эксплуатацию полимеров в качестве изоляционных материалов для ОРУ, ВЛ и КЛ.

В качестве примера можно привести широкое распространение отечественных изоляторов серий ЛК и ЛБ, представляющих собой различное сочетание стекло и углепластиковых композиций с кремнийорганической резиной. Подвесные и проходные изоляторы выполненные по этой технологии

обладают в десятки раз меньшей массой, не подвержены сколам и способны выдерживать нагрузки до нескольких тонн. Такие характеристики, кроме всего, значительно сокращают затраты на монтаж и расширяют возможности их применения.

Вторым примером заслуженно надо назвать применение в качестве изоляции проводов и кабелей, из так называемого, «молекулярно сшитого полиэтилена». В отличие от обычного, между прочим, самого распространенного и дешевого полимера, этот материал подвергается обработке радиоционным излучением. В результате чего в его структуре образуются дополнительные межмолекулярные связи, в десятки раз повышающие устойчивость к воздействию солнечной и тепловой радиации при существенном увеличении механической прочности. Подобные технологии, например СИП «самонесущие изолированные провода», радикальным образом повышают производительность труда при монтаже, в значительной мере повышают безопасность эксплуатации и снижают объемы неучтенного использования электроэнергии.

По второму направлению наиболее продуктивно развивались технологии с применением элегаза и вакуума как рабочих тел для гашения дуги. Основным достоинством обеих технологий перед традиционными масляными выключателями является их низкая пожароопасность. Элегаз, а тем более вакуум не горит. Вторым и не менее важным достоинством выключателей на основе этих технологий является существенно меньшие массогабаритные показатели. Это обусловлено высокой диэлектрической прочностью применяемых сред. Как следствие сокращается величина коммутационного промежутка, для ВВ-6-10 кВ до 8...10 мм, снижается требуемая мощность приводных механизмов. К достоинствам так же следует отнести, отсутствие необходимости содержания маслохозяйства для эксплуатации таких коммутационных аппаратов. Вакуумные камеры используются на напряжение до 35кВ, а элегазовые на все классы напряжений. Это обусловлено наличием в вакуумной камере жесткого рентгеновского излучения при коммутации, величина которого имеет квадратичную зависимость от напряжения коммутации, а так же сложностью создания глубокого вакуума в значительных объемах. Лишенная подобных недостатков технология на основе шестивалентной серы (элегаза) позволяет создавать целые комплексы коммутационных устройств, объединенные общей изоляционной средой. Примером такой технологии может служить ЗРУ-110 кВ п/с «Дружба» Уфимских городских сетей ОАО «Башкирэнерго».

Развитие технологии в области приводов коммутационных аппаратов обусловлено прежде всего тремя факторами:

- снижением массогабаритных показателей коммутационных устройств,
- накоплением знаний в области построения электрифицированного привода в других отраслях и опыта эксплуатации в электроэнергетике.
- разработкой новых методов осуществления коммутации с применением в схемотехнике привода современных электронных компонентов.

Ярким примером последнего служат приводы выключателей серии ВВ/TEL Российской фирмы «Тавридаэлектрик». Удерживание подвижных частей дугогасящей камеры в крайних положениях осуществляется не за счет традиционных механических защелок, а с помощью постоянного магнита особой конструкции. При этом коммутация осуществляется путем искажения магнитного поля соленоидом, в котором направление магнитного потока изменяется за счет электронного блока управления.

Самыми бурными темпами в настоящее время развиваются системы автоматизированного и автоматического управления, контроля, и обслуживания. Это конечно в первую очередь обусловлено бурным развитием компьютерных технологий. Их успех обусловлен в немалой степени универсальностью технических решений для самого широкого спектра систем автоматики. Действительно, не зависимо от того где применяется система на основе микропроцессорного контроллера она состоит из одинаковых узлов. Как правило это однокристалльная микроЭВМ, имеющая в своем составе помимо процессора память программ и данных, порты для обмена информацией с внешними устройствами, а за частую и АЦП для обработки аналоговых данных, датчики – преобразователи входных величин и выходные блоки управления. Структура микроэлементной базы позволяет легко расширять функции устройств подключением дополнительных узлов и модулей к существующим шинам обмена информацией. На конец практически безграничную универсальность сходных аппаратных решений обеспечивает программная реализация алгоритмов управления. В следствии этого компоненты таких устройств автоматики выпускаются массово и имеют низкую стоимость.

К достоинствам таких устройств автоматики следует отнести не только низкие массогабаритные показатели, не соизмеримые удобства монтажа и обслуживания, но и высокую точность, наличие средств самодиагностики и возможность построения многоуровневых автоматизированных систем на их основе без применения дополнительных технических средств. В настоящее время в КЭС уже эксплуатируются подобные устройства это блоки защит и автоматики «Сириус» НПФ «Радиус», УЗА-10В, УЗА-10А.2, и Micom P521 фирмы «ALSTOM»; автоматические регистраторы аварийных событий ИМФ-3С НПФ «Радиус», «Черный ящик» фирмы «ГОСАН», и REMIS; проверочные устройства «Нептун-1», «Сатурн-1М» и «Уран» НПФ «Радиус», РЕТОМ-41М НПП «Динамика».

Кроме устройств непосредственно задействованных в системах управления и контроля технологических процессов новые технологии, на основе микропроцессоров и силовой электроники, активно внедряются в диагностическое оборудование.

Надежность работы устройств релейной защиты и автоматики в значительной степени определяется качеством их первичной наладки и проверки характеристик в условиях эксплуатации. Такие испытания проводятся регулярно и из-за сложности проверки, широкой номенклатуры и большого количества релейной аппаратуры в энергосистемах требуют значительных

затрат времени и большого количества квалифицированного персонала. В этих условиях традиционное техническое обслуживание устройств РЗА с использованием электромеханических источников испытаний становится неэффективным и трудоемким при недостаточной степени надежности, качества и достоверности проверок.

Наиболее совершенным оборудованием в этой области является разработка научно-производственным предприятием «Динамика» современной компьютерной испытательной системы РЕЛЕ-ТОМОГРАФ-41М для автоматизированной проверки сложных устройств релейной защиты и простых реле. Эти приборы успешно эксплуатируются на энергообъектах России и ближнего зарубежья. Испытательная система РЕЛЕ-ТОМОГРАФ-41М в сочетании с компьютером поднимает на принципиально новый уровень качество и объективность выполнения проверочных работ на сложных панелях и шкафах РЗА, существенно снижая трудоемкость.

Портативные и мощные испытательные приборы подобного класса являются современной альтернативой устаревшим и громоздким устройствам класса У5053 и ЭУ5000, надежным и универсальным инструментом релейщика при проверке, как простых реле, так и самых сложных панелей в схемах релейной защиты.

# **Чиндяскин В.И. РЕШЕНИЕ ИННОВАЦИОННЫХ ЗАДАЧ ПРИ РЕМОНТЕ И ЗАМЕНЕ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ НА ПРОМЫШЛЕННЫХ ПРЕДПРИЯТИЯХ**

**Оренбургский государственный университет**

В связи с изменением экономических условий в настоящее время требуются новые подходы в организации работы, в частности, в применении инноваций – вложении средств в экономику, обеспечивающих смену поколений техники и технологии.

Как правило, внедрение новой техники и технологии является результатом достижений научно-технического прогресса.

В настоящее время в Оренбургской области износ основных фондов, в частности, энергетических объектов (электрических станций и электрических сетей) составляет 95-98 %.

Возраст крупных промышленных предприятий составляет 35-40 лет. Поэтому основной проблемой для промышленных предприятий и энергосистем является реконструкция (замена) устаревшего оборудования или строительство новых энергетических объектов.

Предлагается концепция проведения планово-предупредительных ремонтов, основное назначение которой – экономия средств и увеличение ответственности персонала, проводящего эти работы и постепенный отказ от капитальных ремонтов.

Для этого с помощью ЭВМ обрабатываются все данные об оборудовании – год выпуска, время выработки, дата и вид проведенных ремонтов, а также фамилии производителя и членов бригады, и перспективное планирование затрат.

Такой подход позволяет своевременно приобрести необходимые материалы и средства для их проведения и одновременно подготовиться к замене выработавших свой срок оборудования, это в рыночных условиях не приводит к разбазариванию средств и сверхнормативной эксплуатации устаревшего оборудования.

Зная год изготовления, время наработки, дату проводимых ремонтов, паспортные данные завода-изготовителя, а также количество ППР и понесенные затраты, мы сможем прогнозировать год замены оборудования.

Причем в зависимости от программы замены за год или два до ее завершения с помощью ЭВМ получим данные о необходимости приобретения нового оборудования и перехода на новый уровень техники (при этом источником финансирования является инновация), сокращение расходов на ремонты и обслуживание.

Такой подход позволяет своевременно приобрести необходимые материалы и средства для их проведения и одновременно подготовиться к замене выработавшего свой срок электрооборудования, это в рыночных

условиях приводит к резкому сокращению затрат и полной замене оборудования на новое.

**Чиндяскин В.И., Кильметьева О.И., Кузнецова О.С.**  
**ПРИМЕНЕНИЕ МУЛЬТИМЕДИЙНЫХ  
ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ ПРОГРАММ-ТРЕНАЖЕРОВ ДЛЯ  
ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА ПОДГОТОВКИ СТУДЕНТОВ ПО  
СПЕЦИАЛЬНОСТИ «ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ»**

**Оренбургский государственный университет**

Предлагается мультимедийный пакет программ-тренажеров из 5 противоаварийных тренировок, который позволяет моделировать на ПЭВМ работу оперативно-диспетчерского персонала электрических сетей по переключениям в плановой и аварийной ситуациях.

Данный пакет из противоаварийных тренировок разработан на основе типовой инструкции по переключениям и руководящих документов, применяемых в электрических сетях электроэнергетических предприятий.

Одним из важных вопросов, возникающих при обучении персонала, является понимание аварийных производственных ситуаций и выработка навыков и знаний для самостоятельного принятия необходимых решений.

По результатам госбюджетной научно-исследовательской работы предложен пакет из 5 обучающих и контролирующих программ-тренажеров противоаварийных тренировок, используемый как для оперативно-диспетчерского персонала электроэнергетических предприятий, так и для лабораторных работ по курсу «Эксплуатация и монтаж электрооборудования» студентов специальности «Электроснабжение». В пакете используется моделирование электрических задач тесно связанных с процессом производства, в частности, противоаварийных тренировок, выполняемых на ПЭВМ. Сценарии программ-тренировок отражают возможные реальные производственные аварийные ситуации, имеющие место на электростанциях и в электрических сетях.

**Режимы работы обучаемого включают:**

- **Самоподготовку** - обучение представляет собой ознакомление с описанием аварийной ситуации; ознакомление с рабочей схемой тренажёра, максимально приближённой к реальной схеме, а также демонстрационный режим тренажёра.
- **Тренировку** – «обучение». На этом этапе происходит осмысление действий и ознакомление с приёмами ликвидации аварийной ситуации и возврата системы в рабочее (стабильное) состояние, причём при неверных действиях обучаемого программа выдаёт замечание и правильный вариант действия.
- **Контроль знаний** – «экзамен». На этом этапе «подсказка» отсутствует и программа выдаёт результаты контроля работы обучаемого: фиксируется время работы с каждым разделом программы и число ошибочных действий.
- **Просмотр ошибок.** Режим «просмотр ошибок» - повторяет все действия, выполняемые обучающимися с демонстрацией ошибочных действий и остановкой на них.

Программы-тренажеры позволяют распечатывать электрическую схему тренировки, а также протокол с результатами экзаменуемого.

Фрагменты противоаварийной программы – тренажера представлены на рисунках 1, 2, 3.

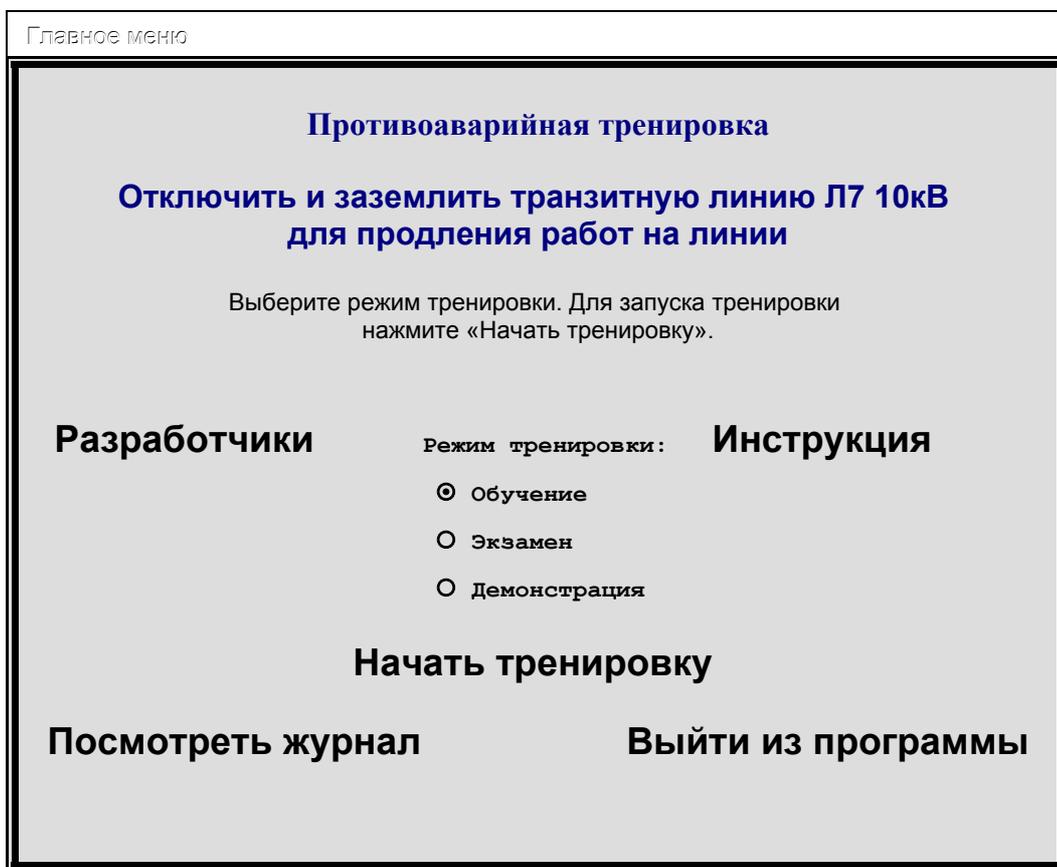


Рисунок № 1

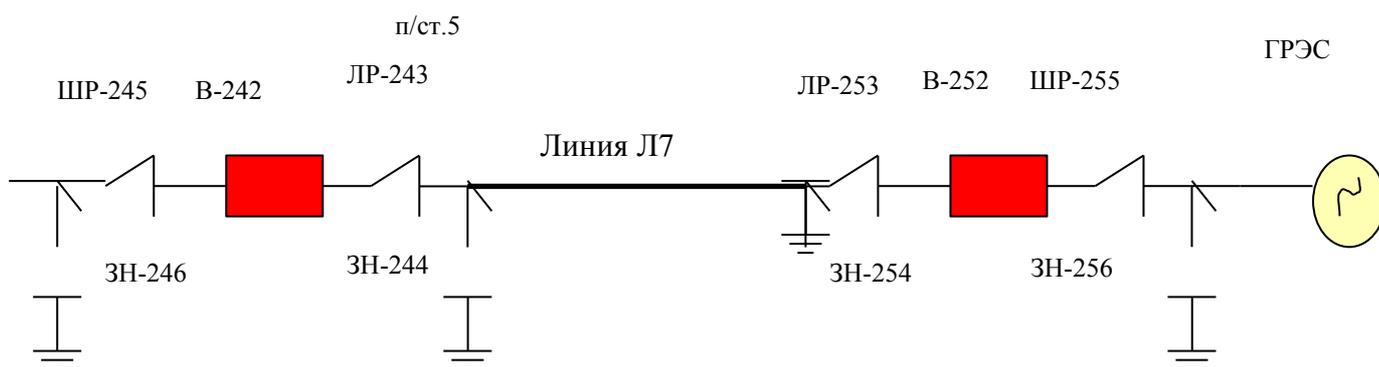


Рисунок № 2



Рисунок № 3

Таким образом, применение программ-тренажеров для обучения студентов специальности «Электроснабжение» позволит получить практические навыки реальных производственных ситуаций. Применение вышеуказанных программ-тренажеров для обучения оперативно-диспетчерского персонала электрических сетей позволит существенно уменьшить число аварий по вине оперативного персонала, а также предотвратить гибель людей.