

Федеральное агентство по образованию

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

Академия технологических наук Российской Федерации
Верхне-Волжское отделение АТН РФ

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Международной научно-технической конференции

«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»

(XII Бенардосовские чтения)

1-3 июня

I том

*К 75-летию образования Ивановского энергетического
института имени В.И. Ленина*

Иваново 2005

В I томе тезисов докладов научно-технической конференции отражены результаты научных исследований в области теории и практики энергетики и электротехнологии; математического моделирования, информационных систем и технологий; систем управления и автоматизации; рассмотрены вопросы надежности, эффективности и диагностики электрооборудования станций и энергосистем; тепловые и атомные электрические станции, а также методы анализа и синтеза систем управления электроприводами и установками.

Редакционная коллегия:

акад. МАИ, д-р техн. наук, проф. **В.Н. НУЖДИН** (председатель), чл.-кор. АН РФ, д-р техн. наук, проф. **Ю.Я. ЩЕЛЫКАЛОВ** (зам. председателя), д-р техн. наук, проф. **Ю.А. МИТЬКИН**, д-р техн. наук, проф. **А.В. МОШКАРИН**, чл.-кор. АЭН РФ, д-р техн. наук, проф. **В.А. САВЕЛЬЕВ**, д-р техн. наук, проф. **В.А. ПОЛЕТАЕВ**, заведующая РИО **С.В. КЛЮНИНА**

ISBN 5-89482-350-1
ный

© ГОУВПО «Ивановский государственный энергетический университет имени В.И. Ленана», 2005.

НИКОЛАЙ НИКОЛАЕВИЧ БЕНАРДОС (1842 – 1905 гг.)

Н.Н. Бенардос один из крупнейших русских изобретателей-электротехников второй половины XIX столетия, автор нового способа соединения и разъединения металлов с помощью электрического тока электродуговой сварки, получившего название способа Бенардоса, автор более чем 200 оригинальных изобретений и проектов в области электротехнологии, электротехники, транспорта, сельского хозяйства, военного дела. Это был исключительно талантливый изобретатель некоторые из его идей оригинальны и актуальны до сих пор, но лишь немногие из своих идей ему удалось притворить в жизнь.

Родился Николай Николаевич 26 июля (7 августа) 1842 г. в деревне Бенардосовка, Херсонской губернии. Его дед по отцовской линии был греком, и ещё ребёнком был вывезен в Россию. Отец, Николай Пантелеевич, полковник русской армии. Мать, Екатерина Васильевна, была праправнучкой знаменитого тульского оружейного мастера Никиты Демидова. Его образованием занимался Кари Иванович Пресслей, окончивший Берлинский университет. В имении отца имелись различные мастерские, где будущий изобретатель приобщался к столярному, слесарному, кузнечному делу.

Н.Н. Бенардос в 1862 г. поступил на медицинский факультет Киевского университета. В начале 1866 г. Н.Н. Бенардос оставил университет и осенью поступил в Петровскую земледельческую и лесную академию, где разработал и опробовал ряд изобретений. В 1867 г. в Париже состоялась Всемирная выставка, в которой впервые участвовал Н.Н. Бенардос. На выставке он имел возможность познакомиться с новейшими дуговыми лампами и убедиться в возможности применения электричества для освещения и нагрева. Вернувшись из Парижа, Н.Н. Бенардос, отправился в г. Лух по семейным делам, здесь он познакомился со своей будущей женой Анной Алексеевной Лебедевой.

В усадьбе в г. Лух Н.Н. Бенардос построил мастерские, в которых создавал свои изобретения. Соседи-помещики враждебно относились к новаторским действиям и искали повод, чтобы избавиться от него.

После отказа царя о восстановлении дворянских прав, Н.Н. Бенардос уезжает во Францию, где устраивается в лабораторию Кабатта, там он делает первые удачные попытки применения электрической энергии для сварки свинцовых пластин аккумуляторов. Способ сварки и резки металлов Николай Николаевич впервые осуществил в России в 1881 г. Этому изобретению он дал звучное название «Электрогефест» в честь древнегреческого бога огня и кузнечного ремесла Гефеста.

В 1885 году Н.Н. Бенардосу были выданы патенты во Франции, Бельгии, Англии, Германии, Швеции. Русскую привилегию он получил 31 октября 1886 года за № 11982. В 1887 г. ему были выданы патенты в Италии, США, Австро-Венгрии, Дании и в других странах. Патентование изобретения было своевременным, так как менее чем через 2 года после получения первого французского патента способ электродуговой сварки получил широкое применение во всем мире.

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ

УДК 621.316

В.П. ПИСАРЕВ, м.н.с., С.А. КРИВОВ, д.т.н., проф.
(МЭИ)

Применение пластинчатых электросепараторов для обогащения титан-циркониевых песков Центрального месторождения

Объектом исследований являлись укрупненные пробы титан-циркониевых песков Центрального месторождения, прошедшие стадию магнитного разделения, общим объемом 180 кг. Первая группа: немагнитные фракции, представлены в основном цирконом с содержанием 72–74 % и рутилом 25–27 %. Вторая группа: магнитная фракция с содержанием ильменита 60–63 %, граната 18–20 %, эпидота 7–10 %. Использование метода электросепарации по проводимости обосновано присутствием в пробах типичных представителей минералов проводниковых и не проводниковых групп.

В качестве экспериментального стенда использован электросепаратор ЛЭСС-600 пластинчатой конструкции с рабочей длиной электрода 600 мм. Производительность ЛЭСС-600 – до 60 кг/час. Конструкция ЛЭСС-600 позволяет проводить разделение минералов при регулировании напряжения на отклоняющих электродах, углов наклона электродов и других технологических параметров.

Разделение минералов исследовано при широком варьировании параметров процесса. Наилучшие результаты получены для группы № 1 при напряжениях: –7 кВ на верхнем электроде и +9 кВ на нижнем, угле наклона 40°. Для группы № 2 при напряжениях: –7 кВ на верхнем электроде и +6 кВ на нижнем, угле наклона 40°. В процессе исследования определено, что высокое качество разделения возможно получить при прогреве проб до температуры 180 градусов.

В результате шестиступенчатой перемешивки получены: в немагнитной группе концентраты с содержанием рутила 97 % и циркона 99 %; в магнитной пробе получен концентрат с содержанием ильменита 98 %.

Проведенные исследования показали возможность эффективного использования пластинчатых электростатических сепараторов для обогащения песков Центрального месторождения.

УДК 621.316

А.В. КАЛИНИН, к.т.н., зав. каф., А.А. БЕЛОГЛОВСКИЙ, к.т.н., доц.,
В.А. СОКОЛОВСКИЙ, асп., Р.В. ХИМЧЕНКО, асп.
(МЭИ)

Расчёт осаждения частиц в пористых электрофильтрах

Объектом исследований является высокоэффективный пористый электрофильтр, предназначенный для стерилизации и тонкой фильтрации воздуха. Решение задачи расчёта осаждения частиц в пористых структурах базируется на теоретических наработках для волокнистых структур. Поскольку пористые структуры существенно отличаются от волокнистых, обязателен учёт особенностей фильтрации в осадительных элементах пористого фильтра. Необходимо рассмотрение совокупности воздействия механических сил и электрического поля. Дифференциальное уравнение, определяющее траектории движения частиц:

$$m \frac{d[(V_r - U_r) + j(V_\theta - U_\theta)]}{dt} =$$

$$= q(E_r + jE_\theta) - \frac{3\pi\mu d_p}{c_n} [(V_r - U_r) + j(V_\theta - U_\theta)]$$

где m – масса частицы, V_r и V_θ – полная скорость частицы, U_r и U_θ – скорость потока воздуха, E_r и E_θ – напряженность электрического поля, c_n – поправка Кенингема, μ – динамическая вязкость воздуха, d_p – диаметр частицы.

Уравнение хорошо описывает все процессы, связанные с осаждением для достаточно крупных частиц (диаметром более 0,5 мкм), когда активно действует ударный механизм зарядки частиц и инерция. Для малых частиц (диаметром менее 0,5 мкм) следует учитывать совместное действие электрических сил (включая силы зеркального отображения) и диффузию.

Траектории движения и осаждение частиц зависят от распределения скорости потока воздуха в том или ином осадительном элементе. Для расчетов поля скоростей потока воздуха применялась модель Kuwabara, справедливая для чисел Рейнольдса $Re < 1$, тогда как в пористых структурах $Re > 1$. Для более точного моделирования поля скоростей разработана экспериментальная установка, представляющая собой гидравлический лоток, в котором поток воздуха моделируется потоком вязкой жидкости. Критерием подобия гидравлической модели выступает критерий Рейнольдса.

Литература

1. **Brown R.C.** Air filtration. Pergamon press. 1993.
2. **Davies C.N.** Air filtration. Academic Press. London New York. 1973.

УДК 621.3.032.26.015.532

А.В. КАЛИНИН, к.т.н., зав. каф., А.А. БЕЛОГЛОВСКИЙ, к.т.н., доц.,
 В.А. СОКОЛОВСКИЙ, асп., Р.В. ХИМЧЕНКО, асп.
 (МЭИ)

Расчет зарядки и осаждения частиц в зарядном устройстве комбинированного электрофильтра

Зарядное устройство предназначено для зарядки частиц в различного рода электрофильтрах (волоконистых, пористых, пластинчатых и т.д.). Расчетная модель зарядного устройства представлена на рисунке ($U_m=4,5\div 6,5$ кВ, $R_0=0,015$ см, $R_1=2,5$ см, $H_1=7$ см, $H_0=2,5\div 4,5$ см, соответственно $S=4,5\div 2,5$ см).

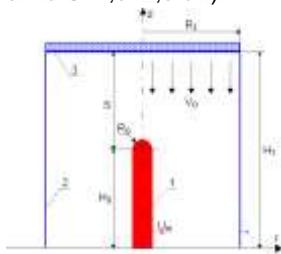


Рис. Расчетная модель зарядного устройства:

- 1 – высоковольтная коронирующая игла; 2 – соосный с ней заземленный осадительный цилиндр; 3 – пористый электрод.

В межэлектродном промежутке существует униполярный коронный разряд (КР), в поле которого по диффузионному и ударному механизмам происходит зарядка частиц [1], поступающих вместе с потоком воздуха. Разработана математическая модель и пакет прикладных программ для расчета поля КР, зарядки и осаждения частиц в нем из ламинарного и турбулентного потока.

Проведенные с его помощью расчеты показали следующее:

1. Зависимость степени осаждения частиц η от их радиуса a имеет минимум в области $a=0,3\div 0,8$ мкм, равный $\eta_{min}=0,1\div 0,3$. При этом значения η для ламинарного потока в $\sim 1,5$ раза выше, чем для турбулентного. Для частиц с $a<0,05$ мкм и $a>10$ мкм значение η достигает $0,3\div 0,4$ и более.

2. Значения η зависят, прежде всего, от приложенного к коронирующему электроду напряжения U_m , быстро нарастая с его увеличением. При увеличении U_m с 4,5 до 5,5 кВ значение η_{min} возрастает с $\sim 0,1$ до $\sim 0,14$ для турбулентного потока и с $\sim 0,14$ до $\sim 0,2$ для ламинарного потока с $V_0=1$ м/с.

3. Значения η слабо зависят от межэлектродного расстояния S .

4. Степень осаждения частиц изменяется обратно пропорционально скорости потока воздуха V_0 , т.е. увеличению V_0 в 2 раза соответствует уменьшение степени очистки в 2 раза.

Литература

1. **Электрофизические** основы техники высоких напряжений / И.М. Бортник, И.П. Верещагин, Ю.Н. Вершинин и др.; под ред. И.П. Верещагина, В.П. Ларионова. – М.: Энергоатомиздат, 1993.

Расчет времени запаздывания импульсного стримерного разряда в воздухе

Импульсная корона сопровождается многими процессами в энергетических и электротехнологических установках. Ее формирование начинается с появления у коронирующего электрода начальных электронов [1]. Они порождают лавины и далее стримеры. Интенсивность их образования определяет время задержки разряда, разрядный ток и т.д.

Предложена математическая модель для описания накопления начальных электронов и расчета времени запаздывания разряда $t_{зап}$ в воздухе. Полагается, что они появляются при развале отрицательных ионов в сильном электрическом поле. В формировании стримеров участвуют только частицы, возникающие в приэлектродной области с напряженностью, превышающей начальное значение 24,5 кВ/см, и на расстоянии от коронирующего электрода, достаточном для того, чтобы накопить необходимый для лавинно-стримерного перехода заряд [1].

Сопоставлены расчетные и экспериментальные данные исследований разряда в системе «игла-плоскость» (радиус острия иглы 0,01 см, межэлектродное расстояние $L=7,5\div 19,5$ см, амплитуда импульса напряжения 68 кВ, длительность фронта 60 нс, концентрация отрицательных ионов в воздухе $n_{n0}\approx 3\cdot 10^3$ см⁻³). Напряженность E на острие иглы в зависимости от значения L менялась от 363 до 918 кВ/см (рис. 1).

Получено хорошее соответствие расчетных и экспериментальных значений $t_{зап}$ в указанном диапазоне изменения E (рис. 2, указаны среднеквадратичные отклонения для $t_{зап}$). Отмечено, что помимо E , наибольшее влияние на значения $t_{зап}$ оказывает величина n_{n0} .

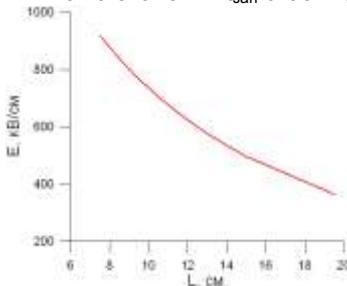


Рис. 1. Зависимость напряженности поля E на острие иглы от межэлектродного расстояния L

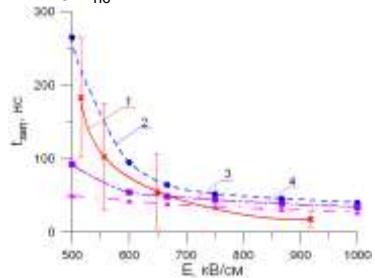


Рис. 2. Зависимости $t_{зап}(E)$: 1 – эксперимент; 2 – расчет, $n_{n0}=10^3$ см⁻³, 3 – $n_{n0}=2\cdot 10^3$ см⁻³, 2 – $n_{n0}=3\cdot 10^3$ см⁻³

Литература

1. Петер Г. Электронные лавины и пробой в газах. – М.: Мир, 1968.

УДК 621.365

А.М. БАТИЩЕВ, асп., А.И. ДАНИЛУШКИН, д.т.н., проф., А.Н. КРЫЛОВ, асп.
(Самарский государственный технический университет)

Структура температурных полей при пластицировании полистирола в червячном экструдере с индукционным нагревом

Для получения качественных изделий из термопластов методом экструзии материал необходимо полностью пластицировать до поступления в зону выдавливания. Для эффективного повышения качества экструдата при высокой производительности экструдер должен обеспечивать заданные температурные градиенты и изменение текучести материала по длине червяка и глубине винтового канала, а также химическую однородность материала. Наиболее интенсивной и экономичной для этих целей является система обогрева индукционными нагревателями. Поскольку в зоне выдавливания устанавливается стационарный режим, к ней можно применить законы теплопереноса для случая нагрева вязких жидкостей при ламинарном течении.

Для расчета электромагнитных и температурных полей в работе используются два пакета программ. В пакетах FEMLAB и QUICKFIELD применен метод Ньютона-Рафсона. Характер распределения и удельная плотность мощности внутренних источников тепла определены в результате решения электромагнитной задачи. Для полной физической определенности общая система уравнений дополняется эмпирическими зависимостями вязкости, удельной теплоемкости, коэффициентов теплопроводности от температуры. Для решения задачи теплопереноса разработаны вычислительный алгоритм и программа, которая содержит три взаимосвязанных расчетных блока – электрический, гидравлический и тепловой. Разработанный алгоритм расчета температурных полей в системе «индуктор–цилиндр–полистирол» позволяет рассчитать температурные распределения в полистироле на участке дозирования при нагреве источниками тепла, выделяющимися в цилиндре экструдера под действием вихревых токов.

Как показывают расчеты, вследствие низкой теплопроводности полистирола при ламинарном течении ее нагрев характеризуется большим перепадом температур по сечению потока, что приводит к необходимости поиска оптимальной длины отдельных зон и оптимального распределения мощности по зонам нагревателя. Кроме того, при конструировании индукционного нагревателя необходимо определить оптимальную рабочую частоту источника питания. Таким образом, перечисленные требования приводят к необходимости постановки и решения задачи оптимального проектирования на базе предлагаемой в работе математической модели.

УДК 621.365

Л.С. ЗИМИН, д.т.н., проф., М.Е. ФЕДОТОВ, асп.
(Самарский государственный технический университет)

Индукционный нагрев в прессовом производстве

При интенсификации металлургического производства встает проблема достижения экстремальных значений технико-экономических показателей технологических комплексов «индукционный нагрев-прессование». Производительность комплекса определяется максимальным временем обработки металла в одном из активных его элементов (индукторе или прессе), что полностью соответствует концепции «узкого места» при системном подходе. Определяющая роль температурного фактора позволяет описать комплекс «индуктор-пресс» поведением температурного поля обрабатываемого металла на соответствующих стадиях технологического процесса. Отсюда вытекает возможность представления этого комплекса в виде ступенчатой системы, состоящей из трех объектов управления с последовательными во времени режимами их работы, где модель каждого из объектов представляется соответствующим уравнением нестационарной теплопроводности. В общем случае это уравнение Фурье-Кирггофа вида, отражающее на первой стадии нагрев металла в индукторе, на второй – его охлаждение при транспортировании к прессу, и на третьей – температурное поле в процессе прессования. Поставленная задача нестандартна, прежде всего, за счет действия разных управлений на разные объекты в различные интервалы времени при наличии единственной стыковки через граничные условия. Обычно при решении подобных задач на каждом интервале управления выбирают согласно принципу максимума для объекта, соответствующего этому интервалу. Но в данном случае имеется своеобразная ситуация: минимальное значение времени цикла работы комплекса определяется предельными возможностями одного из его элементов, который является «узким местом» комплекса, сдерживающим его производительность. По этой же причине здесь не может быть применён принцип погружения, который рекомендуется при оптимизации технологических процессов с последовательным включением агрегатов. Оригинальность рассматриваемой задачи заключается в том, что температурное поле нагреваемой заготовки и время её транспорта к деформирующему оборудованию заранее не фиксируются, а входят в параметры оптимизации. Поиск проектных решений сводится к решению задач оптимального по быстродействию управления отдельно для ИНУ и ОМД для достижения результирующей температуры в конце нагрева с учётом периода транспортирования. Причём, показывается, что в данном случае управление будет также оптимальным по расходу энергии. В процессе решения вместе с поиском управляющих воздействий находят оптимальные значения: температуры нагрева, длительностей нагрева, транспортировки и прессования.

УДК 621.78

А.И. ДАНИЛУШКИН, д.т.н., проф., Д.А. ЗИННАТУЛЛИН, асп.
(Самарский государственный технический университет)

Оптимизация параметров теплообменного аппарата с индукционным нагревом

В работе рассматривается задача оптимизации стационарных режимов работы теплообменных аппаратов с индукционным нагревом на базе разработанных авторами проблемно–ориентированных численной и аналитической моделей тепломассопереноса в системе, состоящей из двух осесимметричных труб и движущейся между трубами нагреваемой жидкости. Процесс тепломассопереноса описывается взаимосвязанной системой уравнений Максвелла и Фурье для электромагнитных и тепловых полей соответственно, дополненной уравнением Навье–Стокса движения вязкой жидкости.

Разработан алгоритм расчета электромагнитных, гидравлических и тепловых полей, с помощью которого рассчитаны температурные распределения по длине и сечению потока жидкости. Для стационарного процесса непрерывного нагрева сформулирована и решена задача на минимум длины нагревательной системы при задании допустимой области конечных состояний температурного распределения, отвечающей требуемой точности нагрева в условиях ограничений на мощность источников тепла и температуру нагреваемой жидкости. Определен алгоритм оптимального пространственного распределения удельной мощности нагрева в стационарном режиме. Предложен квазиоптимальный алгоритм распределения мощности по длине индукционной системы в виде кусочно-постоянной функции, число интервалов постоянства которой определяется требованиями к плавности регулирования и условиями согласования электрических параметров индукционного нагревателя с параметрами питающей сети. Для индукторов минимальной длины, обеспечивающих нагрев с заданной производительностью, построены зависимости, позволяющие определить уровень мощности на каждом интервале постоянства в зависимости от температурного перепада по сечению жидкости на выходе из нагревателя, а также энергетические характеристики – электрический и термический коэффициенты полезного действия. По результатам исследований предложена конструкция и разработана методика расчета теплообменного аппарата с индукционным нагревом, позволяющая значительно повысить эффективность и качество работы нагревательного комплекса, обеспечить более высокую надежность, существенно увеличить срок службы. Предлагаемые авторами нагревательные установки ориентированы на применение в технологических комплексах подготовки нефти перед транспортировкой по магистральным трубопроводам.

УКД 621.36

Н.Н. КЛОЧКОВА, к.т.н., доц., А.В. ОБУХОВА, к.т.н., доц.
(Самарский государственный технический университет)

Расчет температурных полей для тел сложной формы

Процесс получения требуемой температуры индукционным нагревом в заданных зонах нагреваемой осесимметричной детали с резко переменным радиусом вращения является сложной задачей. Такие задачи возникают при необходимости разогрева торцов труб перед сваркой, застывшей пластмассы в объеме конической формы и т.д. Сложность формы предъявляет ряд требований к индукционным нагревателям: эффективность, интенсивность нагрева, высокий КПД, малый вес и габариты. Создание индукционной установки (ИНУ), удовлетворяющей этим требованиям, невозможно без предварительных исследований на основе математической модели, отражающей процесс индукционного нагрева. В любом технологическом процессе в ИНУ преобладающую роль играют электромагнитные и тепловые явления, поэтому наиболее важны электротепловые модели, основанные на численном решении взаимосвязанных уравнений электромагнетизма и теплопроводности. Связь электромагнитного поля с температурным полем обусловлена зависимостью удельного сопротивления и магнитной проницаемости от температуры. Алгоритм расчета электротепловых процессов в модели при известном начальном распределении температур заключается в следующем:

- Определяется удельное сопротивление и магнитная проницаемость каждого элемента дискретизации области загрузки.
- Проводится расчет электромагнитного поля.
- В интерполяционном блоке происходит формирование массива внутренних источников теплоты для решения тепловой задачи из массива, найденного после решения электрической задачи.
- Находится температурное поле на следующем временном слое, определяемом шагом по времени

Выбор шага по времени определяется требуемой точностью расчета и зависит от свойств схемы решения. Предлагается алгоритм решения данного типа задач реализуемых с помощью МКЭ. Электротепловая модель индукционной системы для нагрева осесимметричной детали с резко переменным радиусом вращения может быть построена без существенных погрешностей с учетом допущений: рассматривается двумерная осесимметричная область; поле полагается квазистационарным; не учитываются потери на гистерезис.

Полученная математическая модель была использована для решения задач поиска оптимальных конструкций индукторов для нагрева требуемых зон металлической детали до заданных температур и разогрева застывшей пластмассы в конической форме.

УДК 621.36

И.А. ДАНИЛУШКИН, доц., С.Н. КАПАНИН, магистр., С.С. СТАШЕНКОВ, магистр.
(Самарский государственный технический университет)

Исследование электромагнитных и тепловых полей при индукционном нагреве сложнопрофильного диска

Решается задача математического моделирования зависимости пространственного распределения внутренних источников тепла, наведенных электромагнитным полем индуктора в диске сложного профиля.

Сложная форма диска потребовала применения численных методов моделирования трёхмерного электромагнитного поля. Анализ численных методов моделирования электромагнитного поля показал, что для расчета сложных трехмерных электромагнитных полей наиболее эффективными являются интегральные методы. Для разработки алгоритма расчета распределения вихревых токов по объему нагреваемого тела в работе использовался метод вторичных источников О.В. Тозони.

В условиях принятых допущений, соответствующих специфике индукционного нагрева (отсутствие поверхностных зарядов, синусоидальный характер магнитного поля) разработан итерационный алгоритм расчёта распределения плотности вихревых токов в объеме нагреваемого тела. Алгоритм реализован в виде законченного программного продукта с развитым интерфейсом и средствами анализа результатов расчёта, не требующего от пользователя знаний в области программирования. Интерфейс программы позволяет сформулировать задачу расчета распределения мощности при индукционном нагреве диска любого профиля индуктором произвольной формы. В качестве исходных параметров для расчёта задаются размеры и профиль диска, размеры и форма индуктора, физические характеристики материалов, взаимное расположение индуктора и диска, напряжение индуктора, настройки численного метода. Результаты расчета электромагнитной задачи в виде функции распределения внутренних источников тепла положены в основу определения в процессе нагрева температурного поля диска.

Вторым этапом исследования является разработка математической модели тепловых процессов в нагреваемом диске. В данной ситуации используется метод конечных элементов, как наиболее приспособленный для решения задач в нелинейной постановке. Численное моделирование процесса индукционного нагрева диска осуществлялось с помощью среды технологических расчётов – MATLAB®. С помощью графического интерфейса для решения задач математической физики была сформулирована и решена двумерная осесимметричная задача нагрева диска внутренними источниками. Результаты решения используются в дальнейшем для оптимизации конструкции индукционной системы, обеспечивающей оптимальное распределение источников тепла при локальном нагреве участков диска перед закалкой.

УДК 536.24

А.А. БАЗАРОВ, к.т.н., доц.
(Самарский государственный технический университет)

Система индукционного подогрева колес перед раскаткой

В рассматриваемой задаче необходимо произвести подогрев заготовки колеса перед окончательной операцией – раскаткой после множества предварительных стадий. Заготовка, имевшая вначале равномерное распределение температуры на уровне 1260 градусов, приобрела очень неравномерное температурное поле с перепадами до 400 градусов между различными точками. Учитывая значительную массу заготовки (200–450 кг), расход энергии на подогрев будет весьма значительным, что делает актуальной задачу минимизации расхода.

Задача разработки системы нагрева, обеспечивающей минимальный расход энергии при достижении заданного конечного состояния, содержит две взаимосвязанные проблемы: проектирование пространственного распределения мощности внутренних источников тепла и синтез временного управления. Для упрощения процедуры поиска решения предлагается разделить эту задачу на две отдельные.

Для проектирования индуктора использовалась конечно-элементная модель расчета электромагнитных устройств, позволяющая учесть все сложности формы нагреваемого тела и индуктора.

Исходя из результатов расчетов температурных полей с помощью конечно-элементной модели в заготовке установлено, что градиент температур направлен от центра к наружной боковой поверхности. В связи с этим распределение мощности внутренних источников тепла должно иметь обратный градиент для более быстрого прогрева холодных участков и выравнивания общего температурного поля.

При синтезе регуляторов для системы с распределенными параметрами были использованы оптимальные по квадратичному критерию линейные законы регулирования, применяемые для систем с сосредоточенными параметрами [1]. Для использования этих методик был осуществлен переход от конечно-элементной формулировки тепловой задачи к системе обыкновенных дифференциальных уравнений [2]. Для функционирования замкнутой системы управления был разработан наблюдатель, использующий сигналы с двух термопар и значение мощности для формирования полной картины температурного поля в заготовке.

Литература

1. **Брайсон А., Хо Ю-ши.** Прикладная теория оптимального управления. – М.: Мир, 1972.
2. **Сейдж Э.П., Уайт Ч.С.** Оптимальное управление системами: Пер. с англ./ Под ред. Б.Р.Левина. – М.: Радио и связь, 1982. – 392 с.

УДК 536.24

А.Н. БУЗУЕВ, асп., П.В. КУПЦОВ, асп.
(Самарский государственный технический университет)

Система индукционного нагрева многослойного тела

Данная работа посвящена решению проблемы разделения на фракции и утилизации материалов, являющихся составными частями сопла ракетного двигателя. Актуальность поставленной задачи возрастает из-за наличия цветных металлов в составе исследуемой конструкции. В ходе процесса пайки имеется определенный процент брака изделий. Одной из причин брака является то, что фрагменты конструкции имеют сложную форму и различные электрофизические свойства.

Для решения электромагнитной и тепловой задач использовалась конечно-элементная модель, позволяющая учесть практически все особенности исследуемого тела.

В ходе исследования были получены тепловые поля объекта в зависимости от распределения внутренних источников тепла.

Полученное температурное распределение позволило внести коррективы в конструкцию индуктора.

С целью повышения эффективности процесса разборки паяных изделий, проведено исследование влияния электромагнитных полей на контактирующие фрагменты. Расчеты показали, что увеличение тангенциальных сил между поверхностями способствует выдавливанию припоя в зоны с большими зазорами. Влияние электродинамических усилий оказывает позитивное действие, так как с наименьшими затратами позволяют разделить на фракции бракованные конструкции сопла.

При проектировании индуктора задача создания заданного распределения удельной мощности вдоль радиальной координаты решалась выбором соответствующей частоты питающего устройства.

На основе проведенных исследований, была реализована индукционная установка, питающаяся током 10 кГц и 50 Гц. Частота 10 кГц применяется для быстрого нагрева до заданной температуры согласно технологическому процессу. При этом значительно снижается расход энергии и уменьшается время нагрева изделия. На частоту 50 Гц производится переключение с целью создания электродинамических усилий, позволяющих отодвинуть составные части конструкции друг друга.

УДК 621.313

Ф.Н. САРАПУЛОВ, д.т.н., проф., С.Ф. САРАПУЛОВ, к.т.н., доц., С. ФЕДОНОВ, студ.
(УГТУ, г. Екатеринбург)

Энергоэффективные схемы питания индукторов для электромагнитного воздействия на металлические расплавы

Для электротермического и электромеханического воздействия на металлические расплавы в ИТП а также в водоохлаждаемом кристаллизаторе при литье [1,2] применяются специальные многофазные или многосекционные индукторы. В отличие от однофазных обмотка трехфазного индуктора содержит шесть катушечных групп, которые соединяются между собой по правилам формирования обмоточной зоны индуктора многофазной индукционной машины: (AZBXCУ). Кроме сил отталкивания в металлическом расплаве возникают тяговые усилия, что позволяет создать одновихревое движение металла.

В таблице приведены параметры печи для разных схем питания индуктора одинаковыми по амплитуде токами с частотой 2500 Гц (B_t – осевая составляющая индукции, j_c – плотность тока в металле; F_t , F_n и P_2 – осевое, радиальное усилия и активная мощность в загрузке.

Схема Параметр	Одно- фаз- ная	Трех- фазная AZBXCУ	Трехфазная AZBXCУ частота 250 Гц	Трех- фазная AAZZBB	Трехсекционная AABBCC со сдви- гом токов в фазах на $\pi/6$
B_t , Тл	0.056	0.04	0.039	0.049	0.05
j_c , А/мм ²	6.2	4.4	1.4	5.5	5.5
F_t , Н	0	23.4	49.2	13.9	8.2
F_n , Н	427	260.5	166	363	410
P_2 , кВт	77.9	47.9	11.5	66.3	74.7

Из таблицы видно, что изменением схемы соединения секций и сдвига фаз токов в секциях можно изменять соотношение электромеханического и теплового воздействия на жидкий металл или формирующийся слиток. В последнем столбце таблицы приведены аналогичные величины для случая однофазного питания разделенного на три секции индуктора. Сдвиг токов в секциях на 30 градусов достигается путем параллельного включения конденсаторов.

Литература

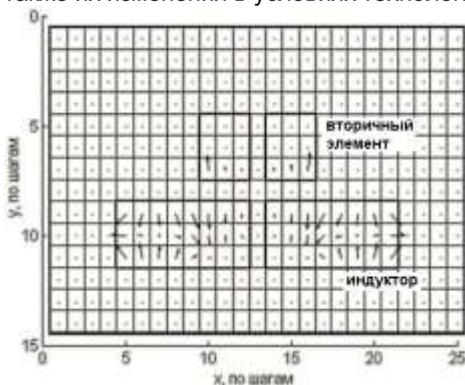
1. **Траузеделъ Д., Шлюкебер Д., Донбах Ф.** Реализация специальных технологических и металлургических задач в оптимизированных индукционных печах средней частоты // Бюллетень. Журнал для литейщиков №1. 2003. с. 20-23.
2. **Technology of copper based alloy cast in electromagnetic field/** B. Balukov, F. Sarapulov, B. Sokunov. Proceedings of the 3rd ISTC on UEES-97, 1997, Alushta, the Crimea, Ukraine, Technical University Press, Szczecin, 1997. P. 445-449.

УДК 621.313

Ф.Н. САРАПУЛОВ, д.т.н., проф., Д.Н. ТОМАШЕВСКИЙ к.т.н., доц., П.В. ЛЕБЕДЕВ, студ.
(УГТУ, г. Екатеринбург)

Моделирование индукционно-динамического двигателя

Проектирование и анализ индукционно-динамических двигателей (ИДД) требуют знания различных их электрических и магнитных параметров – распределения и величины магнитной индукции, величин питающих и индуцируемых токов, возникающих пондеромоторных сил и т.д. Указанные задачи решаются с помощью модельных построений с последующей экспериментальной проверкой. При этом основной задачей является оценка распределения магнитного потока и его изменения во времени вблизи индуктора и вторичного элемента моделируемого устройства. Зная распределение магнитного потока, рассчитанного в процессе решения полевой задачи, можно определить потокосцепление, а значит, и ток индуктора, его взаимосвязь с напряжением источника питания. Такой подход позволяет оценить важные интегральные характеристики устройства – индуктивные сопротивления, коэффициенты взаимоиндукции, а также их изменения в условиях технологического процесса.



Решение полевой задачи сводится к решению системы нелинейных уравнений (при учете насыщения). Это требует существенных вычислительных затрат, особенно при питании двигателей от источника напряжения заданного вида (например, конденсаторная батарея) и подробной детализации устройства. Преимущество

подробной детализации – нахождение токов и усилий в каждой клетке моделируемой области, что позволяет оценить усилия, действующие на отдельные витки катушки индуктора, а также на отдельные области сечения ВЭ.

Литература

1. **Магнитогидродинамические** машины с бегущим или пульсирующим магнитным полем. Методы расчета: Учебное пособие / Ф.Н.Сарапулов, О.Ю.Сидоров. Екатеринбург: УГТУ, 1994. 206 с.

Технологические аспекты применения сильных электрических полей

Электротехнология, как самостоятельный раздел электротехники, предполагает использование сильных электрических полей. По-видимому, первой разработкой, получившей широкое практическое применение, является электрический фильтр, предложенный французским электротехником Котрелем для очистки газовых выбросов. Высокая эффективность (~ 99 %) современных фильтров достигается предварительной зарядкой твердых и жидких частиц.

Жидкие среды отличаются от газообразных тем, что заведомо содержат ионы обоих знаков и дисперсные частицы, избирательно заряженные и несущие двойной электрический слой из ионов противоположного знака. Таким образом, имеется возможность электрической сепарации по ионным и коллоидно-дисперсным частицам. Например, использование катода и анода, погруженных в полярные и неполярные жидкости, позволяет не только производить очистку, но и наносить специальные покрытия на металлические и диэлектрические поверхности.

Нами сделана попытка применить сильное электрическое поле, используемое для очистки газообразных сред, к водным системам, имеющим высокую $\varepsilon = 81$ и электропроводность, изменяющуюся в широких пределах в зависимости от химического состава. Настоящий метод предполагает отсутствие непосредственного контакта электродов с жидкостью, либо когда один из электродов (нижний) погружен в жидкую среду, а другой (верхний) действует через диэлектрическую прослойку, например, воздушную.

В настоящей системе практически исключаются токи (допробойные условия), а электрополевое воздействие сводится к поляризационным процессам, которые имеют сложный характер. Мгновенно ($t = 10^{-8}$ с) должна происходить ориентационная поляризация молекул H_2O . Однако, молекулы воды обычно объединяются в группы (димеры и т.д.) время поляризации которых больше. Но, вода, как говорят «живет» изменяя свои основные физические и биологические свойства в течение минут и часов, т.е. действует как электрет, что сильнее проявляется в дистиллированной воде и при переходе ее в лед. Последнее можно связать с объемно зарядовой поляризацией.

Избирательная очистка, например, при удалении Ca^{+2} усиливается при помещении в катодную часть избирательного материала, приближаясь к которому Ca должен осаждаться посредством адсорбции, электрическое поле при этом оказывает стимулирующее воздействие.

Неполярные жидкости (нефтепродукты) отличаются сложным молекулярным строением, малой ионизацией, поэтому электроочистку целесообразно вести на уровне коллоидно-дисперсных загрязнений.

УДК 621.321

Ю.С. БОРИСОВ, д.т.н., проф., зав. отд., Л.П. ОЛЕВСКАЯ, инж., зам. зав. отд.
(ИЭС)

Современное состояние технологии микродугового оксидирования

Вентильные металлы (Al, Ti, Zn, Nb и др.) в настоящее время широко применяются во многих отраслях промышленности. Их применение даёт возможность снизить массу изделий, улучшить технико-экономические показатели продукции. Однако они не всегда могут удовлетворить требованиям потребителей по коррозионной стойкости.

Одним из перспективных научно-технических направлений является развитие процесса микродугового оксидирования (МДО). В отличие от обычного анодирования МДО проводится в принципиально отличающихся по составу электролитах при значительно более высоких напряжениях (в интервале 200 – 600 В). Химический состав покрытий, формируемых данным методом, определяют природа обрабатываемого металла, параметры процесса и компоненты электролита, попавшие в зону действия электрического пробоя, то есть состав электролита. Возможность варьирования химического состава анодных слоев на вентильных металлах и сплавах резко расширяет область их функционального применения. Например, на титане получены анодные слои, содержащие наряду с TiO₂, гидроксипатит, титанаты бария или свинца, оксиды железа, кобальта или никеля. На алюминии и его сплавах – анодные покрытия, содержащие наряду с Al₂O₃ оксиды кремния или вольфрама, циркония, титана, фосфаты и вольфраматы алюминия и вольфрамовые бронзы. Описанные выше покрытия находят применение для повышения биосовместимости титановых имплантатов, создании активных элементов регистрирующих устройств, использовании в катализе и других областях практики. Установлена возможность управления твердостью пленок за счет изменения значений формы, амплитуды и частоты импульсов тока и напряжения и соотношения катодного и анодного токов. При появлении фазы α – Al₂O₃ в покрытии микротвердость достигает 8000 – 9000 МПа. Повышение плотности и твердости пленок возможно за счет введения в нее элементов и соединений из электролита и сплава.

Исследования процесса микродугового оксидирования проводятся в ИЭС им. Е. О. Патона, разработаны лабораторные установки для МДО, проведены эксперименты по получению в различных электролитах оксидных покрытий как на Al, так и на Ti и их сплавах. Результаты коррозионных испытаний, в частности в щелочной среде с R_n=11.5 и при T=100°C, показали перспективность применения МДО для повышения стойкости деталей и конструкций из Al и его сплавов, работающих в условиях целлюлозно-бумажного производства.

УДК 621.3.015.532

В.Ф. ВОРОБЬЕВ, к.т.н, доц., М.Е. ТИХОВ, к.т.н, доц.,
Г.В. БЕЛЯЕВ асп., А.Н. КРАЙКОВ, магистр.
(ИГЭУ)

Эффективность ионизации газов в электрических системах с полым катодом при импульсном и постоянном напряжениях

Перспективным направлением по модификации свойств поверхностей материалов является имплантация частиц в приповерхностные слои. Современные ускорители позволяют ускорять частицы непосредственно из плазмы газового разряда. Для реализации этой технологии необходимо чтобы длина свободного пробега ионов была соизмерима с межэлектродным расстоянием, поскольку на своем пути заряженные частицы сталкиваются с нейтральными и теряют свою энергию. Одним из вариантов решения этой проблемы является повышение степени ионизации в межэлектродном пространстве. Достичь этого можно используя эффект полого катода. Электроны в полом катоде движутся по сложной колебательной траектории и испытывают множество ионизирующих соударений. Широкое распространение получили установки создающие плазму при постоянном напряжении, однако для этого можно использовать и импульсное напряжение. В данной работе была предпринята попытка сравнить эффективность обоих режимов по степени ионизации газа.

В качестве полого катода использовалась система коаксиальных цилиндров с радиусами $r_1 = 27.5$ мм – внешний радиус и $r_2 = 15$ мм – внутренний радиус. Длина цилиндров $L = 150$ мм. Опыты проводились при одинаковом давлении (P). В импульсном режиме интервалы времени между импульсами были равны 3 минутам, времени деионизации межэлектродного промежутка. В результате экспериментов были получены вольт-амперные характеристики позволяющие судить об эффективности обоих режимов. Исходя из полученных данных были рассчитаны мощности, выделяющиеся в мм³ межэлектродного объема: $S_{уд.имп}$ – удельная мощность в импульсном режиме и $S_{уд.пост.}$ – удельная мощность на постоянном напряжении. Удельную мощность можно считать косвенным показателем степени ионизации. Результаты расчета представлены в таблице.

$P, \text{ Па}$	$2 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$	7.10
$P_{уд.имп. \text{ Вт/мм}^3}$	17,8	14,1	11,6	8,2	6,7	4
$P_{уд.пост. \text{ Вт/мм}^3}$	6,3	5,4	3,9	3,2	2,5	1,6

Расчеты позволяют сделать вывод о том, что импульсный режим более эффективен. Так как удельные мощности, выделяемые в этом режиме ≈ 3 раза превышают показатели полученные на постоянном напряжении.

УДК 621.3.015.532

В.Ф. ВОРОБЬЕВ, к.т.н, доц., О.А. БАЖЕНОВ, к.т.н., доц.,
М.Е. ТИХОВ, к.т.н, доц., Г.В. БЕЛЯЕВ асп.
(ИГЭУ)

Моделирование разрядных процессов в газах методом укрупненных частиц

В основу модели положен метод укрупненных частиц, при котором вся совокупность взаимодействующих компонентов в разрядном промежутке разделяется на ансамбли с одинаковыми свойствами. Для плоско-параллельного поля такие ансамбли представляются в виде перемещающихся вдоль разрядного промежутка плоскостей с частицами – «облаками». В начальный момент времени все «облака» случайным образом распределяются вдоль разрядного промежутка. Плотность частиц на «облаке», его скорость и направление движения выбираются из условия сохранения принятого закона распределения составляющих газовой смеси по скоростям. Вблизи катода располагаются «облака» электронов, исполняющих роль начальных электронов. Под действием внешнего электрического поля «облака» электронов ускоряются и вступают во взаимодействие с «облаками» нейтральной компоненты. В программе моделируются процессы ударной ионизации и не упругие удары электронов с рассеянием энергии. При взаимодействии «облака» электронов с анодом происходит его полная компенсация («облако» уничтожается). Взаимодействие «облака» положительно заряженных ионов с катодом моделируется с учетом частичного рассеяния их энергии, изменения направления движения после удара на противоположное, нейтрализации заряда и выбивания вторичных электронов.

Расчеты показали, что в процессе формирования тлеющего разряда в промежутке рождается и проходит через него множество последовательных лавин электронов. В результате ионизационных процессов происходит накопление положительного заряда в промежутке и наблюдается сильное искажение электрического поля. Положительный объемный заряд повышает напряженность электрического поля у катода и уменьшает напряженность у анода. Это обеспечивает снижение энергии электронов вблизи анода и приводит к началу образования квазинейтрального столба плазмы. При достижении стационарного состояния разряда ионизационные процессы происходят только в узкой области прикатодного пространства. Сравнение экспериментальных данных с результатами расчета подтверждают работоспособность предлагаемой модели разряда.

В.И. БОБЫЛЕВ,
(АО ДСК г. Иваново),
Ю.А. МИТЬКИН, д.т.н., проф., А.М. СОКОЛОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Исследование процесса разогрева бетонных смесей при воздействии переменного напряжения различной частоты

Электротепловая обработка бетонных смесей является перспективным направлением в технологии изготовления железобетонных изделий и получает все более широкое применение на практике. В настоящее время для электроразогрева бетонных смесей используется, как правило, переменный ток промышленной частоты. Это требует наличия хорошего электрического контакта между электродом и бетоном в течение всего периода электротепловой обработки (до нескольких часов). Источники питания нередко имеют высокие массогабаритные и низкие технико-экономические показатели.

Устранить отмеченные недостатки можно применением для электроразогрева переменного тока повышенной частоты (до нескольких десятков кГц.) с использованием источников питания на основе полупроводниковых преобразователей частоты. С целью определения показателей такой электротепловой обработки выполнены экспериментальные исследования процесса разогрева бетонной смеси переменным током различной частоты. Для экспериментов использовался источник питания на основе транзисторного преобразователя частоты мощностью 600 Вт с частотой выходного напряжения до 50 кГц. Источник питания имеет ступенчатую и плавную регулировку выходного напряжения от 0 до 5000 В. Образцы бетона имели цилиндрическую форму высотой 80 мм и диаметром 80 мм. Бетон приготавливался по рецепту предприятия, сразу же укладывался в форму из изоляционного материала и подвергался воздействию электрического тока с использованием электродов из алюминиевой фольги. Обработка производилась в течение 2-3 часов при различных условиях: постоянное воздействующее напряжение, постоянная мощность, постоянная температура и др. Затем образцы хранились в условиях лаборатории и в течение 28 дней периодически определялась их вольт-амперная характеристика для оценки изменения электропроводности материала. Результаты экспериментов подтверждают целесообразность использования для электроразогрева бетонных смесей токов повышенной частоты, а также позволяют уточнить математические модели электропроводности бетона и процесса его электроразогрева, необходимые для разработки и проектирования промышленных установок такого назначения.

УДК 621.315

Ю.А. МИТЬКИН, д.т.н., проф., Д.В. СЕМЕНОВ, инж.,
А.М. СОКОЛОВ, к.т.н., доц., А.В. ИВАНОВ, магистр.
(ИГЭУ)

Разработка и исследование режимов работы высоковольтных полупроводниковых источников питания электротехнологических установок

Актуальной задачей в области электротехнологии является создание и широкое применение источников питания на основе полупроводниковых преобразователей частоты, которые обладают существенно лучшими массо-габаритными и технико-экономическими показателями по сравнению с источниками питания, работающими на переменном напряжении промышленной частоты. Такие источники в большинстве случаев должны иметь выходное напряжение от одного до нескольких десятков киловольт и номинальную мощность до нескольких десятков кВт. Существует достаточно большой набор вариантов схемно-технических решений для таких источников питания. Поэтому с целью определения рациональных схем и конструкций источников, предназначенных для электротехнологических установок, были выполнены экспериментальные исследования их опытных образцов на основе транзисторных преобразователей частоты с применением биполярных и полевых транзисторов.

Исследования проводились применительно к использованию таких источников питания в установках для электротепловой обработки абразивных изделий в процессе их изготовления. Это позволило также получить дополнительные сведения о режимах такой обработки и значении электропроводности абразивных материалов при воздействии переменного напряжения с частотой до нескольких десятков кГц. Исследования проводились с использованием готовых абразивных изделий на бакелитовой и керамической связке толщиной до 25 мм. Температура изделий в процессе экспериментов изменялась в пределах от 20°C до 100°C, действующее напряжение от 500 В до 2000 В, а подводимая мощность достигала 400 Вт. В результате исследований опытных образцов источников питания определены их важнейшие характеристики и параметры, которые необходимы для оптимизации конструкции и режимов работы таких источников. Разработаны также фрагменты математической модели полупроводниковых источников питания при использовании их в конкретных электротехнологических устройствах: установки для электротепловой обработки, лазерные установки. Результаты исследований подтверждают перспективность использования высоковольтных источников питания на основе транзисторных преобразователей частоты в электротехнологических процессах и установках.

УДК 621.314:621.315.6

Ю.А. МИТЬКИН, д.т.н., проф., А.В. ВИХАРЕВ, ст. препод.
(ИГЭУ)

Ю.А. ЧИСТОВ
(Ивановская генерирующая компания)

Опыт создания компьютерной базы эксплуатационных данных для оценки состояния высоковольтного оборудования

В электроэнергетических системах и на электростанциях в эксплуатации находится большое количество высоковольтного оборудования, выработавшего свой нормативный срок службы. Возможности по замене этого оборудования весьма ограничены.

Опыт эксплуатации свидетельствует о недостаточной эффективности существующих методов контроля и диагностики высоковольтного оборудования для стареющих образцов. Данные методы разрабатывались на основе обработки статистических данных по испытаниям оборудования, не выработавшего свой нормативный срок службы. Очевидно, что в этих условиях для стареющего оборудования необходимо разработать специальные диагностические методы, позволяющие более точно учитывать изменение состояния высоковольтного оборудования в эксплуатации. Следует отметить, что в электроэнергетике накоплено большое количество результатов по эксплуатационным испытаниям силового высоковольтного оборудования за время 25-30 лет его непрерывной работы. Эта информация должна быть использована при разработке новых методов оценки технического состояния стареющего оборудования.

При разработке таких методов контроля и диагностики стареющего высоковольтного оборудования должны быть объединены усилия представителей эксплуатации и научно-исследовательских организаций.

Кафедра ВЭТФ Ивановского государственного энергетического университета совместно с Ивановской генерирующей компанией (ИГК) организовали совместную специальную научно-техническую группу для изучения вопросов эксплуатации высоковольтного оборудования. Задачами этой группы являются анализ опыта эксплуатации оборудования ИГК и разработке на этой основе эффективных методов прогнозирования изменения ряда параметров изоляции, определяющих ее ресурс, по данным эксплуатационных испытаний.

С этой целью собрана база данных по эксплуатационным изменениям для основного высоковольтного оборудования ИГК, представленная в компьютерном варианте. Разработана программа анализа и прогнозирования изменения параметров изоляции силовых трансформаторов в эксплуатации с использованием созданной компьютерной базы данных.

УДК 621.314:621.315.6

Ю.А. МИТЬКИН, д.т.н., проф., А.В. ВИХАРЕВ, ст. препод., А.Н. КРАЙКОВ, магистр.
(ИГЭУ)

Ю.А. ЧИСТОВ

(Ивановская генерирующая компания)

Компьютерная программа по использованию эксплуатационных испытаний для прогнозирования изоляции высоковольтного оборудования

В электроэнергетике накоплено большое количество данных по эксплуатационным испытаниям высоковольтного силового оборудования, которые необходимо использовать для разработки новых методов оценки технического состояния данного оборудования.

Для хранения информации по эксплуатационным испытаниям высоковольтного оборудования все чаще применяются различные компьютерные базы данных (БД). Это позволяет эффективнее использовать накопленную информацию для существующих диагностических систем и разрабатывать новые диагностические методы.

На кафедре ВЭТФ ИГЭУ разрабатывается компьютерная программа, позволяющая использовать БД по эксплуатационным испытаниям оборудования для прогнозирования изменения основных параметров его изоляции. Данная программа содержит три функциональных блока.

Первый блок предназначен для занесения в БД информации о характеристиках оборудования, его испытаниях и режимах работы.

Во *втором блоке* производится анализ БД. Здесь данные испытаний представляются в графическом виде, что позволяет не только оценить соответствие исследуемых характеристик нормируемым значениям, но и определить динамику изменения данных контролируемых параметров, которая для большинства параметров определяется происходящими в оборудовании процессами. При анализе данных по повреждаемости высоковольтного оборудования рассчитывается распределение повреждаемости по видам и типу оборудования, сроку эксплуатации, времени года. Такой анализ БД позволяет более обоснованно определять объем запланированных ремонтных работ для конкретного оборудования.

Третий блок предназначен для прогнозирования изменения технического состояния оборудования по изменению основных параметров его изоляции. При этом накопленная информация используется для определения функциональных взаимосвязей между различными контролируемыми параметрами оборудования. Определенные взаимосвязи позволяют прогнозировать изменение основных параметров изоляции (электрическая и механическая прочности) при различных режимах работы оборудования и характеристиках изоляции. Это позволяет определять необходимость специальных профилактических работ на оборудовании (например, осушка и дегазация изоляции).

Применение моделей тепловых и гидродинамических процессов для диагностики маслонаполненных вводов высокого напряжения

Большая часть отказов и повреждений маслонаполненного оборудования приходится на высоковольтные маслонаполненные вводы (53%), причем в основном на вводы трансформаторов (76%). Одновременно в эксплуатации находится большое количество данных устройств, срок эксплуатации которых превысил нормативный ресурс. Исходя из опыта энергосистем России, имеется возможность существенно продлить срок эксплуатации вводов при условии проведения качественного и полного диагностирования, раннего устранения обнаруженных дефектов путем недорого восстановительного ремонта.

Одним из новых методов диагностики является тепловизионный контроль температуры изоляции в различных точках. Для повышения эффективности такой диагностики важно знать истинное распределение температуры по элементам изоляции.

Экспериментальное определение температурного распределения технологически не представляется возможным. Однако, распределение температур по элементам изоляции может быть определено на основе математического моделирования. Качество получаемых данных в результате математического моделирования непосредственно зависит от степени полноты модели и адекватности отражения в ней происходящих тепловых и гидродинамических процессов во вводах.

Такая модель представлена в [1]. Она учитывает множество факторов, в том числе, тепловыделение в элементах конструкции, распространение тепла и теплообмен между ними, подробную теплогидродинамическую картину в масляном канале, конвективный теплообмен между элементами конструкции и движущимся маслом, теплоотдачу на границе раздела крышка–воздух, а также граничные условия (нагрев нижней фарфоровой крышки маслом бака трансформатора).

Проведенные численные эксперименты показали хорошее соответствие полученных результатов реальным данным, выявлены закономерности влияния температуры окружающей среды на характер ее распределения. Разработаны рекомендации для использования моделей при решении задач диагностики маслонаполненных вводов высокого напряжения.

Литература

1. Солдатов А.В., Митькин Ю.А., Ясинский Ф.Н. Математическое моделирование тепловых и гидродинамических процессов в высоковольтных маслонаполненных вводах. Межвуз. сб. научн. трудов «Высоковольтная техника и электро-технология». ИГЭУ, 2003. №3. С.55-60.

УДК 621.315.6.001.5

О.А. БАЖЕНОВ, к.т.н., доц., С.Н. ГОРЯЧКИН, к.т.н., доц.,
Г.А. ФИЛИППОВ, к.т.н., доц., С.В. ШИЛОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Исследование электрических свойств электроизоляционных материалов и систем внешней изоляции высоковольтных аппаратов в условиях воздействия климатических факторов

Исследовалось влияние температуры, влажности, УФО, а также сочетаний вышеназванных факторов при различных уровнях воздействия в различных временах выдержки образуют при данном сочетании воздействующих факторов на электрические характеристики полимерных материалов (ρ_v , ρ_s , ϵ , $\text{tg}\delta$, $E_{\text{пр}}$, $U_{\text{пер}}$, $q_{\text{чр}}$, $I_{\text{чр}}$).

Проводилось испытание образцов полимерных материалов на ресурс по ускоренной методике.

Испытуемые материалы и композиции выдержали испытания на ресурс, соответствующие четырехлетнему пребыванию в условиях умеренно-холодного климатического района

Совместное воздействие температуры и влажности при уровне воздействующих факторов $t = 60$ °С, $\phi = 100$ % и времени выдержки образцов приданных условиях $T = 8$ час. снижает электрическую прочность образцов стеклотекстолита СТЭФ и стеклопластика СПВ на 40-60 %

Исследования совместного воздействия температуры и влажности проводилось в виде полного факторного эксперимента. В результате расчета получены коэффициенты при первых четырех членах уравнения регрессии вида

$$v = \alpha_0 + \alpha_1 Z_1 + \alpha_2 Z_2 + \alpha_{12} Z_1 Z_2$$

В качестве выходной функции была принята электрическая прочность исследуемого материала.

Воздействие отрицательных температур вызывает снижение удельных сопротивлений, которое не превышает одного порядка.

Воздействие УФО в исследованном диапазоне интенсивностей и времени экспонирования влияет на электрические характеристики незначительно.

Воздействие повышенной влажности воздуха ухудшает электрические характеристики полимеров: возрастает уровень частичных разрядов и тангенс дельта, снижается $U_{\text{пер}}$ и ρ_s .

Электрофизические процессы в масляном канале высоковольтного ввода

В процессе эксплуатации маслonaполненного высоковольтного герметичного ввода происходит постепенное ухудшение электроизоляционных свойств трансформаторного масла. При этом увеличивается загрязнение масла коллоидными частицами различной природы, продуктами его окисления и разложения. В результате значительно возрастает $\text{tg}\delta$ трансформаторного масла, снижается его электрическая прочность, на поверхности нижней фарфоровой крышки образуется осадок, по которому со временем развиваются разряды.

Во многих работах поведение коллоидных частиц в масляном канале ввода рассматривалось как простой процесс седиментации частиц под действием силы тяжести.

В рассматриваемом случае произведена попытка учесть влияние движения масла за счет неравномерного распределения температурного поля в бумажно-масляной изоляции и влияние неоднородного переменного электрического поля на поведение коллоидных частиц в масляном канале ввода.

Из-за неоднородности теплового поля возникает циркуляция трансформаторного масла в канале ввода между изоляционным остовом, верхней и нижней фарфоровыми крышками и металлическим фланцем. Показано, что скорость потока масла значительно превосходит скорость седиментации частиц, следовательно, движение коллоидных частиц определяется потоком масла в канале.

Поток масла постоянно поставляет коллоидные частицы к пристеночному слою вблизи твердой изоляции. Скорость масла в этом слое практически равна нулю и частицы «закрепляются» в нем. В пристеночном слое частицы за счет действия сил неоднородного электрического поля двигаются к поверхности фарфора и образуют на нем осадок.

Под действием внешнего электрического поля частицы у поверхности фарфора (в осадке) со временем сближаются, расстояние между ними уменьшается, и как следствие возрастает напряженность электрического поля между частицами. При определенной напряженности поля происходит пробой масляной пленки между частицами. В результате разряда в небольшом объеме образуются углеродсодержащие продукты разложения масла и коллоидных частиц, что снижает электрическую прочность осадка и повышает его проводимость. Продукты разложения от таких мелких частичных разрядов со временем накапливаются. Затем развиваются более мощные разряды, которые приводят к образованию науглероженных дорожек и к развитию поверхностного разряда по осадку.

УДК 621.31.048

М.В. ПРУСАКОВ, асп., И.А. ХАЛЬЗЕВ, магистр., М.Е. ТИХОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Экспериментальное определение формирования движения трансформаторного масла во вводе

Обобщенный анализ аварийности показывает, что наиболее частым и опасным видом повреждения высоковольтных герметичных маслonaполненных вводов является перекрытие внутренней изоляции, связанное с ухудшением свойств масла и образованием «желтого осадка» на внутренней поверхности нижней фарфоровой крышки.

Интенсивность осадка возрастает с повышением температуры в процессе эксплуатации вводов, определяемой в большой степени режимами работы трансформаторов.

Таким образом, необходимо провести исследования тепловых и гидродинамических процессов в масляном канале ввода. Эти процессы определяют параметры движения масла во вводе и, следовательно, характер процесса старения масла и образования осадка на поверхности твердой изоляции, а также процесс охлаждения изоляции. Изучение их необходимо для более точной диагностики состояния бумажно-масляной изоляции ввода, а также для более обоснованного выбора проектных решений при создании изоляции новых вводов.

Для исследования тепловых и гидродинамических процессов создана экспериментальная установка, включающая в себя: модель высоковольтного ввода, прибор для оптического наблюдения за движением масла, высоковольтные источники питания переменного и постоянного напряжений, приборы для измерения температуры (термопары и термометры). Была разработана физическая модель ввода, состоящая из токоведущей трубы, бумажной изоляции (изоляционный остов), масляного канала, верхней и нижней стеклянной крышки для визуального наблюдения за движением масла, металлического фланца, расширителя. Наблюдения осуществлялись с использованием катетометра.

Исследовались режимы: нагрев ввода от токоведущей трубы; нагрев нижней части ввода маслом «бака трансформатора»; нагрев ввода токопроводом и маслом «бака трансформатора»; при различных углах наклона ввода, при наложении переменного и постоянного высокого напряжений, при различном загрязнении масла твердыми частицами.

Проведенные эксперименты показали, что на характер распределения температуры, а также скорости движения масла по высоте ввода оказывают влияние: температура окружающей среды, температура масла в баке трансформатора, омывающего нижнюю часть ввода, установочный угол наклона ввода. Выявлены особенности движения масла вблизи твердых поверхностей масляного канала в различных частях ввода.

УДК 533.9

А.М. СОЛУНИН, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ)
М.А. СОЛУНИН, к.ф.-м.н., ст. препод.
(ИВИ ГПС МЧС РФ)
С.А. СОЛУНИН, н. с.
(ОИЯИ, г. Дубна, Моск. обл.)

О влиянии периодических возмущений на физические системы

Физической будем называть систему, уравнения движения которой ведут происхождение от второго закона Ньютона. К ним, например, относятся системы, описываемые уравнениями Навье-Стокса (жидкости, газы) или системы, описываемые уравнениями Больцмана (плазма). При этом важно знать силы, действующие на составляющую систему части (частицы). В чистом виде они подчиняются второму закону Ньютона и в нашем случае ($\mathbf{F}_{mp.} = -m\mathbf{v}\mathbf{v}$) имеют вид:

$$m\dot{\mathbf{v}} + m\mathbf{v}\mathbf{v} = \mathbf{F}(\mathbf{r}) + \mathbf{f}(\mathbf{r}, t), \quad (1)$$

где $\mathbf{F}(\mathbf{r})$ – стационарное поле, $\mathbf{f}(\mathbf{r}, t)$ – периодическое возмущение. Можно показать, что при определенных условиях усреднением правой части уравнения (1) по периоду возмущения ему можно сопоставить уравнения движения со стационарной правой частью [1]:

$$m\dot{\mathbf{v}} + m\mathbf{v}\mathbf{v} = \mathbf{F}(\mathbf{r}) + \mathbf{F}_{\text{доп.}}(\mathbf{r}), \quad (2)$$

где $\mathbf{F}_{\text{доп.}}(\mathbf{r})$ – дополнительная сила, вид которой определяется как стационарным полем, так и возмущением. Если возмущение гармоническое ($\mathbf{f}(\mathbf{r}, t) = \mathbf{f}(\mathbf{r}) \sin \omega t$), то [1] (приведем здесь случай $v/\omega \rightarrow 0$):

$$\mathbf{F}_{\text{доп.}}(\mathbf{r}) = \frac{\pi}{\omega} \dot{\mathbf{F}} + \frac{1}{3} \frac{\pi^2}{m\omega^2} \nabla F^2 - \frac{1}{2m\omega^2} \nabla f^2. \quad (3)$$

Силы, представленные этим выражением, имеют иную физическую природу, чем силы в уравнении (1). Поэтому изменения, вносимые в систему периодическим возмущением, могут привести к качественно новым физическим эффектам. Например, первое слагаемое в (3) подобно силе вязкого трения ($\dot{\mathbf{F}} = (\mathbf{v} \cdot \nabla) \mathbf{F}$) с тем, однако, отличием, что коэффициент при скорости зависит от точки. Поэтому, если этот коэффициент отрицателен, то система теряет энергию, если же положителен, то накапливает ее. Существенно также и то, что слагаемые эти нелинейны.

Литература

1. Солунин А.М. и др. // Известия ВУЗов. Физика. – № 10. – 2003. – С.48-52.

УДК 533.9

А.М. СОЛУНИН, к.ф.-м.н., доц.
(ИГЭУ)М.А. СОЛУНИН, к.ф.-м.н., ст. препод.
(ИВИ ГПС МЧС РФ)С.А. СОЛУНИН, н. с.
(ОИЯИ, г. Дубна, Моск. обл.)

О псевдоэлектрических полях

В [1] показано, что на заряженную частицу в переменном электрическом поле вида $\mathbf{E}(\mathbf{r})\sin\omega t$ в среде с линейной по скорости силой трения ($\mathbf{F}_{\text{тр.}} = -m\nu\mathbf{v}$) действует сила

$$\mathbf{F}(\mathbf{r}) = q\alpha\nabla E^2(\mathbf{r}), \quad (1)$$

$$\text{где } \alpha = -\left(1 + \frac{\omega^2 - \nu^2}{\omega^2 + \nu^2}\beta\right) \frac{q}{4m(\omega^2 + \nu^2)}, \quad \beta = \frac{1}{2\pi} \frac{\omega}{\nu} \left(1 - \exp\left(-2\pi \frac{\nu}{\omega}\right)\right). \quad (2)$$

Представим (1) в виде

$$\mathbf{F} = q\tilde{\mathbf{E}}, \quad \tilde{\mathbf{E}} = \alpha\nabla E^2, \quad (3)$$

где $\tilde{\mathbf{E}}$ – псевдоэлектрическое поле. Потенциал этого поля ($\tilde{\mathbf{E}} = -\nabla\tilde{\varphi}$)

$$\tilde{\varphi} = -\alpha E^2, \quad (4)$$

а плотность псевдозаряда ($\nabla \cdot \tilde{\mathbf{E}} = 4\pi\tilde{\rho}$)

$$\tilde{\rho} = 2\alpha\nabla\rho \cdot \mathbf{E} + \frac{\alpha}{2\pi} \partial^i E^k \partial_i E_k. \quad (5)$$

Итак, каждому переменному электрическому полю в условиях, когда справедливо представление для силы (1), можно сопоставить псевдоэлектрическое поле. Оно обладает одной очень важной особенностью.

Пусть, например, заряд сферы меняется по закону $Q(t) = Q_0 \sin\omega t$, амплитуда электрического поля для сферы $E(r) = Q_0/r^2$. Тогда $\tilde{\varphi}$, $\tilde{\mathbf{E}}$ и $\tilde{\rho}$ псевдоэлектрического поля имеют вид

$$\tilde{\varphi} = -\alpha \frac{Q_0^2}{r^4}, \quad \tilde{\mathbf{E}}(r) = 4\alpha \frac{Q_0^2}{r^5}, \quad \tilde{\rho}(r) = -\frac{3\alpha}{\pi} \frac{Q_0^2}{r^6}. \quad (6)$$

Таким образом, псевдоэлектрические поля по сравнению с электрическими обладают большими градиентами, что позволяет при небольшой разности потенциалов получать большие значения полей.

Литература

1. Солунин А.М. и др. // Известия ВУЗов. Физика. – № 10. – 2003. – С.48-52.

УДК 537.523/.527

И.В. ПАШИНИН, асп. (МЭИ)

Расчет импульсной стримерной короны с игольчатых и цилиндрических электродов

В задачах физико-математического моделирования импульсной стримерной короны в газах электрические поля имеют сложную конфигурацию: суммарное поле создается зарядами на электродах и объемным зарядом, вынесенным стримерами в межэлектродный промежуток. Для их расчета был выбран метод эквивалентных зарядов (МЭЗ) благодаря высокой точности и быстродействию при решении задач этого класса [1]. Поле в промежутке при использовании МЭЗ определяется суперпозицией полей эквивалентных зарядов (ЭЗ), аппроксимирующих заряды электродов и стримеров.

На языке Visual C++ разработана библиотека модулей для расчета методом ЭЗ трехмерных электрических полей, используемых в программах расчета импульсной стримерной короны. Поверхности электродов сложной конфигурации моделируются сочетаниями элементов цилиндрических, сферических и плоских поверхностей.

Для сокращения времени вычислений и снижения погрешностей расчета напряженности поля до уровня ниже 5% значения параметров, характеризующих расположение ЭЗ, должны находиться в пределах: $H_R / L_R \geq 2$, $L_R / R \leq 0,2$, где H_R – глубина залегания ЭЗ под поверхностью электрода, L_R – расстояние между соседними ЭЗ, R – радиус кривизны поверхности электрода. Расчет ускоряется за счет разработанной автором методики укрупнения ЭЗ, удаленных от расчетной точки.

На основе упомянутой библиотеки и математической модели импульсной стримерной короны [2] создана программа расчета ее параметров в системах электродов «стержень на плоскости во внешнем поле» и «коаксиальные цилиндры». Отличия версий программы для этих двух случаев заключаются в модулях расстановки ЭЗ, и учета регулярного характера структуры короны в последнем случае.

С использованием программы выполнены расчеты параметров импульсной стримерной короны с учетом ветвления. Выработаны рекомендации по выбору параметров коаксиального плазмохимического реактора для очистки воздуха от оксидов азота и серы.

Работа была выполнена при финансовой поддержке Минобрнауки РФ (грант № А04-3.14-291).

Литература

1. **Белоусов С.В.** Разработка усовершенствованной физико-математической модели импульсной стримерной короны в аксиально-симметричных системах электродов / Дисс. на соиск. уч. степени к.т.н. – М.: МЭИ, 2003.
2. **Верещагин И.П., Белогловский А.А.** Физико-математическое моделирование импульсной стримерной короны в воздухе // Электричество, № 2, 2005, с. 18-30.

Квалиметрические подходы интерпретации результатов исследования состояния изоляционных промежутков энергетического оборудования

Актуальной проблемой на сегодняшний день остается проблема диагностики изоляции различного оборудования. Для этого разрабатываются все новые более совершенные методы. Но каждый метод сталкивается с проблемой обработки и интерпретации данных, полученных в ходе эксперимента.

Современные компьютерные технологии дают большие возможности в плане обработки и интерпретации данных. С помощью различных программных средств возможно построение моделей позволяющих интерпретировать экспериментальные данные, что позволяет делать прогноз относительно качества изоляции и срока ее дальнейшего безопасного использования. К таким методам можно отнести интерпретацию с помощью искусственных нейронных сетей, который в этом контексте можно свести к задаче классификации образов или к задаче аппроксимации функций. Но большинство из них не дают понимания физических процессов происходящих в изоляции.

В данной работе предлагается относительно простой метод, но в тоже время позволяющий учесть физические изменения в изоляции. Метод основан на подходах оценки коэффициентов весомостей действующих факторов в процессе старения.

Метод позволяет отнести изоляцию к одному из четырех категорий, в зависимости от ее состояния:

1. Новая изоляция.
2. Средняя изоляция.
3. Старая изоляция.
4. Критическая изоляция.

В данной работе исходной информацией является экспериментально полученные зависимости разрядного тока от времени. Для каждого момента времени вводились ранги и по формуле Фералонтова находились весовые коэффициенты. С помощью средневзвешенной гармонической модели находилась коэффициент k , который и является критерием позволяющим отнести данное состояние изоляции к одной из четырех категорий.

Данный метод легко программируем на языках программирования высокого уровня, например Pascal, Delphi и др. и дает вполне удовлетворительные результаты.

УДК 537.22

В.А. ЧЕРНЫШЕВ, д.т.н., проф., А.Н. ВИНОГРАДОВ, асп.
(СФ МЭИ, СГПУ)

Исследование релаксационных процессов в диэлектриках с неоднородной структурой

Качество готовой продукции напрямую зависит от качества исходного сырья. Целью данного исследования является разработка метода контроля структуры диэлектриков с неоднородной структурой. Разработанная методика позволит контролировать качество сырья, используемого в технологическом процессе, и установить выход готовой продукции.

Для данного исследования был разработан конденсатор специальной конструкции, позволяющий изменять состав диэлектрика между обкладками. Пространство между обкладками заполняется объектом исследования и наполнителем. Исследовались изотермические спектры разрядного тока. Объектом исследования служил ПВХ в гранулах, используемый для изготовления изоляции кабелей и проводов (И40-13А рецептура 8/2). В качестве наполнителя использовался калиброванный кварцевый песок с зерном 250 мкм.

Для изучения релаксационных процессов были исследованы концентрационные зависимости изотермического разрядного тока. Были проведены исследования электрических свойств сложных систем, смоделирована структура диэлектрика и исследованы релаксационные процессы с целью установления зависимостей свойств диэлектриков от состава и проверки чувствительности метода к структуре диэлектрика.

Были смоделированы релаксационные процессы, происходящие в изоляционных промежутках, определена функция отклика и по ней произведена оценка состояния объекта исследования.

Экспериментальные данные обнаруживают зависимость разрядного тока от концентрации объекта исследования. Имея надежную базу сравнения, можно определить степень дефектности (чистоты) диэлектрика и создать эффективный метод контроля качества объекта исследования. В докладе рассматривается методика проведения эксперимента и работа с опытными данными.

Показано, что разработанный метод чувствителен к структуре диэлектрика и позволяет судить о его качестве (состоянии).

Подсекция «ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ»

УДК 621.316.925

В.К. СЛЫШАЛОВ, д.т.н., проф., А.Ф. СОРОКИН, к.т.н., доц., Ю.А. КИСЕЛЕВА, инж. (ИГЭУ);
А.В. СЛЫШАЛОВ, к.т.н. (ИвЭнерго)

Расчет наведенных токов, протекающих в землителях при грозовом разряде

Появление в заземлителях мощных импульсных токов обусловлено не только прямыми ударами молний в объекты, присоединенные к данному заземлителю, но также индукционным воздействием изменяющегося заряда в канале грозового разряда на заземленный объект. При ударе молнии в землю или любое сооружение, не связанное гальванически с наблюдаемым заземлителем, в заземлитель с объекта стекает заряд, наведенный на нем полем лидера молнии. Длительность этого процесса соответствует главной стадии грозового разряда, а протекающий при этом импульсный ток может достигать значений, соизмеримых с током прямого удара молнии.

Задача расчета наведенного тока решается в настоящем докладе для случая когда молния ударяет в землю вблизи системы проводов и заземленных тросов параллельных друг другу и поверхности земли. В расчете определяется ток в заземляющем проводе, соединяющем заземлитель и тросы. При решении рассмотрены два возможных метода:

1. использование интегральных уравнений для распределений наведенных зарядов по проводам и тросам, на основе которых может быть исследовано и электрическое поле системы;
2. использование теоремы Шокли-Рамо для определения только интегральных характеристик процесса – наведенных зарядов и токов.

Решение выполняется при следующих допущениях: лидерный канал считался заряженным равномерно; скорость перемещения фронта нейтрализации зарядов канала вычислялась по заданному току молнии; не учитывалось запаздывание процесса сброса зарядов в системе проводов и тросов относительно процесса нейтрализации зарядов канала.

В результате расчетов установлено, что при ударе молнии в землю на расстояниях от проводов порядка высоты их подвеса амплитуда наведенного тока соизмерима с амплитудой тока молнии [1], крутизна фронта у импульса наведенного тока значительно больше, а длина практически определена длительностью фронта тока молнии.

На основе проведенных расчетов выполнена оценка возможности использования для измерений наведенных токов коаксиальных шунтов [2].

Литература

1. **Руководство** по защите электрических сетей 6-1150 кВ от грозовых и внутренних перенапряжений/ Под. научной редакцией Н.Н. Тиходеева. – 2-ое изд. – СПб: ПЭИПК Минтопэнерго РФ, 1999. – 353 с.
2. **Болотин И.Б., Эйдель Л.З.** Измерения в переходных режимах короткого замыкания. – 2-е изд., перераб. и доп. – Л.: Энергия, Ленингр. отд., 1981.-192 с.

УДК 621.315.1

Д.М. КУДРЯВЦЕВ, инж.
(филиал ОАО «ФСК ЕЭС»- Нижегородское ПМЭС)

О классификации методов исследования технического состояния ЛЭП сверхвысокого напряжения

В связи с использованием новейшей аппаратуры, основанной на методах дистанционного зондирования, появлением новых критериев и нормативов оценки технического состояния (ТС) и угроз от окружающей среды (ОС), определяющей надежность работы ЛЭП сверхвысокого напряжения (СВН), появляется возможность комплексного (уточняющего существующую неоднозначность) исследования ЛЭП.

В докладе предлагается классификация систем комплексного исследования ЛЭП на основе анализа современных высокоэффективных достижений в аппаратной части и систем автоматизации, а также возможностей по использованию новых методов, способов и аппаратуры. Делается попытка оптимизировать контроль за ТС и повысить точность определения и идентификации параметров дефектов и повреждений ЛЭП на основе предложенной структуры, представленной в табл.1.

Таблица 1.

КОМПЛЕКСНЫЙ КОНТРОЛЬ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ЛЭП	
СИСТЕМА I	СИСТЕМА II
периодический	непрерывный
мобильный	стационарный
бесконтактный	контактный
локационный	зондирующий
беспроводная передача данных	комбинированная передача данных
трехмерная визуализация ТС	массивы данных по ТС
кусочно-целостный	целостный
выборочный	централизованный
дополнительный	основной
уточняющий	фиксирующий
автоматизированный	автоматический
ограничен погодными условиями	нет ограничений
аппаратный	модульный
необходимый	достаточный
ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ, ХРАНЕНИЕ, ОБРАБОТКА, АНАЛИЗ	

Комплексный контроль ТС ЛЭП подразумевает сбор информации со всех технических средств регистрации приведенных систем, обеспечивающих оценку параметров состояния ЛЭП. Проведен анализ существующих и предложены пути по разработке математических моделей повреждений и влияний ОС (наведенное напряжение, уровень изоляции и т.д.) на работу ЛЭП. Для выявления и идентификации исследуемых повреждений или помех от ОС предлагаются способы выделения их из сложного множества шумов, дефектов и повреждений.

УДК 621.316.925

В.К. СЛЫШАЛОВ, д.т.н., проф., Ю.А. КИСЕЛЕВА, инж., С.В. БЕДНЯКОВ, студ.
(ИГЭУ);
А.В. СЛЫШАЛОВ, к.т.н.
(ИвЭнерго);
Ю.В. ШАЛАЕВ, инж.
(Тамбовэнерго)

Расчет волновых параметров и эксплуатационных характеристик протяженных неэквипотенциальных заземлителей

Волновые параметры: постоянная распространения, волновое сопротивление, скорость распространения волны, коэффициенты отражения и преломления и эксплуатационные характеристики протяженных естественных и искусственных заземлителей: входное сопротивление, рабочая длина, напряжения прикосновения и шага полностью определяют все аспекты взаимодействия заземлителя как элемента с системой электробезопасности в целом при любых внешних и внутренних возмущениях (токи короткого замыкания, удары молнии, индукционные токи и т.д.).

В докладе рассмотрен метод определения перечисленных параметров и характеристик протяженного заземлителя кругового сечения, проложенного параллельно или перпендикулярно плоским границам раздела многослойной среды. Метод базируется на расчете электромагнитного поля заземлителя. Исходной является полевая модель в форме волнового уравнения для напряженностей электрического и магнитного поля внутри и вне заземлителя.

Основным расчетным параметром, как показано в докладе, является постоянная распространения, по которой вычисляются волновое и переходное сопротивления заземлителя и осуществляется построение цепной модели процессов в заземлителе, удобной для расчета входного сопротивления при учете многократных отражений и преломлений волн в случае прокладки заземлителя перпендикулярно слоям грунта.

Расчет напряжений шага и прикосновения проиллюстрирован в докладе на примере заземлителя, проложенного параллельно границе грунт-воздух в грунте, а так же при рассмотрении воздушного участка заземлителя при расположении последнего «над грунтом».

Поскольку случай расположения заземлителя над поверхностью земли в воздухе не является исключительным (например, защитные тросы ЛЭП) в докладе проведено сопоставление методов расчета волновых параметров воздушных линий с рассмотренным методом расчета параметров заземлителей. Показано, что не смотря на отчетливую методологическую общность этих задач ни один из существующих методов расчета полей воздушных линий непосредственно неприменим для исследования процессов в заземлителях.

УДК 519.246.2:621.311

М.Ш. МИСРИХАНОВ, д.т.н., проф.
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС»–МЭС Центра)
В.П. ГРЕЧИН, к.т.н., член МЭА
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС»–Нижегородское ПМЭС)

Подходы применения теории хаоса к проблемам электроэнергетики

Теория хаоса – учение о сложных нелинейных динамических системах, принадлежащих различным объектам, как естественным, так и искусственным (созданным человеком и его деяниями).

Естественные системы, созданные эволюционными и текущими процессами на Земле и в Космосе: неживая природа (горы, реки, моря, пустыни, леса), флора, фауна, молнии, миражи, приливы, отливы, Гольф-стрим, смерчи, тайфуны, цунами, облака, эпидемии, человек и его системы (кровеносная, лимфатическая, нервная, пищеварительная), броуновское движение, космические объекты и процессы и т.д.

Искусственные системы, необходимые для жизнедеятельности человека: разветвленные транспортные системы большой энергетики (электро-, тепло-, газо-, водо-, нефте- и продуктопроводы), а также связь (проводная, волоконнооптическая, радио-, сотовая, космическая и т.д.), большие производственные, логистические и другие организации.

Системы вооружения, политические, социальные, религиозные системы и тому подобное здесь не рассматриваются, хотя их катастрофические изменения также можно исследовать на основе теории хаоса.

И в естественной и в искусственной системах иногда происходят разнообразные процессы, которые развиваются в катастрофы: землетрясения, цунами, снежные лавины, солнечные вспышки, лесные пожары, падение крупного метеорита, аварии в электрических сетях и на энергетических объектах, финансовые крахи и другое. Для каждого вида катастрофы, согласно теории самоорганизованной критичности, могут быть созданы временные математические модели, состоящие из набора локально взаимодействующих компонентов, каждый из которых описывается динамической системой: предшествующей, в момент и после наступления события. По ним появление какого-либо квазидинамического процесса (катастрофы, аварии) можно предвидеть.

Для изображения и моделирования проблемных образов теория хаоса использует 3D графику (трёхмерные самоподобные фракталы, хаотические аттракторы, вейвлеты) в точках бифуркаций.

Используя теорию хаоса можно построить модели катастрофических событий, оценить возникающие при этом риски, создать методы мониторинга и прогноза опасностей, могущих возникнуть в энергетике.

Литература

1. **Mandelbrot B.B.** The Fractal Geometry of Nature. – San Francisco: Freeman Comp., 1977.

УДК 551.501.81:621.315.1

М.Ш. МИСРИХАНОВ, д.т.н., проф.
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС»–МЭС Центра)
А.Л. КУЛИКОВ, к.т.н., Д.М. КУДРЯВЦЕВ, инж., В.П. ГРЕЧИН, к.т.н.
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС»–Нижегородское ПМЭС)

Исследование применения фазовых методов радиодальнометрии для определения мест повреждения на линиях электропередачи

Повышение надежности работы электрических сетей (ЭС) сверхвысокого напряжения, являющихся основными элементами приема и транспортировки больших потоков электрической мощности, напрямую зависит от эффективности ремонтно-эксплуатационного обслуживания электроустановок. Кроме плановых и «по состоянию» ремонтных компаний особое значение имеет ликвидация аварийных ситуаций, для которых оперативное определение мест повреждений (ОМП) и их последующее устранение определяет устойчивость и живучесть функционирования ЭС и потребителей электроэнергии.

ОМП – это сложная взаимосвязанная система мероприятий, зависящая от применяемых методов и устройств, учитывающих вид и параметры исследуемых ЛЭП.

Рассмотрены способы мониторинга за техническим состоянием ЛЭП на основе использования методов радиодальнометрии, заключающиеся в ОМП на основе измерения времени распространения зондирующих сигналов. Особое внимание уделяется фазовым методам (ФМ), основанным на измерении приращения фазы гармонических колебаний стабилизированных частот за время запаздывания отраженного сигнала.

Предлагаемые ФМ планируется использовать в качестве уточняющих данные по ОМП, полученных по методам, базирующихся на иных физических принципах. В настоящее время ошибки приборов ОМП могут достигать десятки процентов, что не отвечает требованиям по обеспечению скорости и точности ОМП и последующего устранения повреждений на ЛЭП. Точность измерения расстояний при ОМП, использующих ФМ, не зависит от длины ЛЭП, а определяется параметрами излучаемого многочастотного сигнала и средой его распространения.

Предлагаемая методика позволяет проводить ОМП на воздушных и кабельных ЛЭП напряжением 6-1150 кВ, а также линиях связи и в других проводных сетях.

Приведены варианты применения ФМ для ОМП на ЛЭП, а также соответствующие структуры устройств в виде специализированных процессоров, которые требуют незначительных аппаратно - стоимостных затрат и могут войти в состав цифровых устройств релейной защиты и автоматики ЭС. Фазовые методы для ОМП на ЛЭП могут найти широкое применение в электрических и других электропроводящих (промышленных и коммунальных) сетях.

УДК 502.051:621.315.1

М.Ш. МИСРИХАНОВ, д.т.н. проф.
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС»–МЭС Центра)
Д.М. КУДРЯВЦЕВ, инж., В.П. ГРЕЧИН, к.т.н.
(Филиал ОАО «ФСК ЕЭС»–Нижегородское ПМЭС)

Исследование угроз от дерево-кустарниковой растительности для линий электропередачи сверхвысокого напряжения

Повышение эффективности эксплуатации электрических сетей (ЭС) сверхвысокого напряжения базируется на систематическом обследовании технического состояния ЛЭП, а также мониторинге и прогнозе неблагоприятных условий окружающей среды (ОС), в том числе анализе угроз от дерево-кустарниковой растительности (ДКР) в районах прохождения трасс ЛЭП.

Ряд организаций (ЦИП, TopS VI, ИТЦ «СканЭкс» и др.) решают локальные задачи мониторинга и прогноза пожарной обстановки, грозовой активности, гололедных и других опасных природных явлений, создающих угрозы работоспособности ЛЭП.

Перспективным является комплексное обследование ЛЭП с использованием методов дистанционного авиационного и космического зондирования, которые определяют типы и геометрию растительного покрова поверхностей в границах прохождения трассы ЛЭП. Лазерное сканирование позволяет получить пространственное положение ЛЭП и ее элементов, информацию о состоянии участков трассы и прилегающих лесных и парковых массивов, произвести измерения в 3D-среде подповерхностных образований, а также модель ДКР, которая может быть представлена в виде сетки лазерных отражений, TIN-поверхности, изолиний рельефа, векторизованных слоев, ортофоуплана и др.

Создание математических моделей ростовых процессов основано на положении о закономерности роста ДКР, которая выражается S-образной кривой. Это положение, проверенное и распространенное на рост ДКР, составляет главную биологическую основу при оценке функций роста. Для описания внутренней структуры отношений между компонентами биогеоценоза и его количественными признаками применимы различные по структуре регрессионные модели.

Мониторинг может осуществляться средствами дистанционной аэро- и космической съемки (AVHRR/NOAA). По данным за несколько лет, хранящихся в интегрированной ГИС, можно на основе статистической обработки выявить общие закономерности роста ДКР, что позволяет создать систему математических моделей для прогнозирования динамики роста ДКР, угрожающей ЛЭП. Расчеты с использованием математических моделей дают информацию о пространственной и временной изменчивости компонентов ДКР с учетом ее видового и возрастного состава, а также с учетом антропогенного и естественного влияния.

УДК 621.316.925

В.К. СЛЫШАЛОВ, д.т.н., проф., Ю.А. КИСЕЛЕВА, инж. (ИГЭУ)
А.В. СЛЫШАЛОВ, к.т.н. (ИвЭнерго)

Математическая модель импульсного режима работы протяженного неэквипотенциального заземлителя

Режим протекания тока по заземлителю импульсного тока является характерным для его работы при прямых ударах молнии в заземляемый объект, ударах в землю вблизи этого объекта, при испытаниях импульсным напряжением, применении локационных методов обнаружения повреждений в электрических сетях и других аналогичных ситуациях. Во всех перечисленных случаях возникновения и применения импульсных токов и напряжений подлжит решению задача о параметрах и характеристиках волнового нестационарного процесса при включении источника импульсного тока к входному сечению протяженного неэквипотенциального заземлителя, проложенного в слабопроводящей среде с линейными физическими свойствами.

В настоящем докладе излагается методика математического моделирования распределения импульсного тока и сопровождающей волны напряжения по прямому стержневому заземлителю, кругового или трубчатого сечения. Основой расчета, т.е. базовым блоком модели, является метод расчета электромагнитного поля и волновых характеристик данного заземлителя при синусоидальном токе [1]. Этим методом при решении волнового уравнения определяются волновое сопротивление и постоянная распространения как функции частоты тока в заземлителе: $Z_B(\omega)$, $\gamma(\omega)$, а также при необходимости находятся векторы напряженностей поля. Комплексный ток и напряжение в любом сечении x заземлителя в произвольный момент времени t имеют вид

$$\dot{I}(\omega) = A(\omega)e^{-\gamma(\omega)x}e^{j\omega t}, \quad \dot{U}(\omega) = Z_B(\omega)A(\omega)e^{-\gamma(\omega)x}e^{j\omega t}, \quad (1)$$

где $A(\omega)$ спектральная характеристика тока на входе в заземлитель, определяемая в специальном блоке модели при выполнении прямого преобразования Фурье.

Искомые распределения $i(x,t)$, $U(x,t)$ вычисляются в выходном блоке модели по зависимостям (1) путем выполнения обратного преобразования Фурье.

В качестве иллюстрации возможностей методики для типового тока молнии были рассчитаны распределения тока в различных сечениях заземлителя, напряжение на входе $U(x,t)$ и выходное динамическое сопротивление. Аналогичный расчет может быть выполнен и для векторов поля.

Литература

1. Расчет волновых параметров и эксплуатационных характеристик протяженных неэквипотенциальных заземлителей. В.К. Слышалов, д.т.н., проф.; Ю.А. Киселева, инж.; С.В. Бедняков, студ. (ИГЭУ); А.В. Слышалов, к.т.н. (ИвЭнерго); Ю.В. Шалаев, инж. (Тамбовэнерго) // В данном сборнике.

УДК 621.321

А.А. БРАТОЛЮБОВ, к.т.н., доц., Н.А. ОГОРЕЛЫШЕВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Схема замещения нулевой последовательности ВЛ-380 В, имеющей повторные заземления

Повторные заземления (ПЗ) нулевого провода, выполняемые в соответствии с действующими нормами эксплуатации ВЛ-380 В, могут оказать влияние на величину тока коротких замыканий (КЗ), связанных с землей. Поэтому ГОСТ 28249-93 по расчету КЗ рекомендует корректировать сопротивление петли «фаза-нуль» для ВЛ в зависимости от количества повторных заземлений, их конструкции и климатической зоны трассы линии путем введения поправочных коэффициентов для этого сопротивления. Однако, как показывают расчеты, выполненные по рассматриваемым в докладе схемам замещения ВЛ, в явном виде отражающим повторные заземления нулевого провода ВЛ, приведенная в ГОСТе методика не вполне корректна.

Наиболее общий вид предлагаемой схемы замещения нулевой последовательности (её топологический образ), составленной для электрической сети рис. 1, представлен на рис. 2. Здесь ВЛ делится на участки, ограниченные точками подключения повторного заземления, либо КЗ. Каждый такой участок единообразно представляется своей схемой замещения. Параметры её определяются по первичным параметрам элементов электрической сети.

Представленная схема замещения позволяет провести исследования различных факторов, связанных с повторным заземлением нулевого провода ВЛ и, в случае необходимости, апробировать те или иные методики их упрощённого учета при расчёте КЗ.

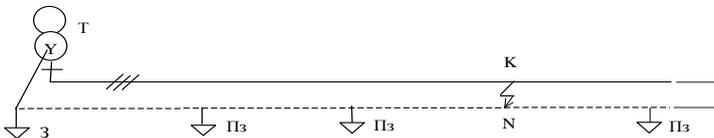


Рис. 1

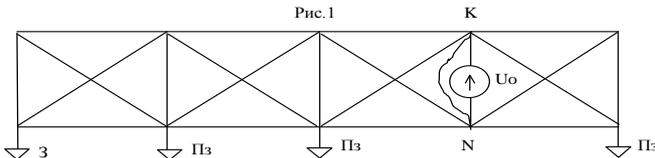


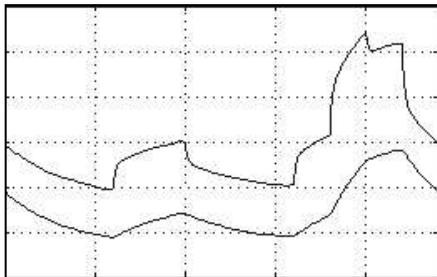
Рис. 2

УДК 621.321

А.А. БРАТОЛЮБОВ, к.т.н., доц., Н.А. ОГОРЕЛЫШЕВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Моделирование износа изоляции трансформаторов с помощью «Simulink»

В настоящее время в Российской Федерации взамен ранее действующего ГОСТ 14209-85 введен в действие Межгосударственный стандарт ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) «Руководство по нагрузке силовых масляных трансформаторов» [1], в стадии разработки руководство для автотрансформаторов[2]. ГОСТ 14209-97 устанавливает ограничения режима нагрузки трансформатора превышающих номинальные значения с точки зрения допустимых температур и термического износа. Он впервые классифицирует трансформаторы по категориям: распределительные, средней и большой мощности, определяет влияющие факторы на срок службы, а также разграничивает опасность кратковременных и длительных воздействий режима нагрузок. Этим разделяется опасность немедленного отказа, а также отдаленного отказа связанного с общим ухудшением состояния трансформатора в течение многих лет. При умеренном превышении тока нагрузки трансформатора или температуры окружающей среды номинальных значений возникает ускоренный термический износ изоляции трансформатора и как следствие сокращение предполагаемого срока его службы. При значительном воздействии (величине и продолжительности) нагрузки, когда температура наиболее нагретой точки приближается к 140-160 °С опасным считается снижение электрической прочности изоляции вследствие выделения пузырьков газа. Оценку риска отказа трансформатора целесообразно проводить путем анализа температуры нагрева масла и обмотки в наиболее нагретой её точке в соответствии с реальным графиком нагрузки путем моделирования процесса в системе «Simulink». Переходный процесс нагрева,



а также все возмущающие воздействия в виде реального многоступенчатого графика нагрузки, а также изменения температуры окружающей среды (с учетом суточного и годового хода) дают возможность оценить как скорость износа, так и приближение к опасным ограничениям в процессе эксплуатации.

Литература

1. ГОСТ 14209-97 (МЭК 354-91) Руководство по нагрузке силовых трансформаторов.
2. Хубларов Н.Н. О разработке нового руководства по нагрузке и эксплуатации автотрансформаторов 220-750 кВ. Вестник ВНИИЭ 2004.

Прогнозирование и нормирование электропотребления на текстильных предприятиях

Одной из важных задач при переходе текстильных предприятий на договорные отношения является эффективное использование и управление имеющимися в их распоряжении ресурсами. В настоящее время в финансово-хозяйственной деятельности предприятий широко применяются модели для управления финансовыми и сырьевыми потоками. Для управления электропотреблением также существуют различные модели, однако все они являются приближенными и не позволяют объективно решать поставленные задачи. Их решение возможно только путем разработки и применения научно обоснованных математических моделей электропотребления для текстильных предприятий.

Анализ существующих методов электропотребления для основного технологического оборудования прядильных производств и структурных подразделений текстильных предприятий показал, что все они обладают высокой погрешностью, так как не учитывают специфику многономенклатурного производства. Поэтому основным методом разработки математических моделей электропотребления является метод вероятностно-статистического моделирования на основе корреляционно-регрессионного анализа.

Создание математической модели электропотребления с использованием данного метода состоит в следующем: изучение принципа действия объекта; его кинематической схемы; составление полного списка факторов, влияющих на электропотребление; отсеивание незначимых факторов по методам «случайного баланса», «перевала» и других, составление плана эксперимента и его проведение, статистическая обработка результатов экспериментов.

При анализе режимов электропотребления и разработке многофакторных моделей электропотребления приходится оперировать очень большим объемом информации и проводить весьма трудоемкие расчеты нормативных и фактических энергетических характеристик. Попытки оптимизации использования информации за счёт увеличения численности персонала не дают существенного эффекта, решение данной проблемы возможно лишь с применением автоматизированных рабочих мест для полного и точного осуществления анализа и моделирования электропотребления, а так же его отдельных частей по принципу системного подхода.

Автоматизация расчетов математических моделей электропотребления на текстильных предприятиях

Одной из важных задач эффективного использования электроэнергии на текстильных предприятиях является повышение точности нормирования и прогнозирования электропотребления. Процесс прогнозирования предусматривает исследование влияния экономических, технологических и организационных факторов на принятие плановых решений, которые должны отражать тенденции изменения электропотребления и учитывать их на ближайшую перспективу. В настоящее время для прогнозирования электропотребления широко применяется аппарат регрессионного и корреляционного анализа. Использование методов корреляционного и регрессионного анализа при планировании электропотребления особенно важно для предприятий с многономенклатурным выпуском продукции, где планирование электропотребления ведётся с использованием средних норм расхода энергии на единицу выпускаемой продукции. Такой подход приводит к существенным погрешностям. Для создания математических моделей электропотребления становится актуальной задача разработки автоматизированного рабочего места инженера по нормированию, прогнозированию и планированию электропотребления.

Для снижения затрат на создание таких моделей был проведён анализ методов математического моделирования, который показал, что наиболее целесообразными для сбора данных являются методы планирования эксперимента. Их применение даёт резкое снижение числа проводимых экспериментов, объема обрабатываемой информации и необходимых ресурсов.

Процесс моделирования электропотребления разбит на ряд этапов: выбор критерия оптимальности модели; определение значимых факторов и их уровней варьирования; составление планов проведения экспериментов и статистическая обработка полученных данных. На этапе определения значимых факторов и уровней их варьирования автоматизируется процесс визуализации результатов. Анализ методов построения планов для проведения экспериментов показал, что они достаточно точно описываются при **помощи двоичной алгебры, с последующей их рандомизацией**. Коэффициенты уравнения математической модели определяются решением системы линейных уравнений в матричной форме. При статистической обработке результатов экспериментов производится отсев недостоверных результатов, оценка значимости коэффициентов ре-

грессии, проверка модели на адекватность, с выводом значений статистических показателей.

УДК 621.316.1

А.И. КУЛЕШОВ, к.т.н., доц., М.В. МАКАРИНА, к.т.н., доц.,
О.И. РЫЖОВ, к.т.н., проф., И.В. ТЫШКЕВИЧ, ассисит.
(ИГЭУ)

Энергетическое обследование МУП «Горсвет»

Предприятие «Горсвет» осуществляет эксплуатацию наружного освещения улиц, площадей, дорог г. Иваново, общая протяженность линий уличного освещения составляет 727.14 км. В качестве источников света используются газоразрядные лампы (73.4%) и лампы накаливания (26.6%). Электроснабжение установок наружного освещения осуществляется в основном от трансформаторных подстанций МУП «Ивгорэлектросеть» через пункты включения (ПВ) наружной и внутренней установки. Управление наружным освещением осуществляется централизованно из диспетчерского пункта.

Производственная база предприятия включает различные объекты, размещенные по разным площадкам. В ходе выполнения исследований были проанализированы схемы электроснабжения объектов МУП, оценены реальные объемы электропотребления и финансовые затраты, изучена их динамика за период 1998 – 2003 г.г. Установлено, что уровень электропотребления резко снизился в период 1999 – 2000 годов, но в последующие годы потребление электрической энергии стало увеличиваться и постепенно приближается к объемам 1998 года. Увеличение электропотребления связано с увеличением объемов работ по замене разрушенных светильников и по восстановлению похищенных воздушных ЛЭП.

Выявлено несоответствие между отчетными и расчетными данными электропотребления.

Разработаны балансы потребления электроэнергии производственными базами №1 и №2, суммарное потребление которых составляет менее 1% от общего электропотребления предприятия. В электробалансе значительную долю составляет осветительная нагрузка – более 50%, электронагревательных устройств – 35-40% и технологического оборудования – 10%. Разработаны методические положения по расчету потерь электрической энергии в сетях наружного освещения, выполнен расчет и анализ технических потерь электроэнергии, определен уровень нормативных потерь, диапазон которых с вероятностью 0.95 составил 19.24 – 25.5%. Предложены организационные и технические мероприятия по снижению потерь электроэнергии в исследованных сетях. Произведен инструментальный контроль уровней освещенности помещений производственных баз и отдельных улиц г. Иваново и показателей качества напряжения на ряде ПВ. Даны оценки уровней несимметрии и несинусоидальности напряжения и рекомендации по их снижению.

Предложены энергосберегающие мероприятия, позволяющие значительно сэкономить потребление электроэнергии.

Прогнозирование электропотребления промышленных предприятий с использованием программы «Прогноз»

Рыночные условия, дефицит денежных средств у промышленных предприятий при изменчивости нужд рынка и потребительского спроса обуславливают необходимость проведения постоянной работы по рационализации электропотребления на всех уровнях промышленного предприятия. В связи с этим вопросы прогнозирования электропотребления для различных временных периодов представляются актуальными. Для этих целей, в большинстве случаев, используются регрессионные и корреляционные методы моделирования, опирающиеся на зависимость электропотребления от значимых факторов.

Разработанная на кафедре «Электрические системы» программа «Прогноз» на основе данных по электропотреблению и величин значимых факторов предыстории позволяет получить различные модели электропотребления:

- линейную;
- квадратичную;
- регрессионную;
- экспоненциальную;
- нейросетевую.

Для оценки значимости факторов, на основе которых осуществляется моделирование, электропотребления программа осуществляет расчет коэффициентов корреляции.

В процессе моделирования и прогнозирования электропотребления оценивается уровень ошибки прогноза по предыдущим данным, проводится анализ коэффициентов регрессионных моделей и нейросетевой модели, обеспечивая более точное прогнозирование решаемой задачи.

Программа позволяет проводить прогнозирование и осуществлять расчет норм электропотребления как промышленных предприятий в целом, так и их отдельных участков (цехов, технологических линий, групп электроприемников и т.п.).

Программа успешно внедрена на АО «Кранэкс».

УДК 621.311.017

Н.Б. ИЛЬИЧЕВ, к.т.н., доц., А.И. КУЛЕШОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

В.А. СЕРОВ, к.т.н., доц.
(Ивановское РДУ)

Расчет технологических потерь электрической энергии в энергосистемах с использованием информации АСКУЭ

Задача расчета технологического расхода электроэнергии (ТРЭ) на ее транспорт (технологических потерь) является одной из важнейших задач эксплуатации электрических сетей и энергосистем.

Для расчета ТРЭ разработаны и рекомендованы различные методы, имеющие различную точность и различную область применения. Наибольшую точность имеет метод поэлементных расчетов (т.н. метод «численного интегрирования»). Однако использование этого метода ограничивается большой трудоемкостью сбора, обработки и ввода больших объемов информации о почасовых изменениях нагрузки и генерации в узлах электрической сети.

В работе предлагается использовать для расчета ТРЭ программный комплекс (ПК) «Энергия», в котором применено объектное моделирование электрической сети. Графики изменения нагрузок представляются как свойства некоторых объектов: генераторов, обобщенных нагрузок, головных участков отходящих фидеров. График узла, к которому присоединено несколько объектов, формируется как сумма графиков отдельных объектов, но при этом может быть задан график мощности и непосредственно в узле расчетной схемы.

В настоящее время в энергосистемах широко внедряются автоматизированные системы учета электроэнергии (АСКУЭ), на основе которых формируются базы данных (архив) с часовыми (получасовыми) значениями электроэнергии, протекающей по контролируемым элементам. Информация этих баз данных является наиболее достоверной и легитимной, т.к. используется для коммерческих расчетов. В ПК «Энергия» реализован механизм привязки данных из архива АСКУЭ к объектам расчетной схемы (нагрузкам, генераторам, фидерам). На основе информации из архива АСКУЭ в ПК «Энергия» формируются почасовые графики узловых мощностей, и выполняется серия расчетов установившихся режимов, соответствующая заданному числу точек графиков. Для каждого рассчитанного режима определяются постоянные и переменные потери мощности в каждом элементе сети, которые суммируются для всей серии расчетов.

Для объектов электрической сети, не оборудованных системами АСКУЭ, для учета изменения нагрузок используются модельные графики, получаемые по данным сезонных контрольных замеров с их корректировкой по величине отпуска электроэнергии за расчетный период.

Применяемый подход может быть использован как для оперативных расчетов ТРЭ, так и для их планирования на перспективу.

УДК 551.594.221

А.Ф. СОРОКИН, к.т.н., доц., А.П. МОГИЛЕНКО, к.т.н., инж., Т.В. БАРАБОШКИНА, к.т.н., доц. (ИГЭУ)

Расчет грозовых перенапряжений на электрооборудовании подстанций

Все электрооборудование электрических подстанций и особенно самое дорогое устройство – силовой трансформатор защищается от воздействия разрядов молнии. Защита от прямых ударов молнии осуществляется с помощью молниеотводов, а от волн атмосферных перенапряжений, набегающих на подстанцию по воздушным линиям электропередачи (ВЛ), с помощью разрядников или нелинейных ограничителей перенапряжения (ОПН). Однако при ударах молнии в ВЛ вблизи подстанции на электрооборудовании могут появиться перенапряжения, превышающие импульсную электрическую прочность изоляции. Поэтому на подходе к подстанции участок ВЛ обязательно защищается тросовыми молниеотводами. Таким образом, опасные грозовые перенапряжения могут возникнуть на электрооборудовании при прорыве молнии сквозь молниезащиту и при обратных перекрытиях на токоведущие части с порталов подстанции или с опор на участке ВЛ вблизи подстанции.

Авторы предлагают методику расчета вероятности появления опасных грозовых перенапряжений. Параметры тока молнии в месте удара рассчитываются с учетом конструкции пораженного объекта по линейной плотности объемного заряда лидерной стадии разряда [1]. Расчет искажения формы волны перенапряжения при ее распространении вдоль проводов производится по методике [2]. Длина опасного участка ВЛ на подходе к подстанции определяется по расчетам перенапряжений на изоляции оборудования. Электрооборудование в расчетах представляется соответствующими емкостями. Параметры разрядников и нелинейных ограничителей перенапряжения моделируются вольт-амперной характеристикой и напряжением пробоя искрового промежутка (для разрядников). Конфигурация подстанции может быть любой, с произвольным количеством отходящих линий и комплектов разрядников или ОПН различных марок. Вероятность появления опасных перенапряжений на электрооборудовании соответствует числу обратных перекрытий изоляции при ударе молнии в пределах опасного участка ВЛ.

Литература

1. **Сорокин А.Ф., Барабошкина Т.В., Могиленко А.П.** Расчёт токов молнии при поражении объектов с распределёнными параметрами // Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып.1. – Иваново, 1997. – С. 179-182.
2. **Александров Г.Н., Сорокин А.Ф., Могиленко А.П.** Методика расчета атмосферных перенапряжений на линиях электропередачи // Электричество. – 2002. – №7, 2002. – С.23-29.

УДК 621.315

В.П. ГОЛОВ, к.т.н., доц., А.А. МАРТИРОСЯН, инж.
(ИГЭУ)

Выбор параметров законов регулирования УПК линий для улучшения устойчивости ЭС

В настоящее время одним из путей повышения пропускной способности электропередачи сверх высокого напряжения и улучшения устойчивости электрических систем, является применение устройств продольной компенсации (УПК). Регулирование степени компенсации УПК повышает эффективность применения этих устройств [1], [2].

Проведенные расчеты статических характеристик исследуемой электрической системы при различных законах регулирования УПК показали их эффективность как в плане повышения пределов передаваемой мощности (до 40% по сравнению с УПК обычного типа), что означает улучшение аperiodической статической устойчивости. Также сформулированы требования к характеристикам законов управления УПК, позволяющие избежать нежелательные явления, соответствующие резонансным переходам [1].

Анализ динамической устойчивости исследуемой электрической системы с регулируемым УПК [1] показал, существенное улучшение динамической устойчивости системы при выбранных соответствующим образом характеристиках элемента. Основное требование к характеристике регулирования это максимальная крутизна зависимости $X_{\text{УПК}}(l)$ без резонансных явлений [1].

На основании результатов исследования колебательной статической устойчивости [1] были определены границы устойчивости в зависимости от степени компенсации и параметров закона регулирования УПК, из чего было установлено, что при совместном выборе законов регулирования управляемых УПК и АРВ, законы регулирования УПК, положительно влияющие на аperiodическую статическую устойчивость и динамическую устойчивость в диапазоне рабочих режимов, не ухудшают колебательную статическую устойчивость.

Литература

1. Голов В.П., Мартиросян А.А. Влияние законов регулирования УПК на устойчивость электрической системы // Сборник ИГЭУ. – 2003. – Вып. 5.
2. Рыжов Ю.П., Мотибирджанди А.А. Возможные ограничения при использовании управляемой продольной компенсации в линиях электропередачи 220–500 кВ // Вестник МЭИ. – 2004. – №5.

УДК 621.315.174.021

М.Ш. МИСРИХАНОВ, д.т.н., проф.
 (филиал ОАО "ФСК ЕЭС" – МЭС Центра),
 А.О. МИРЗААБДУЛЛАЕВ, инж.
 (Нижегородский ЭСП-СЭП)

О зонах наведенного напряжения на отключенных ВЛ при коротких замыканиях на смежных линиях

Удельное значение наведенной продольной (НП) ЭДС на проводах отключенной ВЛ в нормальном режиме $-E_{0норм}$ и в режиме несимметричного (однофазного) КЗ - $E_{0кз}$ на влияющей линии может определяться следующими соотношениями:

$$а) \quad E_{0норм} = j0,145 \sum_{i=1}^3 I_i \lg \frac{d_{im}}{D_3}, \quad б) \quad E_{0кз} = j0,145 I_{кз} \lg \frac{d_{im}}{D_3}, \quad (1)$$

где, I_i – ток нагрузки на влияющей ВЛ, А; $D_3 \approx 660 \sqrt{\rho/f} \approx 1000$ (м) – глубина протекания обратного тока в земле; d_{im} – расстояние между i -тым проводом влияющей и m -ным проводом отключенной ВЛ, м; ρ – удельное сопротивление земли, Ом.м; f – частота изменения тока, Гц.

Выражение (1а) позволяет качественно оценить НП ЭДС при влиянии симметричной трехфазной системы токов. Возникновению НП ЭДС способствуют и геометрическая и фазная асимметрия. Преобразовывая (1а), с учетом симметрии фазных токов прямой последовательности, получим

$$E_{0норм} = j0,145 / (\lg d_{Am} + a \lg d_{Bm} + a^2 \lg d_{Cm}). \quad (2)$$

Из (2) видно, что НП ЭДС зависит от геометрической асимметрии между проводами отключенной и влияющей ВЛ даже при сохранении междупроводной симметрии токов влияющей ВЛ. Эта асимметрия снижется при увеличении расстояния между ВЛ. Выражение (1б), в отличие от (1а) не зависит от симметричности токов. Например, при несимметричном коротком замыкании, изменение расстояния между осями отключенной и влияющей ВЛ в сто раз, приведет к уменьшению НП ЭДС всего в десять раз.

Выводы:

1) Зона действия (по оси и по протяженности ВЛ) наведенного напряжения при коротком замыкании на влияющей ВЛ значительно больше, чем при влиянии ВЛ в нормальном режиме.

2) Эффективным способом обеспечения безопасности от наведенного напряжения при несимметричном коротком замыкании на влияющей ВЛ является только локальное заземление (на месте работ) отключенной линии, без заземления ее в РУ.

3) Необходимо внести изменение в межотраслевые правила охраны труда при эксплуатации электроустановок в части определения ВЛ находящихся под наведенным напряжением, где должен быть учтен режим несимметричного КЗ на влияющих ВЛ.

К оценке воздействия тока короткого замыкания на возгораемость силовых кабелей напряжением до 10кВ

Работа основных элементов системы электроснабжения объекта в период аварийных ситуаций, то есть при возникновении короткого замыкания (КЗ), регламентируется требованиями ПУЭ.

Как известно величина тока КЗ в десятки, сотни раз может превышать ток нормального (рабочего) режима, что приводит к значительному выделению тепла и повышению температуры. В этом случае тепловой импульс от тока КЗ может быть определен как сумма интегралов Джоуля от периодической и апериодической составляющих этого тока в соответствии с ГОСТом 30329-95.

В результате длительного (до 4 с) протекания тока КЗ по кабелям при отключении их действием резервных защит имели место пожары в кабельных хозяйствах электростанций вследствие нагрева токопроводящих жил кабелей до температур, при которых происходили разрывы оболочек и разрушения концевых заделок с возгоранием кабелей.

Возгорания кабелей не происходит, если температура токопроводящих жил не превышает 350⁰С для небронированных кабелей с пропитанной бумажной и пластмассовой изоляцией и 400⁰С для бронированных кабелей и кабелей с изоляцией из вулканизированного полиэтилена.

С целью повышения надежности работы электроустановок и предотвращения пожаров в кабельных сооружениях энергетических объектов Дирекция по научно-технической политике РАО ЕЭС России выпустила циркуляр, определяющий методику проверки по условиям невозгорания силовых кабелей напряжением до 10 кВ.

Нами, в соответствии с этой методикой разработана программа, по которой может быть определена расчетная температура нагрева токопроводящих жил кабелей при проверке их на невозгорание и пригодности кабелей к дальнейшей эксплуатации с целью облегчения выполняемых расчетов.

Программа позволяет выполнить проверку по условиям невозгорания силовых кабелей при известном значении тока КЗ в начале кабеля и при указанном времени уставки резервной защиты. Программа написана на языке Delphi, апробирована и при работе с ней после вычисления расчетных значений температуры нагрева жил кабеля выдается на печать сообщение о возможности (невозможности) возгорания кабеля или его пригодности (непригодности) к дальнейшей эксплуатации.

Литература

1. **ГОСТ 27514-87.** Короткие замыкания в электроустановках. Методы расчета в электроустановках переменного тока напряжением свыше 1 кВ.
2. **О проверке** кабелей на невозгорание при воздействии тока короткого замыкания: Циркуляр № Ц-02-98 (Э) от 16.03.98.

СЕКЦИЯ 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ

УДК 66.001.5

И.А. АРШИНЕНКО
(филиал ГОУВПО "МЭИ(ТУ)" в г. Смоленске)

Моделирование работы сложных технологических систем

Практически все тепловые схемы современных энерготехнологических систем являются замкнутыми и многоконтурными. Поэтому проблема разработки оптимальной стратегии расчёта энерготехнологических систем обусловлена трудностями решения на ЭВМ больших систем нелинейных уравнений материальных и тепловых балансов сложных энерготехнологических систем. Обобщенная модель объекта (агрегата) представляется как равенство сумм входных и выходных потоков тепловых и массовых. Структура системы уравнений представлена двудольным графом, который кодируется матрицей структуры с элементами вида $S_{ij}=1$, если x_i входит в уравнение f_j ; и $S_{ij}=0$, в противном случае. Для определения последовательности расчета матрица обрабатывается методом максимальных весовых коэффициентов (методом Рамиреса-Вестала) для определения выходных переменных для каждого уравнения и итерационных блоков.

Матрица S преобразуется так, чтобы над выходными переменными стояли только нулевые элементы. Выходные переменные образуют сдвинутую на одну позицию вверх главную диагональ матрицы. Переменные, которые стоят в преобразованной структурной матрице P выше главной диагонали матрицы, определяются итерационно. Последовательность уравнений и переменных в матрице P соответствует последовательности расчета уравнений и вычисления значений переменных. Решение выделенных уравнений и систем уравнений проводится итерационным методом. Выбор алгоритма решения во многом определяет скорость сходимости итерационных процессов вычислений. Автором разработан алгоритм, позволяющий на основании анализа преобразованной матрицы P подготовить систему уравнений математической модели энерготехнологической системы к решению. Разработанный алгоритм был успешно апробирован при расчёте и разработке энергосберегающих мероприятий технологических схем производства азотоводородной смеси, синтеза аммиака из азотоводородной смеси, производства аммиачной селитры.

Литература

1. **Островский Г.М., Бережинский Т.А.** Оптимизация химико-технологических систем. Теория и практика. – М.: Химия, 1984.

2. **Chang, H. and Over, I. E.** Selected Numerical Methods and Computer Programs for Chemical Engineers. Sterling Swift, Manchaca, TX, 1981.

Информационная интеграция процессов проектирования и производства комплектующих электротехнических изделий

Процесс проектирования изделия и технической подготовки производства (ТПП) определяет конкурентоспособность продукции (технические и стоимостные характеристики, время вывода изделия на рынок). Особенностью российских предприятий, выпускающих комплектующие для электротехники, является наличие парка оборудования с широким диапазоном характеристик, что усложняет ТПП в разрезе проектирования технологической оснастки (ТО). Потребностью процесса проектирования и ТПП для таких предприятий является информационное обеспечение принятия проектных решений, соответствующих ресурсам предприятия. Оценка наличия ресурсов определяет перечень изделий для проведения проектных работ, а также перечень оборудования для проектирования ТО.

Известные системы PDM/PLM при наличии широких функциональных возможностей и интеграции с системами планирования ресурсов предприятия не решают поставленной задачи.

На основании анализа информационных потребностей процесса проектирования и ТПП, а также метода оценки экономических показателей предложена модель данных, объединяющая проектную информацию (конфигурация изделия, параметры) с информацией о ресурсах (технических и эксплуатационных характеристиках).

Предложен метод определения технической возможности, построенный на основе метода типовых решений и отличающийся наличием оценки параметров и загрузки оборудования. При проектировании ресурсов технологической операции предлагается использовать метод локальных типовых решений, введя дополнительные ограничения относительно загрузки оборудования на этапе определения перечня возможных вариантов, а также дополнив оценкой стоимостных характеристик применения каждого из вариантов.

В докладе рассматриваются методы, обеспечивающие потребности процесса проектирования и ТПП. Приводятся примеры реализации информационной модели и методов в среде инструментального комплекса RADIUS.

Методология системного моделирования автоматизированных технологических комплексов

Основополагающим понятием системного моделирования автоматизированных технологических комплексов (АТК) является само понятие системы, под которой понимается совокупность агрегатов, машин, механизмов и т. д. При моделировании АТК исходным этапом является определение его структуры, а также исследуемых технологических переменных.

Под структурой системы понимают устойчивую во времени совокупность взаимосвязей между ее элементами или компонентами. Структура АТК отражает самые различные взаимосвязи, в том числе, и вложенность элементов одной системы в другую.

Структура АТК может быть описана различными способами. При этом взаимодействие элементов может носить не только механический, электрический характер, но и информационный, что характерно для современных технологических комплексов. Состояние системы рассматривается с точки зрения, особенностей функционирования или эксплуатации АТК.

Методология системного моделирования АТК служит основой системно-ориентированной структуризации предметной области. Исходными компонентами концептуализации являются АТК и взаимосвязи между его элементами. Результатом системного моделирования является построение модели АТК, которая описывает важнейшие с точки зрения решаемой проблемы аспекты исследования АТК.

Под моделью понимается некоторое представление о АТК, отражающее наиболее существенные закономерности его структуры и процесса функционирования и зафиксированное на некотором языке или в некоторой форме. Процесс построения и применения моделей для получения информации о АТК является основным содержанием процесса системного моделирования.

В общем случае процесс системного моделирования АТК может быть представлен в форме взаимосвязанных этапов, на каждом из которых выполняются определенные действия. Особенностью данного процесса является его циклический или итеративный характер.

Таким образом, отдельными этапами процесса системного моделирования являются: 1. анализ проблемной ситуации; 2. структуризация предметной области и построение модели; 3. выполнение вычислительных экспериментов с моделью; 4. применение результатов вычислительных экспериментов; 5. кор-

рекция или доработка модели. При этом каждый отдельный цикл системного моделирования инициируется этапом анализа проблемной ситуации.

В настоящее время при системном подходе к задачам моделирования все чаще применяют теорию нечеткого множества. Существуют четыре способа составления правил нечеткого управления: 1) на основе опыта и знаний эксперта; 2) путем создания модели действий оператора; 3) путем обучения и 4) на основе нечеткой модели оборудования.

Можно сформулировать следующие особенности нечеткого управления. Первая особенность заключается в том, что правила нечеткого управления, будучи условными высказываниями типа «если... то», являются логическими. Использование правил осуществляется, естественно, через механизм логических выводов. Для реального оборудования это не только использование при управлении полной информации в отличие от классической теории управления, но и изменение режимов управления в зависимости от различных условий, например времени и значений параметров. Логическое управление применяют также при обработке нештатных ситуаций. Во многих видах реального оборудования необходимо уделять особое внимание процедуре запуска; в этом случае для автоматизации очень удобно использовать нечеткое управление, поскольку можно описывать правила в форме «если... то» одинаковым образом и для запуска, и для нормальной работы.

Вторая особенность – параллельное управление – заключается в том, что и нечеткие методы управления существенно различаются. Традиционные методы управления – это либо классические, либо современные методы, в которых обобщенное правило управления представляется с помощью одной формулы, в то время как при нечетком управлении используется большое число частных правил. Каждое правило действует в определенной области информационного пространства, используемого при управлении; для каждой локальной области распределенного информационного пространства целесообразно создавать отдельные правила управления. Кроме того, если имеется много регулируемых величин, для каждой из них можно создать отдельные правила управления. Аналогично, если имеется много целей управления, для каждой цели желательно создавать правила управления. Классическое управление существенно ограничивало теоретически возможные разновидности целей в связи с необходимостью представлять цель обобщенной функцией. При нечетком управлении необходимость в целевых функциях и в решении задач оптимального управления отпадает, поэтому можно успешно справляться со всем многообразием целей и даже со взаимно противоречащими целями.

Полученная модель не является унифицированной: она либо описывает свойства подсистем АТК, либо является набором нескольких локальных моделей, поставленных в определенных условиях. Сами локальные модели не используют числовых значений, поэтому не являются микромоделями; обладая некоторой общностью, они просты для понимания на качественном уровне.

УДК 681.3:621.181

Е.А. БОЙКО, к.т.н., доц.,
В.Н. ВОЛЬНЕВ, П.В. ШИШМАРЕВ, Ю.А. ВЕЛИЧКО, К.В. БАЖЕНОВ, инженеры
(КГТУ)

Учебно-методическое и программное обеспечение отработки оперативных задач управления энергетическим оборудованием

Эффективность и надежность работы энергетического оборудования во многом определяется уровнем эксплуатации технологических устройств, обусловленным квалификацией оперативного персонала. Одним из рациональных способов проверки и повышения качества знаний, навыков, подготовки и тренинга оперативного персонала тепловой электростанции является применение автоматизированных обучающих систем (АОС) и программно-методических комплексов (тренажеров) имитирующих состав и режим работы основного и вспомогательного оборудования.

Конечной целью использования компьютерных обучающих систем и имитаторов энергетического оборудования является приобретение и развитие дидактических и инженерно-психологических навыков операторских специальностей с целью снижения аварийных отказов при эксплуатации тепломеханического оборудования. Решение поставленной задачи возможно на основе совершенствования когнитивной, регуляторной и коммуникативных функций эксплуатационного персонала, что, в свою очередь, достигается посредством конструирования процесса обучения и проверки базы знаний с использованием соответствующего программного обеспечения, а также правильного набора и сочетания проблемных задач. При этом специализированное учебно-методическое и программное сопровождение должно обеспечивать совместную и индивидуальную подготовку операторов энергетического оборудования в полном объеме их функциональных обязанностей при наличии средств контроля и управления процессом обучения. Необходимо, что бы задачи, решаемые с помощью АОС и имитационных компьютерных тренажеров, порождали ситуации выбора и использования знаний, характеризующихся определенным составом действий при работе, как на нормальном режиме, так и режимах связанных с нарушениями возникающих при эксплуатации оборудования. К числу основных таких задач относятся: пуск из холодного и горячего состояния, останов, изменение нагрузки, переключение устройств, неисправность механизмов, нарушения режима эксплуатации, аварийное срабатывание защит и т.д.

В значительной степени вышеперечисленным требованиям, предъявляемым к АОС и имитационным компьютерным тренажерам, соответствует учебно-методическое и программное обеспечение отработки оперативных задач управления энергетическим оборудованием (котлов ПК-10Ш, БКЗ-320-140 Красноярской ТЭЦ-1, БКЗ-500-140 Красноярской ТЭЦ-2, турбины ПТ-60-90/13 Красноярской ТЭЦ-1, энергоблок К-160-130 Назаровской ГРЭС), разработанное сотрудниками кафедры ТЭС КГТУ. Данные разработки приняты к внедрению и используется при подготовке и аттестации оперативного

Математическое моделирование, информационные системы и технологии
персонала различных служб ОАО «Красноярскэнерго».

Информационное обеспечение автоматизированного управления тепловой работой стекловаренных печей

Эффективность эксплуатации высокопроизводительных стекловаренных печей во многом определяется корректностью передаточных функций, используемых в автоматизированном управлении. Совместное решение внешней и внутренней задач тепло- и массообмена методом численного моделирования [1-3] позволило получить ряд зависимостей, которые могут быть использованы для совершенствования алгоритма управления тепловой работой пламенных печей.

Зависимость удельного расхода топлива b от производительности печи P :

$$b = 258,85 - 1,438P + 0,0077P^2 - 2 \cdot 10^{-5}P^3 + 2 \cdot 10^{-8}P^4, \text{ м}^3/\text{т}. \quad (1)$$

Зависимость максимальных температур свода $t_{\text{св.м}}$, поверхности стекломассы $t_{\text{ст.м}}$, а так же их продольных координат (по длине рабочего пространства) $X_{t_{\text{св.м}}}$ и $X_{t_{\text{ст.м}}}$ от производительности печи:

$$t_{\text{св.м}} = 1383,2 + 0,9317P - 0,0009P^2 + 8 \cdot 10^{-7}P^3, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (2)$$

$$t_{\text{ст.м}} = 1344,5 + 0,6442P - 0,0005P^2 + 4 \cdot 10^{-7}P^3, \text{ } ^\circ\text{C}; \quad (3)$$

$$X_{t_{\text{св.м}}} = 1383,2 + 0,9317P - 0,0009P^2 + 8 \cdot 10^{-7}P^3, \text{ м}; \quad (4)$$

$$X_{t_{\text{ст.м}}} = 1344,5 + 0,6442P - 0,0005P^2 + 4 \cdot 10^{-7}P^3, \text{ м}. \quad (5)$$

Зависимость $t_{\text{ст.м}}$ от $t_{\text{св.м}}$:

$$t_{\text{ст.м}} = 4423,9 - 4,506t_{\text{св.м}} + 0,00167t_{\text{св.м}}^2, \text{ } ^\circ\text{C}. \quad (6)$$

Зависимость $X_{t_{\text{св.м}}}$ от длины факела $l_{\text{ф}}$:

$$X_{t_{\text{св.м}}} = 13,324 \cdot \left[1 + \exp(2,1616 - 0,3901 \cdot l_{\text{ф}}) \right]^{-2,0428}, \text{ м}. \quad (7)$$

Литература

1. Дзюзер В.Я., Швыдкий В.С., Кутын В.Б. Математическая модель стекловаренной печи с подковообразным пламенем // Стекло и керамика. – 2004. – № 10. – С. 8-12.
2. Дзюзер В.Я., Швыдкий В.С. Численное моделирование движения расплава в стекловаренных печах. – В кн.: Механика и процессы управления. Том 1. Труды XXXIV Уральского семинара. – Екатеринбург: УрО РАН, 2004, с. 125-136.
3. Дзюзер В.Я., Швыдкий В.С. Математическая модель гидродинамики варочного бассейна стекловаренной печи // Стекло и керамика. – 2005. – № 1. – С. 3-8.

Разработка методики построения прогнозных моделей

Проблема усовершенствования существующих и разработки новых методов прогнозирования обусловлена существенным их значением при решении важных проблем управления производством, планирования, экономики, социологии и т.д. Применительно к энергетике можно указать некоторые направления их применения.

1) Прогнозирование состояния энергетического оборудования. В настоящее время в энергосистемах находится в эксплуатации большое количество стареющего оборудования. Разработка методов прогнозирования состояния таких систем позволит своевременно выводить оборудование на ремонт, тем самым увеличивая срок его службы и позволяя избежать аварийных ситуаций.

2) Прогнозирование некоторых параметров работы оборудования, или энергосистем в целом, с целью регулировать протекающие в них процессы с упреждением. Например, возможно поставить задачу прогнозирования нагрузки энергосети с целью выбора оптимального режима работы электростанций и снижения расхода топлива.

В настоящее время существует достаточно большое количество методов прогнозирования, и каждый из методов, как правило, содержит в себе некоторое количество конструктивных параметров. Зачастую авторы прогнозных моделей не дают обоснования выбора того или иного метода моделирования. Подобным основанием могут стать результаты сравнительного анализа различных методов прогнозирования применительно к конкретной задаче, выполненного на основе идей, являющихся развитием идей А.Г. Ивахненко о самоорганизации сложных моделей.

В рамках исследования планируется разработка гибридных методов прогнозирования, заключающихся в комбинировании уже существующих методов. В качестве одного их подходов к получению таких методов можно указать последовательное применение вейвлет-преобразования с целью понижения мощности шума, а затем какого-либо метода прогнозирования. Смысл подобной процедуры заключается в том, что в присутствии шума точность прогнозирования существенно снижается, следовательно понижая мощность шума можно надеяться на некоторое увеличение точности прогноза.

Разработка программных средств автоматизации для автотранспорта в среде Matlab

Компьютерное моделирование широко используется как средство, которое может значительно снизить ресурсы, затрачиваемые на модернизацию или проектирование электромеханических систем. Оно может существенно сократить циклы развития продукта и снизить его стоимость. Это особенно актуально в автомобильной промышленности, где существует жесткая конкуренция среди производителей автомобилей. Дадим краткую характеристику наиболее используемых программных средств, предназначенных для проектирования электромеханических систем автомобиля. К числу универсальных пакетов, которые используют компьютерное моделирование, можно отнести пакет Matlab[1]. Приложение Simulink пользуется заслуженной популярностью, а его язык во многих публикациях стал средством описания изучаемых объектов. По удобству графического пользовательского интерфейса, функциональных моделей (блоков), разнообразию виртуальных средств регистрации и визуализации результатов моделирования, и главное, по их надежности и достоверности SIMULINK выгодно отличается от множества др. программ подобного назначения. Особенно это относится к открытости пакета и возможностям пополнения библиотек. К пакету MATLAB можно отнести еще и приложения – Stateflow, предназначенная для событийного моделирования систем и устройств, и REAL-TIME WORKSHOP (лаборатория работы в реальном масштабе времени), которая позволяет создавать файлы на языке C/C++ и даже исполняемые (с расширением exe) файлы для программы MATLAB и приложения SIMULINK. Эти файлы обычно используются для управления внешними устройствами, работающими в реальном времени, которые позволяют ввести эффективную работу с самыми различными периферийными устройствами, такие как устройства для обработки сигналов от различных датчиков, устройства контроля напряжения и токов, аппаратные средства для управления роботами (промышленные, бытовые).

Одним из таких примеров является использование среды Matlab для создания программных средств автоматизации предназначенных для моделирования и измерения основных показателей транспортного средства. К ним можно отнести программу Caldesk

Caldesk имеет интуитивный режим (среду), для различных задач измерений и поверки. В этой программе также встроен мастер задач и образцы механизмов (шаблоны) для снижения большого количества шагов по ручной настройке программы. Мастер представлен в виде диалога

гов, которые помогают избежать различные ошибки при добавлении аппаратных средств и других элементов в существующий проект. Для измерения основных показателей компьютер и автомобиль могут быть соединены напрямую либо через концентратор (рис. 1).

В разработанном приложении на основе пакета MATLAB используется математическое описание различных физических процессов, описывающие, например, образование сажи (1), которая является одна из важных проблем при сгорании углеводородного топлива. Сажа не является равновесным продуктом сгорания, следовательно ее образование очень сильно влияет на физические процессы распыления, испарения топливовоздушной смеси. Она образуется только в том случае если температура и соотношение углерода и кислорода выше допустимых значений.

$$S_{sn} = C_{n1}N_{sn} + \sum_j (C_{n2}m_{CnHm} \exp(\frac{C_{es}}{T_j}) - C_{n3}N_{sn} - \sum_i N_{si}) \frac{X_j P}{P_j} \quad (1)$$

где S_{sn} – доля ядра сажи (частица/м³с); N_{sn} – плотность ядра сажи (частица/м³); N_{si} – концентрация частиц сажи I-ого размера(кг/м³); T_j – температура жидкости в j-том состоянии; X_j – относительная массовая доля топлива в j-том состоянии; P_j – плотность жидкости в J-том состоянии; C_{n1-nn} – плотность жидкости вj-том состоянии; C_{es} – эмпирическая постоянная; m_{CnHm} – массовая доля углеводорода.

Состояние жидкости здесь используется для того, чтобы подсчитать влияние турбулентности на образование сажи.

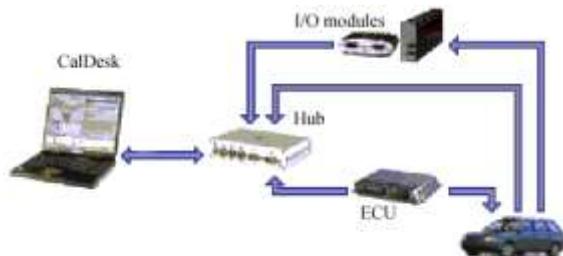


Рис. 1

Литература

1. Дьяконов В.П. Matlab 6/6.1/6.5+Simulink 4/5 в математике и моделировании. – СОЛОН. 2003.

Исключительные ситуации в компьютерной системе управления

Прогнозирование развития ситуации в системах управления технологическими объектами и формирование отклика системы на изменение режима работы является сложной задачей. Определение характера наступившего события и запуск программного механизма реакции на него может потребовать значительного времени, выходящего за ограничения системы реального времени.

Каналы управления электротехнологической установкой по температурному режиму и электрическим параметрам существенно различаются по времени. Поэтому, например, необходимые изменения в сырьевой баланс установки могут быть внесены в «рабочем» порядке, когда есть время на анализ технологического режима и выбор варианта его коррекции. Однако, такой проблемно-ориентированный подход невозможен при резком изменении электрических параметров технологического процесса, когда основным качественным показателем компьютерной системы управления становится время. Характер возможных изменений электрических параметров как и способы их компенсации обычно известны. Это обстоятельство делает возможным построение канала управления электрическим режимом на основе механизма исключений, когда реакцией системы управления на проблемную ситуацию, возникшую при выполнении программного кода, реализующего принятый алгоритм управления, будет обращение к подпрограмме обработки исключительной ситуации. Библиотека таких подпрограмм может пополняться и оптимизироваться исходя из конкретной архитектуры, аппаратной и программной частей компьютерной системы управления.

При проектировании системы обработки исключительных ситуаций можно предусмотреть перенаправление исключительных ситуаций, образуя из обработчиков «конвейер», с помощью которого реально построить довольно сложную иерархию алгоритмических действий, ориентированную на динамику управляемого процесса.

Стратегия обработки исключительных ситуаций в программном обеспечении системы управления предоставляет последней дополнительные функциональные возможности, повышая ее гибкость и надежность.

Моделирование инженерных сетей как задача в ограничениях

Как и многие технические объекты, инженерные сети при моделировании могут быть представлены совокупностью зависимостей и ограничений. Зависимости для моделирования инженерных сетей – это топологические уравнения сети, выражающие законы Кирхгофа и компонентные уравнения элементов, выражающие взаимосвязь между потоком и входным и выходным давлениями. В качестве ограничений могут выступать требования безопасности и условия контрактов поставки устанавливающих соответственно верхний и нижний пределы для давлений и потоков, максимальная мощность компрессорных станций и т.д. Следовательно, задача моделирования транспортировки продукта по инженерной сети легко может быть сформулирована как задача в ограничениях. В самом общем виде постановка задачи формулируется следующим образом. Пусть на переменные x_1, x_2, \dots, x_n , областями значений которых являются множества X_1, X_2, \dots, X_n , заданы ограничения $C_i(x_1, x_2, \dots, x_n), i=1, k$. Требуется найти наборы значений $\langle a_1, a_2, \dots, a_n \rangle (a_i \in X_i)$, которые бы удовлетворяли всем ограничениям одновременно.

Однако, до сих пор большинство программ моделирования инженерных сетей не отражало ограничительный характер задачи. Моделирование инженерных сетей традиционно основывается на решении системы уравнений. Пользователь, задавая давления в точках и потоки через элементы, выясняет с помощью моделирования значения других давлений и потоков. Если они слишком большие или слишком маленькие, пользователь выполняет моделирование с другими начальными давлениями и потоками. Если целью является нахождение как минимум физически реального решения, пользователь должен работать с моделью в интерактивном режиме, манипулируя начальными установками. Таким образом, путем проб и ошибок пользователь пытается найти решение, находящееся в пределах ограничений. Заметим, что даже если решение существует, чтобы его найти может потребоваться довольно много времени. Поэтому эта процедура приемлема только, если должно быть смоделировано ограниченное число сценариев.

В данной работе для решения задачи предлагается использовать парадигму программирования в ограничениях. В данном подходе модель специфицируется в виде неупорядоченной совокупности отношений, которые соответствуют связям, существующим между параметрами задачи. Эти отношения, называемые общим термином «ограничения» могут иметь вид уравнений, неравенств, логических выражений и т. п. Вместо решения множества уравнений задача преобразовывается к задаче удо-

влетворения ограничений, а для ее решения используется универсальный метод распространения ограничений, основанный на схеме потоковых вычислений. Распространение ограничений с использованием потокового алгоритма организует вычислительный процесс в форме сжатия начального пространства до n -мерного параллелепипеда (тела решений), образованного точками, удовлетворяющими всем отношениям данной модели и содержащего все множество решений. Применение данного метода гарантирует быструю сходимость решения за счет обеспечения последовательного включения решения без особых затрат памяти.

Конечно, такое решение не всегда может быть осуществимым решением. Это возможное для данных обстоятельств, но невыполнимое, решение транспортировки, тем не менее, содержит много полезной информации. Например, если пропускная способность трубопровода – не достаточна, это приведет к появлению в сети областей низкого давления. Отобразив решение на инженерную сеть, используя расчетное давление как параметр раскраски, при первом же взгляде на сеть будут видны проблемные области.

УДК 681.326

С.А. КЛОЧКОВ, асп., Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д.ф.-м.н., проф.
(ИГЭУ)

Математическое моделирование свойств воды и льдов

Невозможно переоценить роль воды и водных растворов во многих областях деятельности человека. По сравнению с другими жидкостями она обладает аномальными свойствами. Несмотря на интенсивные исследования, многие структурные свойства воды до сих пор не установлены.

В данной работе для определения свойств воды на микроскопическом уровне используется метод молекулярной динамики. Этот метод является методом компьютерного моделирования, с его помощью можно рассчитывать наборы координат, скорости и энергии взаимодействия молекул вещества, находящегося при заданных параметрах макросостояния.

Для расчета потенциальной энергии молекулярных систем необходимо задать потенциал межмолекулярных взаимодействий или применить методы квантовой химии. Потенциал определяет все свойства модели вещества. Известно множество потенциалов для воды, но задача описания ее свойств не решена до сих пор. В данной работе были использованы потенциалы типа Ленард-Джонса.

Следует заметить, что одной из важнейших задач в проблеме моделирования жидкостей является предложение нового способа построения потенциалов, воспроизводящих данные физических экспериментов.

При переходе к компьютерному моделированию в данной работе была построена неявная разностная схема, реализующая методику расчетов по математической модели, основанной на методе молекулярной динамики. Модель содержит огромную систему дифференциальных уравнений. Получить решение такой системы в аналитическом виде не представляется возможным. Неявная разностная схема была выбрана, так как она более устойчива, чем явная и позволяет выбрать больший шаг по времени, что является важным при моделировании большой молекулярной системы.

Задача компьютерного моделирования воды очень требовательна к ресурсам вычислительной техники. Поэтому программное решение этой задачи в данной работе ориентировано на многопроцессорную вычислительную технику.

С помощью численных экспериментов удалось промоделировать процессы конденсации и кристаллизации воды.

УДК 621.314.5

К.Ю. КУЗНЕЦОВ, инж.
(НГТУ)

Режимы работы трансформатора в системе преобразователь частоты–озонатор

При частотном регулировании производительности агрегата, построенного по схеме преобразователь частоты – трансформатор – озонатор, длительность импульса напряжения на входе трансформатора (ТР) неизменна.

Осциллограммы (рис. 1), полученные при имитационном моделировании системы преобразователь частоты-озонатор в MATLAB Simulink, показывают, что при $t = t_3$ первичная обмотка ТР отключается от источника питания. Вторичная обмотка остается подключенной к озонатору. В следствие чего ТР работает в режиме дросселя с одной (вторичной) обмоткой. Начиная с $t = t_3$, намагничивание сердечника ТР производится током вторичной обмотки. Шлейф напряжения на первичной обмотке (рис. 1,б) на интервале $t_3 - t_4$ обусловлен, трансформированным из вторичной цепи, напряжением на конденсаторах озонатора. Ток разряда конденсаторов определяется индуктивностью вторичной обмотки трансформатора и уровнем напряжения на емкостных элементах озонатора.

Наличие напряжения на интервале $t_3 - t_4$ приводит к дополнительному возрастанию магнитной индукции ТР.

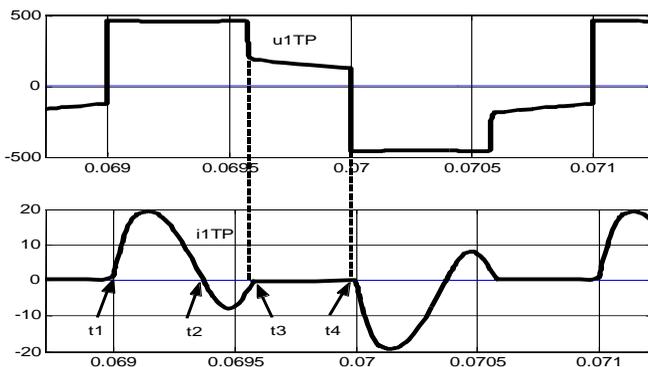


Рис. 1. Цифровые осциллограммы: напряжение u_{1TP} и ток i_{1TP} первичной обмотки трансформатора.

Разработан способ коррекции этапа разряда конденсаторов озонатора, при котором в начале интервала $t_3 - t_4$ первичная обмотка ТР замыкается накоротко. При этом его магнитопровод практически не получает дополнительного намагничивания.

УДК 681.3.06

Е.Е. КУЗНЕЦОВА, ассист., Е.А. ЧЕРНОВА, студ.
(Самарский государственный технический университет, филиал в г. Сызрани)

Имитационное моделирование процесса учета уровня нефтепродуктов резервуарного парка

С помощью программных средств имитационного моделирования возможны автоматизация расчета установок, проведение вычислительного эксперимента, анализ характеристик функционирования установки во времени, динамического изменения ее состояний, снятие временных диаграмм и так далее. Это имеет особое значение на производствах переработки, хранения и транспортировки нефтепродуктов.

Компьютерная имитационная модель системы измерения запасов в резервуарных парках основывается на физической, расчетной математической модели данной установки. Сложные техниче-

ские системы нефтехимических установок и их модели рассматриваются в укрупненном виде при приближенных расчетах и как совокупность моделей отдельных аппаратов этой установки при точном расчете. Степень детализации, уточнение модели может постепенно повышаться, и система моделирования должна позволять вносить соответствующие изменения.

В качестве средств моделирования рассмотрен пакет MatLab, который предоставляет в распоряжение исследователя практически универсальный язык объектно-ориентированного программирования в сочетании с интерактивными средствами отладки создаваемых моделей. Особое место среди наборов инструментов занимает система визуального моделирования Simulink. В качестве составных частей для построения модели используются специальные блоки, хранящиеся в библиотеке MatLab.

В ходе моделирования имеется возможность следить за процессами, происходящими в системе, используя специальные устройства визуализации.

Полученная многоуровневая модель позволяет проводить вычислительный эксперимент с регулированием внешних возмущений в реальном времени, т.е. имитацию управления производственным процессом с учетом различных временных задержек, соответствующих особенностям протекания отдельных стадий процесса, а также выявить наиболее оптимальный режим работы при стабилизации уровня нефтепродуктов резервуарного парка.

УДК 669.162

В.В. ЛАВРОВ, к.т.н., доц., Н.А. СПИРИН, д.т.н., проф.
(ГОУ ВПО Уральский государственный технический университет – УПИ,
кафедра «Теплофизика и информатика в металлургии»)

Программное обеспечение системы оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов сложного энергонасыщенного комплекса на примере доменного цеха

Разработанное программное обеспечение производит расчет оптимального распределения топливно-энергетических ресурсов, в частности природного газа, в пределах доменного цеха для условий ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат». В программе предусмотрено решение задачи для двух периодов работы доменных печей – базового и проектного – с использованием современных достижений теории и технологии доменной плавки, методов математического моделирования доменного процесса, экономико-математических методов, разработанных в ГОУ ВПО УГТУ–УПИ. Расчет для базового периода производится в реальном времени по фактическим исходным данным работы доменных печей. В этом случае оценивается эффективность использования природного газа на всех печах за прошедший период работы цеха. Расчет для проектного периода используются для определения оптимального распределения природного газа и показателей работы в периоде, когда предполагается изменение дутьевых и сырьевых параметров работы отдельных печей цеха.

В программе возможен учет следующих ограничений (максимальных и минимальных значений), индивидуальных для каждой из печей: прямых ограничений на расход природного газа, температуры горения на фурмах; степени уравнивания шихты; содержания кремния в чугуне; содержания серы в чугуне; отношения теплоемкостей потоков в шахте и других факторов. Имеется возможность задания ограничений на цех в целом по ресурсам природного газа и кокса, минимально допустимому производству чугуна, а также стоимостных показателей кокса, чугуна, природного газа и т.п.

Программное обеспечение имеет интуитивно понятный интерфейс, построено с использованием объектно-ориентированной методологии программирования, интегрировано с базой данных доменного цеха.

Использование разработанного на этой основе программного обеспечения в современных информационно-моделирующих системах АСУ доменного цеха обеспечивает повышение эффективности принятия решений инженерно-техническим персоналом в условиях изменений объема топливно-энергетических ресурсов, нестабильности состава и качества проплавляемого железорудного сырья и конъюнктуры рынка.

Управление ресурсами технологического процесса на основе использования методологии SADT

В современную эпоху всеобщей информатизации общества объективную важность получили вопросы, связанные с автоматизацией производства. Основой автоматизации производства являются технологические процессы (ТП), которые должны обеспечивать высокую производительность, надежность, качество и эффективность изготовления изделий. С этой точки зрения большое значение приобретают прогрессивные высокопроизводительные методы обработки и сборки, используемые при проектировании автоматизированных ТП.

С учетом присущих объекту свойств необходимо найти некоторое эффективное управление технологическим процессом, использующим ресурсы (человеческий, машинный, информационный и т.д.). Предлагается разделить управление всем ТП на две составляющие. Первая составляющая – это управление планированием ТП, вторая – планирование ресурсов.

На первой стадии будут решаться вопросы эффективного распределения ресурсов с учетом имеющегося сырья. Так как ТП – это непрерывная последовательность определенных действий, то здесь же возникают ограничения на время (сроки выполнения того или иного действия) и последовательность производств (одновременное поступление нужных деталей и комплектующих). Необходимо определить размещение каждого ресурса во временном пространстве, так как на выполнение любой операции отводится заданное машинное время, определенное количество задействованных лиц, нужный объем сырья и материалов.

Вторая составляющая управления ТП связана с управлением ресурсами предприятия (ERP – Enterprise Resource Planning).

Предлагается применить процессный подход к структурированию и формализации этих двух областей. Данный подход реализован методологией SADT, которая позволит решить поставленные задачи:

1. Моделирование проектирования ТП (планирование ресурсов);
2. Моделирование выполнения ТП (с учетом временных и стоимостных характеристик)

Только при правильном и оптимальном распределении всех ресурсов, использованных в ТП, можно добиться эффективного и экономичного управления производственным процессом и предприятием в целом. Рассмотренные современные методы позволят достигнуть нужного результата.

УДК 519.81

Ю.А. МАЛАШЕНКОВ
(филиал ГОУВПО «МЭИ(ТУ)» в г. Смоленске)

Автоматизированный анализ эффективности технологической схемы при неполной информации и многокритериальности

Проблема принятия наиболее рационального решения, как при проектировании новой технологической схемы, так и при модернизации уже существующей остается актуальной по сей день. Как правило на рассмотрение представляется сразу несколько вариантов решений при том, что анализ приходится проводить по множеству критериев различной степени значимости. Кроме того задача может осложняться неполнотой информации.

В работе предлагается алгоритм оценки показателей технологической схемы при неполной информации и многокритериальности, состоящий из следующих этапов:

1. Задание исходной матрицы принятия решений, где строки соответствуют вариантам решений, столбцы – показателям эффективности. Элементами матрицы являются значения показателей эффективности.

2. Нормализация матрицы принятия решений.

3. Оценка значимости показателей эффективности, т.е. задание весов. Для этого используется метод экспертных оценок, метод энтропийных оценок, или метод потерь показателей.

4. Выбор оптимального варианта решения.

Если неполнота информации отсутствует, то для выбора окончательного варианта используется один из следующих методов: определение средневзвешенного успеха принимаемого решения; нелинейная форма принимаемого решения; определение комбинированного критерия средневзвешенного успеха; определение критерия близости к идеальной точки.

Если присутствует неполнота информации, то решение выбирается с использованием теории игр.

Алгоритм программно реализован в среде Borland C++ Builder.

Литература

1. **Гохман О.Г.** Экспертное оценивание: Учебное пособие. – Воронеж: Изд-во ВГУ. 1991.
2. **Теория** прогнозирования и принятия решений. Учебное пособие. Под ред. С.А. Саркисяна. – М., «Высшая школа», 1977.

Определение положения наблюдателя в перспективно-азимутальных проекциях

В задачах аэрокосмической фотосъемки и космической навигации необходимо определять координаты наблюдателя по отображениям объектов с известным расположением в пространстве. Предполагается, что в точке наблюдения возможно получить перспективно-азимутальные проекции группы точечных объектов с известными значениями координат в выбранных системах отсчета: для объектов на поверхности планет это планетоцентрические координаты (декартовы или сферические), а для объектов в космическом пространстве гелиоцентрические координаты - чаще всего сферические. Положение наблюдателя в планетоцентрической или гелиоцентрической системе координат определяется преобразованием координат в косоугольном или криволинейном базисе, связанном с группой точечных объектов, отображенных на перспективно-азимутальной проекции. Для планетоцентрической системы координат целесообразно выбрать криволинейный базис, образованный тремя дугами большого круга, проходящими через три точки объектов с известными значениями координат и центральной точки отображения. Этот базис описывается тремя кватернионами, компоненты которых могут быть определены по угловым размерам отображений планеты и объектов на перспективно-азимутальной проекции в соответствии с соотношениями, полученными в [1]. Компоненты матрицы преобразования базисов, позволяющей определить положение наблюдателя в сферической планетоцентрической системе координат определяются векторными частями кватернионов. Для случая гелиоцентрической системы координат используется косоугольный базис, образованный набором четырех точечных объектов с известными координатами: компоненты матрицы преобразования базисов в этом случае могут быть определены по угловым размерам расстояний между объектами, определенным на перспективно-азимутальной проекции.

Литература

1. Милосердов Е.П. Построение плоских отображений поверхности сферы // Тез. докл. Междунар. научн.-техн. конф. «9 Бенардосовские чтения». Иваново, 1999. – С. 78.

К вопросу об информатизации учебных заведений

Последнее время повсеместно проходит информатизация, в связи с этим образовательные учреждения пытаются решать проблему создания комплексных интегрированных систем автоматизации.

На сегодняшний день практически все находятся в одинаковом состоянии. Везде имеется бухгалтерская информационная система (1С) и правовая информационная система (например, «Гарант»). Все остальное – это разбросанные по компьютерам электронные документы.

Существующую «информатизацию» условно можно разделить:

- информатизация по нужде, связана с тем фактом, что образовательное учреждение является юридическим лицом;
- информатизация для облегчения трудовой деятельности, связана с непосредственным обслуживанием учебного процесса: информация о студентах (учениках), информация о сотрудниках, электронные лекции преподавателей;
- информатизация учебного процесса, электронные учебники и сборники задач, компьютерные обучающие системы и т.п.

Для построения информационной системы потребуется обязательное выполнение консалтинг-проекта, основной целью которого будет структуризация существующей информации, выявление недостающей и, самое главное, упорядочение передвижения данных в пределах организации. Результат выполнения данного проекта послужит отправной точкой для создания системы электронного документооборота и поддержки принятия решений.

Немало важным этапом будет выбор способа построения информационной системы: приобретение полного пакета программ; приобретение подходящих модулей и самостоятельная разработка недостающих; полная самостоятельная разработка, внедрение и сопровождение информационной системы. Независимо от способа, материальные затраты будут одинаковы, отличаться будет только период, в течение которого они будут произведены.

Для успешного построения информационной системы необходимо понимание и желание руководства и сотрудников, иначе все попытки создания такой системы будут сводиться на «нет», и система лишь перейдет из одного хаотичного состояния в другое, может быть, даже худшее.

Литература

1. **Калянов Г.Н.** CASE-технологии. Консалтинг при автоматизации бизнес-процессов. 2-е изд. Перераб. и доп. – М.: Горячая линия – Телеком, 2000. – 320 с., ил.

УДК 681.513.7

С.С. НОВОСЕЛЬЦЕВА, к.т.н., доц.
(Норильский индустриальный институт)

Элементы искусственного интеллекта в системах оценки финансового состояния предприятия

Применение интеллектуальных информационных систем (ИИС) в настоящее время считается оправданным для решения целого ряда экономических задач. Комплексная качественная оценка финансового состояния, необходимая для принятия обоснованного решения о выдаче кредита или о целесообразности продолжении кредитных отношений с заемщиком, является одной из таких задач.

Сложившееся финансовое состояние клиента характеризуется его кредитоспособностью, которое оценим с использованием следующих показателей: коэффициента абсолютной ликвидности ($K_{ал}$) и коэффициента общей ликвидности ($K_{ол}$). Перечисленные показатели (количество которых при проектировании реальной ИИС будет существенно больше), могут быть описаны как лингвистические переменные, а это значит, что эффективным инструментом поиска решения поставленной задачи является построение нечеткой адаптивной экспертной системы, реализованной, например, на основе гибридной нейронной сети (НС).

Начальным этапом проектирования таких систем является формирование совокупности нечетких предикатных правил, таких как

P_1 : Если β_x есть α_{x1} , и β_y есть α_{y1} тогда β_z есть α_{z1} ,

P_2 : Если β_x есть α_{x2} , и β_y есть α_{y2} тогда β_z есть α_{z2} ,

где β_x = « $K_{ал}$ », β_y = « $K_{ол}$ », β_z = «Кредитоспособность», $\alpha_{x1} = \alpha_{y1} = \alpha_{z1}$ «Низкий», $\alpha_{x2} = \alpha_{y2} = \alpha_{z2}$ «Высокий». Амодальные функции принадлежности, соответствующие значениям лингвистических переменных, наиболее целесообразно представить сигмоидами:

$$\alpha(x) = \frac{1}{1 + e^{-b(x-a)}}, \quad (1)$$

а унимодальные функции – экспоненциальными функциями вида:

$$\alpha(x) = e^{-\gamma(K-x)^2}, \quad (2)$$

где параметры функций принадлежности a , b , γ корректируются в процессе обучения гибридной нейронной сети.

Сама гибридная нейронная сеть формально по своей структуре идентична многослойной нейронной сети, ее скрытые слои соответствуют этапам функционирования нечеткой системы, реализующей различные механизмы нечетких выводов (например, алгоритм Mamdani, алгоритм Tsukamoto или другие).

Литература

1. **Круглов В.В.** Нечеткая логика и искусственные нейронные сети / В.В. Круглов, М.И. Дли., Р.Ю. Голунов. – М.: Изд-во Физико-математической литературы, 2001.

Оптимальное проектирование обменов данными на стыках при распараллеливании по пространству задач механики сплошной среды

Основные потери эффективности распараллеливания по пространству задач механики сплошной среды происходят при обменах данными на стыках блоков расчетной области. Актуальна задача построения оптимальной схемы обменов, минимизирующей временные затраты.

Совместим во времени вычисления и обмены данными на стыках. Вычислительный процесс представим как серию процессов обработки групп переменных модели. Совмещение вычислений и обменов ограничивается наличием зависимостей между группами. Редуцируем орграф взаимозависимостей переменных модели, последовательно объединяя узлы, образующие циклы. Получим сеть взаимозависимостей K групп переменных, по которой построим матрицу P отношений строгого следования между группами. Задача сводится к определению значений целочисленных переменных X_{ij} (i -я группа входит в блок групп, передаваемый j -м по счету и обрабатываемый $(j+1)$ -м по счету; $X_{ij} \in \{0; 1\}$), при которых достигается минимум временных затрат:

$$\sum_{j=1}^M T_S(N_j) + \sum_{j=2}^M \frac{k\tau N_{j-1} - T_S(N_j) + (k\tau N_{j-1} - T_S(N_j))}{2k} + \tau N_M \rightarrow \min;$$

$$N_j = \sum_{i=1}^K X_{ij} V_i; \quad j = \overline{1, M},$$

где M – максимальное количество блоков групп; $T_S(N)$ – таблично заданная нелинейная функция времени передачи сообщения, включающего данные для N переменных; k – эмпирический коэффициент замедления вычислений при асинхронном обмене; τ – эмпирическая средняя скорость обработки поля одной переменной; V_j – количество переменных в j -й группе. Зададим отсутствие простоев между обработкой блоков групп, вхождение любой группы лишь в один блок и непротиворечивость порядка обработки и взаимозависимостей групп:

$$\forall j > 1: \bigvee_{i=1}^K X_{ij-1} - \bigvee_{i=1}^K X_{ij} \geq 0;$$

$$\forall i: \sum_{j=1}^M X_{ij} = 1; \quad \forall i, j: K \cdot (1 - X_{ij}) \geq \sum_{r=1}^j \left(\sum_{s=1}^K X_{sr} P_{si} \right).$$

Таким образом, предложена нелинейная оптимизационная модель, позволяющая определить оптимальную схему обменов, что может быть применено для автоматизации распараллеливания.

Применение теории планирования эксперимента при математическом моделировании систем электроснабжения

При моделировании электромагнитных процессов в системах электроснабжения (СЭС) возникают трудности с обобщением решений полученных численными методами. Применение теории планирования эксперимента позволяет в аналитическом виде представить результаты численных исследований и с достаточной точностью оценить влияние различных факторов.

В докладе представлены результаты моделирования системы содержащей питающую сеть, RL нагрузку, регулируемую с помощью тиристорного регулятора и нерегулируемую нагрузку.

При планировании эксперимента важен выбор факторов. В качестве базисной величины было принято реактивное сопротивление сети. В качестве факторов выбирались: активные сопротивления нагрузок, $\cos\phi$ нагрузок, угол управления тиристорного регулятора и активное сопротивление сети. В качестве откликов при исследовании принимались: результирующий $\cos\phi$ сети и коэффициент несинусоидальности напряжения сети. Путем моделирования в среде MatLab 6.5 Simulink 5.0. был проведен полный 4-х факторный двух уровневый эксперимент 2⁴. Адекватность полученных регрессионных моделей и степень влияния факторов была оценена в соответствии с критериями Стьюдента и Фишера. Эксперименты, отсеивающие мало влияющие факторы, проводились по методу Плаккетта-Бермана.

В результате исследования было показано, что активное сопротивление сети мало влияет на результаты экспериментов. Это позволило свести 4-х факторный эксперимент к 3-х факторному и построить в пространстве семейство плоскостей для заданных уровней $\cos\phi$ нагрузки.

Исследования показали, что параллельно включенная нагрузка всегда улучшает коэффициент несинусоидальности напряжения сети обусловленный работой тиристорного регулятора.

Применение конденсаторов, для улучшения результирующего коэффициента мощности при наличии тиристорных регуляторов улучшает $\cos\phi$ сети, но вызывает резкое ухудшение коэффициента несинусоидальности питающего напряжения и возникновение гармонических колебаний с неканоническими частотами. Возникающие трудности могут быть преодолены при применении преобразователей-компенсаторов пассивной мощности, выполненных на основе автономных инверторов напряжения, работающих в обратном режиме.

УДК 681.3.07

О.А. СЕМЁНОВА, ассист., Д.А. СЕМЁНОВ, студ.
(Сф СамГТУ)

Использование Neural Network Toolbox для диагностики систем управления

В настоящее время предложены и разработаны различные подходы для интеллектуализации систем диагностирования, основанные на распознавании образов, экспертных системах, искусственных нейронных сетях и нечеткой логике. Нейронные сети являются инструментом, позволяющим создать более глубокую иерархию принятия решений с учетом места, вида и условия возникшего в системе управления дефекта, вследствие чего она находит применение и в диагностировании.

Существует три популярных архитектуры нейронной сети для контроля и управления, которые осуществлены в Neural Network Toolbox: Модель прогнозирования управления, NARMA-2 (линеаризация обратной связи), Модель сравнительного управления.

Создание систем управления при использовании нейронных сетей осуществляется в два этапа: первый этап-идентификация системы, второй-проектирование управления. На первом этапе создается нейросетевая модель объекта управления, а на второй стадии – модель объекта управления используется для создания системы управления. В каждой из трех архитектур нейросетевых сетей стадия идентификации идентична, а стадия управления отлична для каждой архитектуры.

Использованная для создания системы диагностирования и реализованная с помощью модельного подхода, модель системы управления должна в точности повторять поведение системы, для того чтобы при нормальной работе отклонения выходного сигнала были не существенны. При наличии неисправностей, поведение невязок меняется таким образом, чтобы определить дефект. Далее проводится расчетный анализ причин дефектов и замечаний.

Современные нейросетевые технологии дают возможность создавать интеллектуальные системы, которые могут исключить влияние человеческого фактора на этапах анализа, диагностики и контроля технического состояния изделия. Однако следует отметить тот факт, что нейронные сети в то же время просто адаптируются к изменяющимся условиям окружающей среды и менее требовательны к точности априорной информации о характере сигналов и величине дефекта. Мощные возможности нейросетевой вычислительной архитектуры позволяют создавать многопараметрические имитационные математические модели сложных технических систем и на их основе строить оптимизационную стратегию проектирования и модернизации систем диагностики.

Решение одной комбинаторной задачи

Рассмотрим следующую задачу: найти число неупорядоченных выборов из множества M , содержащего n различных элементов, если сначала выбирают m элементов с возвращением, а затем – k элементов без возвращения выбираемых элементов в множество M , где $k \leq n$.

Обозначим искомое число $S(n, m, k)$. Известно, что $S(n, m, 0) = C_{n+m-1}^m$. Поэтому достаточно найти число $S(n, m, k)$ при $k \geq 1$.

Теорема. Пусть $n \geq 1$, $m \geq 0$, $1 \leq k \leq n$, $\alpha = \min(n, m+k)$, тогда

$$S(n, m, k) = \sum_{i=k}^{\alpha} C_n^i C_{m+k-1}^{m+k-i}. \quad (1)$$

Доказательство. Пусть S_i – число выборов в рассматриваемой задаче, имеющих только i различных элементов множества M , $i = k, k+1, \dots, \alpha$. Тогда $S(n, m, k) = S_k + S_{k+1} + \dots + S_{\alpha}$.

Число неупорядоченных выборов объема $m+k$, содержащих только i различных фиксированных элементов множества M , равно числу целочисленных решений уравнения $x_1 + x_2 + \dots + x_i = m+k$ при условии, что $x_1 > 0$, $x_2 > 0$, ..., $x_i > 0$.

В [1] доказано, что число таких решений равно C_{m+k-1}^{m+k-i} . Поскольку i различных элементов из множества M можно выбрать C_n^i способами, то $S_i = C_n^i C_{m+k-1}^{m+k-i}$. Теорема доказана.

Отметим, что при $k \geq 2$ формулу (1) можно записать в другом виде: $S(n, m, k) = C_{n+m+k-1}^{m+k} - \sum_{i=1}^{k-1} C_n^i C_{m+k-1}^{m+k-i}$. При $k = 1$, очевидно, что

$$S(n, m, 1) = S(n, m+1, 0) = C_{n+m}^{m+1}.$$

Если в рассмотренной задаче выбор элементов осуществить иначе, например, сначала выбрать k элементов без возвращения, а затем m элементов с возвращением, то число неупорядоченных выборов будет другим.

Литература

1. Холл М. Комбинаторика. – М.: Мир, 1970.

Оптимизации системы охлаждения высоковольтных маслонаполненных вводов

Проектирование мощного высоковольтного оборудования устанавливает жесткие требования к конструкциям высоковольтных масляных вводов электрического тока. Такие устройства должны выдерживать высокие нагрузки, сохранять значения параметров функционирования в узких пределах в течение всего срока службы. При этом их производство должно быть технологичным и иметь низкую себестоимость.

Решение задачи моделирования на основе полной физической модели, предложенной в [1], позволит повысить точность результатов и провести синтез проектных решений САПР для создания образцов новых, более эффективных типов таких вводов.

Для качественной оценки проектного решения необходимо рассчитать комплексный критерий качества, в который войдут множество частных критериев. Должны контролироваться различные режимы работы ввода (s) и контрольные точки (i).

Согласно мнению экспертов наиболее значимым параметром является температурное поле, а более точно – температурное поле на поверхности изоляции. Точность оценки данной величины будет зависеть от точности оценки температурного поля. Соответственно вид искомого критерия можно принять следующим:

$$Q = \sum_s w_s \max_i (T_{is}) \lim_{x \rightarrow \infty} , \quad (2)$$

где w_s – весовой коэффициент режима работы ввода, T_{is} – температура контрольной точки (i) в режиме работы (s).

Проведенные численные эксперименты на основе предложенной в [1] модели показали хорошее соответствие полученных результатов реальным данным, что в отличие от существующих моделей, позволяет рекомендовать ее для решения задач САПР масляных вводов высокого напряжения.

Литература

1. Солдатов А.В., Митькин Ю.А., Ясинский Ф.Н. Математическое моделирование тепловых и гидродинамических процессов в высоковольтных масляных вводах. Межвуз. сб. научн. трудов «Высоковольтная техника и электротехнология». ИГЭУ, 2003. №3. с.55-60.

УДК 62-501.72

А.В. ТАМЬЯРОВ, к.т.н., ст. препод., М.В. ПАРПУЦ, препод.
(филиал СамГТУ в г. Сызрани)

Иерархическая система регулирования натяжения полимерного материала на поточных линиях с многодвигательным электроприводом

Разработана иерархическая функциональная схема автоматизированного многодвигательного электропривода (рис. 1).

Первым уровнем является управление базовыми электроприводами с своей системой подчиненного регулирования координат. Управление на этом уровне заключается в поддержание заданной скорости электропривода без учета взаимосвязи через обрабатываемый материал.

Второй уровень – микропроцессорная система управления построенная по принципам оптимального по среднеквадратичному критерию регулирования. Этот уровень выполняет управления взаимосвязанной электромеханической системой натяжения полимерного материала.

Третий уровень – ЭВМ, выполняет функции: управления всей электромеханической системой натяжения; сбор статистических данных об объекте регулирования; придание адаптивного характера системе автоматического регулирования натяжения.

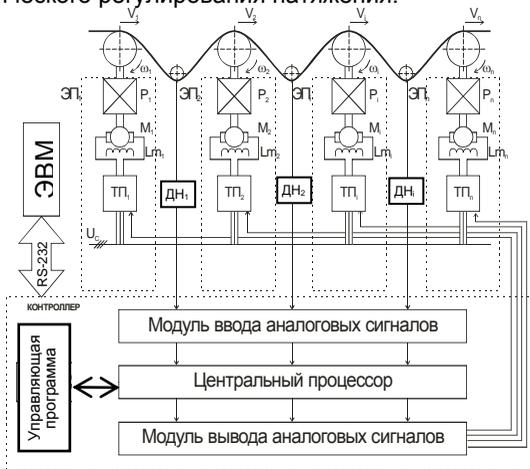


Рис. 1 Функциональная схема автоматизированного многодвигательного электропривода

Введение такой системы регулирования дает следующие преимущества: собирать и обрабатывать данные о работе установки; контролировать параметры многодвигательного электропривода и при изменении их на величину больше заданной, изменить управляющую программу, хранимую в памяти контроллера; внедрять SCADA системы.

УДК 621.311: 338.364

А.А. БЕЛОВ, к.т.н., проф., М.О. ФЕДОРОВ, студ., В.А. ШАШЕНКОВ, инж.
(ИГЭУ)

Методы и средства реализации управленческого учета в системе энергосбережения предприятия

В связи с постоянным ростом цен на энергоносители, с соответствующим увеличением доли энергозатрат в себестоимости продукции задача энергосбережения для каждого предприятия становится все более и более актуальной. Одной из ключевых проблем в решении этой задачи является отсутствие целенаправленного информационного обеспечения управления энергосбережением. К основным причинам, обуславливающих данную проблему, можно отнести отсутствие дифференцированного контроля использования энергоресурсов, сопоставления энергозатрат с другими производственно-технологическими показателями на каждой операции, участке производственного процесса, распределения ответственности и соответствующего стимулирования управленческого персонала. Приведенные обстоятельства определили принципиальную основу организации информационного процесса – принцип управленческого учета. Для его реализации была осуществлена иерархическая декомпозиция организации, производственного процесса, системы энергоснабжения, разработаны методы оценки затрат по единицам оборудования, операциям, участкам, производственному процессу, предприятию в режиме мониторинга, алгоритм сопоставления показателей энергопотребления с другими технико-экономическими показателями.

Разработанная и внедренная в ЗАО «Электроконтакт» система информационного обеспечения позволяет получить оперативную информацию:

- об удельных расходах всех видов энергоресурсов на всех операциях и участках производственного процесса;
- об удельной доле энергозатрат в себестоимости как конечной, так и всех промежуточных продуктов;
- об эффективности использования различных видов энергоресурсов в производственном процессе;
- о факторах, оказывающих влияние на эффективность использования энергоресурсов;

К основным особенностям системы можно отнести:

- информационную и программную совместимость с автоматизированной системой мониторинга и анализа производственного процесса (АСМА «Графит»), что расширяет возможности управления качеством и эффективностью в рамках информационно-энергетической концепции;
- возможность ведения управленческого учета при значительном дефиците контрольно-измерительной аппаратуры;
- универсальность методических и программных средств по отношению к специфике и масштабам объекта управления.

УДК 621.

Р.Г. ХУЗЯШЕВ, к.ф.-м.н., доц., Д.Н. ШАРКОВ, бакалавр
(КГЭУ)

Алгоритм определения места повреждения на ВЛЭП 110-500 кВ при учете доаварийного режима

В электрических сетях получили большое распространение микропроцессорные устройства для определения места повреждения (ОМП), а точнее короткого замыкания (КЗ), на воздушных линиях электропередач (ВЛЭП) с заземленной нейтралью с номинальным напряжением 110-500 кВ. Используемый алгоритм ОМП [1] имеет три основных источника погрешности. Измерительная погрешность связана с точностью аналогово-цифрового преобразования измеряемых величин. Информационная погрешность обусловлена неточностью информации о проектных параметрах ВЛЭП. Алгоритмическая погрешность обусловлена отсутствием информации о прочих параметрах схемы замещения системы «источник-ВЛЭП-нагрузка»: сопротивление нагрузки, переходное сопротивление. Учет доаварийного режима позволяет избавиться от алгоритмической погрешности.

Запишем для симметричных схем замещения аварийной ВЛЭП уравнения по 1-му и 2-му законам Кирхгофа, граничные условия для ветки замыкания и дополним ее уравнением доаварийного режима. Тогда алгоритм ОМП при К(1) запишется как поиск корня уравнения

$$\operatorname{Im} \frac{U_{\phi} - L_{\text{кз}} Z_1 (I_{\phi} - k I_{\Gamma 0})}{\left(I_{\Gamma 1} \left(1 - \frac{(U_{\Gamma 1} / I_{\Gamma 1}) - L_{\text{кз}} Z_1}{(U_{\text{H}} / I_{\text{H}}) - L_{\text{кз}} Z_1} \right) \right)} = 0,$$

где $U_{\phi} = U_{\Gamma 1} + U_{\Gamma 2} + U_{\Gamma 0}$; $I_{\phi} = I_{\Gamma 1} + I_{\Gamma 2} + I_{\Gamma 0}$; $k = \frac{Z_0 - Z_1}{Z_1}$; $U_{\Gamma 1,2,0}$, $I_{\Gamma 1,2,0}$ – напряжения и токи прямой, обратной и нулевой последовательностей, измеренные фиксирующим прибором; $Z_{1,0}$ – удельное сопротивление ВЛЭП прямой и нулевой последовательностей; U_{H} , I_{H} – напряжения и токи доаварийного режима.

Литература

1. А.К. Белотелов, А.С. Саухатос. Алгоритмы функционирования и опыт эксплуатации МУ ОМП ЛЭП // Электрические станции. – 1997, №12, С.7.

Выбор оптимальной интерполирующей системы функций для описания импульсных сигналов

При аналитическом задании импульсных сигналов возникает задача выбора оптимальной интерполирующей системы функций. Одним из способов решения данной задачи является процесс аппроксимации некоторых импульсных сигналов тригонометрическим рядом Фурье и некоторыми типами вейвлетов.

Моделирование процесса аппроксимации заключалось в следующем. Исходя из допустимого значения методической погрешности преобразования ε , определялось число членов тригонометрического ряда Фурье, аппроксимирующего каждый анализируемый сигнал, а также число вейвлет-коэффициентов или уровень вейвлет-анализа, исследуемого сигнала. Далее, после выполнения аппроксимации, определялось значение погрешности аппроксимации δ :

$$\delta = \sqrt{(f_1(x) - f(x))^2}, \quad (1)$$

где $f_1(x)$ – приближенное аналитическое представление преобразуемого сигнала $f(x)$. Средние результатов моделирования приведены в таблице 1.

Таблица 1. Средние результаты моделирования.

ε , %		Тригонометрический ряд Фурье	Вейвлеты
25	n	2	2
	δ , %	35	27
10	n	5	5
	δ , %	24	10
4	n	10	10
	δ , %	16	2

Проведенный анализ позволяет сделать вывод о том, что наиболее оптимальной интерполирующей системой для импульсных сигналов, исходя из минимального значения погрешности преобразования, являются вейвлеты.

Литература

1. Ахиезер Н.И. Лекции по теории аппроксимации. – М.: Наука, 1965.
2. Дьяконов В.П. Вейвлеты. От теории к практике. – М.: Солон-Р, 2002.

Способ управления качеством газа на выходе из эндогазогенерирующей установки

В настоящее время большая роль в повышении качества, надежности и долговечности изделий машиностроительной промышленности принадлежит термической обработке, которая является наиболее эффективным методом упрочнения металла.

Для проведения термической обработки применяют печи, печные агрегаты с контролируемой средой (эндогазом). Производство качественного эндогаза, то есть газа с необходимой влажностью и температурой, можно достичь при реализации двухконтурной схемы управления.

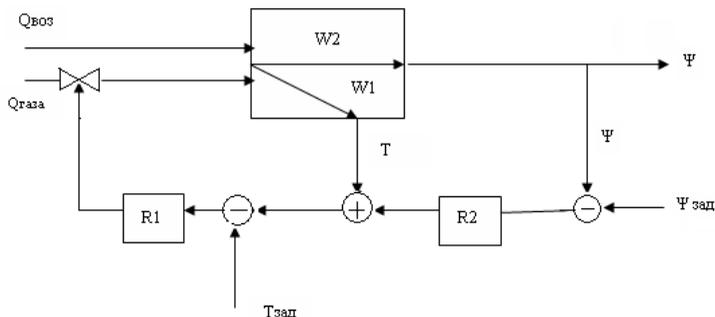


Рисунок 1. Система управления качеством эндогаза

Принцип действия системы в следующем: на выходе объекта управления контролируются две величины: влажность газа и температура. Передаточная функция по каналу «расход газа на горение $Q_{газа}$ – температура газа T » $W1$, передаточная функция по каналу «расход воздуха $Q_{воз}$ – влажность газа Ψ » $W2$. Влажность на выходе сравнивается с заданной $\Psi_{зад}$, сигнал рассогласования поступает на вход регулятора $R2$. Регулятор $R1$ отработав сигнал рассогласования по температуре, подает сигнал на задвижку, изменяя тем самым расход газа на горение.

УДК 621.317.1

А.О. СУЛАЙМАНОВ, нач. отд. информац. технологий ЭЛТИ
(Томский политехнический университет)

Моделирование процедур определения реактивной мощности при несинусоидальных режимах

В связи с переходом электроэнергетики к рыночным отношениям, вопрос измерения реактивной мощности становится все более актуальным, тем более что реактивная мощность становится товаром [1].

Многообразие подходов к измерению реактивной мощности и отсутствие общепризнанных решений в этой области приводит к необходимости ревизии и определению перспективных направлений. К тому же современный инструментарий позволяет на более глубоком уровне провести анализ теоретических предпосылок и получить более обоснованные выводы.

Нами были использованы современные системы моделирования (программа PSPICE в составе ORCAD) и собственные программные моделирующие средства. При этом, PSPICE использовался для моделирования первичных процессов, т.е. являлся источником массивов мгновенных значений токов и напряжений, а моделирование измерительных процессов проведено с помощью специализированной программы. Такой комплексный подход позволил быстро и достоверно судить о предпочтительности использования тех или иных измерительных процедур.

Были рассмотрены:

– формула предложенная Фризе

$$Q = \sqrt{S^2 - P^2}; \quad (1)$$

– формула реактивной мощности по рекомендациям МЭК

$$Q = \sum_{k=1}^{\infty} U_k I_k \sin \varphi_k; \quad (2)$$

– метод Бакова, предложившего при определении неактивной мощности [2] использовать интеграл обратной мощности за четверть периода

$$Q_H = \frac{4}{T} \int_0^{T/4} (u(t)i(t) - P) dt; \quad (3)$$

– метод Маевского [3], связавшего реактивную мощность с площадью вольт-амперной характеристики F_{BAX}

$$Q_M = \pm \frac{1}{2\pi} |F_{BAX}| m_U m_i; \quad (4)$$

По результатам исследований, частично описанных в [4, 5] можно утверждать:

1. Использование формул (1) и (2) для определения реактивной мощности в несинусоидальных цепях переменного тока вряд ли целесообразно.
2. Подходы Бакова для определения реактивной мощности верны лишь в частных случаях, когда в сигналах тока и напряжения присутствуют только нечетные гармоники.
3. Подход Маевского (3) пригоден для определения суммарной реактивной мощности сдвига

$$Q_C = \sum_{k=1}^{\infty} kU_k I_k \sin \varphi_k, \quad (5)$$

и хорошо работает с отсчетами мгновенных значений тока и напряжения

$$Q_C = \frac{1}{4\pi} \sum_{j=1}^N (u_j - u_{j+1})(i_j + i_{j+1}); \quad (6)$$

При известных величинах полной реактивной мощности и мощности сдвига, легко определить мощность искажения [6];

Для трехфазной трехпроводной цепи, при использовании метода двух вольтметров [7] следует применять формулы Маевского (4), (5), (6). Остальные формулы дают в этом случае неправильный результат.

Литература

1. **Кушнарев Ф.А., Апсуваев А.У., Свешников В.И.** Реактивная мощность – товар, реализуемый на розничном рынке мощности и энергии// Вести в электроэнергетике. 2004. № 6. с. 34-36.
2. **Баков Ю.В.** Мощность переменного тока. – Иваново: Изд. Ивановского гос. энергетического университета, 1999 г
3. **Маевский О.А.** Энергетические показатели вентильных преобразователей.- М.:Энергия.- 1978.
4. **E. Goldstein, N. Batseva, A. Sulaimanov, B. Valov.** Ein Berechnungsverfahren von Lastcharakteristika durch Momentanwerte von Stromen und Spanungen. Technische universitat Ilmenau. 48 International Wissenschaftliches Kollquium, 22.09.2003, Tagungsband.
5. **Функциональный** контроль и диагностика электротехнических и электромеханических систем и устройств по цифровым отсчетам мгновенных значений тока и напряжения. //Под ред. Е.И. Гольдштейна. - Томск.: Печатная мануфактура. 2003.
6. **Патент** на изобретение № 2223509 РФ, 7 G 01 R 21/06. Способ измерения мощности искажения в однофазной цепи переменного тока / Гольдштейн Е.И., Сулайманов А.О. С приоритетом от 29.04.2002
7. **Патент** на полезную модель № 41373 РФ, 7 G 01 R 21/00. Устройство для измерения реактивной мощности сдвига в трехфазной трехпроводной цепи переменного тока / Гольдштейн Е.И., Сулайманов А.О. С приоритетом от 07.06.2004.

УДК 681.326

Е.Ю. ФИЛАТОВ, асп., Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д.ф.-м.н., проф.
(ИГЭУ)

О расчете ветровой нагрузки на высотные здания и сооружения

Была поставлена задача о расчете ветровой нагрузки на высотные здания и сооружения. Данная задача имеет большую практическую ценность. Роль исследования возрастает в связи с тем, что известные на данный момент разностные схемы и модели турбулентности применимо к этой задаче не дают достаточно точных результатов.

На первом этапе исследования задача решалась в двумерном случае в плоскости параллельной поверхности земли в разных системах (вихрь – функция тока и скорость – давление), с различными граничными условиями и разными методами. Полученные результаты сравнивались.

Установлено, что вычислительная вязкость оказывает существенное влияние на полученные результаты, причем она заметно зависит от применяемых методов. Результаты, полученные различными методами, сходятся с измельчением сетки. Однако, этот путь ведет к большим затратам машинного времени. Перспективным представляется подход, при котором решение задачи ищется одновременно на различных сетках и затем с помощью полученного множества решений ищется уточненное. Такой подход удобен при реализации на многопроцессорной вычислительной технике.

Литература

1. **Роуч П.** Вычислительная гидродинамика. – М.: Мир. 1980.
2. **Балаев Э.Ф. и др.** Численные методы и параллельные вычисления для задач механики жидкости, газа и плазмы: Учебное пособие. – Иваново: Иван. гос. энерг. ун-т. – 2003.

УДК 621.311

Е.А. ФЕДОТОВ, к.т.н., ст. препод.,
А.В. КУЗНЕЦОВ, инж., Н.В. ЧЕРНОВА, асп.
(КГЭУ)

Математическая модель преобразователя в системе электроснабжения

Требования к качеству напряжения в системах электроснабжения регламентируется ГОСТом. Одним из важнейших показателей является уровень высших гармоник токов и напряжений в электрической сети. Хорошо известно, что высшие гармоники оказывают отрицательное влияние на работу электроприемников. Исследованиям, связанным с определением гармонического состава тока и напряжения в электрических цепях, в состав которых входят вентильные преобразователи, посвящено много работ. Однако появление в современных системах электроснабжения электроприемников, предъявляющих повышенные требования к выдерживанию низкого уровня гармоник тока и напряжения на их входе во всех режимах работы питающей электрической сети, обуславливает новые направления научных исследований в этой области.

Распространенным приемом расчета гармонических составляющих тока и напряжения в системе электроснабжения является представление преобразователя как источника тока, в некоторых случаях в схему замещения вводится и цепь нагрузки. На такой математической модели исследуются проблемы долевого вклада источников гармоник в искажение показателей качества напряжения и тока системы электроснабжения.

Выполненные исследования на базе математического аппарата локального преобразования Фурье (ЛПФ) показали, что только в однофазной системе распределения электроэнергии, где преобразователи выполняются по двухполупериодной схеме выпрямления, можно математически строго получить схему замещения преобразователя, представляющую собой сочетание нагрузки, источника напряжения и источника тока. В результате предоставляется возможность учета влияния каждого преобразователя как друг на друга, так и на показатели качества электроэнергии в отдельных элементах электрической сети.

В трехфазной электрической сети в моменты отсутствия проводимости вентилей нарушается гармонический баланс между сетью и выпрямительной нагрузкой. В этом случае схема замещения возможна только в виде задающих токов, но которые должны вычисляться с учетом взаимного влияния преобразователей. ЛПФ позволяет выполнить приведение цепи питания на стороны выпрямленного тока с последующим переходом на сторону сети. В результате можно учесть взаимное влияние преобразователей.

Структурная модель процесса каландрования

Первым этапом синтеза оптимального управления процесса каландрования является создание математической модели. Получена структурная схема процесса протягивания композиционного материала через зазор

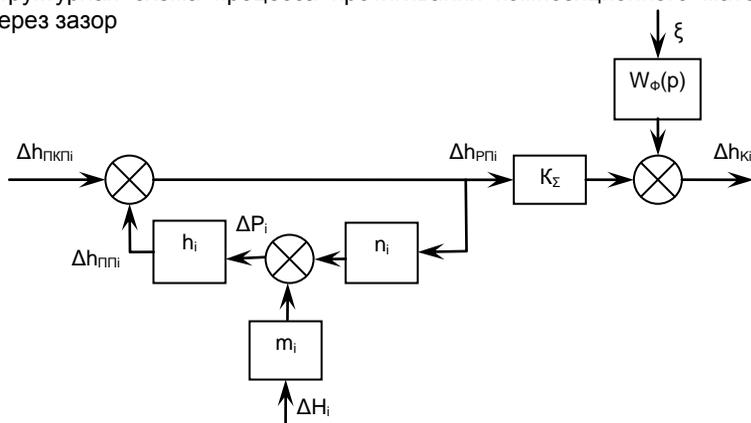


Рис.1. Структурная схема процесса для одного зазора.

ΔP_i – приращение распорных усилий; $\Delta h_{РП}$ – приращение рабочего профиля; $\Delta h_{ПКП}$ – компенсируемые приращения профиля прогиба валков; $\Delta h_{ПКП}$ – приращение толщины профиля компенсации прогиба; h_i – коэффициент податливости валков; K_Σ – коэффициент учитывающий высокоэластичную и температурную деформацию композиции; ΔH_i – запас композиции на входе каждого межвалкового зазора; n_i, m_i – линеаризованные коэффициенты передачи; $\Delta h_{К}$ – приращение толщины композиции; $W_\phi(p)$ – формирующий фильтр.

На основании этой структурной схемы (рис.1.) составлено обобщенное матричное уравнение состояний в нормальной форме Коши:

$$\begin{cases} \frac{dX}{dt} = AX + BU + C\xi \\ V = DX \end{cases} \quad (1)$$

где X – вектор переменных состояния; V – вектор выходных воздействий; U – вектор управляющих воздействий; ξ – вектор некоррелированных «белых шумов». С использованием методов, разработанных в научной школе профессора Петрова Ю.П., на основе структурной схемы (рис.1.) разрабатывается методика синтеза оптимальной стохастической системы управления процессом каландрования.

УДК 338.244

М.Д. ПАПКОВА, к.т.н., доц., зав. каф., Е.В. ХАМИДУЛИН, магистр.
(МИЭПМ ННГАСУ)

Информационные технологии в управлении экологическими проектами в Нижегородской области

Среди экологических проектов, реализуемых в Нижегородской области, на особом месте стоит проект водоснабжения населения качественной питьевой водой. Решение этой проблемы связано с социальными вопросами обеспечения соответствующих условий жизни и здоровья граждан и является сложной задачей, поскольку требует поэтапного подхода и проведения исследований, связанных с анализом, оценкой состояния вопроса и разработкой соответствующих предложений.

Результаты анализа выявили следующие особенности водоснабжения районов Нижегородской области:

1. Природные ресурсы подземных вод питьевого качества имеются в незначительном количестве и в ограниченном числе районов
2. Отмечается ряд густонаселенных пунктов, испытывающих дефицит водоснабжения, причем в ряде из них имеются лишь источники поверхностных вод
3. Существует значительное количество территорий, имеющих объекты с нерегулируемой эксплуатацией собственных водозаборных скважин, а также бесконтрольную разработку запасов подземных вод

Сложность решения задачи водоснабжения Нижегородской области с учетом указанных факторов требует создания соответствующей системы мониторинга подземных вод, организации комплексных работ по обследованию и оценке объектов водоснабжения, обеспечение прогнозирования изменения состояния и оптимизации управления. Наиболее универсальным инструментом для мониторинга и прогнозирования состояния водных объектов и подземных вод в связи с антропогенным воздействием или природными явлениями, являются системы управления, созданные при помощи геоинформационных систем.

Эффективность создания геоинформационной системы управления водоснабжением Нижегородской области обеспечивается участием в проекте гидрологов, гидрогеологов, экономистов и специалистов в области информационных технологий, задачей которых является определение соответствующих показателей и параметров, влияющих на объекты водоснабжения, и разработка моделей данных и тематических слоев.

Предложенная система в перспективе должна войти составной частью в общую систему регионального управления и мониторинга на основе ArcView с модулем Spatial Analyst.

А.М. КАСК, асп., В.С. МАЛЫШЕВ, к.т.н., доц.
(Мурманский Государственный Технический Университет)

Оптимизация технологического процесса предприятия второй апатито-нефелиновой обогатительной фабрики (АНОФ-2) объединения ОАО «Апатит» с помощью математического программирования на базе компьютерной модели производства

Важнейшим аспектом развития промышленного предприятия является оптимизация потребления энергоресурсов при минимизации негативного влияния производства на окружающую среду.

Для решения оптимизационной задачи необходимо решить систему математических уравнений. Так как процессы производства описываются как линейными, так и нелинейными математическими зависимостями, решение представляет собой сложный расчетный процесс. Наиболее удобно и быстро задача оптимизации решается с помощью математического программирования на базе компьютерной модели производства.

Объектом исследования выбрана вторая апатито-нефелиновая обогатительная фабрика (АНОФ-2) производственного объединения ОАО «Апатит». Интеграционная модель исследуемого предприятия базируется на использовании математических методов для нахождения глобальных экстремумов целевой функции при ряде ограничений. Технологический процесс предусматривает потребление значительного количества холодной оборотной воды, которая после использования в технологическом процессе используется в качестве гидротранспорта хвостов. В 1990 году выработка апатитового концентрата резко упала, однако предприятие продолжает потреблять излишки оборотной воды в силу технических характеристик насосного оборудования установленного в системе оборотного водоснабжения.

Задача оптимизации производственного процесса решена путем построения оптимизационной модели производства при ряде ограничений. Целевая функция разработана при условии минимизации потребления оборотной воды, что привело к значительному снижению потребления электроэнергии. Оптимизационная модель оборотного водоснабжения предприятия выявила возможность и практическую значимость оптимизации технологических процессов производства, путем изменения рабочих параметров системы водоснабжения. В оптимизационной компьютерной модели реализованы прежний и предлагаемый варианты функционирования производства. На основе сравнения альтернативных вариантов смоделирован наиболее оптимальный и экономически эффективный путь развития производства.

УДК 621. 9. 02

Е.В. ЕГОРЫЧЕВА, к.т.н., доц., А.И. ЛАПОЧКИН, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Моделирование формирования упрочнения инструмента

Создание предварительного упрочняющего покрытия позволяет увеличить стойкость режущего инструмента, повысить его качества.

В результате исследования был разработана модель формирования комбинированного способа упрочнения. Она состоит в создании многоэтапного упрочняющего слоя на поверхности режущего инструмента. На первом этапе упрочняемая поверхность обрабатывается в положительном поле коронного разряда на воздухе. Время обработки и величина тока коронного разряда варьируются в зависимости от поставленной задачи. В результате обработки в положительном поле коронного разряда происходит разрушение окисных пленок на поверхности режущего инструмента и активизация его поверхности вследствие внедрения катионов азота.

Последующий этап состоит в нанесении покрытия из нитрида титана методом конденсации с ионной бомбардировкой. В покрытии всегда содержатся частицы металлического титана α -Ti, который по ряду причин не прореагировал с азотом. Это создает дефектность покрытия, так как α -Ti активно реагирует с кислородом с образованием твердого раствора внедрения, что приводит к коррозии покрытия. Предварительное насыщение азотом поверхности режущего инструмента в поле положительно-го коронного разряда создает условия для реакции частиц α -Ti и азота с образованием TiN. Это значительно повышает однородность покрытия, улучшает его качество, увеличивает адгезию покрытия с основой. После нанесения покрытия из нитрида титана проводят обработку в импульсном магнитном поле.

В металлообрабатывающем инструменте, изготовленном из стали Р6М5 и подвергнутом магнитно-импульсной обработке, наблюдается повышение энергии активации разрыва межатомных связей в кристаллической решетке, таким образом повышается адгезия покрытия с основой. Обработка в магнитном поле вызывает упорядочивание направления дефектов кристаллической решетки инструментального материала, усовершенствование кристаллической структуры покрытия, значительное снижение напряжений на его поверхности.

Применение упрочнения металлорежущего инструмента позволяет повысить его стойкость в 2...2,5 раза.

С.Г. СИДОРОВ, к.т.н., Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д.ф.-м.н., проф.
(ИГЭУ)
sgs@interline.ru

Диагностика лопаток турбин с помощью искусственных нейронных сетей

Лопатки паровых турбин работают в неблагоприятных условиях при высоких значениях температуры, давления и влажности. Металл, из которого изготовлены лопатки, при таких условиях подвержен ускоренному износу. Постепенное развитие микротрещин, усталость металла, могут привести к поломкам, возникновению аварийных ситуаций. Для их предотвращения необходима своевременная диагностика состояния структуры металла, из которого изготовлены лопатки турбин.

Контроль состояния металла лопаток проводится с применением различных средств диагностики, однако окончательное решение остается за экспертом. Оценка эксперта субъективна, а отсутствие формальных алгоритмов определения категории повреждения металла (КПМ) затрудняет автоматизацию решения такой задачи с помощью традиционных технических устройств. Наличие человеческого фактора при вынесении ответственного решения требует дополнительных средств подтверждения его правильности.

Диагностика металла по микрофотографиям связана с решением задач распознавания образов и их кластеризации. Наиболее просто и эффективно такие задачи решаются с применением нейросетевого базиса. Искусственные нейронные сети способны обучаться на примерах подготовленных экспертами и, будучи обученными, служить дополнительным средством подтверждения правильности выносимого решения.

Применение искусственных нейронных сетей для оценки состояния металла было опробовано на Костромской ГРЭС. Решалась задача диагностики паропроводов, работающих в тяжелых условиях повышенных температур и давления. Обучение нейронной сети проводилось по микрофотографиям шлифов гибов труб с различным КПМ. В качестве нейронной сети был использован двухслойный перцептрон с оригинальными алгоритмами его обучения, разработанными на кафедре Высокопроизводительных вычислительных систем ИГЭУ.

После обучения программа, реализующая нейросетевые алгоритмы, с достаточно высокой вероятностью подтверждала оценки экспертов. Это позволяет говорить о применимости аппарата искусственных нейронных сетей и для решения задачи диагностики состояния лопаток турбин, контроль которых проводится аналогичным образом.

УДК 531.66:666.9.022.3

Ф.Н. ЯСИНСКИЙ, д.ф.-м.н., проф. (ИГЭУ)

П.П. ГУЮМДЖЯН, д.т.н., проф., Л.А. ДМИТРИЕВА, инж. (ИГАСА)

Некоторые обобщения экспериментальных исследований ударного разрушения хрупких материалов

Работа посвящена исследованию явления разрушения хрупких материалов, построению математической модели процесса ударного разрушения одиночных частиц. Интересным является влияние скорости нагружения и размера одиночной частицы на вероятность ее разрушения.

Пусть $p_z(v)$ – доля разрушившихся частиц размера z при скорости удара v . Функция $p_z(v)$ – вероятность разрушения частицы размера z . При построении кривой гранулометрического состава особый интерес представляет величина $\omega_z(v) = 1 - p_z(v)$ – доля частиц размера z , оставшихся на сите размера z .

Результаты являются обобщением анализа экспериментальных данных для нескольких видов хрупких материалов (кварц, базальт, известняк, мел и другие.)

При любом начальном размере частицы z_0 вероятность $\omega_z(v)$ при увеличении скорости убывает по экспоненте $\omega_z(v|z_0) = k \cdot \lambda \cdot e^{-\lambda v}$. Этот факт может означать, что кривая гранулометрического состава не зависит от разрушаемого материала, но зависит от размера его частиц.

Хорошим критерием прочности материала является критическая скорость $v_{кр.}$ – скорость, при которой происходит разрушение 50% частиц данного размера [1, 2].

При уменьшении размера ударяемой частицы критическая скорость $v_{кр.}(z)$ растет как функция $v_{кр.}(z) = k \cdot z^\alpha$. Этот факт объясняется тем, что при уменьшении размера частицы растет ее прочность (наблюдается явление масштабного упрочнения). Быстрота роста кривой $v_{кр.}(z) = k \cdot z^\alpha$ зависит от физико-механических свойств данной горной породы, таких как прочность, жесткость, модуль упругости.

Установлено, что кривая распределения частиц по размерам носит бимодальный характер с явно выраженным вторым максимумом в зоне малых размеров ($\approx 0,06 - 0,088$ мм). Поведение этой кривой раскрывает механизм ударного разрушения одиночной частицы. Предполагаем, что большое число мелких осколков является следствием слияния волны пластических деформаций, распространяющейся радиально от зоны контакта с неподвижной преградой, и ударной волны, отраженной от задней грани частицы.

Литература

1. **Блиничев В.Н.** Разработка оборудования и методов его расчета для интенсификации процессов тонкого измельчения материалов и химической реакции в твердых телах. – Дисс. на соиск. уч. ст. доктора техн. наук, Иваново, 1975, 318 стр.
2. **Гуюмджян П.П.** Разработка и исследование высокоскоростных многоступенчатых измельчителей ударного действия. – Автореф. на соиск. уч. ст. канд. техн. наук, Иваново, 1974.

Эволюционный подход к разработке сложных программных продуктов

В основе предлагаемого подхода программирования – очень короткий, постоянно повторяющийся цикл разработки, составляющий одну-три недели. К концу каждого цикла формируется полностью рабочий, функциональный и протестированный релиз приложения. Эти циклы должны быть повторяющимися и бесперебойными на протяжении всего проекта.

Данные положения характеризуют график работ, сложившийся в процессе разработки Автоматизированной Системы Мониторинга и Анализа «Графит» на ЗАО «Электроконтакт». Предприятие прошло сертификацию соответствия системы управления (менеджмента) качеством СМК требованиям стандартов серии ISO9000. В процессе практической реализации эффективной СМК возникла необходимость постоянной разработки и адаптации системы документирования производственного процесса, а также методов контроля и анализа качества, как в рамках отдельных технологических операций, так и всего производственного процесса. Исходя из этого в качестве основных требований к процессу разработки АСМА «Графит» стали быстрая адаптация программной системы к изменяющимся требованиям СМК, с одной стороны, а с другой – поддержка анализа всего накопленного объема данных. Данные требования отразились в архитектуре программной системы, а также в принципах построения модели данных.

Архитектура программной системы представляет собой звезду, в центре которой располагается глобальный информационный портал, агрегирующий данные в простую и удобную для анализа модель. По периметру располагаются отдельные АРМы, реализованные в виде наращиваемых модулей и функционирующие в пределах отдельных производственных операций/участков. Синхронизация данных основана на единой системе справочников и формализованном представлении технологических карт.

Ядро представляет собой объектно-ориентированную систему с хранением состояния в реляционной базе данных (БД). Единая система метаданных позволяет выполнять генерацию программных модулей описывающих объекты системы, формировать иерархическое представление при создании запросов к данным и конструировании выходных форм с автоматическим формированием переводом в SQL, типизирует интерфейс ввода и редактирования свойств объектов.

Созданная основа АСМА «Графит» позволяет в короткие сроки наращивать и модифицировать прикладную функциональность системы с сохранением целостности модели и качества работы системы.

Модели и средства организации сбора данных в корпоративных информационных системах

Концепция хранилищ данных и систем поддержки принятия решений (СППР) лежит в основе организации информационной поддержки управления сложными техническими и социальными системами. В основе организации СППР лежит определенная совокупность метаданных (системных, навигационных, аналитических, операционных), посредством которых поддерживается жизненный цикл корпоративных информационных систем (КИС).

В докладе рассматриваются подходы к организации инструментальных средств, позволяющих эффективно организовать сбор данных в КИС. Хранилище организуется в виде совокупности информационных объектов, которые на уровне системных метаданных представлены рядом взаимосвязанных сущностей, а на уровне метаданных хранилища – соответствующими моделями анализа накопленной информации. Излагается подход к организации структуры хранилищ данных и соответствующих моделей анализа накопленной информации.

Система сбора данных включает средства извлечения информации источников, трансформации данных, а также средства загрузки данных в хранилище. Источниками информации при извлечении данных могут быть внешние автоматизированные информационные системы, а также непосредственно клиенты, основанные на формах ввода. После извлечения перед загрузкой данных выполняется их трансформация, включающая, по мере необходимости, согласование структур данных, очистку, получение статистических данных, согласование справочников, агрегацию и другие преобразования.

Посредством форм ввода организуется ведение регистрационных сведений в хранилище, а также сбор статистических данных. Предлагается подход к организации сбора данных на формах, шаблоны которых формируются на основе аналитических и навигационных метаданных хранилища. Шаблоны форм на ряду со сценариями загрузки составляют основу операционных метаданных загрузки.

На основе XML-технологии унифицирован подход к формированию сценариев загрузки данных в хранилище, а также к организации представления информации источников. В докладе приводится описание созданной системы сбора данных в рамках комплекса инструментальных средств автоматизации поддержки принятия решений.

УДК 681.324

С.В. КОСЯКОВ, к.т.н., доц., Д.А. АБДУЛОВ, О.В. ФОМИНА, инж.,
П.С. МИСКЕВИЧ, А.А. ХАМЕДЗЯНОВ, студ.
(ИГЭУ)

Разработка средств удаленного доступа к архивам кадастровых документов

Функционирование информационной системы ведомственного кадастра Агентства по образованию РФ [1] связано с необходимостью накопления в электронном архиве большого количества копий кадастровых документов, поступающих из всех регионов России, и обеспечения оперативного доступа должностных лиц к этим документам со своих рабочих мест. В Региональном кадастровом бюро Центрального региона Агентства по образованию РФ (РКБ ЦР), являющемся подразделением ИГЭУ, на протяжении нескольких лет ведутся работы по созданию и совершенствованию автоматизированной технологии ведения архива электронных копий кадастровых документов, позволяющей выполнять операции формирования, ведения и использования архива в режиме удаленного доступа через сеть Интернет [2].

Последняя версия программного комплекса, реализующего функции удаленного доступа к архиву документов, реализована на основе технологии ASP.NET. Переход к использованию технологий Microsoft.NET позволил повысить надежность и защищенность автоматизированной системы ведения архива, эффективно реализовать функции администрирования пользователями. Важным результатом применения данной технологии является возможность создания распределенной информационной системы для ведения архива документов ведомственного кадастра на базе архитектуры WEB-сервисов. В настоящее время ведется разработка WEB-сервисов, обеспечивающих совместную работу архивов разных бюро в сети Интернет. Кроме того, исследуется возможность применения данных разработок в составе информационной системы Комитета по земельным ресурсам и землеустройству города Иваново.

Доступ к архиву электронных документов ведомственного кадастра Агентства по образованию РФ для зарегистрированных пользователей, имеющих соответствующие полномочия, открыт на сайте РКБ ЦР по адресу www.cadaster.ispu.ru.

Литература

1. **Ведомственный** кадастр Министерства образования Российской Федерации / Сост.: Г.А. Балыхин, В.П. Савиных, С.К. Сергеев и др. Под ред. Г.А. Балыхина – Москва: МИИГАиК. – 2002. – 136 с.
2. **Разработка** системы публикации кадастровых данных в сети Интернет / С.В. Косяков, С.А. Исаев, Б.И. Баскаков, А.А. Хамедзянов // Тез. докл. междунар. науч.-техн. конф. «Состояние и перспективы развития электротехнологии» (XI Бенардосовские чтения), ИГЭУ. – Иваново, 2003. Том 1. – С.82.

Спектральный анализ на основе дискретно-непрерывного преобразования Фурье

При изучении систем и процессов различного характера широко используется спектральный анализ [1]. С его помощью процесс исследования переносится в частотную область.

Цифровой способ обработки данных основывается на классическом дискретном преобразовании Фурье (ДПФ), применяемом к массиву данных, представляющих анализируемый процесс [2]. При этом возникает ряд проблем, в частности существенная зависимость получаемых результатов от периода дискретизации (Δt). Одним из проявлений этой зависимости является периодичность получаемых спектров. ДПФ позволяет получить спектр исследуемого непрерывного процесса лишь при выполнении условий теорем Котельникова и Шеннона [1].

На практике эти условия выполняются далеко не всегда; зачастую специфика изучаемых процессов не позволяет уменьшать период дискретизации.

Кафедрой УИТЭС Владимирского государственного университета разработаны и исследуются методы спектрального анализа, позволяющие анализировать процессы по дискретным отсчетам, получая результаты близкие к спектрам соответствующим непрерывному преобразованию Фурье (НПФ) даже при больших периодах дискретизации. Основная их идея заключается в следующем:

- исходный сигнал представляется в виде дискретных отсчетов;
- по дискретным отсчетам данных формируется вспомогательный сигнал, получаемый с помощью кусочной аппроксимации;
- далее к кусочно-аппроксимированному сигналу применяется непрерывное преобразование Фурье, реализованное путем аналитического интегрирования.

В зависимости от порядка многочленов, используемых при аппроксимации, можно говорить об алгоритмах дискретно-непрерывного преобразования Фурье (ДНПФ) различных порядков.

В случае алгоритма нулевого порядка на каждом элементарном промежутке времени $t_n \leq t \leq t_{n+1}$ анализируемый сигнал $x(t)$ заменяется постоянной величиной $x = x_n = \text{const}$. В результате получается новый сигнал, имеющий кусочно-постоянный характер $\tilde{x}(t)$.

После применения к кусочно-постоянной функции НПФ получены следующие аналитические выражения для расчетов комплексного частотного спектра:

$$X(j\omega) = P(\omega) + jQ(\omega) = A(\omega)e^{j\varphi(\omega)};$$

$$P(\omega) = \int_0^{T_p} x(t) \cos(\omega t) dt; \quad Q(\omega) = \int_0^{T_p} x(t) \sin(\omega t) dt,$$

где T_p – время реализации. $P(\omega)$ и $Q(\omega)$ с учетом кусочно-постоянного характера функции находятся по следующим формулам:

$$P(\omega) = \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2}\right)}{\frac{\omega\Delta t}{2}} \Delta t \sum x_i \cos\left(\omega\Delta t\left(i + \frac{1}{2}\right)\right);$$

$$Q(\omega) = \frac{\sin\left(\frac{\omega\Delta t}{2}\right)}{\frac{\omega\Delta t}{2}} \Delta t \sum x_i \sin\left(\omega\Delta t\left(i + \frac{1}{2}\right)\right).$$

На рис. 1 для иллюстрации показаны амплитудные спектры, полученные с помощью классических НПФ, ДПФ, а также метода ДНПФ нулевого порядка для тестового сигнала в виде экспоненциального импульса.

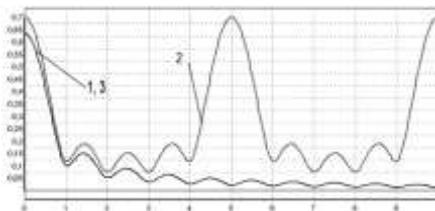


Рис. 1. Амплитудный спектр экспоненциального импульса, рассчитанный различными методами: 1 – НПФ; 2 – ДПФ; 3 – ДНПФ нулевого порядка

Для оценки эффективности применения ДНПФ была разработана программа, позволяющая сравнивать спектры, рассчитываемые с помощью НПФ, ДПФ и ДНПФ для выбранных тестовых сигналов. Анализ рассчитанных спектров показал, что дискретно-непрерывные алгоритмы в отличие от классического ДПФ позволяют получать результаты, мало отличающиеся от спектров, получаемых с помощью НПФ, при этом, получаемые спектры не являются периодическими.

Литература

1. **Рабинер П., Голд Б.** Теория и применение цифровой обработки сигналов. - М.: Мир, 1978.
2. **Гренджер К., Хатанаха М.** Спектральный анализ временных рядов в экономике.- М.: Статистика, 1972.
3. **Галкин А.А.** Дискретно-непрерывный метод спектрального анализа сигналов // Приборы и системы управления. 1998. № 7.

УДК 658.811

М.Г. ПОЛИКАРПОВА
(Магнитогорский государственный технический университета Г.И. Носова)

Применение экономико-математических моделей объема реализации для прогнозирования при наличии сезонной компоненты

В настоящее время перед РФ стоит задача удвоения ВВП, решение которой многие аналитики связывают с развитием малого бизнеса. Однако это возможно, лишь при продуманной финансово-хозяйственной политики со стороны малых форм бизнеса, которая в современных условиях базируется на тщательном изучении динамики потребительского спроса с применением математического аппарата.

В данной работе для анализа и прогнозирования использовался временной ряд, уровнями которого являются выручка от реализации продукции фирмы «Элпи» г. Магнитогорска за период с августа 2002 г. по январь 2005 г. Путем использования критерия, основанного на ранговой корреляции, и анализа дисперсий для различных месяцев и дисперсии остатка было выявлено наличие неслучайной составляющей и сезонных эффектов в разложении. Для аппроксимации временного ряда использовались аддитивные модели видов:

$$a) x(t) = f(t) + \varphi(t) + \varepsilon(t), t = \overline{1, 26} \quad (1)$$

$f(t) = a + b * t$ – функция, отражающая тенденцию;

$$\varphi(t) = a_0 + \sum_{\omega=1}^T (a_i * \cos(w_i * t) + b_i * \sin(w_i * t))$$
 – функция, отражающая сезонные колебания;

колебания;

$\varepsilon(t)$ – случайная составляющая;

$$б) x(t) = s(t) + x_1(t) + \varepsilon(t), t = \overline{1, 26} \quad (2)$$

$s(t)$ – абсолютный показатель сезонности;

$x_1(t) = c + kt$ – функция, отражающая тенденцию;

$\varepsilon(t)$ – случайная составляющая.

Получены следующие модели:

$$a) x(t) = 8457,20t + 364355,19 + 54343,20 \cos(t - 2,638) + 56370,25 \cos(t - 2,475) + 49991,99 \cos(t - 0,035) + 49204,15 \cos(t - 0,054) + \varepsilon(t)$$

$$б) x(t) = 357197,09 + 8786,33 * t + s(t) + \varepsilon(t),$$

$$\text{где } s(t) = (35540,30; 137000,66; -30123,80; -7019,87; -133397,29)$$

Модель (1) объясняет порядка 80% общей вариации уровней временного ряда по доходу от продаж, модель (2) объясняет 77% общей вариации. Исходя из модели (1), рассчитаны прогнозируемые значения объема реализации на февраль, март, апрель, что позволяет глубоко и системно исследовать факторы изменения результатов деятельности, и как следствие, снизить скопление товара на складе и увеличить оборот средств.

СЕКЦИЯ 4. НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИЙ И ЭНЕРГОСИСТЕМ

УДК 621.311.658

А.А. КАРАБАНОВ, асп., Б.В. ПАПКОВ, д.т.н., проф. (НГТУ)

Показатели эффективности эксплуатации оборудования в энергосистемах

В соответствии с законом РФ «Об электроэнергетике» Системный оператор (СО), управляет оборудованием, принадлежащим сторонним организациям различных форм собственности и организационно правовых форм: ФСК, АО-энерго, территориальным генерирующим и сетевым компаниям, и другим субъектам. Эти организации должны обеспечить соответствие качества эксплуатации своего оборудования и качество подготовки персонала всем действующим в отрасли нормативным документам. Причиной возникновения аварийной ситуации или инцидента может быть нарушение нормального режима функционирования или нарушения правил эксплуатации оборудования любой из выше перечисленных структур. Поэтому должен осуществляться мониторинг показателей надежности и качества эксплуатации объектов энергетике.

На начальном этапе сбора информации для анализа качества эксплуатации и оперативного обслуживания оборудования, предлагаются ввести следующие показатели эффективности, рассчитываемые на основе статистической информации собираемой региональными диспетчерскими управлениями:

- эффективность обходов участков линий предприятиями;
- количество ложных, неселективных срабатываний или отказов средств РЗ и А;
- среднее время планового, внепланового простоя оборудования;
- среднее время до начала обхода ЛЭП;
- количество бригад участвующих в обходах;
- количество подстанций без постоянного дежурного персонала;
- количество подстанций обслуживаемых одним ОВБ;
- количество подстанций, не оборудованных средствами связи (в том числе резервными средствами и каналами связи);
- количество оборудования в управлении и ведении диспетчера ПЭС;
- среднесписочная численность административно–технического, оперативного, оперативно–ремонтного, ремонтного персонала ПЭС;
- отказы, задержки в выполнении команд вышестоящего оперативного персонала.

Обладая данной информацией СО может не только учитывать её при осуществлении оперативно-диспетчерского управления на подведомственной территории, но и через органы государственного технического надзора воздействовать на субъектов электроэнергетики в случае не выполнения ими обоснованных требований СО.

Современные проблемы эксплуатации энергетического оборудования

Электроэнергетика, не только в России, но и во многих странах в течение последних десяти лет претерпела значительные изменения, в ходе которых изменились формы собственности и структура энергокомпаний, большинство этих изменений обусловлены как политическими, так и экономическими соображениями. Следует отметить, что в разных странах процесс реформирования идет своим путем, и успехи их существенно отличаются. Особо важным моментом при реформировании энергетики, является осознание того факта, что задачи, которые стоят перед энергокомпаниями, являются только частью общих национальных задач страны.

РАО «ЕЭС России» является одним из крупнейших российских акционерных обществ. Реформирование РАО «ЕЭС России» предполагает создание управляющих и генерирующих компаний, распределительной сетевой компании и сбытовых компаний. Главной целью реформирования является повышение эффективности работы электроэнергетики, основными показателями роста которой являются:

- снижение численности персонала занятого в энергетике;
- применение энергосберегающих технологий.

Важным фактором, определяющим эффективность эксплуатации, является реальное состояние энергетического оборудования. Основной причиной высокой интенсивности отказов является большой объем оборудования, выработавшего свой ресурс. Очевидно, что даже при темпах обновления в 7-8% в 1997 году, не обеспечить в ближайшие годы существенного снижения процента состарившегося оборудования невозможно. Это определяет особенности эксплуатации энергетического оборудования. Например, изношенность теплотрасс исключает возможность испытаний повышенным давлением и требует более широкого внедрения методов неразрушающего контроля трубопроводных систем. При комплексности проблемы ключевой составляющей для ее решения является подготовленность персонала. При обновлении, в эксплуатацию внедряется новое оборудование, имеющее характеристики отличные от традиционных. Так в системах электроснабжения до 35 кВ активно внедряются вакуумные коммутационные аппараты, самые совершенные в этом классе напряжения. Однако их неквалифицированное применение дает негативные последствия. Имеющийся опыт эксплуатации показывает, что замена выключателей на вакуумные может привести к массовой аварийности электродвигателей, если не учитывать при эксплуатации природу и последствия повторных зажиганиях дуги при размыкании контактов в дугогасительной камере.

УДК 621.316.542.027

И.Н. СУЛЫНЕНКОВ, Н.Н. БРЕЗГИНОВ, студенты; А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, к.т.н., доц. (ИГЭУ)

Определение предельного состояния высоковольтных выключателей на основе оценки коммутационного ресурса

Высоковольтные выключатели (ВВ) являются важнейшими элементами распределительных устройств (РУ). От их надежности в значительной степени зависит надежность работы схем РУ электростанций, подстанций и системы электроснабжения.

В настоящее время необходимость ремонта ВВ определяется на основе системы планово-предупредительных ремонтов (ППР), которая предполагает вывод ВВ в ремонт по истечении определенного межремонтного периода. В зависимости от условий и режимов эксплуатации это приводит либо к неполному использованию ресурса ВВ и увеличению издержек на обслуживание и текущий ремонт, либо к необходимости аварийного ремонта и связанному с ним ущербу. Следовательно, система ППР является малоэффективной и неэкономичной, что обуславливает необходимость применения методики, основанной на оценке износа и остаточного ресурса ВВ.

Перспективным направлением является использование элегазовых ВВ (ЭВВ). Проведен сравнительный анализ отключающей способности различных ЭВВ серий FXT17 фирмы ALSTOM и 3AP1FG фирмы Siemens. Для них предлагается оценивать остаточный коммутационный ресурс контактной системы и дугогасительной камеры по формуле:

$$n_{\text{ост}} = n_{\text{доп}} - N_{\text{н}} \cdot \left(\frac{I_{\text{НОМ}}}{I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}} \right)^2 - \sum_{i=1}^m N_i \cdot \left(\frac{I_i}{I_{\text{НОМ.ОТКЛ.}}} \right)^2, \quad (1)$$

где $n_{\text{ост}}$ – остаточный ресурс ЭВВ; $n_{\text{доп}}$ – допустимое число коммутаций номинального тока отключения; $N_{\text{н}}$ – количество коммутаций токов, не превышающих номинальный ток ЭВВ; I_i – i -ое значение фактического тока отключения, превышающего номинальный ток ЭВВ; N_i – количество коммутаций тока I_i ; m – количество различных значений токов I_i .

Критерием вывода ЭВВ в ремонт согласно разработанной математической модели (1) является достижение $n_{\text{ост}}$ значения меньше единицы: $n_{\text{ост}} < 1$. Например, пусть ВВ с номинальным током отключения КЗ в 40 кА и номинальным током в 4 кА произвел 100 отключений тока не превышающего номинальный, 250 отключений со значением тока отключения в 5 кА, а затем 1 отключение в 20 кА. Допустимое число коммутаций номинальных токов отключения - 6. Остаточный ресурс ВВ составляет

$$n_{\text{ост}} = 6 - 100 \cdot (4/40)^2 - 250 \cdot (5/40)^2 - 1 \cdot (20/40)^2 = 0.844,$$

выключатель необходимо выводить в ремонт.

УДК 621.316.062

Д.А. АНДРЕЕВ, асп., Д.А. АНАСТАСЕНКОВ, студ., А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, к.т.н., доц. (ИГЭУ)

Способ оценки технического состояния асинхронных электродвигателей

Асинхронные электродвигатели (АД) являются основными преобразователями электрической энергии в механическую и составляют основу электропривода большинства механизмов, используемых в энергетике. Поэтому очень важно уметь определять их техническое состояние (ТС), чтобы предотвратить аварийные ситуации, ведущие к существенному экономическому ущербу. Интегральной характеристикой ТС АД является фактический сработанный ресурс R .

АД обычно проектируются для работы в трех режимах: продолжительном; кратковременном и повторно-кратковременном. Исходя из этого, для АД, работающих в одном из этих режимов, за единицы измерения наработки целесообразно принимать либо временные единицы, либо количество пусков. Учитывая, что временные единицы измерения наработки являются универсальными, целесообразно использовать именно их.

Величину R для АД можно определить по выражениям:

$$R = R_0 + \sum_{j=1}^K R_j \left[\exp \left(\frac{1}{\Delta \vartheta^*} \left[\frac{1}{\vartheta_0} \left[\vartheta_{\text{опл}} + \frac{\Delta P T_d}{C} \right] - 1 \right) \right] - 1 \right] \quad (1)$$

или

$$R = R_0 + \sum_{j=1}^K R_j \left[\exp \left(\frac{1}{\Delta \vartheta^*} \left[\frac{1}{\vartheta_0} \left[\vartheta_{\text{опл}} + 138.9 \frac{\Delta P}{Dl} \right] - 1 \right) \right] - 1 \right], \quad (2)$$

где R_0 – нормативный ресурс АД; R_j – интервал наработки; K – количество рассматриваемых интервалов наработки R_j ; ϑ_0 – нормативная температура АД; ΔP – мощность потерь в электродвигателе; C – полная теплоемкость электродвигателя; T_d – тепловая постоянная времени АД; l – длина корпуса электродвигателя; D – диаметр пакета статора; $\Delta \vartheta^*$ – относительное отклонения температуры.

На основании выражений (1) и (2) проведены многовариантные расчеты фактического сработанного ресурса R по АД различных типов и классов напряжения.

УДК 621.311.32

А.И. ФЕДОТОВ, д.т.н., проф., Е.И. ГРАЧЕВА, к.т.н., доц., О.В. НАУМОВ, инж.
(КГЭУ)

Тепловизионный контроль для оценки работоспособности низковольтных коммутационных аппаратов

Экспериментальные данные и опыт эксплуатации свидетельствуют о весьма существенном влиянии активного сопротивления контактных соединений низковольтных коммутационных аппаратов НКА на общее сопротивление кабельных линий. Величина сопротивления контактных соединений, определяемая их тепловым состоянием во всех режимах работы, является одним из важнейших критериев работоспособности низковольтных аппаратов. Тепловое состояние контактных соединений коммутационных аппаратов низкого напряжения оценивается по нормированным температурам нагрева [1].

Для оценки технического состояния контактных соединений НКА ряда промышленных предприятий г. Казани в течение трех лет проводились ежегодные экспериментальные исследования с использованием тепловизионной техники – камеры ТН7102 фирмы Nec AGEMA. Теоретические результаты хорошо согласуются с экспериментальными данными, согласно которым сопротивление коммутационных аппаратов, измеренное микроомметром Ф 4104 – М1 не отличается от рассчитанного значения более, чем на 15%.

Тепловизионный контроль сетей низкого напряжения показал, что в дефектных узлах – коммутационных аппаратах – из-за наличия поверхностных пленок и дефектов поверхности контактирования происходит недопустимое повышение температуры контактного соединения. В результате чего сопротивления аппаратов по отношению к начальному значению выросло в среднем:

- для автоматических выключателей ($I_{НОМ} = 100\text{А}$) в 2,1 раза;
- для контакторов ($I_{НОМ} = 100\text{А}$) в 2,3 раза;
- для магнитных пускателей ($I_{НОМ} = 100\text{А}$) в 2,2 раза;
- для рубильников ($I_{НОМ} = 100\text{А}$) в 1,8 раза;
- для пакетных выключателей ($I_{НОМ} = 100\text{А}$) в 1,7 раза.

На основании полученных коэффициентов превышения величины сопротивления контактов по условию их допустимого перегрева относительно номинальных значений, определены показатели эффективности функционирования и вероятности сохранения работоспособности НКА в зависимости от режимов эксплуатации.

Литература

1. **РД 34.45-51.300-97.** Объемы и нормы испытаний электрооборудования [Текст]. М.: НЦ ЭНАС, 2001. – 256 с.

Определение показателей безотказности электрооборудования с учетом технического состояния

В процессе эксплуатации электрооборудования (ЭО) происходит его износ под действием различных эксплуатационных факторов, интенсивность которых определяется условиями и режимами работы. Надежная работа ЭО зависит от его технического состояния (ТС).

Интегральной характеристикой ТС состояния ЭО является фактический сработанный ресурс R , определяемый по выражению:

$$R = R_0 + \sum_{j=1}^K \left(\int_0^{R_j} e^{\sum_{i_T=1}^{N_T} \frac{(X_{i_T}-1)}{\Delta X_{i_T}} + \sum_{i_Э=1}^{N_Э} \frac{(X_{i_Э}-1)}{\Delta X_{i_Э}} + \sum_{i_M=1}^{N_M} \frac{(X_{i_M}-1)}{\Delta X_{i_M}} + \sum_{i_X=1}^{N_X} \frac{(X_{i_X}-1)}{\Delta X_{i_X}} dr} - R_j \right) \quad (1)$$

где R_0 – нормативный ресурс ЭО; где $i_T=1...N_T$, $i_Э=1...N_Э$, $i_M=1...N_M$, $i_X=1...N_X$ – количество тепловых, электрических, механических, химических факторов; X_{i_T} , $X_{i_Э}$, X_{i_M} , X_{i_X} – величина i_T -го теплового, $i_Э$ -го электрического, i_M -го механического, i_X -го химического факторов; ΔX_{i_T} , $\Delta X_{i_Э}$, ΔX_{i_M} , ΔX_{i_X} – отклонение i_T -го теплового, $i_Э$ -го электрического, i_M -го механического, i_X -го химического факторов; R_j – интервал наработки; K – количество рассматриваемых интервалов наработки R_j .

В процессе эксплуатации ЭО изнашивается и стареет, происходит постепенная сработка его ресурса. Чем больший износ ЭО, тем больше вероятность того, что какое-либо эксплуатационное воздействие, приведет к его отказу. Следовательно, чем больший ресурс сработало ЭО, тем меньше его вероятность безотказной работы P и тем выше вероятность отказа Q . Вероятности безотказной работы P и отказа Q определяются соответственно по выражениям:

$$P(r) = \exp\left(\int_0^R -\lambda_0 dr\right), \quad Q(r) = 1 - \exp\left(\int_0^R -\lambda_0 dr\right), \quad (2)$$

где λ_0 – интенсивность отказов (в общем случае $\lambda_0 \neq \text{const}$), а величина R определяется по выражению (1).

Полученные по формулам (1) и (2) показатели безотказности и долговечности могут быть использованы для различных технических и экономических расчетов, а также для получения обобщенных показателей надежности таких, как гамма-процентный ресурс.

На основании выражений (1) и (2) проведены многовариантные расчеты по ЭО различных типов и классов напряжения.

УДК 621.316.062

А.А. БОРИСОВ, Е.Ю. ЕКИМОВА, Т.А. НУЖДИНА, студенты,
А.Н. НАЗАРЫЧЕВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Прогнозирование показателей надежности электрооборудования с учетом технического состояния

Одним из наиболее значимых показателей надежности работы как отдельно взятой единицы электрооборудования (ЭО), так и технологической схемы, в рамках которой это оборудование функционирует, является интенсивность отказов. Количественно значение интенсивности отказов означает вероятность отказа оборудования на последующем промежутке времени при условии безотказной работы на предыдущем.

Изменение значения интенсивности отказов ЭО или его сборочной единицы обуславливается величиной сработанного ресурса. В условиях изменения режима работы оборудования, а следовательно, и не постоянной интенсивности воздействия на ЭО эксплуатационных факторов (электрических, тепловых, химических, механических), зависимость интенсивности отказов от сработанного ресурса дает более объективную оценку технического состояния ЭО, чем зависимость данного показателя только от времени работы оборудования.

В качестве зависимости изменения интенсивности отказов ЭО, можно использовать следующее выражение:

$$\lambda(R) = 1 - e^{-\left(\frac{R-R_0}{R_x}\right)},$$

где R – значение сработанного ресурса оборудования к рассматриваемому моменту времени, R_0 – нормативное значение ресурса ЭО, устанавливаемое заводом-изготовителем, R_x – некоторое значение сработанного с момента первого отказа ресурса, при котором интенсивность отказов достигнет значения $\lambda(R_0+R_x) = 1 - e^{-1} = 0.632$.

Далее задача нахождения значения интенсивности отказов как функции сработанного ресурса сводится к нахождению значения величины R_x на основе применения современных методов и средств технической диагностики.

На основании приведенного выражения получены зависимости для ЭО различных типов и классов напряжения, позволяющие в ходе наблюдения количественно оценивать изменение показателей надежности ЭО.

УДК 621.314

М.Ш. ГАРИФУЛЛИН, к.т.н., доц., В.К. КОЗЛОВ, д.ф.-м.н., проф.
(КГЭУ)

Диагностика состояния бумажной изоляции трансформаторов спектральным методом

Около половины трансформаторов РАО ЕЭС отработали запланированный срок службы. Как показывает опыт, многие из таких трансформаторов могут эксплуатироваться еще длительное время, однако, в этом случае должны предъявляться повышенные требования к методам диагностики состояния изоляции.

Для оценки состояния твердой изоляции требуется проводить исследование растворенных в масле фурановых соединений, а также определять степень полимеризации бумажной изоляции. Первая из этих методик является неэффективной, поскольку фурановые соединения разлагаются под действием кислой среды и адсорбируются термосифонным фильтром. Существующие методы определения степени полимеризации бумажной изоляции предусматривают отбор образца изоляции с последующим его исследованием в химической лаборатории. При этом вносится определенное разрушение в витковую или барьерную изоляцию. Кроме того, далеко не каждая лаборатория способна качественно провести подобное исследование.

Очень важным показателем состояния твердой изоляции является влажность. Влажность не только снижает электрическую прочность изоляции, но и сильно ускоряет процесс старения. Опасным пределом считается влагосодержание порядка 3 – 4 %.

На сегодняшний день интенсивно идет разработка методов диагностики влагосодержания на основе поляризационных явлений. Однако все эти методы относятся к числу косвенных методов определения влажности.

Влажность твердой изоляции и степень полимеризации бумажной изоляции можно определять оптическим методом. При деградации бумаги происходит накопление карбонильных соединений, концентрацию которых удобно определять по полосе поглощения в ближней ИК-области в районе 1160 нм. В этой же области спектра имеется широкая полоса поглощения ОН групп воды с максимумом при 970 нм. Поскольку указанные полосы поглощения не перекрываются, и степень полимеризации и увлажненность твердой изоляции можно определять одновременно.

Использование малогабаритного спектрального прибора с многоэлементным фотоприемником и волоконно-оптическим зондом позволит проводить измерения непосредственно на оборудовании без отбора образцов бумаги. При этом результат исследования будет сразу известен. Это существенно упростит процесс диагностики состояния твердой изоляции трансформаторов.

Управление производственным процессом электросетевого предприятия

Исследование потоков отказов в распределительных сетях среднего напряжения позволило найти уравнение регрессии и определить силу связи между факторами, влияющими на устойчивую работу электросетевого предприятия. Под y мы понимаем уровень состояния распределительных электрических сетей среднего напряжения, выраженный в процентах, а под x соответствующее количество отказов в электроснабжении, отнесенное к 100 км протяженности линий среднего напряжения в течение года:

1. Удельное количество аварийных отключений описывается уравнением регрессии: $\overline{y_x^{oa}} = -0,11x + 21,84$ с коэффициентом корреляции $-0,47$, что характеризует слабую отрицательную связь. Удельное количество аварийных отключений по отдельным сетевым предприятиям варьируется в пределах от 4,0 до 36,6 отключений в год, приходящихся на 100 км линий.

2. Удельное количество плановых отключений описывается уравнением регрессии: $\overline{y_x^{op}} = +0,7x - 42,56$ с коэффициентом корреляции $0,4$, что характеризует слабую положительную связь. Удельное количество плановых отключений по отдельным электросетевым предприятиям варьируется в пределах от 4,7 до 33,4 отключения в год, приходящихся на 100 км линий.

Уровень технического состояния электрических сетей представляет собой долю протяженности электрических сетей, находящихся в удовлетворительном состоянии и определяется по формуле

$$H_{\text{уд.с.}} = \frac{L_{\text{общ.}} - L_{\text{рек.}} - L_{\text{восст.}} - L_{\text{кап.рем.}}}{L_{\text{общ.}}}$$

где $L_{\text{общ.}}$ – общая протяженность электрических сетей предприятия; $L_{\text{рек.}}$ – протяженность электрических сетей, требующая реконструкции; $L_{\text{восст.}}$ – протяженность электрических сетей, требующая восстановления; $L_{\text{кап. рем.}}$ – протяженность электрических сетей, требующая капитального ремонта.

Уравнения регрессии позволяют составить таблицу расчета вероятностей аварийных и плановых перерывов в электроснабжении.

Литература

1. С.Е. Барыкин, С.Е. Герасимов, А.И. Таджикибаев, В.А. Шаланда. Проблемы производственно-хозяйственной деятельности предприятий электрических распределительных сетей. – СПб: ПЭИПК, 2005 г.

Вопросы функционирования альтернативных энергоснабжающих организаций

Современная законодательная база предусматривает возможность функционирования на региональном рынке электроэнергии и мощности нескольких энергоснабжающих организаций (ЭСО). Одна из них является гарантирующим поставщиком, другие выбирают генерирующие источники и тех потребителей, электроснабжение которых они будут обеспечивать. Свободу выбора поставщика законодательство предоставило только промышленным предприятиям (ПП).

Любая ЭСО предлагает потребителю «тарифное меню», в котором оговорено, по каким тарифам и при каких особенностях электропотребления данное ПП может рассчитываться с ЭСО. Задача отдела главного энергетика ПП состоит в том, чтобы, учитывая особенности режима электропотребления своего предприятия и предлагаемые значения тарифных ставок, принять экономически эффективное решение.

Бывают ситуации, когда ЭСО в силу объективных причин не может предложить своему потребителю тарифа, которым бы он хотел воспользоваться. В этом случае ПП может продолжать покупать электроэнергию у такой ЭСО по предлагаемому тарифу и при этом терпеть экономические убытки. Но, поскольку ПП имеет право выбора, возможен вариант его перехода к альтернативной ЭСО, оказывающей такие же услуги, но по иной тарифной системе или по меньшим тарифным ставкам. В подобном случае ПП будет иметь экономическую выгоду от перехода к другим поставщикам при условии, что качество электроснабжения одинаково. В Нижегородской области в 2005 году минимальный и максимальный одноставочные тарифы для потребителей, относящихся к 3 группе («прочие»), составляют 0,889 и 1,15 руб./кВт·ч (высокое напряжение) и 1,268 и 1,44 руб./кВт·ч (среднее второе напряжение). Таким образом, эффект от смены поставщика ощутим для ПП.

На ЭСО потеря потребителя скажется негативно. С уходом ПП не изменится состав оборудования, находящегося на ее балансе, и затраты, необходимые на его содержание и эксплуатацию. При этом для сохранения необходимой выручки ЭСО вынуждена увеличить тарифы на электроэнергию. В связи с этим оставшиеся ПП тоже могут перейти к энергоснабжению от других ЭСО. В итоге рассматриваемая ЭСО должна пересмотреть систему тарифообразования или уйти с рынка.

Вывод. Тарифы ЭСО на электроэнергию должны быть рассчитаны с учетом фактических затрат на ее производство и передачу. Это обеспечит ЭСО необходимую прибыль и не создаст предпосылок для перехода ПП к альтернативным поставщикам, при условии оптимальности построения схемы электроснабжения.

Снижение дополнительных потерь в замкнутых сетях

В докладе рассмотрены вопросы оптимизации режимов работы замкнутых сетей, отличительной особенностью которых являются уравнительные токи, возникающие из-за несбалансированности коэффициентов трансформации и неоднородности элементов сети.

Если в замкнутом контуре трансформаторы имеют разные $K_{тр}$, то появится уравнительный ток, вызывающий дополнительные потери мощности. Для рассматриваемой схемы падение напряжения по замкнутому контуру можно записать в виде:

$$\sum S^*z/U=U(1-K_{тр}). \quad (1)$$

Уравнительный ток будет равен нулю, если произведение всех $K_{тр}$ трансформаторов, входящих в замкнутый контур равно 1, тогда правая часть уравнения (1) равна нулю. Если, рассматриваемая схема неоднородная, то полученное выражение, используя суперпозицию, можно представить как сумму однородной и неоднородной части:

$$\sum S^*z_o/U=0 \quad \text{и} \quad \sum S^*z_n/U=U(1-K_{тр}).$$

Поскольку для однородной сети сумма падений напряжения по замкнутому контуру равна нулю, то последнее равенство можно записать в виде:

$$\sum S^*z_n/U-U(1-K_{тр})=0, \quad (2)$$

откуда следует, что дополнительные потери, возникающие из-за неоднородности сети, можно компенсировать подбором значений $K_{тр}$ трансформаторов. Замкнутые сети, содержащие трансформаторы и ЛЭП разных классов напряжений, являются неоднородными системами, поскольку отношение X/R для линий высших классов напряжений может быть в 5-8 раз больше, чем у ЛЭП низших классов, а у трансформаторов это соотношение достигает 50-100.

Для снижения потерь мощности необходимо включить в линию высшего класса напряжения устройство продольной компенсации (УПК), что снизит неоднородность и уменьшит влияние дополнительного сопротивления трансформатора. Использование универсальных регуляторов мощности, меняющих фазовый угол вектора напряжения, позволяет радикально решить эту проблему.

Литература

1. Герасимов С.Е., Меркурьев А.Г. Регулирование напряжения в распределительных сетях. Учебное пособие. – С-Пб., С-3 филиал АО «ГВЦ Энергетики», 1997.

Требования к техническому обеспечению информационной системы определения места КЗ

Существующие информационные системы для решения задачи определения места короткого замыкания (ОМКЗ) можно условно разделить на два класса:

1. Системы, использующие максимальное количество аналоговой информации об аварийной ситуации.
2. Системы с использованием минимального количества аналоговой информации и максимальное количество априорной информации (описание схемы сети и режимов работы).

К техническим средствам решения задачи ОМКЗ предъявляются следующие требования:

1. В систему сбора информации должны включаться все доступные источники, имеющие функцию регистрации сигналов. При использовании методов решения при однофазных коротких замыканиях данное требование является основным.
2. Все источники информации должны приводиться к единой шкале времени. Данное требование может быть реализовано на аппаратном и программном уровне. Система сбора информации на базе цифровых осциллографов, например Бреслер, ЭКРА, Нева, АУРА, «Black Vox», ПАРМА, автоматически решает проблему синхронизации. В случае использования данных аналоговых систем с противоположного конца ЛЭП проблема совмещения времени может быть решена с помощью стандартных систем синхронизации времени (GPS, GLONAS) или протокола времени (RFC 868) выбрав ближайший к вам сервер точного времени в сети Интернет.
3. Требования к регистраторам аналоговой информации, при восстановлении вторичного тока в условиях стационарности, зависят от погрешности измерительного преобразователя и подробно представлены в [1]. Рекомендуемая частота дискретизации составляет 48 отсчетов на период, разрядность АЦП – не менее 12-ти.
4. В качестве источников информации необходимо использовать регистраторы дискретных и аналоговых сигналов любых типов, пригодные для решения задачи ОМКЗ. Для микропроцессорных фиксирующих приборов (МФП) разрабатывались специализированные системы сбора данных. При их использовании целесообразно использовать неселективный пуск для сбора дополнительной информации не с поврежденных линий.
5. Для интерпретации результатов или использования методов, требующих знания конфигурации объекта, необходима регистрация положения выключателей, определяющих конфигурацию объекта. Необходимо включить в систему регистрации дискретной информации сигнал о срабатывании регистраторов аналоговой информации для синхронизации данных от различных устройств.

Литература

1. Аржанников Е.А., Мильников В.А., Чухин А.М. Алгоритм уменьшения полной погрешности трансформаторов тока для определения места КЗ на ЛЭП // Вестник ИГЭУ, 2002, №1, с. 115 – 119.

УДК 681.518.54

Б.А. СКВОРЦОВ, к.т.н., А.В. ФЕДИН, А.В. БАЙКО
ПЭИПК, ФГУП «ЦНИИСЭТ», Санкт-Петербург

Метод моделирования вибраций электрических машин переменного тока при питании их от статических преобразователей частоты

При проектировании автономных энергосистем, например, систем электродвижения на основе гребных электродвигателей (ГЭД) переменного тока с использованием статических преобразователей частоты (СПЧ) в ряде случаев возникает проблема обеспечения минимального их влияния на внешнее виброакустическое поле корабля, а также необходимость диагностирования технического состояния электрооборудования по параметрам их виброактивности.

Одной из причин возникновения виброактивности электродвигателя является появление искажений электроэнергии на его зажимах [1]. Использование СПЧ, как устройства с дискретно-изменяющимися состояниями, приводит к появлению искажений электроэнергии на стороне потребителя, которые в свою очередь обуславливают повышенные потери, пульсации электромагнитного момента ГЭД и его вибрации.

Рассматриваемый метод математического моделирования вибраций основан на унифицированной программной базе MatLab 6.1, предназначенной для объектов, содержащих электрические машины и силовые полупроводниковые преобразователи. Математические модели и программное обеспечение MatLab 6.1 позволяют пользователям персональных компьютеров (ПК) выполнять анализ электромагнитных и механических процессов в электрической машине, в т.ч. пульсаций электромагнитного момента, обуславливающих её вибрации в квазиустановившемся режиме.

Изложенный в работе метод моделирования виброактивности электрических машин при питании их от статических преобразователей частоты, основанный на программной базе MatLab 6.1, обладает приемлемой точностью и может быть распространен на широкий класс автономных энергосистем переменного тока, в частности, на системы электродвижения кораблей, на тяговые электроприводы и др.

Указанный метод использует в качестве исходных данных для моделирования доступную и удобную для пользователей ПК информацию - каталожные данные электрических машин, статических преобразователей и других источников и потребителей электроэнергии, а также позволяет прогнозировать их виброактивность и производить диагностирование.

Энергосберегающие технологии на основе регулируемого асинхронного электропривода

Повышенный интерес к проблемам энергосбережения и экономии электроэнергии в системах электроснабжения обусловлен постоянно растущей стоимостью электроэнергии и обострившимися проблемами охраны окружающей среды. Поскольку почти 70 % вырабатываемой электроэнергии потребляется электроприводами, то существенная экономия может быть получена при использовании регулируемых электроприводов в промышленности, сельском и жилищно-коммунальном хозяйстве. Современные частотно-регулируемые асинхронные электродвигатели не только обеспечивают привод производственных механизмов, но и являются вместе с системами технологической автоматики средством управления технологическими процессами.

Потери энергии в нагрузках потребителя определяются технологическим процессом и, например, для насосов зависят от гидравлического сопротивления системы. Минимизация потерь, связанных с регулированием давления в сети, осуществляется регулированием двигателя насосного агрегата при полностью открытой запорно-регулирующей арматуре. Экономия электроэнергии при использовании частотно-регулируемых электроприводов в системах водоснабжения превышает 50%, в системах теплоснабжения и того больше. Высокая эффективность применения регулируемых асинхронных электродвигателей в подъемно-транспортных механизмах, на городском и железнодорожном электротранспорте достигается возможностью рекуперативного торможения.

Применение в качестве регулирующих устройств полупроводниковых преобразователей частоты позволяет существенно ограничить пусковые токи и, как следствие, уменьшить тепловые и механические нагрузки на двигатель и приводимые механизмы. Российские и зарубежные изготовители комплектуют устройства управления приводом защитами от короткого замыкания, перегрузки, повышения и понижения напряжения, от заклинивания ротора, имеют встроенные фильтры электромагнитной совместимости (ЭМС), обеспечивающие снижение уровня помех, генерируемых преобразователем.

Литература

1. **А.В. Клевцов.** Средства оптимизации потребления электроэнергии. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004 г.

Определение яркостной температуры фона

Неопределенность в значении яркостной температуры фона является одной из составляющих погрешности измерения температуры с помощью тепловизоров. При строгой постановке должна решаться так называемая обратная задача, когда по известному спектру отраженного излучения и по известным оптическим свойствам образца определяется спектр фонового излучения и яркостная температура фона. Для реализации решения этой задачи потребуется разработка метода решения обратной задачи и сложная аппаратура, так как необходимо измерять спектр отраженного излучения.

В работе показывается, что для измерения яркостной температуры фонового излучения с помощью тепловизора необходима информация о эффективной спектральной чувствительности прибора, спектральном коэффициенте отражения объекта и яркости отраженного излучения, а также информация о калибровочной кривой. Эффективную спектральную чувствительность тепловизора можно измерить или получить от фирм производителей, коэффициент отражения измерить или с достаточной точностью задать, тогда как поток фонового излучения можно определить только косвенным образом. На практике невозможно провести весь комплекс исследований на реальном объекте позволяющий определить температуру фонового излучения. В большинстве случаев к объекту невозможно приблизиться, чтобы установить эталонные образцы для оценки температуры фона или замерить непосредственно температуру объекта контактным способом. Если фоновая засветка неоднородна и существенно меняется в пространстве, то точная оценка фонового излучения становится сложной, может быть даже неразрешимой проблемой. Для случая не изменяющегося в пространстве распределения фонового излучения предлагается следующий метод. Допустим, что изготовлен эталон с известной излучательной способностью и спектральным коэффициентом отражения. Тогда, зная его температуру, величину сигнала на выходе фотоприемного устройства можно будет рассчитать (формула будет приведена в докладе). По величине сигнала с помощью математической модели калибровочной кривой рассчитывается температура фона. В работе построена математическая модель, имитирующая процесс измерения яркостной температуры объекта. Результаты моделирования показали, что не учет фонового излучения может привести к значительным погрешностям измерения. В работе также проведено исследование излучательных и отражательных свойств материалов.

УДК 621.311.1

В.А. САВЕЛЬЕВ, д.т.н., проф.
(ИГЭУ)

Топливо-энергетический комплекс России. Состояние и перспективы

Россия является единственной страной, обеспечивающей свои внутренние потребности и в значительных объемах поставляющей топливно-энергетические ресурсы на экспорт. В долях от мирового, их производство составляет: нефти – 9,7 %, газа – 20 %, угля – 5,4 %, а в мировой торговле соответственно 7 %, 33,5 % и 4 %.

Объем добычи энергоресурсов в России за последние 12 лет показан на рис. 1.

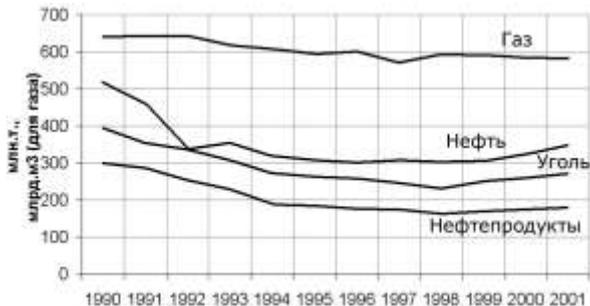


Рис. 1. Объем добычи энергоресурсов в России за последние 12 лет

Выделяется две тенденции в энергопотреблении: снижение энергоёмкости экономики и рост потребления энергоресурсов на душу населения в зависимости от уровня индустриального развития страны (см. рис. 2).

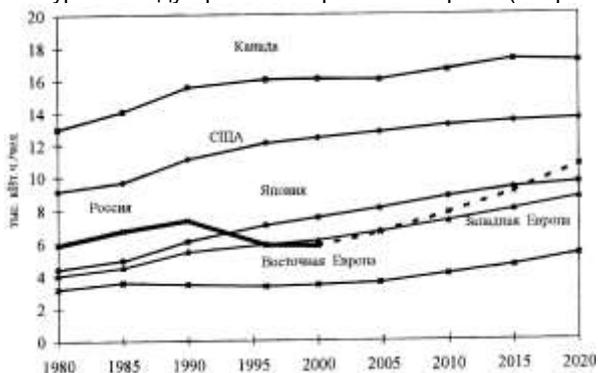


Рис. 2. Динамика душевого потребления электроэнергии

Далее в докладе рассматривается динамика и прогноз роста цен на энергоресурсы, поставляемые российскими компаниями на внутренний рынок и на экспорт. Так, например, до 1991 г. оптовые цены в России были ниже реальных затрат: на нефть на 44 %, на газ на 57 % и на уголь в 3 раза. В настоящее время цены на газ в России в 8-10 раз ниже, чем у потребителей в европейских странах.

Прогноз роста цен промышленности на основные энергоносители представлен в таблице.

Таблица. Прогноз цен промышленности на основные энергоносители приведен без учета инфляции в экономических и налоговых условиях 2000 г.

Энергоноситель	2000 г.	2005 г.	2010 г.
Нефть, дол./т у.т.	33...39	45...53	70...84
Природный газ, дол./т у.т.	11...14	35...39	42...48
Уголь, дол./т у.т.	15...18	23...26	35...38
Электроэнергия, цент/кВт·ч	1,1...1,4	2,7...2,9	3,6...3,9

Отмечается, что значительное влияние на стоимость энергоносителей оказывают тарифы на железнодорожный транспорт, которые могут достигнуть значения (2,3-3,2)дол./1000 т·км.

Учитывая тесную связь ТЭК России с мировым рынком и развитие рыночных отношений можно отметить следующую тенденцию: цены на энергоносители внутри России будут приближаться к мировым; в большей степени будут расти цены на газ; изменяется соотношение в ценах на уголь и на газ, при этом газ к 2010 г. будет стоить дороже угля на 25-30 дол./т у.т.

Выделяются две кардинальные проблемы в ТЭК России – возможный дефицит природного газа и существенное отставание замены устаревшего энергетического оборудования. Рассматриваются возможности и перспективы инвестиций в ТЭК, которые в 1995-2000 гг. не превышали 6-7 млрд. дол. в год, а в 2001-2002 гг. 11-13 млрд. дол. в год. Требуемые инвестиции до 2020 г. составляют порядка 600-700 млрд. дол. в год, т.е. не менее 30-35 дол. в год. Отсюда проблема, где взять средства.

В заключительной части доклада рассматриваются необходимые условия и перспективы обеспечения ТЭК ожидаемого роста ВВП.

СЕКЦИЯ 5. ТЕПЛОВЫЕ И АТОМНЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ**Подсекция «ТЕПЛОВЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ»**

УДК 621.311.22:620.1.052

Ю.В. БАЛАШОВ, д.т.н., Г.М. НОВИЦКАЯ, В.В. КАРАСЕВ, инженеры
(ОАО «ИЦЭУ», филиал «УралВТИ-ЧЭСП»)**О механизме влияния нестабильности нагружения
на ресурс элементов оборудования ТЭС**

Согласно действующим нормам [1], учет нестационарного характера нагружения энергооборудования ограничен случаем, когда металл наряду с ползучестью подвергается воздействию малоцикловой усталости, обусловленной пусками-остановами и колебаниями давления величиной более 15 % номинальной величины.

Расчетная формула, предписанная в [1] для оценки долговечности элементов и решения других практических вопросов, имеет вид

$$\sum \frac{\Delta \tau_i}{\tau_i} + \sum \frac{\Delta N_i}{N_i} < D \quad (1)$$

где $\Delta \tau_i / \tau_i$ – поврежденность от ползучести на этапе с продолжительностью $\Delta \tau_i$ часов при температуре и напряжении, которые в статических условиях приводят к разрушению за τ_i часов; $\Delta N_i / N_i$ – поврежденность от усталости за ΔN_i циклов в режиме с числом циклов до разрушения N_i (при отсутствии ползучести).

Согласно [1] в случаях превалирующего вклада любого из слагаемых в левой части выражения (1) $D=1,0$; при выравнивании их значений этот параметр постепенно уменьшается до 0,6. Учет колебаний температуры и давления около среднего уровня при работе оборудования в [1] в явном виде не регламентирован. В [2] предусмотрен учет выбегов температуры пара в паропроводах сверх установленной путем пересчета на эквивалентное время работы при этой температуре – опять-таки на основе зависимостей, полученных для стационарного режима.

Между тем, по данным отечественных и зарубежных испытаний, на циклическую нагрузку [3], выполнявшихся при достаточно протяженных (до восьми часов) выдержках при максимальных температуре и напряжении цикла, параметр D может быть на порядок ниже рекомендованных в [1] значений даже при поврежденности от усталости, близкой к нулю. Это означает, что циклическое изменение температуры и напряжения может существенно снижать долговечность элементов, работающих в условиях ползучести, даже если оно не сопровождается появлением дополнительных напряжений из-за температурных неравномерностей в детали, а амплитуда и частота изменения давления таковы, что заведомо не могут приводить к усталостным явле-

ниям. Отмеченное обстоятельство, к сожалению, явно недооценивается специалистами и на нем следует остановиться подробнее.

Известно, что повышение жаропрочности стали, используемой для высокотемпературных элементов энергооборудования, наряду с легированием достигается упрочняющей термообработкой изделий (для перлитной стали - нормализация с отпуском). Образующаяся при этом структура металла не является термодинамически устойчивой и в процессе работы претерпевает изменения, уменьшающие внутреннюю энергию и приводящие к его разупрочнению. Последнее обусловлено совокупностью диффузионных процессов (переход легирующих элементов из твердого раствора в карбидную фазу, коагуляция карбидов, дифференциация и сфероидизация перлитной составляющей и др.).

Кинетика диффузионных процессов приближенно может быть описана выражением [4]

$$\frac{dU}{d\tau} = A - BU, \quad (2)$$

где U – количество вещества (элемента) в данной точке; A и B – постоянные, зависящие от температуры и напряжения.

В качестве U в формуле (2) может фигурировать и внутренняя энергия.

Интенсификация названных процессов при циклическом изменении температуры и напряжения связана, по нашему мнению, с двумя основными факторами:

- различием физических свойств зерен и внутризеренных составляющих (для перлита), приводящих к появлению внутренних напряжений (второго и третьего рода);
- релаксацией внутренних напряжений при работе оборудования.

Коэффициент линейного расширения цементита приблизительно на $7 \times 10^{-6} \text{ 1/}^\circ\text{C}$ меньше, чем феррита, и изменение температуры детали, например, на 100°C от условно нулевого состояния даже без учета неизбежных на микроуровне концентраторов вызовет прирост температурных напряжений в смежных составляющих перлитного или бейнитного зерна, равный около 200 МПа. При рабочей температуре внутренние температурные напряжения релаксируют, и при снижении температуры возникают напряжения с противоположным знаком.

Аналогичный процесс происходит и из-за различия механических свойств (модуля упругости и др.) зерен и их составляющих при снижении рабочего давления.

Под действием знакопеременных напряжений, связанных как с пусками-остановами, так и колебаниями температуры и давления около средних значений при работе оборудования, хрупкие включения карбидов («пластинки»), как показали исследования металла испытывавшихся на усталость образцов, на электронном микроскопе с увеличением до 30 тыс., разделяются на несколько частей, что является особо значительным актом разупрочнения.

Внутренние напряжения, регулярно возникающие в металле в связи с нестационарным характером нагружения, ускоряют все вышеназванные диффузионные процессы.

Из выражения (2) и описанной схемы следует, во-первых, что темп разупрочнения материала тем больше, чем выше его жаропрочность, соответствующая исходному состоянию структуры. Этот факт выражается и в различии наклона графиков длительной прочности одного материала с различной жаропрочностью.

Во-вторых, материал тем менее чувствителен к циклическим изменениям внешних факторов, чем ближе его структура к равновесному состоянию. Это наглядно подтверждено результатами выполненных в УралВТИ испытаний. Время до разрушения образцов из стали 12Х1МФ с феррито-бейнитной структурой составляло от 5,9 до 41 % (средняя для пяти образцов величина 17,5 %) долговечности образцов из такого же материала, испытанных в стационарном режиме. Образцы из стали с ферритокарбидной структурой (равновесное состояние) при нестационарном режиме испытаний имели в среднем ту же долговечность, что и при стационарном (средняя для четырех образцов величина 102 % при диапазоне от 59 до 143 %).

С описанной схемой согласуется и ряд фактов, известных из практики эксплуатации:

- зависимость повреждаемости паропроводных гибов от вида сжигаемого топлива (влияющего на дисперсию параметров пара за котлом);
- рост вероятности разрушений гибов по мере удаления их от котла по трассе паропровода;
- такая же, а иногда и более высокая, повреждаемость элементов паропроводов, температура которых периодически понижается (перемычки между параллельными нитками, растопочные магистрали, и т.п.), как и паропроводов, работающих с постоянным протоком пара.

Учитывать возможное занижение остаточного ресурса против рассчитываемого по нормативным методам из-за «структурного фактора» особенно важно для узлов с конструктивными или технологическими концентраторами напряжений (гибы, участки около отверстий в коллекторах, зоны неполной перекристаллизации сварных соединений и т.п.). Рекомендуется также при отборе элементов для выборочного контроля принимать во внимание фактический режим их нагружения в процессе эксплуатации.

Литература

1. **РД 10-249-98.** Нормы расчета на прочность стационарных котлов и трубопроводов пара и горячей воды. – Л.: НПО ЦКТИ, 1999.
2. **СО 153-34.17.470-2003.** Инструкция о порядке обследования и продления срока службы паропроводов сверх паркового ресурса – М.: ОАО «ВТИ», 2004.
3. **Балашов Ю.В., Новицкая Г.М.** К оценке долговечности деталей энергооборудования в переменных режимах эксплуатации. Проблемы прочности, 1982, № 7.
4. **Гарнер В.** Химия твердого состояния. – М.: Изд-во иностр. лит., 1961.

УДК 621.165

В.Л. ПОХОРИЛЕР, к.т.н., проф., А.Ю. КУЛТЫШЕВ, асп. (УГТУ-УПИ)
Л.Л. ГРЕХОВ, зам. гл. инж. (Рефтинская ГРЭС)

Новая технология пуска дубль-блоков 300 МВт

Дубль-блоки мощностью 300 МВт, как практически и все отечественные энергоблоки, имеют однопайпасную пусковую схему. Типовая технология пусков таких блоков предусматривает на начальной стадии растопку котла с выводом на начальную температуру свежего пара, соответствующую температуре ЦВД, но не ниже 300 °С. Основным недостатком такой технологии является малые расходы пара через тракт промперегрева в процессе разворота и начального нагружения турбины. Это приводит к резкому росту температуры пара на выходе промежуточного пароперегревателя (ППП) и обусловленного им интенсивного прогрева ротора ЦСД с возникновением в последнем чрезмерных температурных напряжений.

Разработана и экспериментально проверена новая технология пуска дубль-блоков 300 МВт, лишенная недостатков типовой технологии. Основные особенности этой технологии сводятся к следующему:

1) подача пара, генерируемого в растопочном расширителе (Р-20) блока в тракт ППП с самого начала растопки котла;

2) регулирование тепловыделения в топке котла на начальном этапе растопки таким образом, чтобы получить на выходе тракта ППП пар, температура которого соответствует тепловому состоянию ЦСД; параметры свежего пара, сбрасываемого на этой стадии через ПСБУ в конденсатор не регулируются;

3) толчок и разворот ротора турбины до частоты вращения 900...1000 1/мин и последующий прогрев на этой частоте за счет подачи пара в ЦСД; клапаны ЦВД при этом закрыты и РВД вращается в безрасходном режиме;

4) толчок ротора при температуре пара перед ЦСД, на 70...100 °С превышает температуру паровпуска ЦСД;

5) прогрев ротора ЦСД при частоте вращения 900...1000 1/мин за счет постепенного повышения температуры пара промперегрева на выходе из котла до 380...420 °С; регулирование температуры пара после ППП осуществляется путем регулирования расхода топлива, подаваемого в котел;

6) повышение температуры свежего пара до уровня, соответствующего тепловому состоянию ЦВД, после завершения прогрева ротора ЦСД на частоте вращения 900...1000 1/мин изменением расхода топлива, подаваемого в котел;

7) подача пара в ЦВД и повышение частоты вращения ротора до номинальной;

8) включение генератора в сеть;

9) перевод котла на прямоточный режим и прекращение подачи пара из Р-20 в промперегрев котла;

10) нагружение блока до 90..100 МВт при фиксированном положении регулирующих клапанов, обеспечивающих повышение давления свежего пара до номинального при указанной нагрузке;

11) нагрузка блока до 140...150 МВт (нагрузка, обеспечиваемая паропроизводительностью одного корпуса котла) при номинальном давлении свежего пара;

12) растопка и подключение второго корпуса котла.

Описанная технология опробована и дала положительные результаты на блоках 300 МВт Рефтинской ГРЭС.

УДК 621.165

В.Л. ПОХОРИЛЕР, к.т.н., проф., А.Ю. КУЛТЫШЕВ, асп.
(ГОУ ВПО «УГТУ-УПИ»)

Контроль прогрева роторов паровой турбины с помощью АСУ ТП

При пусках и остановах современных мощных паровых турбин и наибольшие температурные напряжения возникают в роторах высокотемпературных цилиндров (ЦВД и ЦСД). В этой связи возникает необходимость организации контроля теплового и термонапряженного состояния роторов в реальном времени. Из-за сложности непосредственного измерения температур металла ротора используются математические модели процесса прогрева ротора, функционирующие в реальном времени в виде программ вычислительных устройств, входящих в структуру АСУ ТП энергоблоков. Выходной информацией для них являются непосредственно измеряемые параметры: частота вращения ротора (n), мощность турбогенератора (N_g), и температура пара в камере регулирующей ступени ЦВД (t_{pc}), температура пара на входе в ЦСД (t_{in}), температуры металла корпусов ЦВД и ЦСД ($t_{цсд}$ и $t_{цвд}$) в зоне паровпуска. Выходная информация в простейшем случае: температуры металла ротора и их разности в «критических» (то есть наиболее термонапряженных) сечениях ротора. Указанные параметры выходной информации могут использоваться для текущего контроля состояния ротора, а также для автоматизации процессов пуска и останова.

Получены модели, как для одномерных, так и для двухмерных температурных полей. В последнем случае модель получается значительно более сложной, чем в случае одномерного поля, поэтому использование последних, как правило, предпочтительнее. Такие модели достаточно точно воспроизводят температурное поле цилиндров с петлевой схемой движения пара в проточной части, характерные для турбин ЛМЗ и ТМЗ, а также для зоны переднего концевое уплотнения цилиндров без внутреннего корпуса. Более проблематичным является применение одномерной модели для роторов цилиндров с внутренним корпусом и проточной схемой движения пара в проточной части, характерной для турбин ХТЗ. Показано, что при реальном состоянии промежуточных уплотнений внутреннего корпуса и в этом случае применима одномерная модель.

Отработка режимов останова турбины К-800-240 с отключением системы смазки при повышенных температурах металла ЦВД и ЦСД

Выполнен анализ факторов, определяющих надежность турбины при остановах с отключением системы смазки (СС) при повышенных температурах металла высокотемпературных цилиндров. Одним из таких факторов является тепловой прогиб невращающегося ротора, в котором под действием разности температур «верх-низ» корпусов образуются температурные неравномерности. Разработана методика расчета изменения радиальных зазоров, обусловленного этим явлением. Особенностью методики является учет взаимного влияния деформации роторов на соседних пролетах, что отсутствовало в ранее применявшихся методах. На основании опытных данных по температурному состоянию корпусов ЦВД и ЦСД были рассчитаны температурные неравномерности в роторах в соответствующих режимах, а результаты последних расчетов послужили основой для оценки деформации роторов и связанных с ними изменениями радиальных зазоров. Результаты расчетов показали, что при разностях температур «верх низ» корпусов, не превышающие предельно допустимые их значение ($50\text{ }^{\circ}\text{C}$) изменение радиальных зазоров заметно меньше их проектной величины.

Вторым фактором надежности в рассматриваемых режимах является повышение температуры баббита подшипников после отключения СС. Этот процесс очень сложен и поддается только грубой оценке путем численного моделирования. В этой связи решающую роль в этом случае играет натурный эксперимент. Была проведена серия опытов, в которых СС отключалась при повышенных температурах металла ЦВД и ЦСД. Решающую роль при этом играет температура корпуса ЦВД. Опыты с отключением СС при температурах ЦВД 200 , 240 и $260\text{ }^{\circ}\text{C}$ дали положительный результат: максимальная температура баббита подшипников не превысила $100\text{ }^{\circ}\text{C}$, что соответствует ограничениям, согласованным с заводом-изготовителем турбины. Как показали эксперименты, температура корпуса ЦСД не влияет на температурное состояние подшипников, что обусловлено конструкцией турбины. В опытах были проверены температуры ЦСД до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Разработана и экспериментально проверена технология восстановления рабочего режима СС и валоповоротного устройства после завершения рассмотренных режимов. На основании результатов работ внедрены на турбинах К-800-240 Пермской ГРЭС и Сургутской ГРЭС-2 режимы, согласованные с АО ЛМЗ.

УДК 621.16

Е.Т. ИЛЬИН, к.т.н., доц., Ю.Н. ГАЛАНСКАЯ, асп.
(МЭИ)

Влияние условий эксплуатации теплофикационных турбин на потери энергии в ЦНД

В зимний период все агрегаты ТЭЦ работают, как правило, по тепловому графику, с полностью закрытой регулирующей диафрагмой. В этом случае в ЦНД подается минимальный расход пара, обеспечивающий допустимое температурное состояние проточной части ЦНД. Опыт эксплуатации показывает, что температурное состояние ЦНД зависит от следующих основных факторов: геометрии и размеров ЦНД (в основном, высоты лопаточного аппарата); уровня вакуума в конденсаторе; величины расхода пара в ЦНД и его параметров (температуры, влажности, давления) [1,2].

В реальных условиях эксплуатации параметры пара перед диафрагмой определяются тепловой нагрузкой, расходом сетевой воды и температурным графиком теплосети. Это в конечном итоге и определяет величину расхода пара в ЦНД.

Таким образом, при работе с полностью закрытой диафрагмой экономичность работы турбины определяется потерями энергии на трение и вентиляцию в ЦНД и потерями тепла в холодном источнике (конденсаторе). В табл.1 приводятся результаты расчета потерь энергии при охлаждении ЦНД вентиляционным расходом пара таким образом, чтобы температура ЦНД не превышала допустимого уровня. В зависимости от условий эксплуатации потери топлива на одном агрегате могут достигать 2-4 т/ч и более.

Таблица. Изменение расхода пара в ЦНД и потерь в конденсаторе турбины Т-250/300-240 при работе по температурному графику теплосети

Режим	$Q_{отб},$ Гкал/ч	$G_{св},$ Т/ч	$t_{пр},$ °С	$t_{об},$ °С	$t_{вх}$ ЦНД, °С	$D_{цнд},$ Т/ч	$N_{тр,вент},$ МВт	$Q_{к},$ МВт
1	330	8000	93,4	51	0,099	19,4	1,72	14,53
2	330	8000	109,4	67	137,8	31,0	1,557	23,24
3	313,5	7000	97	51	82,4	23,8	1,60	17,89
4	268	6000	113	67	187,8	41,54	1,58	31,18

Литература

1. Шапиро Г. А. Повышение эффективности работы ТЭЦ. – М.: Энергоиздат, 1981, 200 с.
2. Ильин Е. Т. Газодинамика потока за последней ступенью ЦНД турбин К-200-130 при частичных нагрузках и в моторном режиме. В кн. Минвуз, сборник тр. №5. М.: Моск.энерг. ин-т, 1984, с.20-25.

УДК 621.311

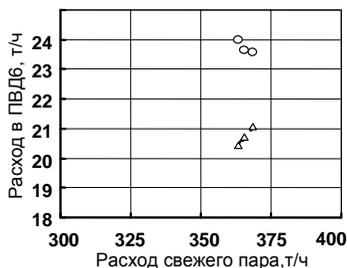
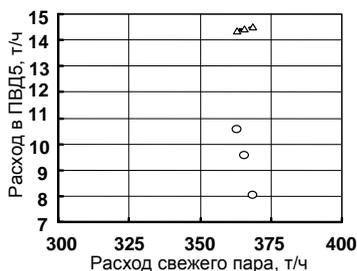
Е.В. ДОРОХОВ, к.т.н., доц., И.В. ГОЛУБКОВА, инж. (МЭИ)

Контроль технического состояния ПВД в тепловой схеме турбоустановки

На ТЭС регулярный штатный контроль технического состояния регенеративных подогревателей высокого давления (ПВД) выполняется по величине их температурного напора, величине переохлаждения сливаемого конденсата каждого подогревателя, а также по температуре выходящей питательной воды. Сложность обработки результатов контрольных экспресс-испытаний в необходимости выполнять пересчет (приведение) фактических параметров к условиям сопоставимости с нормативными характеристиками. Оснащение подразделений ТЭС персональными компьютерами создало возможности для компьютерной реализации процедур приведения.

На кафедре ТЭС МЭИ разработана компьютерная программа расчета тепловой схемы турбоустановки ПТ-65/75-130/13 для решения задач регулярного контроля технического состояния оборудования системы регенеративного подогрева. Программа внедрена на ТЭЦ-22 ОАО «Мосэнерго». Расчет тепловой схемы турбоустановки позволяет получать параметры и показатели, которые не определяются в традиционной обработке результатов экспресс-испытаний. Например, на рисунке приведены отображаемые на мониторе приведенные расходы пара в регенеративные подогреватели ПВД₅ и ПВД₆. Из данных графиков следует, что первый по ходу питательной воды ПВД₅ недогружен, а следующий за ним ПВД₆ перегружен. Исходные фактические опытные режимы турбоустановки отличались расходами питательной воды и свежего пара, а также давлением в выхлопе ЦВД.

○ Эксплуатационный приведенный;
-▲- Нормативный



а)

б)

Рис. Расходы пара в ПВД в трех контрольных экспресс-испытаниях в приведенных режимах: а) в ПВД₅; б) в ПВД₆.

УДК 621.311

В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., А.А. ДУДОЛИН, к.т.н., с.н.с.
(МЭИ)

Особенности финансово-экономического анализа вариантов ПГУ-ТЭЦ с учетом климатических факторов и типа ГТУ

Учет климатологии регионов строительства ПГУ-ТЭЦ заключается в специфике графиков тепловой нагрузки, продолжительности отопительного периода, а также характере изменения параметров ГТУ. Важной особенностью является выбор расчетной температуры КУ, а, следовательно, и остального оборудования ПГУ-ТЭЦ. Указанные особенности приводят в конечном итоге не только к различию в тепловых характеристиках, но и в капитальных затратах ПГУ-ТЭЦ в зависимости от района строительства.

Прибыль, получаемая при разработке вариантов ПГУ-ТЭЦ, может определяться как:

$$\Pi_i = P_{i,\text{пгу}} - I_{i,\text{пгу}} - I_{i,\text{эн.эф}}, \text{ руб/год}$$

где $P_{i,\text{пгу}}$ – стоимость реализованной энергии от ПГУ-ТЭЦ (руб/год);
 $I_{i,\text{пгу}}$ – годовые издержки эксплуатации варианта ПГУ-ТЭЦ (руб/год);
 $I_{i,\text{эн.эф}}$ – годовые издержки, связанные с приведением вариантов к равному энергетическому эффекту (руб/год).

Используя данный подход был проведен финансово-экономический анализ эффективности создания ПГУ-ТЭЦ для различных типов ГТУ и для разных климатических регионов по следующим вариантам: 1 – ПГУ-ТЭЦ с КУ одного давления с пиковыми источниками тепла; 2 – ПГУ-ТЭЦ с КУ одного давления без пиковых источников тепла; 3 – ПГУ-ТЭЦ с КУ двух давлений с пиковыми источниками тепла; 4 – ПГУ-ТЭЦ с КУ двух давлений без пиковых источников тепла. Все варианты рассматривались с учетом изменения графиков тепловых нагрузок в соответствии с климатической зоной. Нагрузка горячего водоснабжения принималась равной 18% от максимальной.

Сравнение результатов для разных климатических зон демонстрирует экономическую целесообразность учета климатических факторов. Так, при тарифах на тепло и электроэнергию 1.10 руб/кВт и 500 руб/Гкал, а также цене на газ 900 руб/1000 м³, сроки окупаемости отличаются от 4 до 10 % в зависимости от климатического региона и типа ГТУ. Установлено, что при существующем соотношении тарифов на тепло и электроэнергию и цен на газ, более выгодными с экономической точки зрения являются схемы ПГУ-ТЭЦ с КУ двух давлений и ПВК. Для исследованных вариантов сроки окупаемости меняются от 54 до 69 мес. от начала строительства. Это является следствием, в основном, большего количества отпускаемой электроэнергии по сравнению с другими вариантами, что при имеющем место соотношении тарифов на тепло и электроэнергию вызывает более интенсивный рост потока наличности. В итоге, несмотря на большие капитальные вложения и дополнительные затраты на основное оборудование, это приводит к лучшим показателям экономической эффективности данного варианта ПГУ-ТЭЦ.

УДК 621.311

В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., А.А. ДУДОЛИН, к.т.н., н.с., В.В. МАКАРЕВИЧ, к.т.н., с.н.с. (МЭИ)

Сравнение вариантов ПГУ-ТЭЦ на базе ГТУ-16ПЭР

В работе была проведена оценка показателей тепловой экономичности различных вариантов ПГУ-ТЭЦ с использованием газотурбинных установок типа ГТУ-16ПЭР производства ОАО «Авиадвигатель».

Расчетная электрическая нагрузка потребителя составляет 64-66 МВт, тепловая мощность горячего водоснабжения – 15 Гкал/ч, потребность в паре требуемых параметров (давление 0,6 МПа, температура 175 °С) составляет 20-22 т/ч. Температурный график системы теплоснабжения 120/70 °С. Режим работы: базовый, параллельно с энергосистемой с возможностью продажи излишков электроэнергии в сеть. Время работы в году – круглогодично с учетом поэтапного вывода оборудования из эксплуатации для проведения регламентных работ по обслуживанию и ремонту энергоустановок.

С целью объективного выбора состава тепловой схемы ПГУ обеспечивающей наилучшие технико-экономические показатели были рассмотрены четыре различных варианта ПГУ: вариант 1 – ПГУ с одноконтурным котлом-утилизатором (КУ) с газоводяным теплообменником (ГВТО) и промышленным отбором пара; вариант 2 – ПГУ с одноконтурным КУ с ГВТО; вариант 3 – ПГУ с двухконтурным КУ и промышленным отбором пара; вариант 4 – ПГУ с двухконтурным КУ. Схемы ПГУ для всех вариантов представляет собой дубли-блочную структуру (две газовых турбины работают на одну паровую турбину). Недостающая тепловая энергия по пару и горячей воде для вариантов без тепловой нагрузки, а также в пики потребления тепла покрывается за счет использования водогрейных котлов существующей котельной. Основные показатели тепловой экономичности приведены в таблице.

Таблица. Среднегодовые показатели рассматриваемых вариантов ПГУ-ТЭЦ

Показатель	Вар. 1	Вар. 2	Вар. 3	Вар. 4
Электрическая мощность (нетто), МВт	76,79	79,25	79,15	81,73
Электрическая мощность собственных нужд, МВт	1,24	1,29	1,29	1,34
Тепловая мощность ПГУ по пару, Гкал/ч	14,65		14,65	
Тепловая мощность ПГУ по горячей воде, Гкал/ч	7,55	7,55		
КПД по отпуску электроэнергии (нетто), %	48,49	45,19	47,36	44,38
Коэффициент использования теплоты топлива (КИТ), %	56,38	48,50	52,92	45,11

УДК 621.311

В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., Е.А. ЗАХАРЕНКОВ, студ.
(МЭИ)

Высокоэффективные гибридные энергоустановки на основе топливных элементов

Одним из направлений развития энергетики является создание энергоустановок на базе топливных элементов (ТЭ).

Наиболее эффективными являются установки с высокотемпературными топливными элементами. Рабочая температура твердооксидного ТЭ составляет 1000°C . После электрохимических преобразований в ТЭ доля мощности ТЭ составляет около 80-85%) продукты реакции могут вырабатывать энергию в газовой турбине, а оставшаяся теплота утилизироваться в котле-утилизаторе, где вырабатывается пар для паровой турбины (рис. 1).

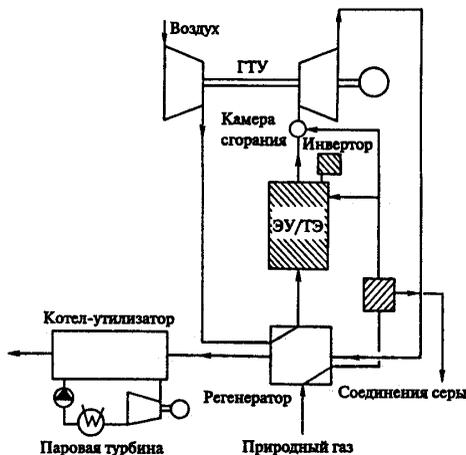


Рис.1. Схема гибридной энергоустановки

Срок службы у самых современных гибридных установок достигнут порядка 40-60 тыс. часов. Мощность работающих блоков до 10 МВт, в проектах – 20 МВт и выше. Электрический КПД уже в существующих установках составляет порядка 50-60% и в перспективе на ближайшее будущее прогнозируется на уровне 70%, а коэффициент использования тепла топлива – 85-90%.

Основными факторами, сдерживающими широкое распространение гибридных установок, являются высокие капитальные затраты (2000-3000 долл/кВт), небольшая единичная мощность, а также невысокая прочность ТЭ, не позволяющая применять высокое давление рабочей среды.

По мере развития ТЭ их использование для технического перевооружения и реконструкции устаревших электростанций будет иметь большие потенциальные возможности.

УДК 621.311

В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., Я.Ю. СИГИДОВ, асп.
(МЭИ)

Оптимизация параметров и структуры тепловой схемы ПГУ–КЭС с КУ трёх давлений

При строительстве новых ТЭС на газе экономически целесообразно использовать самые современные технологии по производству электроэнергии с КПД 55-60%. В настоящее время ПГУ КУ трёх давлений единственный вид конденсационной энергетической установки с такими высокими показателями.

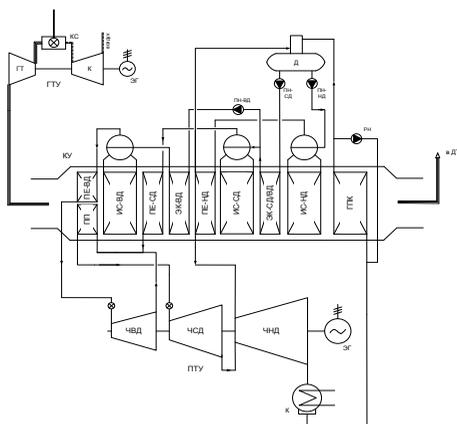


Рис. 1. Тепловая схема ПГУ–КЭС с КУ трёх давлений

Проведен анализа тепловых схем ПГУ–КЭС с КУ трёх давлений, в результате которого для дальнейшей оптимизации выбрана тепловая схема (рис.1). Критерий выбора – максимальная тепловая экономичность. Основными техническими ограничениями являются предельная влажность пара на выходе из паровой турбины и минимальная температура дымовых газов на выходе из КУ 80 °С.

Представленная схема характеризуется наличием промперегрева, размещением перегревателей поверхности нагрева контура среднего и низкого давления в области более высоких температур дымовых газов.

При оптимизации параметров пара, генерируемого в КУ, установлено: с ростом давления в первом контуре КУ растёт тепловая экономичность ПГУ, рост давления ограничивается величиной 17,5 МПа; незначительное влияние температуры на выходе из ГТУ на оптимальные давления в контурах КУ.

Ниже представлена аппроксимационная зависимость оптимального давления в контуре среднего и низкого давления от выбранного давления в контуре высокого давления и температуры на выходе из ГТУ.

$$p_{\text{СД}}^{\text{оп}} = 0.222 + 0.159 \cdot p_{\text{ВД}} - 0.000132 \cdot t_{\text{КТ}}, \text{ МПа}$$

$$p_{\text{НД}}^{\text{оп}} = 0.237 + 0.0160 \cdot p_{\text{ВД}} - 0.000336 \cdot t_{\text{КТ}}, \text{ МПа}$$

где $t_{\text{КТ}}$ – температура на выходе из ГТУ, °С; $p_{\text{ВД}}$ – давления в контуре высокого давления КУ, МПа.

УДК 621.321

А.А. КОРОТКОВ, асп., Е.А. НУЖДИН, соиск., В.С. РАБЕНКО, к.т.н.
(ИГЭУ)

Моделирование технологических систем прямоточного котлоагрегата с имитацией нарушений и отказов

Рассматриваются принципы построения моделей технологических систем котлоагрегата с имитацией нарушений и отказов в составе общей динамической модели реального масштаба времени энергоблока-прототипа ТЭС для противоаварийной подготовки оперативного персонала БЩУ на тренажере.

При эксплуатации энергоблока немалое количество нештатных и аварийных ситуаций возникает из-за нарушений и отказов в работе оборудования и элементов управления технологических систем котлоагрегата. Котлоагрегат, как объект управления, в себя технологические системы, обеспечивающие его эксплуатацию в различных режимах. В ряде работ представленные динамические модели прямоточных котлоагрегатов выполнены с рядом допущений, преимущественно для синтеза САР и исследования характеристик автоматических регуляторов. Эти модели не отвечают требованиям, предъявляемым к моделям компьютерных тренажеров, особенно в части моделирования аварийных ситуаций.

Полное описание управляемого котлоагрегата предполагает наличие комплекса взаимосвязанных моделей, прежде всего управляемых технологических систем (пароводяной и газовоздушный тракты, газовое кольцо и т.д.). В основу математического описания таких систем положен безитерационный метод расчета теплогидравлического контура произвольной топологии с разбиением тракта среды на участки гидравлических переменных (управляемых) и условно постоянных сопротивлений, соединенных с расчетными узлами (емкостями).

Введение в расчетную схему в соответствующих местах фиктивных трактов с переменными сопротивлениями между средами, контактирующими через разделительную поверхность, позволяет рассчитывать параметры теплообмена при разрывах.

Математическое описание регулирующего органа (здвижка и т.п.) как переменного гидравлического сопротивления в функции от его конструктивной характеристики позволяет задавать компонентные нарушения и тем самым имитировать нарушения в работе технологической системы.

Описание всей совокупности фактических органов управления с добавлением фиктивных позволяет имитировать широкий спектр типичных нарушений и отказов на динамической модели в работе котлоагрегата.

УДК 621.321

Е.А. НУЖДИН, соиск., А.И. КИСЕЛЕВ к.т.н., В.С. РАБЕНКО, к.т.н.
(ИГЭУ)

Динамическая модель маслоснабжения энергоблока 300 МВт

В 2004 году по заказу ОАО «Новочеркасская ГРЭС» был разработан и внедрен в эксплуатацию сетевой компьютерный тренажер. За прототип при разработке тренажера был взят пылеугольный блок №7 мощностью 300 МВт с турбоустановкой К-300-240 ХТГЗ. Для разработки тренажера энергоблока потребовалось смоделировать работу 30 технологических схем с воспроизведением всех необходимых функций управления автоматикой и операторами.

Учитывая пожелания станции, были разработаны модели маслоснабжения: подшипников турбогенератора, уплотнений вала генератора, подшипников ТПН и ПЭН, гидромурфты ПЭН, маслостанций дымососов и мельниц. Модели теплогидравлики построены на принципах, описанных в [1, 2]. Имитационные модели работы опорных подшипников скольжения реализованы по методике изложенной в [3]. Модель работы упорного подшипника турбоагрегата построена по методу [3, 4] и учитывает распределение нагрузки по отдельным колодкам рабочей и нерабочей сторон подшипника и связана с моделью расчета суммарного осевого усилия, действующего на ротор паровой турбины. Модель гидромурфты построена на основании методики изложенной в [5]. Модели схем маслоснабжения включают модели насосных агрегатов, маслобаков, маслоохладителей, запорно-регулирующей арматуры. По каждой системе предусмотрены модели работы сигнализации, блокировок, АВР и защит, реализованные по штатным алгоритмам САР.

Для каждой моделируемой системы предусмотрен перечень компонентных отказов и нарушений в работе оборудования. Это позволяет обучать операторов как выполнению штатных операций, так и действиям по ликвидации аварийных ситуаций.

Литература

1. **Рабенко В.С.** Тренажеры для подготовки операторов энергооборудования // Известия ВУЗов. Электромеханика.-2003.-№4.- С. 70 - 76.
2. **Рабенко В.С.** Моделирование режимов работы энергоблоков ТЭС для компьютерных тренажеров // Энергосбережение и водоподготовка. – 2003. – №4. – С. 76 – 82.
3. **Жирицкий Г.С., Стрункин В.А.** Конструкция и расчет на прочность деталей паровых турбин. – М.: Машиностроение, 1968. – 520 с.
4. **Серезкина Л.П., Зарецкий Е.И.** Осевые подшипники мощных паровых турбин. – М.: Машиностроение, 1988. – 176 с.
5. **Туркин А.Н.** Гидромурфты питательных насосов тепловых электростанций. – М.: Энергия, 1974. – 232 с.

УДК 621.321

И.Е. ОСИПОВ, асп., В.С. РАБЕНКО к.т.н., доц., А.В. МОШКАРИН, д.т.н. проф.
(ИГЭУ)

Динамическая модель конденсационной установки для тренажера энергоблока 300 МВт

Для создания компьютерных тренажерных систем одной из главных задач является разработка такой динамической модели (ДМ) конденсационной установки, которая могла бы адекватно отражать состояние всего комплекса оборудования обеспечивающего работу конденсационной установки. В ДМ КУ должны быть учтены особенности работы всех систем КУ, добавлены и пересмотрены модели оборудования и технологических систем ранее не рассматриваемые или рассматриваемые в другом аспекте [1], при этом сохранено на должном уровне потребление компьютерных ресурсов, поскольку, модель КУ является частью комплексной модели тренажера энергоблока-прототипа.

Разработанная динамическая модель конденсационной установки, с имитацией функций управления оператором энергоблока, отражает поведение моделируемого объекта в реальном масштабе времени по всем контролируемым параметрам в большинстве эксплуатационных режимов работы энергоблока, в том числе и с отклонением контролируемых параметров.

При моделировании использован принцип декомпозиции, на основе которого разработаны модели следующих технологических схем, входящих в состав полной модели конденсационной установки: поверхностный конденсатор, система технического водоснабжения блока, вакуумная система конденсатора, эжектирующая установка, калориферная установка котлоагрегата, система концевых уплотнений турбоустановки, система сброса пара помимо турбины.

В основу моделирования каждой системы положен принцип представления теплогидравлической схемы рядом узлов, соединяемых сопротивлениями. Для каждого узла записывается уравнение сохранения энергии и массы в соответствии с расходами и теплосодержаниями входящих и выходящих потоков. Из их решения определяются давление и теплосодержание среды в рассматриваемом узле.

Такой подход к реализации динамической модели теплогидравлической системы позволяет использовать ее в составе тренажера. При этом подготавливаемый на тренажере оператор может выполнять функции идентичные рабочему месту на БЩУ.

Литература

1. Рабенко В.С., Киселев А.И., Герасимова Н.А. Динамическая модель конденсационной установки ТЭС // Вестник ИГЭУ. Вып. 3.- Иваново, 2002.- С. 79-8.

УДК 621.321

А.А. КОРОТКОВ, И.Е. ОСИПОВ, асп., В.С. РАБЕНКО, к.т.н.,
Ю.Н. МУРОМКИН, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Расчет эффективности ведения режима работы энергоблока ТЭС операторами на тренажере

В настоящее время тренажеры блоков СКД, разработанные по заказу ряда ГРЭС РФ [1] дополняются программой расчета технико-экономических показателей (ТЭП). Данное решение продиктовано интересом пользователей к оценке эффективности действий оперативного персонала по ведению режима в условиях нормальной эксплуатации и в режимах с отклонениями.

Алгоритм расчета построен на базе нормативно-технической документации по топливоиспользованию ГРЭС [2, 3]. Исходной информацией служат значения внешних факторов, расход и характеристики сжигаемых топлив.

Нормативные значения ТЭП рассчитываются по энергетическим характеристикам для фактических нагрузок. Фактические значения ТЭП определяются по нормативной методике на основе величин, рассчитываемых в математической модели тренажера [4].

Программный модуль позволяет при подготовке операторов на тренажере контролировать ТЭП блока в режиме «on-line». Например, для котельной установки рассчитываются: КПД «нетто»; все тепловые потери; электрическая мощность на тягу и дутьё; расход тепла на приводную турбину питательного насоса или воздухоподувки; температура уходящих газов, расходы и параметры воды и пара и т.д. Программа расчета унифицирована и может быть использована на реальных блоках для оценки ТЭП в режиме реального времени.

Общая экономичность блока характеризуется фактическим и нормативным значением удельного расхода условного топлива на производство электроэнергии.

Литература

1. **Рабенко В.С., Мошкарин А.В.** Повышение безопасности, надежности, экономичности и продление срока службы оборудования предприятий тепловой энергетики средствами новых компьютерных технологий подготовки оперативного персонала / Энергосбережение и водоподготовка. №2.- 2002
2. **Нормативно-техническая** документация по топливоиспользованию Рязанской ГРЭС. – М.: СПО ОРГРЭС, 2001.
3. **Нормативно-техническая** документация по топливоиспользованию Новочеркасской ГРЭС. – М.: СПО ОРГРЭС, 2001.
4. **СО 153-34.08.552-95.** Методические указания по составлению отчета электростанций и акционерного общества энергетики и электрификации о тепловой экономичности оборудования: /Утв. Департаментом электроэнергетики Минтопэнерго РФ 24.11.95; Разраб. АО «Фирма ОРГРЭС».– М.: СПО ОРГРЭС, 1995.– 124 с.

Особенности разработки тренажеров систем автоматического регулирования ТЭС в среде LabView

Компьютерные обучающие системы и специализированные расчетные программные комплексы, созданные на базе современных компьютерных технологий, в последние годы стали неотъемлемой частью процесса обучения студентов в ВУЗах, а также подготовки и повышения квалификации персонала ТЭС и АЭС.

В целях создания пакета прикладных программ для расчета и наладки регуляторов теплоэнергетического оборудования электростанций была разработана универсальная технология создания моделей систем автоматического регулирования (САР), основанная на модульном принципе построения структуры и реализованная в среде графического программирования LabView.

Сущность данной технологии имеет две особенности:

1. Наличие библиотеки специально разработанных моделей типовых элементов САР. В ее состав, во-первых, входит группа моделей основных типовых блоков технических средств автоматизации (ТСА), реализующих все основные функции прототипа-прибора:

- релейно-импульсные и аналоговые регуляторы;
- блоки ручного управления, динамических, логических и нелинейных преобразований.

Кроме того, библиотека включает в себя универсальные модели регулирующего органа (РО), исполнительного механизма постоянной скорости и датчика, а также модель передаточной функции, для синтеза технологического объекта регулирования.

Каждая модель состоит из двух основных модулей:

- расчетного модуля, представляющего собой математическую модель данного элемента САР;
- модуля оперативного управления, представляющего панель настройки блока ТСА или элемента САР.

2. Работа модулей организована в режиме оптимального временного опроса по принципу параллельного и независимого функционирования циклов. Расчетные модули являются базовыми и выполняются постоянно с заданной дискретностью опроса, а модули оперативного управления работают в «стерегущем» режиме, являются вызывными, активизирующимися при специальном включении. При этом обеспечивается наиболее устойчивая работа программы и существенно повышается ее быстродействие.

УДК 621.311

С.В. ЦАНЕВ, к.т.н., проф., В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., Д.В. КАРТАШЕВ, асп.
(МЭИ)

Анализ показателей экономичности ПГУ с впрыском пара в газовый тракт

Одним из перспективных направлений развития современной энергетики является применение на тепловых электростанциях ГТУ и ПГУ. Впрыск пара в воздушный и/или газовый тракт энергетической ГТУ позволяет увеличить ее мощность и экономичность [1]. Существует несколько вариантов тепловых схем ПГУ с впрыском пара (ПГУ ВП). Они могут быть открытого типа при отводе парогазовой смеси в атмосферу и потере водяного пара, и могут выполняться с конденсацией водяных паров в конденсаторе без потери пароводяного рабочего тела [2].

Экономичность ПГУ ВП зависит от схемных решений, начальных параметров ГТУ, относительного расхода впрыскиваемого пара, параметров наружного воздуха и степени сжатия в компрессоре. Было проведено исследование нескольких схем ПГУ ВП: простой схемы типа STIG, с предвключенной паровой турбиной и с использованием вторичного пароперегревателя. В схеме с предвключенной паровой турбиной большой интерес представляет оптимизация параметров перегретого пара после КУ: перегретый пар более высоких параметров позволяет выработать большую мощность в ПТ, но приводит к снижению расхода впрыскиваемого пара и мощности установки. Выполненные исследования зависимости показателей экономичности от различных параметров выявили, что с ростом степени сжатия воздуха в компрессоре от 12 до 16, расхода впрыскиваемого пара от 0 до 0,2 кг/кг и начальной температуры газов ГТ от 1100 до 1300 °С наблюдается повышение КПД производства электроэнергии в пределах от 0,38 до 0,54 для схемы с предвключенной паровой турбиной. Увеличение температуры наружного воздуха от – 10 до 15 °С приводит к снижению КПД в среднем на 0,01.

Анализ показателей экономичности свидетельствует о достаточной эффективности применения таких схем на тепловых электростанциях. В связи с этим необходимо более глубокое изучение установок подобного типа, способных конкурировать на равных с ПГУ других типов.

Литература

1. **Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н.** Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций: Учебное пособие для вузов / Под ред. Цанева С.В. – М.: Издательство МЭИ, 2002.
2. **Технологические** схемы и показатели экономичности ПГУ с впрыском пара в газовый тракт / Фаворский О.Н., Цанев С.В., Буров В.Д., Карташев Д.В. // Теплоэнергетика. 2005. № 4. С. 28–34.

УДК 621.311

В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., М.А. СОКОЛОВА, к.т.н., доц., А.Н. ХОРЬКОВ
(МЭИ)

Оценка технических решений применения парогазовой технологии на Ярославской ТЭЦ-1

Необходимость реконструкции Ярославской ТЭЦ-1 диктуется, в первую очередь, технической изношенностью, ненадежностью и низкой экономичностью выработавшего свой ресурс энергетического оборудования, находящегося в эксплуатации уже более 40 лет. Эффективным и актуальным способом повышения экономичности действующих паротурбинных тепловых электростанций, является их реконструкция с использованием парогазовых технологий. Рассматривались следующие варианты тепловых схем: *вариант 1* – ПГУ сбросного типа с надстройкой 2-х энергетических паровых котлов типа Е-150-9,8-540 двумя ГТУ типа «ГТА 8РМ» (НПО «Сатурн»); *вариант 2* – ПГУ утилизационного типа на базе ГТУ типа «ГТЭ-160» (ОАО «ЛМЗ»). Рассматриваемые варианты тепловых схем ПГУ предусматривают наличие паровой турбины с конденсатором с регулируемым промышленным (22 ата) и теплофикационным (1,2 ата) отбором пара.

Среднегодовой КПД производства электроэнергии (нетто) (по физическому методу) составил 49,0% для варианта ПГУ сбросного типа и 55,9% для ПГУ утилизационного типа. Следовательно, у ПГУ сбросного типа больший расход условного топлива на отпуск электроэнергии (разница по сравнению с ПГУ утилизационного типа составляет порядка 30 г/(кВт·ч)).

Следует отметить, что вариант ПГУ сбросного типа не нашел широкого применения на практике в России, так как для него характерны довольно сложные технологические связи, более сложные требования к работе энергетического парового котла особенно на переменных режимах работы. Необходима модернизация котла. Опыт реализации ПГУ сбросного типа (Южная ТЭЦ «Ленэнерго» и Тюменская ТЭЦ-1) свидетельствуют о недостаточно высокой эффективности и значительных проблемах при эксплуатации.

Вариант ПГУ утилизационного типа характеризуется большим отпуском электрической энергии. Разница составляет по сравнению с ПГУ сбросного типа 943 835 МВт·ч. Вместе с тем возрастает также и расход потребляемого топлива примерно 1,8 раза, однако при этом удельный расход условного топлива на дополнительно отпущенную электроэнергию составляет порядка 200 г/(кВт·ч), что свидетельствует о высокой конкурентоспособности дополнительно вырабатываемой электроэнергии. При этом необходимы дополнительные согласования о возможности увеличения лимита на покупку природного газа.

УДК 621.311

В.Д. БУРОВ, к.т.н., доц., Я.Ю. СИГИДОВ, асп.
(МЭИ),

Б.А. РЫБАКОВ, к.т.н.

(ОАО «Компания ЭМК-Инжиниринг»)

Исследование показателей экономичности парогазовых КЭС на базе ГТУ типа 89СТ/20

Спектр возможных тепловых схем с использованием ГТУ типа 89СТ/20 производства ФГУП ММПП «Салют» (г. Москва) достаточно широк. Возможно создание парогазовых установок конденсационного типа (ПГУ-КЭС) с котлом-утилизатором, имеющим один или два контура давления, с применением дожигания и без него. Указанный тип ПГУ характеризуются достаточно простой тепловой схемой, как правило, имеют компактную компоновку и являются одним из предпочтительных вариантов при использовании ПГУ малой и средней мощности.

В работе исследованы показатели экономичности парогазовых энергоблоков с использованием типовых паровых турбин российского производства, а также для вновь разрабатываемых ПТУ с оптимальными параметрами для различных вариантов тепловых схем. Основные результаты исследований приведены в таблице.

Таблица. Показатели рассматриваемых вариантов тепловых схем

Показатель	ПГУ с КУ одного давления				ПГУ с КУ двух давлений
	с вновь проектируемой ПТУ		с типовыми ПТУ		
	без дож	с дож	без дож	с дож	без дож
Тип турбоустановки			К-6-1,6	К-20-8,8	
Параметры пара: давление, МПа	1,42	10,7	1,65	8,83	4,2/0,3
температура, °С	381	560	320	540	381/215
Мощность ПГУ (брутто), МВт	28,89	44,33	28,45	43,29	31,48
в т.ч. ГТУ	22,27	22,27	22,27	22,27	22,27
ПТУ	6,62	22,06	6,18	21,02	9,21
Температура дожигания, °С		715		700	
Температура уходящих газов, °С	160	129	184	134	106
КПД ПГУ по выработке электро- энергии (брутто), %	41,23	41,32	40,56	41,04	44,91
Электрический КПД ПГУ (нетто), %	40,56	40,60	39,94	40,33	43,84

Литература

1. **Газотурбинные** и парогазовые установки тепловых электростанций/ Цанев С.В., Буров В.Д., Ремезов А.Н. – М.:МЭИ, 2002. 584 с., ил.
2. **Паровые** турбины и турбогенераторы. ОАО «КТЗ» (номенклатурный перечень), г. Калуга, 2002 г. – 40 с.
3. **Компрессорные** машины и турбины АОТ «Невский Завод»: Каталог/ ЦНИИТЭИ тяжмаш:- Москва, 2000 г. – 158 с.

УДК 621.321

И.М. ЧУХИН, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Эксергетический анализ системы регенерации ПТУ

Традиционная оценка тепловой экономичности паротурбинных установок (ПТУ) дается по балансовому методу. Этот метод не позволяет детально оценить экономичность элементов тепловой схемы ПТУ. Эксергетический метод [1] позволяет наглядно представить все положительные и отрицательные решения, принятые в тепловых схемах ПТУ.

В работе представлен эксергетический анализ тепловой экономичности системы регенерации ПТУ. В качестве примера выбрана схема ПТУ с параметрами рабочего тела: $P_0=8$ МПа, $t_0=500$ °С, $P_k=5$ кПа. Схема регенерации представлена одним подогревателем. Давление отбора пара на подогреватель выбрано оптимальное. Расчеты выполнены для трех вариантов схем ПТУ: 1 – со смешивающим подогревателем, 2 – с поверхностным подогревателем и сбросом конденсата перед подогревателем, 3 – с поверхностным подогревателем и сбросом конденсата в конденсатор ПТУ. Результаты расчета схем приведены в таблице.

Таблица. Показатели тепловой экономичности ПТУ

Схема	q_1 , кДж/кг	l_t , кДж/кг	η_t , %	∇e_n , кДж/кг	$\nabla e_{см}$, кДж/кг	$\Sigma \nabla e$, кДж/кг	$\delta \Sigma \nabla e$, %
1	2687	1190	44,3	57,1	-	57,7	2,12
2	2670	1140	42,7	76,6	3,9	80,5	3,02
3	2683	1140	42,5	76,6	129,1	206,7	7,7

Расчетные данные балансового метода: подведенная теплота q_1 , работа турбины l_t и термический КПД η_t указывают на то, что преимущество схемы 1 по сравнению с 2 и 3 обусловлено большей работой турбины, а преимущество схемы 2 по сравнению с 3 – меньшей подведенной теплотой.

Результаты расчета экономичности по эксергетическому методу в виде потерь эксергии: в подогревателе ∇e_n , в процессе смешения потоков рабочего тела $\nabla e_{см}$, суммарных в системе регенерации абсолютных $\Sigma \nabla e$ и относительных $\delta \Sigma \nabla e$ указывают на то, что схема 1 имеет меньшую необратимость в процессе теплообмена в подогревателе по сравнению со схемами 2 и 3, а схема 2 имеет преимущество перед схемой 3 в меньшей необратимости процесса смешения потоков рабочего тела.

Анализ данных результатов позволяет сделать вывод, что эксергетический метод позволяет детально оценить каждый элемент тепловой схемы ПТУ с точки зрения его тепловой эффективности.

Литература

1. Бродянский В.М., Фратшер в., Михалец К. Эксергетический метод и его приложения. – М.: Энергоатомиздат. 1988. – 288 с.

УДК 621.321

Е.В. БАРОЧКИН, к.т.н., доц., В.Н. ВИНОГРАДОВ, к.т.н., доц.,
Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ, студ.
(ИГЭУ)

Опыт наладки деаэрационно–питательной установки при резко переменных нагрузках

Рассматриваются особенности наладки деаэрационно–питательной установки, включающей шесть атмосферных деаэраторов типа ДА-300, при значительных колебаниях производительности:

- удержание уровня воды в деаэрационных баках в заданном узком интервале влечёт необходимость резких изменений расхода подаваемой в деаэраторы воды и требует быстрых изменений подачи пара;

- неравномерность распределения воды по деаэраторам из-за разных гидравлических сопротивлений линий от регулятора уровня до каждого из деаэраторов ведёт к соответствующим изменениям давления в деаэрационных колонках, что, в свою очередь, увеличивает неодинаковость гидравлических нагрузок;

- неодинаковые давления в деаэрационных колонках обуславливают различия в значениях уровней воды в деаэраторах, что, во-первых, приводит к затруднениям в работе САР уровней, во-вторых, повышает разброс давлений в переменных режимах работы и ухудшает деаэрацию;

- включение регулирующих клапанов основного пара в автоматический режим в ряде случаев выводит САР давления из состояния устойчивости и, как следствие, приводит к срабатыванию защитных устройств.

По этим причинам возникла необходимость дополнительного исследования процессов деаэрации и изменения принципов регулирования:

- в целях обеспечения надёжной деаэрации во всех режимах работы регулирование уровня в деаэрационных баках заменено на регулирование общего расхода воды, подаваемой в деаэраторы; при этом колебания уровней около среднего в деаэраторах достигли от 400 до 500 мм, но разница уровней в деаэрационных баках и давлений в деаэрационных колонках снизилась;

- регулирующие клапаны основного пара деаэраторов были отключены, а в качестве исполнительных органов САР давления выбраны регулирующие клапаны редуцированных установок; это также привело к уменьшению разброса значений давления в деаэрационных колонках и увеличило устойчивость регулирования.

Таким образом, эксплуатация деаэраторов в условиях переменных нагрузок имеет ряд особенностей и требует дополнительного изучения в целях повышения качества деаэрации и увеличения надёжности систем автоматизированного регулирования.

УДК 621.321

Е.В. БАРОЧКИН, к.т.н., доц., В.Н. ВИНОГРАДОВ, к.т.н., доц.,
Г.В. ЛЕДУХОВСКИЙ, студ.
(ИГЭУ)

Повышение эффективности атмосферной деаэрации с использованием охладителей выпара

О.В. Малинина совместно с В.И. Шаратовым показали [1] важную роль охладителей выпара в организации надёжной и экономичной эксплуатации деаэраторов воды и возможность существенного уменьшения значения выпара. Теоретические предпосылки этого заключены в физико-химических расчетах термодинамически равновесных состояний в системе «вода-воздух». Практические доказательства получены в испытаниях атмосферных деаэраторов.

При эксплуатации деаэраторов неизбежны изменения параметров, влияющих на эффективность деаэрации воды, и требуется установление допустимых интервалов их эксплуатационных значений. При этом создаётся возможность сформулировать требования к системе автоматического регулирования деаэрационной установки и, в частности, к управлению режимом охлаждения выпара.

Для решения этой задачи недостаточно установить теоретически предельные значения параметров, обоснованные расчетами равновесий. Необходим расчет неравновесных стационарных процессов, включающий в себя расчеты теплообмена и дегазации при конденсации выпара в его охладителе и расчет процесса деаэрации.

Нами составлен расчетный алгоритм, позволяющий выполнить исследование влияния охладителя выпара на эффективность атмосферной деаэрации воды и установить интервалы допустимых значений параметров рабочего режима охладителя выпара.

В докладе приводятся постановка задачи, методика её решения и результаты проведённых численных экспериментов. Результаты этой работы использованы при наладке шести атмосферных деаэраторов ДА-300 деаэрационно-питательной установки производительностью 1750 м³/ч и её системы автоматического регулирования на ОАО «Северсталь». Обеспечена надёжная и эффективная деаэрация воды при минимальных тепловых потерях при существенно переменных режимах работы деаэраторов.

Литература

1. **Малинина О.В.** Исследование влияния расхода выпара и способов его утилизации на эффективность термической деаэрации воды. Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук. Ульянов. гос. техн. ун-т. – Ульяновск: УлГТУ, 2004.

УДК 621.311

В.С. ПЕТИН, директор по науке и технологии, В.С. РЫБИН, с.н.с., к.т.н.
(НПГ Прессмаш-ЭКОТЕХ-99 г. Челябинск, УралВТИ)

Многокамерные вакуумные деаэраторы «ЭКОТЕХ-99»

Многокамерные вакуумные деаэраторы. «ЭКОТЕХ-99» разработаны также уникальные многокамерные термические вакуумные деаэраторы, производимостью от 50 т/ч до 2000 т/ч, которые успешно эксплуатируются на Омских ТЭЦ-5 и ТЭЦ-6, Набережночелнинской ТЭЦ, Новосвердловской ТЭЦ и др. Хорошо они себя зарекомендовали и в коммунальном хозяйстве, например, на тепловых сетях г. Ревда Свердловской обл. Термические деаэраторы обеспечивают остаточное содержание кислорода в подпиточной воде на уровне 10-20 мкг/кг, что полностью исключает коррозионное разрушение котельного оборудования, магистральных трубопроводов (с внутренней стороны), теплообменного оборудования. Их использование позволяет многократно сократить издержки на восстановление поверхностей нагрева котлов, ремонт теплотрасс.

Конструктивно двухкамерный деаэратор «ЭКОТЕХ» размещен в вертикальном цилиндрическом корпусе высотой 4-5 м и диаметром 1-3 м. в зависимости от требуемой производительности. В качестве теплоносителя используется горячая вода (допускается использование прямой сетевой воды с температурой 70-120⁰С). После завершения режимно-наладочных работ настройка эксплуатационных режимов заключается в поддержании требуемого режимной картой нагрева воды в деаэраторе путем корректировки расхода теплоносителя.

В качестве примера промышленного применения двухкамерных вакуумных деаэраторов могут быть приведены: два аппарата ДВ-1000 на Набережночелнинской ТЭЦ, один аппарат ДВ-400 в муниципальной котельной г. Ревда Свердловской области.

На Набережночелнинской ТЭЦ двухкамерные деаэраторы работают в схеме подпитки теплосети наряду с четырьмя серийными деаэраторами типа ДВ-800. При единичной гидравлической нагрузке от 60 до 140% от номинальной производительности они несут 70% нагрузки всего узла подпитки теплосети. Предпочтительная нагрузка двухкамерных деаэраторов обусловлена их более высокими эксплуатационными показателями по надежности и эффективности деаэрации воды. Согласно данным Набережночелнинской ТЭЦ вакуумные деаэраторы ДВ-1000 «ЭКОТЕХ» обеспечивают надежную деаэрацию воды с содержанием остаточного кислорода в пределах 10 ... 20 мкг/кг во всем диапазоне нагрузок, в течении длительного время (более 5 лет).

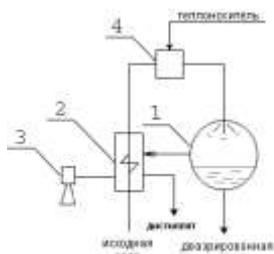
Двухкамерный вакуумный деаэратор муниципальной котельной г. Ревда работает в следующем режиме.

- расход исходной воды, т/ч	70-250
- температура воды, ⁰ С:	
- исходной	4-20

- теплоносителя	100-120
- деаэрированной	50-60
- содержание остаточного кислорода, мкг/кг	10-20

Промышленная эксплуатация двухкамерных деаэраторов подтвердила их высокую надежность и эффективность.

На основе прошедших промышленную проверку методов термической водоподготовки разработана и внедрена новая технология деаэрации воды с одновременным получением дистиллята. Для этих целей разработан деаэратор двойного назначения «ЭКОТЕХ». Он будет весьма эффективным на отопительных ТЭЦ, где большое количество подпиточной воды теплосети (более 800 кубометров в час), но при этом имеются проблемы с производством химобессоленной воды, осложненные высоким физическим износом ХВО, высоким содержанием органических веществ в исходной воде и сбросом солевых стоков.



Принципиальная схема аппарата показана на рис.: 1 – деаэратор, 2 – конденсатор, 3 – эжектор, 4 – смеситель.

Принцип действия деаэратора заключается в многократном адиабатном расширении воды с генерацией низкопотенциального пара, его сепарации и конденсации в подогревателе-конденсаторе.

Проект рассчитан на реконструкцию серийного деаэратора ДВ-800 с увеличением его производительности до 1500 м³/ч и одновременным производством обессоленной воды в количестве 30 ... 40 т/ч.

При капитальных единовременных затратах 10 млн. руб. стоимость дистиллята, включая стоимость исходной воды, 5 руб/м³ и стоимости обессоленной воды 20 руб/м³, срок окупаемости составит 2,08 года.

$$T = \frac{K}{\Delta} = \frac{10000000}{(50 - 5) \cdot 40 \cdot 8000} = 2,08.$$

Помимо указанной экономической эффективности с внедрением деаэратора двойного назначения повысится качество деаэрации и появится возможность дополнительной выработки электроэнергии на тепловом потреблении за счет перераспределения пара из отборов турбин.

Схемы утилизации избыточного пара многоступенчатых испарительных установок в летних режимах работы ТЭС

К недостаткам использования МИУ следует отнести наличие потоков избыточного пара последней ступени в летних режимах работы ТЭС, когда отсутствуют внутренние и внешние потребители низкопотенциальной теплоты. В таких условиях растет давление вторичного пара в последней ступени МИУ, резко падает производительность установки [1]. Применение концевой конденсатора позволяет обеспечить надежное получение требуемых количеств дистиллята, но при этом увеличивается тепловая составляющая затрат на его получение.

Теоретические исследования МЭИ [2] на примере МИУ для ПГУ – 450 показали возможность применения трех схем утилизации теплоты избыточного пара МИУ: с паровым компрессором, вакуумными горизонтально-трубными пленочными аппаратами и паровым инжектором. Исследования, выполненные в ИГЭУ, ставили более широкую задачу – оценку тепловой эффективности различных схем утилизации избыточного пара как в условиях охлаждения дистиллята и его подачи в БЗК (схемы МИУ для ПГУ-ТЭЦ и КЭС с блоками СКД), так и при непосредственном отводе дистиллята в деаэратор высокого давления (ТЭЦ с оборудованием на докритические параметры пара).

Показано, что область применения пароструйного инжектора для сжатия избыточного пара МИУ до давления греющего пара ограничено соотношением 2,5 и он может использоваться лишь при работе МИУ с тремя ступенями испарения и ограниченной производительности.

При работе шестиступенчатой МИУ практическую значимость имеют схемы с концевым конденсатором, паровым компрессором и комбинированная схема МИУ с испарительной установкой мгновенного вскипания. Расчеты показали, что тепловая эффективность комбинированной схемы МИУ выше остальных [3].

Литература

1. **Мошкарин А.В., Бускунов Р.Ш.** Испарительные установки ТЭС. М.: Энергоатомиздат. 1994. 272 с.
2. **Утилизация** избыточного пара многоступенчатых испарительных установок. /А.Я. Копсов, Р.И. Костюк, И.Н. Писковацков и др.//Энергосбережение и водо-подготовка .2004. №2. С.49-55.
3. **Мошкарин А.А.** Оценка тепловой составляющей затрат на получение дистиллята в автономных испарительных установках при различных схемах утилизации избыточного пара в летних режимах работы ТЭС // В кн. «Повышение эффективности работы энергосистем». Труды ИГЭУ. Вып. 7. М.: Энергоатомиздат. 2004. С.33-41.

УДК 621.311

А.А. МОШКАРИН, асп., С.И. ШУВАЛОВ, д.т.н., проф.
(ИГЭУ)

Оценка топливной составляющей на получение дистиллята в МИУ в летних режимах работы ТЭЦ

На производственно-отопительных ТЭЦ добавочная вода, как при термическом так и при химическом способе водоподготовки подается в деаэрактор повышенного давления. Нагрев ее осуществляется теплотой пара из общестанционной магистрали 1,3 МПа, которая запитывается из производственного отбора турбин ПТ. Считалось, что в этом случае тепловая эффективность схем нагрева добавочной воды при том и другом способе водоподготовки одинакова [1, 2].

Это утверждение справедливо для условий полной утилизации теплоты избыточного пара МИУ внутри ТЭЦ, т.е. при наличии внутренних потребителей теплоты этого пара. В летних режимах работы оборудования ТЭЦ возможности утилизации избыточного пара МИУ резко ограничены или отсутствуют. Более того, при отводе части дистиллята из расширительного бака в БЗК и его охлаждении от 111 °С до 40-45 °С количество избыточного пара возрастает. Для обеспечения требуемой производительности дистиллята необходима конденсация избыточного пара в специальном теплообменнике (концевом конденсаторе). При этом появляется неизбежная потеря теплоты в «холодном» источнике.

На основе метода коэффициентов ценности теплоты предложена методика и проведена оценка увеличения топливной составляющей затрат на подготовку дистиллята в летних режимах работы ТЭЦ для пяти, шести и семиступенчатой МИУ.

Показано, что увеличение топливной составляющей затрат на получение дистиллята в МИУ по сравнению со схемой нагрева химически обессоленной воды составит 1,11, 0,57 и 0,14 кг у.т./т при подаче дистиллята из расширительного бака непосредственно в деаэрактор повышенного давления и 1,64, 1,07 и 0,58 кг у.т./т при охлаждении дистиллята и его отводе в БЗК.

Литература

1. **Мошкарин А.А., Мошкарин А.В.** Методика и результаты расчета удельного расхода топлива на производство добавочной воды // В кн. А.В. Мошкарин, М.А. Девочкина, Б.Л. Шельгина, В.С. Рабенко «Анализ направлений развития отечественной теплоэнергетики», Иваново: ИГЭУ, 2002. С. 183-199.
2. **Методология** и результаты расчета тепловой составляющей себестоимости производства добавочной воды на ТЭС различных типов / А.С.Седлов, А.В. Мошкарин, Н.М. Сандлер и др.// Теплоэнергетика. 2000. №10. С.55-62

УДК 621.311

А.С. СЕДЛОВ, д.т.н., проф., А.А. КОМОВ, м.н.с.
(МЭИ)

Совершенствование оборудования испарительных установок

В настоящее время большая часть оборудования испарительных установок (ИУ) выработала свой ресурс или близка к этому. Оно морально и физически устарело и не может обеспечивать надежную работу. Кроме того, необходимо совершенствование оборудования до современного уровня развития науки и техники.

Одним из самых ненадежных элементов ИУ являются водоуказательные стекла, показывающие уровни дистиллята и концентрата в испарителях. Вместо них требуется установка разработанных лабораторией Парогенерирующей техники и экологии (ПТиЭ) Московского энергетического института (МЭИ) магнитных указателей уровня, которые прошли апробацию в условиях действующей промышленной МИУ на Саранской ТЭЦ-2 и получили положительные отзывы эксплуатационного персонала. Они устанавливаются на ёмкости и сосуды различных размеров, в т.ч. сосуды под давлением; работоспособны для широкого спектра жидкостей, включая коррозионноактивные, опасные и ядовитые. Точность измерений уровня не зависит от плотности жидкости. Конструкция этих указателей уровня обеспечивает четкий визуальный контроль уровня на расстоянии до нескольких десятков метров.

Вторым направлением модернизации ИУ должна являться замена электронных регуляторов уровня дистиллята в греющей секции испарителей на конденсатоотводчики, которые обеспечивают постоянный отвод дистиллята, поступающего в их корпус. При этом гарантируется отсутствие проскока греющего пара, и увеличивается поверхность теплообмена за счет снижения уровня дистиллята в греющей секции. Повышение эффективности работы ИУ за счет внедрения конденсатоотводчиков может составлять значительные величины. Так, на Саранской ТЭЦ замена регулятора первого корпуса на конденсатоотводчик привела к уменьшению расхода греющего пара (при постоянной производительности МИУ) с 26 т/ч до 22 т/ч, т.е. повысила тепловую экономичность почти на 20%.

Для повышения тепловой экономичности работы ИУ также необходимо устанавливать регенеративные подогреватели питательной воды дистиллятом корпусов испарителей из нержавеющей стали. Установка трех подогревателей на первых трех корпусах 5-тиступенчатой МИУ той же Саранской ТЭЦ-2 позволяет дополнительно к 70 т/ч обессоленной воды производить около 12 т/ч дистиллята, что также означает повышение тепловой экономичности ИУ на 17%.

УДК 621.311

В.С. ПЕТИН, директор по науке и технологии, В.С. РЫБИН, с.н.с., к.т.н.
(НПГ Прессмаш-ЭКОТЕХ-99 г. Челябинск, УралВТИ)

Водоподготовка на базе испарителей мгновенного вскипания

Повысить эффективность обессоливания и существенно снизить вредное воздействие на экологию стало возможным за счет применения отечественной технологии, основанной на термическом обессоливании в испарителях мгновенного вскипания (ИМВ «ЭКОТЕХ»), работающих в условиях вакуума. Процесс парообразования в ИМВ «ЭКОТЕХ» осуществляется при низкой температуре кипения от 35°C до 100°C и давлении 0,08-1 ата. ИМВ «ЭКОТЕХ» мало чувствительны к механическим, органическим и минеральным (накипеобразующим) примесям в исходной воде, что делает возможным их работу во многих случаях на исходной воде, прошедшей минимальную коррекционную обработку, исключая ионный обмен.

Успешный опыт более чем пятилетней эксплуатации девяти водоподготовительных комплексов на базе ИМВ «ЭКОТЕХ» на теплоэлектростанциях в разных энергосистемах РАО «ЕЭС России» и на разных водах, а также на промышленных предприятиях показал конкурентные преимущества и высокую эффективность этой технологии по сравнению с существующим химическим обессоливанием. Качество обессоленной воды очень высокое ($\text{Na}^+ < 15$ мг/кг; $\text{SiO}_3^{2-} < 20$ мг/кг; $\text{Fe} < 20$ мг/кг; электропроводность $< 0,8$ мкСм/см). Следует заметить, что показатели качества могут быть, как показали промышленные эксперименты, значительно улучшены ($\text{Na}^+ < 5$ мг/кг).

ИМВ-50 состоит из двух прямоугольных корпусов. Каждый размером 6х5х1,4 м (высота, длина, ширина). В каждом корпусе находится 9 ступеней. Всего количество ступеней испарителя 16-18. Ступени расположены в корпусе друг над другом по вертикали, высота ступени не превышает 0,6 м, что позволило компактно разместить оптимальное количество ступеней в одном вертикальном корпусе.

Принцип действия ИМВ «ЭКОТЕХ» заключается в генерации пара (за счет многократного адиабатного вскипания воды в ступенях испарителя), которая осуществляется в условиях вакуума и свободном объеме. Это обстоятельство в сочетании со ступенчатостью процесса упаривания исходной воды в двух корпусах за счет последовательной схемы питания ИМВ «ЭКОТЕХ» позволяет заменить химические методы обработки исходной воды на коррекционные, основанные на дозировании в исходную осветленную воду небольшого количества реагентов, ингибирующих процессы накипеобразования и снижающих интенсивность железноокислых отложений. Доза реагентов не превышает 3 мг/л.

Принцип действия реагентов, обычно это полимерные органические фосфонаты (например ИОМС или ПАФ-13), основан на предотвра-

щении образования и роста отложений за счет блокировки центров кристаллизации.

Технологические и экологические преимущества запатентованной отечественной технологии термообессоливания достигаются:

- за счет применения в качестве источника тепла отработанного низкопотенциального пара давлением менее 1,2 атм;
- генерации пара в условиях вакуума (низкие температуры) в свободном пространстве;
- организации оптимальных процессов паросепарации в условиях малых высот камер испарения (0,4-0,7м), обеспечивающих влажность пара $2 \cdot 10^{-5}$ - $5 \cdot 10^{-6}$ кг/кг;
- термического совершенства процессов генерации пара, остаточное "непрокипание" менее $0,1^{\circ}\text{C}$;
- оптимальной организации паровых потоков пара в конденсаторах испарителя, обеспечивающих рациональное омывание теплообменных пучков труб и локализацию несконденсирующихся газов;
- применения эффективных антинакипинов, ступенчатого процесса испарения;
- оптимальной тепловой схемы ИМВ «ЭКОТЕХ», обеспечивающей включение его по эквипотенциальной схеме (без потерь потенциала пара) с возвратом использованного тепла в цикл теплоэлектростанции или предприятия и выработку до 8-10 т обессоленной воды на 1 т греющего пара.

ИМВ «ЭКОТЕХ» оснащены современной распределенной интегрированной системой управления на основе микропроцессорной техники и регулируемого привода, в которой одновременно решаются задачи контроля и управления технологическим и электротехническим оборудованием, отвечающим современным требованиям в области сетевой архитектуры, человеко-машинного интерфейса.

Модули ИМВ «ЭКОТЕХ» производительностью 10, 20, 50, 100 т/ч могут быть использованы как на промышленных предприятиях, так и для целей получения питьевой воды в водо-дефицитных районах из солоноватых и морских вод.

Применение новой технологии термического обессоливания на базе ИМВ «ЭКОТЕХ» на предприятиях промышленности, где требуется обессоленная вода, позволяет значительно снизить издержки по производству обессоленной воды (не менее чем в два раза по сравнению с сегодняшним уровнем) и сбросы отработанных солей в водоемы не менее чем в 2,5-3 раза, что положительно повлияет на себестоимость и конкурентоспособность выпускаемой предприятиями продукции и одновременно позволит существенно оздоровить состояние водисточников.

УДК 621.311

А.С. СЕДЛОВ, д.т.н., проф., Е.О. КОНЬКОВ, м.н.с.
(МЭИ)

Исследование гидродинамики кипящих водных растворов солей

Технологические среды теплообменных энергетических аппаратов и аппаратов химической промышленности часто представляют собой водные растворы солей. При отсутствии фазовых переходов гидродинамика и теплообмен в таких средах могут без потери точности описываться известными зависимостями для чистой воды, при наличии же фазовых переходов после достижения определённой концентрации растворённых веществ наблюдаются существенные отклонения механизмов течения тепловых и гидродинамических процессов от чистой воды.

Важным шагом на пути построения модели для соледержащих сред является исследование скорости всплытия одиночного парового пузыря в водных растворах.

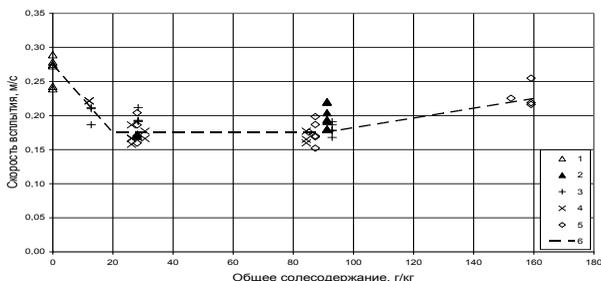


Рис. 1. Зависимость скорости всплытия паровых пузырей от солеесодержания водных растворов

Для исследования пузырькового кипения в большом объёме была усовершенствована установка с лазерной диагностикой, применявшаяся ранее.

$$W_{\text{пуз}} = 0,275 - 0,05 \cdot S, \text{ для } S = 0-20 \text{ г/кг}; \quad 1)$$

$$W_{\text{пуз}} = 0,175 \text{ см/с, для } S = 20-90 \text{ г/кг}; \quad 2)$$

$$W_{\text{пуз}} = 0,175 + 0,00714 \cdot (S - 90), \text{ для } S = 90-160 \text{ г/кг}. \quad 3)$$

В результате работы были получены данные по скорости всплытия паровых пузырей от солеесодержания при кипении водных растворов (рис 1). Установлены закономерности изменения скорости всплытия от солеесодержания (1-3). Эти зависимости могут быть использованы при построении математической модели двухфазного потока при течении соледержащей среды.

УДК 621.3

Д.К. НАЗАРЕНКО, инж., В.А. КУДИНОВ, д.ф.-м.н., проф.
(СамГТУ)

Комбинирование циклов теплоэнергетических установок

Продукцией ТЭЦ является эксергия – количество теплоты, затрачиваемой на совершение полезной работы. Эксергия на ТЭЦ затрачивается на выработку электроэнергии и часть ее (с паром отборов и отработавшим паром) на отопление. Весьма важным с точки зрения эффективности использования эксергии топлива, сжигаемого на ТЭЦ, является определение расходов эксергии (эксергетический баланс) теплоэнергетической установки.

Комбинирование циклов в первую очередь направлено на то, чтобы как можно большее количество эксергии, содержащейся в теплоте сжигаемого топлива, было использовано полезно. Для определения перечня мероприятий по экономии эксергии дадим приближенную оценку ее распределения в цикле ТЭЦ.

Расчеты с использованием эксергетических методов показывают, что из общего количества эксергии, первоначально равной (заклученной в топливе) 1 Дж, эксергия в количестве $1 - 0,83 = 0,17$ Дж теряется в процессе горения топлива (при переходе химической энергии топлива в тепловую). Количество эксергии, равное 0,17 Дж, это есть безвозвратная потеря.

Потеря полезной работы при передаче теплоты от газов с $T_1=1773$ К к пару с $T_1 = 813$ К в результате необратимого процесса теплообмена составляет $0,83 - 0,63 = 0,2$ Дж. Общая потеря работоспособности 1 Дж теплоты в котле будет $0,17 + 0,2 = 0,37$ Дж. Следовательно, именно в этой, самой высокотемпературной части цикла, следует комбинировать цикл Ренкина с циклом, рабочим телом которого являются горячие газы, например, с циклами ГТУ.

Если надстроить цикл Ренкина теплонасосной установкой, то теплоту, выбрасываемую в окружающую среду (с циркуляцией), можно эффективно использовать для целей отопления. Например, для поддержания в отопительной системе температуры рабочего тела $T_1 = 373$ К отопительный коэффициент при $t_2 = 30$ °С ($T_2 = 303$ К) составит

$$\varepsilon = \frac{T_1}{T_1 - T_2} = \frac{373}{373 - 303} = 5,3$$

Это означает, что тепловой насос передает в отопительную систему количество теплоты в 5,3 раза большее, чем количество затрачиваемой в компрессоре теплового насоса работы.

Таким образом, комбинирование циклов позволяет существенно повысить эффективный КПД установки по выработке электроэнергии.

УДК 621.3

Д.К. НАЗАРЕНКО, инж., В.А. КУДИНОВ, д.ф.-м.н., проф.
(СамГТУ)

Эксергетический баланс ТЭС

Для определения потерь теплоты на тепловой электрической станции (ТЭС) обычно составляют тепловой баланс, используя метод тепловых потоков и диаграмму Сенкея, наглядно интерпретирующую тепловой баланс. КПД станции в этом случае определяется по формуле:

$$\eta_{\Sigma} = \eta_{ку} \cdot \eta_{тр} \cdot \eta_t \cdot \eta_{oi} \cdot \eta_m \cdot \eta_r,$$

где $\eta_{ку}$, $\eta_{тр}$, η_t , η_{oi} , η_m , η_r – соответственно кпд котельной установки, учитывающий потери на трение в трубопроводах, термический, относительный внутренний (турбины), механический (турбины), генератора.

Приведенные выше коэффициенты, правильно отображая тепловой баланс, искажают действительную картину распределения потерь эксергии. Причины неточности метода тепловых потоков в том, что, учитывая количество израсходованной теплоты, он не может учесть ее качество. Это происходит вследствие того, что метод тепловых потоков в полной мере учитывает лишь положения 1-го начала термодинамики и недостаточно использует основные принципы 2-го начала. Методы, в которых в полной мере используются оба начала термодинамики, основаны на том, что совершенство любого реального процесса следует оценивать по степени его отклонения от обратимого процесса. К их числу относится метод вычитания эксергетических потерь (энтропийный метод).

В настоящей работе выполнены энергетический и эксергетический балансы ТГ №5 (ПТ-80-130) Тольяттинской ТЭЦ. Анализ полученных результатов позволяет сделать следующие выводы. В энергетическом балансе основные потери теплоты происходят в конденсаторе турбины (23,9%). Тогда как потери эксергии составляют здесь лишь 1,4 %. Это связано с тем, что в конденсаторе происходят потери низкотемпературной теплоты. В то же время, потери теплоты в котле в энергетическом балансе составляют 7,6%, тогда как потери эксергии, связанные с необратимостью теплообмена между газами и водой, равны 50,9%. Следовательно, котел является самой несовершенной частью ТЭЦ, так как именно здесь происходит максимальная потеря кпд станции.

Отсюда можно заключить, что максимальные резервы кпд станции находятся в высокотемпературной части цикла Ренкина. Для того чтобы эти резервы использовать, необходимо цикл Ренкина комбинировать с циклами, рабочим телом которых являются горячие газы (например, с циклами ГТУ).

УДК 621.321

В.А. КАЛАТУЗОВ, к.т.н., начальник ЦИСТВ
(ИЦ «Фирма ОРГРЭС»)

Сравнительный анализ натуральных и стендовых испытаний градирен

Стендовые аэро-термические исследования оросителей градирен проводятся различными НИИ, на различных установках и по отличным друг от друга методам.

Расчитанные по данным стендовых испытаний конечные числовые значения параметров оросителей имеют существенные отличия от результатов испытаний, полученных в натуральных условиях на действующих объектах.

Автором выполнены сравнительные расчеты ряда градирен: №3 и №6 площадью орошения по 1520м² Артемовской ТЭЦ, №3 площадью орошения 1600 м² Липецкой ТЭЦ-2 и др. Построены сравнительные графические зависимости $\beta_{xv}/g_{ж}=f(\lambda)$ и $\beta_{xv}=f(g_{ж})$ по лабораторным и натурным испытаниям. Результаты посчитанные с лабораторными коэффициентами A, m по формуле $\beta_{xv}=A g_{ж} \lambda^m$ при реальных расходах воды и удельного воздуха дают худший результат по сравнению с натурными : - для деревянного оросителя на 23-38% (гр.№3);-для асбошиферного оросителя на 130% (гр.№6), при этом работа градири №6 соответствовала уровню охлаждения по нормативной номограмме.

Аналогичные несовпадения наблюдаются для полимерного оросителя ИК-100 решетчатой структуры при сопоставлении результатов натуральных испытаний градири площадью орошения 1600м² Липецкой ТЭЦ-2 с расчетными стендовыми.

Очевидно, что исследования градирен в натуре дают более надежные результаты, при условии соблюдения технического регламента и методики проведения испытаний. Несоблюдение одного из условий может существенно исказить действительно получаемый результат и быть неправильно использовано в работе другими организациями.

УДК 621.321

В.А. КАЛАТУЗОВ, к.т.н., начальник ЦИСТВ
(ИЦ «Фирма ОРГРЭС»)

Методика построения нормативных характеристик башенных градирен испарительного типа

Как известно, основным конечным технологическим показателем работы градирен является температура охлажденной воды, зависящая от режимных и метеорологических факторов, а также от конструкций и размеров градирен.

Значения температур охлажденной воды поступающей в конденсаторы паровых турбин, оказывают значительное влияние на технико-экономические показатели работы электростанций.

Методика построения нормативных характеристик разработана на основании результатов многолетних балансовых испытаний 34^х градирен площадью от 500 до 4200 м² с оросителями различной конструкции.

Разработанная методика содержит общие принципы построения нормативных характеристик для башенных градирен испарительного типа с различными конструкциями оросительных устройств.

Эффективность охлаждения воды в градирне зависит от интенсивности действия двух процессов: тепло- и массообмена.

Методика устанавливает зависимость относительных безразмерных разностей энтальпий от подобных разностей температур взаимодействующих сред. Например, независимо от гидродинамических условий процесса для любой градирни существует общая линейная функция между безразмерными инвариантами подобия следующего вида:

$$\frac{\tau_2 - \tau_1}{t_2 - \tau_1} - b = a \frac{h_2 - h_1}{h_2'' - h_1}$$

где **a** и **b** - константы преобразования, независящие от конструкции и размера градирни, а также от гидродинамических переменных величин.

В методике показаны способы обобщения натуральных данных, получены зависимости безразмерных величин для расчета нормативных характеристик. Нормативные характеристики представлены в виде графической зависимости температуры охлажденной воды от тепловой нагрузки градирни и метеорологических параметров.

Литература

1. **Берман Л.Д.** Испарительное охлаждение циркуляционной воды, Госэнергоиздат, 1957.
2. **ВСН 25-80**

УДК 621.321

В.А. КАЛУТУЗОВ, к.т.н., начальник ЦИСТВ,
(ИЦ «Фирма ОРГРЭС»)

Методика расчета обеспеченности электрической мощности электростанций системами технического водоснабжения

Методика предназначена для расчета ограничений мощности электростанций в зависимости от конструктивных особенностей систем технического водоснабжения и метеорологических параметров.

Обеспеченность электрической мощностью определяется, как соответствие параметров циркуляционной системы охлаждения (количество и температура охлаждающей воды) конденсационным нагрузкам турбоагрегатов с их номинальной электрической мощностью при планируемых объемах производственных и теплофикационных отборов без превышения предельно-допустимых значений температуры охлаждающей воды и давления пара в конденсаторах (температура насыщения пара).

В основу расчетов заложен принцип проверки соответствия значений температуры охлаждающей воды, двум ограничивающим факторам:

1. Максимально-допустимому значению температуры охлаждающей воды, по техническим условиям эксплуатации масло-газоохладителей (МГО) турбоагрегатов. Данное условие не учитывается в случаях, когда охлаждение МГО производится от постороннего источника поступления охлажденной воды;
2. Максимально-допустимому давлению отработавшего пара в конденсаторах турбин.

Расчет условно состоит из четырех этапов.

Первый этап. Определение расчетных нагрузок циркуляционной системы.

Второй этап. Построение промежуточных графиков зависимости температуры охлаждающей воды от тепловой нагрузки градирен.

Третий этап. Построение графика расчетной предельно-допустимой тепловой нагрузки циркуляционной системы.

Четвертый этап. Построение графика электрической мощности в зависимости от температуры наружного воздуха $N_{расч}^э = f(\theta)$.

Методика позволяет определить не только величину ограничений, но и выявить основные причины их возникновения, обеспечить выбор наиболее эффективных конструктивных, технологических и режимных решений.

Литература

1. **Берман Л.Д.** Испарительное охлаждение циркуляционной воды, Госэнергоиздат, 1957.
2. **Бененсон Е.И.**, Иоффе Л.С. Теплофикационные турбины, «Энергия», 1976.

УДК 662.61:533.324

Е.А. БОЙКО, к.т.н., доц., П.В. ШИШМАРЕВ, ассист. (КГТУ)

Совершенствование и внедрение комплексного термического анализа в практику энергетического использования канско-ачинских углей

Для разработки практических рекомендаций по выбору оптимальных технических решений энергетического использования канско-ачинских углей необходимо установить корректную, основанную на кинетических параметрах, взаимосвязь различных этапов и процессов термохимического превращения угольного вещества. При пылевидном сжигании время выгорания угольного вещества определяется сложным набором многостадийных, последовательно-параллельных процессов, в частности: испарением влаги, хемосорбцией кислорода, выделением и горением летучих веществ, горением и газификацией нелетучего остатка, превращением химических компонентов минеральной части топлива. Принципиальным решением методической проблемы, связанной с определением скоростей протекания различных стадий термохимического превращения топлива в широком диапазоне режимных условий (среда, температура, скорость нагрева и т.д.), является использование комплексного термического анализа угля с непрерывной регистрацией экспериментальных параметров в неизотермических условиях.

Комплексный термический анализ твердого топлива объединяет в рамках единой установки серийно выпускаемые приборы Q-дериватограф и газоанализатор, позволяющие наряду с суммарными характеристиками процесса нагрева навески угля (убыль массы, скорость убыли массы, изменение температуры, тепловые эффекты) получать также и динамику выделения газообразных продуктов. Методика оценки кинетики процессов выгорания топлива основана на обработке экспериментальных данных нескольких опытов, полученных с помощью комплексного термического анализа: в инертной среде – с газовым анализом состава выделяющихся летучих веществ, используемый для оценки реакционных характеристик процессов испарения влаги и выхода летучих веществ; в окислительной среде – для оценки кинетики выгорания нелетучего остатка, получаемого в предыдущем опыте; в окислительной среде – термоокислительная деструкция исходного топлива, для нахождения кинетических параметров выделения «синтетических» смол.

Полученные реакционные характеристики используются для расчета длительности протекания исследуемых термохимических процессов применительно к условиям реальных устройств подготовки и сжигания угля с одновременной оценкой тепловых потерь с химической и механической неполнотой горения. Практическая реализация данного подхода позволила выполнить проработку новых технических решений на уровне изобретений, позволяющих повысить эксплуатационные характеристики котельных агрегатов при использовании канско-ачинских углей.

УДК 621.311.22

А.В. СОКОЛОВ, к.т.н., доц., Л.К. ВАСАНОВА, к.т.н., доц.
(УГТУ-УПИ)

Использование жидкостного кипящего слоя в подогревателе горячего водоснабжения

К числу перспективных направлений по интенсификации теплообменных процессов следует отнести применение слоя твердых частиц, псевдоожигаемых капельной жидкостью. Псевдоожиженный двухкомпонентный слой (твердые частицы – среда) характеризуются высокой интенсивностью теплообмена, которая определяется присутствием взвешенных в потоке твердых частиц, вызывающих турбулизацию потока, а также непосредственно участвующих в переносе теплоты. Оба процесса в виде конвективного и кондуктивного теплопереноса в различной степени влияют на общий перенос теплоты. В слоях, псевдоожиженных капельной жидкостью, основной перенос – конвективный, связанный с турбулизацией жидкости. Высокая степень турбулизации потока приводит к росту в 1,5-3 раза коэффициентов теплоотдачи по сравнению с теплоотдачей в потоке чистой жидкости.

Особенно эффективным является также использование псевдоожиженного слоя для самоочистки поверхности трубок подогревателя горячего водоснабжения от различных отложений. При температуре выше 55°С в жесткой водопроводной воде, обычно используемой для горячего водоснабжения, нарушается углекислотное равновесие, что приводит к осаждению из воды в виде твердых кристаллических отложений карбоната кальция на поверхности трубок. Это в свою очередь ухудшает теплообмен и снижает пропускную способность теплообменника. Опыт использования в теплообменных аппаратах псевдоожиженного слоя показывает, что частицы твердого материала не дают возможности отложениям появляться на поверхности трубок.

В работе производится сравнение двух теплообменников: обычного водоводяного подогревателя типа МВН-2052-36 и водоподогревателя с жидкостным псевдоожиженным слоем при одинаковых тепловых нагрузках. К расчету был принят подогреватель второй ступени новой конструкции диаметром 800 мм вертикального типа с прямыми латунными трубками диаметром 16 × 1 мм и шагом 20 мм. Слой организуется в трубках, в них подается снизу подогреваемая водопроводная вода, а в межтрубном пространстве сверху проходит греющая сетевая вода в несколько ходов. Для предотвращения уноса частиц трубки снизу и сверху закрыты сетками.

Применение подогревателя горячего водоснабжения с жидкостным псевдоожижением позволит значительно уменьшить затраты тепла для подогрева воды и разрешить вопрос борьбы с отложениями на поверхности трубок.

УДК 621.482

В.В. БУХМИРОВ, д.т.н., проф., Т.Е. СОЗИНОВА, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Расчет термонапряженного состояния обсадных труб геотермальной скважины

Геотермальная скважина является одним из основных элементов ГеоЭС, т.к. выполняет роль парового котла. Следовательно, от надежности работы геотермальной скважины зависит надежность работы электрической станции, рабочим телом которой является геотермальный флюид.

По отчетам геолого–разведочных работ был проведен анализ всех разрывов обсадных колонн Мутновского месторождения (Камчатская область), начиная с момента освоения данного месторождения. Анализ показал, что одной из основных причин разрывов колонн является резкая смена температурного режима при пуске скважины в работу и при впуске в прогретую скважину холодной промывочной воды ($t \leq 10$ °С).

Математическая модель напряженного состояния системы обсадных труб и цементных колец, разработанная на кафедре ТОТ ИГЭУ, представлена в работах [1, 2]. Температурное поле найдено решением краевой задачи нестационарной теплопроводности. Математическая модель напряженного состояния обсадных труб учитывает остаточные, механические и термические напряжения и переход к эквивалентным действующим напряжениям.

Анализ выполненных расчетов напряженного состояния обсадной колонны показывает, что наибольший вклад в действующие напряжения вносят термические напряжения, которые имеют наибольшее значение в первые секунды пуска скважины в работу. При этом термические напряжения убывают с глубиной скважины. Значение термических напряжений зависит от температурного поля и характера контакта (идеальный или неидеальный) между обсадной трубой и цементным кольцом. В момент пуска во внутренних слоях трубы термические напряжения являются сжимающими, а их величина не превышает предела текучести сталей групп Д, К и Е, применяемых для изготовления обсадных труб геотермальных скважин.

Литература

1. Бухмиров В.В., Созинова Т.Е., Овсенко А.В. Моделирование теплового состояния скважин Верхне–Мутновского геотермального месторождения // Повышение эффективности работы ТЭС и энергосистем: Тр. ИГЭУ. Вып. 1. – Иваново, 1997. – с.72-75.
2. Бухмиров В.В., Созинова Т.Е., Овсенко А.В. Моделирование термонапряженного состояния скважин Верхне–Мутновского геотермального месторождения // Энергосбережение и экология в теплотехнологических системах: Межвуз. сб. науч. тр. – Иваново, 1999. – с.145-150.

УДК 681.187

Е.Н. БУШУЕВ, к.т.н., доц., Б.М. ЛАРИН, д.т.н., проф., А.И. ПИРОГОВ, д.х.н., проф.
(ИГЭУ)

Разработка автоматизированной обучающей системы «Теоретические основы химико-технологических режимов АЭС с ВВЭР»

По заказу Калининской АЭС на кафедре ХХТЭ ИГЭУ разработана автоматизированная обучающая система (АОС) «Теоретические основы химико-технологических режимов АЭС с ВВЭР». АОС создана с помощью программного продукта «КУРСОГРАФ», который является разработкой Учебного центра КАЭС. Программа «КУРСОГРАФ» состоит из двух частей: среды разработки учебных курсов и независимого их проигрывателя. Среда разработки позволяет подключать Web-страницы и содержит мощные возможности в оформлении отдельных сцен учебного курса, в том числе для создания различных видов тестов.

АОС включает информационную (теоретическую) и тестирующую части. Информационная часть представляет собой совокупность связанных Web-страниц и состоит из трех частей:

1. Физико-химическая характеристика воды и водных растворов.
2. Методы обработки воды.
3. Водные режимы контуров энергоблоков с реакторами типа ВВЭР.

Первая часть АОС содержит описание: теории электролитов, электропроводности растворов, электрохимии растворов электролитов, коррозии металлов, теоретические основы коагуляции и ионного обмена, поведение водного теплоносителя при повышенных параметрах теплоносителя.

Во второй части приводятся подробное описание методов предочистки воды и ионного обмена.

В третьей части содержится описание основного теплосилового оборудования энергоблока с ВВЭР-1000, вводно-химических режимов первого и второго контуров АЭС, а также систем обеспечения ВХР.

Материал в АОС хорошо структурирован, имеется активное содержание и содержит большое количество поясняющих цветных с трехмерным эффектом рисунков.

По каждому разделу база контрольных вопросов, позволяющая оценить уровень усвоения теоретического материала. При составлении тестов использовались следующие виды вопросов: один из многих, многие из многих, поля вода численных данных.

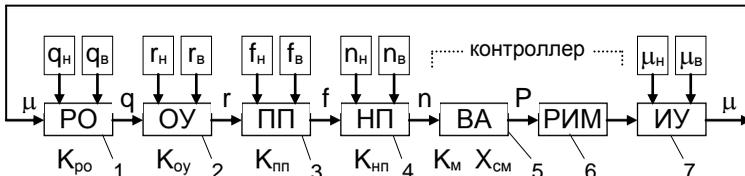
Созданная АОС может быть использована при обучении теоретическим основам водоподготовки, химконтроля и вводно-химических режимов эксплуатационного персонала АЭС, а также в учебном процессе.

УДК 518.5

В.Д. ТАЛАНОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Статический расчет систем автоматического регулирования ТЭС

Целью расчета является определение величины коэффициента масштабирования K_M и смещения X_{CM} в алгоритме ввода аналоговых сигналов контроллера при условии равенства единице коэффициента передачи эквивалентного объекта $K_{\Sigma 0}$, объединяющего элементы 1...5, представленные на рисунке.



Структурная схема типовой одноконтурной системы регулирования:
1 – регулирующий орган; 2 – объект управления; 3 – первичный преобразователь; 4 – нормирующий преобразователь; 5 – алгоритм ввода аналоговых сигналов; 6 – алгоритм релейно – импульсного регулирования; 7 – исполнительное устройство на базе исполнительного механизма постоянной скорости вращения

Для алгоритма ввода аналоговых сигналов: $P=K_M \cdot (n+X_{CM})$.

Из условия $K_{\Sigma 0}=1$: $P=\mu$.

Функция преобразования элементов 1...4:

$$n = K_O (\mu - \mu_O) + 100 \frac{r_H - N_H}{N_B - N_H}$$

Откуда следует: $K_M = 1/K_O$; $X_{CM} = -(100 \frac{r_H - N_H}{N_B - N_H} - K_O \mu_H)$,

где $K_O = K_{PO} \cdot K_{OU} \cdot K_{PP} \cdot K_{NP}$; $K_{PO} = \frac{q_B - q_H}{\mu_B - \mu_H}$; $K_{OU} = \frac{r_B - r_H}{q_B - q_H}$; $K_{PP} = \frac{f_B - f_H}{r_B - r_H}$;

$K_{NP} = \frac{n_B - n_H}{f_B - f_H}$; $n_B = 100 \frac{r_B - N_H}{N_B - N_H}$; $n_H = 100 \frac{r_H - N_H}{N_B - N_H}$; $N_B - N_H$ – диапазон изме-

рения нормирующего преобразователя; μ – управляющее воздействие; q – расход материального потока; r – регулируемый параметр; f – выходной сигнал первичного преобразователя; n – выходной сигнал нормирующего преобразователя, P – эквивалентный регулируемый параметр; $Y_i = K_i (X_i - X_{Hi}) + Y_{Hi}$ – функция преобразования для элементов 1...4; индекс «В» – верхний предел; индекс «Н» – нижний предел.

Автоматизированная обработка изображений двухфазного пузырькового потока

Анализ теоретических и экспериментальных исследований в области кипения, конденсации и течения двухфазного пузырькового потока свидетельствует о недостаточной изученности физических явлений, формирующих представления об указанных процессах. Сближение теории с реальными теплогидравлическими процессами образования и течения пузырьковых потоков, является одним из перспективных направлений современной теплоэнергетики.

Начиная с 60-х годов прошлого столетия рядом ученых и специалистов проводились исследования по диагностике кипения, конденсации и течения двухфазного пузырькового потока с помощью кино-, фото- и видеосъемки. При этом использовалась стандартная процедура получения кино- и фотоснимков потока и последующая их обработка. Видеосъемка применялась в основном для визуального контроля сцен течения потока. В связи с отсутствием необходимой инструментально-технической базы задаче автоматизации процесса получения и обработки визуальной информации в то время было уделено мало внимания, а диагностика состояния пузырькового потока путем анализа распределения яркости его изображений могла осуществляться только ретроспективно.

Современные информационные технологии и средства позволяют полностью автоматизировать процесс обработки изображений двухфазного пузырькового потока. На основе метода технического зрения разработаны методики и алгоритмы определения характеристик двухфазного пузырькового потока путем анализа распределения яркости его изображений. Паровые пузыри являются оптическими неоднородностями потока, поэтому на изображениях они представлены в виде темных объектов, отличающихся по яркости от светлого фона, соответствующего жидкости. С учетом данного свойства изображения обрабатываются с отделением объектов от фона и вычислением требуемых характеристик путем интегральной оценки яркости отдельных участков изображений.

Применение средств технического зрения и разработанных методик и алгоритмов открывает новые возможности в проведении теплофизических исследований двухфазных пузырьковых сред и потоков. Эти возможности заключаются в автоматизированном определении с высокой точностью структурных характеристик и экспресс-диагностике состояния потока.

Статическая гидравлическая модель участка тепловой сети

На кафедре АТП ИГЭУ разработан тренажер системы оперативно-го управления Выхинской насосной станции, включающей в себя шесть параллельно работающих сетевых насосов. Два насоса имеют частотное управление производительностью.



управление производительностью.

Особенностью тренажера является то, что интерфейс оператора остается таким же, как в действующей АСУ (выполнен на ПТК Freelance). Роль объекта управления и контроллеров связи с объектом выполняет реализованная в оболочку верхнего уровня АСУ статическая гидравлическая математическая модель сети теплоснабжения и насосной группы. Также модель реализует электрическую часть приводов насосов и систему автоматического регулирования давления воды на всасе насосной группы. Обмен информацией между моделью (LabView) и оболочкой оператора (Freelance) осуществляется через информационную БД Freelance.

Для вычисления параметров модели используется безитерационный алгоритм, что позволяет уменьшить объем вычислений и выполнять расчет в реальном масштабе времени. В связи с этим в первый момент времени при изменении проходных сечений запорно-регулирующей арматуры возникает нарушение материального баланса. «Сведение» материального баланса происходит не сразу, а за несколько шагов работы модели. Но из-за малого шага квантования по времени, непродолжительная нестыковка баланса остается для оператора незаметной,

так как совпадает с изменением показаний датчиков.

УДК 621.187

Д.Б. СИЛУЯНОВ, к.т.н., доц., Б.П. СИЛУЯНОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Исследование свойств теплоносителя частотными методами

Надежность, экономичность и безопасность работы ТЭС в значительной степени зависят от состояния водно-химического режима. Автоматизированный химический контроль должен обеспечивать непрерывное и надежное получение нормируемых параметров водно-химического режима путем прямого измерения соответствующих показателей. Функционирование всей автоматизированной системы химического контроля зависит от нормального функционирования приборов, входящих в эту систему.

В настоящее время разработано большое количество приборов, позволяющих контролировать качество теплоносителя (рН-метры, кондуктометры, фотозлектроколориметры и т.д.). К достоинствам существующих средств контроля можно отнести достаточно высокую точность измерений, высокую надежность, простоту обслуживания. В месте с тем одним из существенных недостатков данных приборов является сложная конструкция первичного измерительного преобразователя, существенная инерционность и отсутствие возможности оперативно реагировать на изменение контролируемых технологических параметров.

Широкое распространение получил метод определения значения таких параметров как удельная электрическая проводимость и величина рН раствора, основанный на определении потенциала электродов, погруженных в исследуемый раствор. Если пропускать через раствор, импульсы напряжения определенной формы, то первоначальная форма импульсов будет искажена. Поэтому представляется возможным определить свойства теплоносителя в зависимости от степени искажения формы опорного сигнала.

Очевидно, что обработка выходного сигнала невозможна без применения средств микропроцессорной техники. Для успешного определения значений контролируемого параметра во всем диапазоне измерений необходимо иметь семейство градуировочных зависимостей, соответствующих некоторым опорным значениям измеряемой величины. Определение промежуточных значений измеряемой величины должно производиться с использованием интерполяционных методов.

Была исследована работа алгоритмов, выполняющих кусочно-линейную и полиномиальную интерполяцию, а также сплайн-интерполяцию полиномами второго и третьего порядка. Показано, что наибольшую точность обеспечивает интерполяция сплайнами третьего порядка.

УДК 621.311.22

С.К. ЗИГАНШИНА, асп., А.А. КУДИНОВ, д.т.н., проф.
(СамГТУ)

О влиянии величины непрерывной продувки котлов на экономичность Саранской ТЭЦ-2

На Саранской ТЭЦ-2 выработка пара высоких параметров осуществляется котлами I и II очереди. К котлам I очереди относятся четыре барабанных котла ПК-19, а к котлам II очереди – два барабанных котла ТП-47. Паропроизводительность котла ПК-19 $D=150$ т/ч, давление в барабане $p_6=11$ МПа; для котла ТП-47: $D=230$ т/ч, $p_6=11,5$ МПа.

Продувочную воду от котлов I очереди направляют в расширитель непрерывной продувки (РНП) первой ступени I очереди, а от котлов II очереди – в РНП первой ступени II очереди. В расширителях первой ступени поддерживается давление 0,8 МПа. Пар из расширителя первой ступени I и II очереди отводят в деаэрактор повышенного давления, а воду направляют соответственно в РНП второй ступени I очереди и в РНП второй ступени II очереди, в которых поддерживается давление 0,15 МПа. Пар из расширителей второй ступени отводят в атмосферный деаэрактор, а воду направляют в баки для обмывки хвостовых поверхностей нагрева котлов.

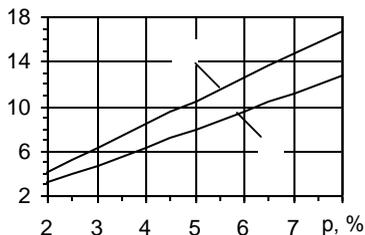


Рис.1. Графики зависимости суточной потери с непрерывной продувкой котлов I очереди (1) и котлов II очереди (2) от величины непрерывной продувки

Норма непрерывной продувки котлов I и II очереди составляет 5 %. По разработанной методике определена суточная потеря количества воды и теплоты в денежном выражении P , тыс.руб/сут, с непрерывной продувкой котлов при различных значениях ее величины (см. рис. 1). При $r_{норм}=5$ % $P=10,5$ тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов I очереди и $P=8$ тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов II очереди. Превышение $r_{норм}$, например, на 0,5 % приводит к дополнительной потере 1 тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов I очереди и к дополнительной потере 0,8 тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов II очереди.

Норма непрерывной продувки котлов I и II очереди составляет 5 %. По разработанной методике определена

суточная потеря количества воды и теплоты в денежном выражении P , тыс.руб/сут, с непрерывной продувкой котлов при различных значениях ее величины (см. рис. 1). При $r_{норм}=5$ % $P=10,5$ тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов I очереди и $P=8$ тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов II очереди. Превышение $r_{норм}$, например, на 0,5 % приводит к дополнительной потере 1 тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов I очереди и к дополнительной потере 0,8 тыс.руб/сут с непрерывной продувкой котлов II очереди.

При одновременной нагрузке котлов I очереди, равной 3401 ч/год, годовая потеря с непрерывной продувкой четырех котлов при $r_{норм}$ составляет 1,488 млн.руб/год или 1,6 % от стоимости сожженного за этот период топлива (природного газа). При одновременной нагрузке котлов II очереди, равной 5682 ч/год, годовая потеря с непрерывной продувкой двух котлов при $r_{норм}$ составляет 1,894 млн. руб/год или 1,55 % от стоимости сожженного за этот период топлива.

УДК 621.182: 296.001.4

А.В. ЖУЙКОВ, асп., Ю.В. ВИДИН, проф.
(КГТУ)

Безмазутная растопка – перспективы, достоинства и недостатки

В России для растопки и подсветки пылеугольных котлов расходуется примерно четвертая часть мазута. С учетом снижения поставок мазута к 2015 году эта доля может возрасти до 50%, если не будут внедрены мероприятия по замене мазута углём.

Разработка способов растопки и подсветки парогенераторов, позволяющих отказаться от использования дефицитных и дорогих видов топлива, а также от применения ручного труда (в случае использования муфельных растопочных горелок), представляют актуальную научно-техническую задачу.

Для решения задачи перехода на безмазутную растопку и подсветку паровых котлов на ТЭС, сжигающих пылевидное угольное топливо, необходимо решить следующие задачи: получение, хранение и транспортировка к растопочным горелкам сухой и тонкой пыли; разработка конструкций растопочной пылеугольной горелки и надежного запального устройства к ней.

Для воспламенения пылевоздушной смеси в известных растопочных пылеугольных горелках к ним подводится извне энергия в виде газообразного, жидкого топлива или электроэнергии (высоковольтная дуга или плазмотрон). Недостатком растопочных пылеугольных горелок с газовым или мазутным поджиганием является необходимость организации на ТЭС газового или мазутного хозяйства, а также значительный расход этих относительно дорогих и дефицитных топлив (соответственно 6 и 3% от тепловой мощности горелки). Недостатком растопочных горелок с поджиганием пылевзвеси высоковольтной дугой является недолговечность электродов, а также существенный расход электроэнергии. Перспективными представляются растопочные горелки с поджиганием пылевзвеси с помощью плазмотронов. Таким образом, разработка принципиально нового надежного способа поджигания пылевзвеси без использования газообразного или жидкого топлив с возможно меньшим расходом для этих целей электроэнергии представляет актуальную задачу [1-6].

Основной задачей является разработка схем растопочных пылесистем и устройств для поджигания угольной пыли с помощью электрорезисторного нагревателя применительно к котлам БКЗ – 75 Кызыльской ТЭЦ, где растопка ведется соляжкой (годовой расход около 600 т), котлам типа Е-500 Красноярской ТЭЦ-2, которые являются прообразом котлов типа П-67 Березовской ГРЭС. При этом следует отметить, что эффективность замены мазута рабочим топливом на Красноярской ТЭЦ-2 в связи с небольшим расходом мазута дает сравнительно небольшой эффект. Однако такая работа должна проводиться для отработки отдельных узлов

(электрозапальное устройство, растопочная пылесистема и др.) с перспективой разработки системы безмазутной растопки котлов типа П-67, где на одну растопку расходуется в настоящее время около 70 т жидкого топлива. В настоящее время рассмотрены вопросы поджигания только высокорекреационных канско-ачинских углей, содержащих 47-49% летучих. Для ТЭС, сжигающих угли с меньшим содержанием летучих, переход на безмазутную растопку и подсветку возможен при наличии на таких электростанциях отдельного склада высокорекреационного растопочного твердого топлива.

Разработка надежных и экономичных устройств для безмазутной подсветки факелов у некоторых типов паровых котлов позволит получить дополнительный экономический эффект за счет расширения регулировочного диапазона. Техничко-экономические показатели таких систем определяют в основном экономическую целесообразность перевода ТЭС на безмазутную растопку [7-11].

Литература

1. **Сеулин Н.А., Видин Ю.В.** Модернизация муфельных горелок. – Промышленная энергетика, 1988, № 10.
2. **Jentzsch W., Kamm J.** Umrusten der Zundfeuerung von Heizol auf Braunkohlenstaub im Braunkohlenkrafftfabrik Nideraubem. – „Braunkohle“, 1985, №1,2 35-39.
3. **Маршак Ю.Л.** Топочные устройства с вертикальными циклонами предтопками. – М: Энергия, 1966. – 242 с.
4. **Патент №4444551** США, МКИ³ 23 Д 23/00, НКИ 431/25. Система контроля за поджиганием газа/ Carl J. Mueller, Bernard T Brown/ Заявлено 27.08.81; Опубл.23.04.1984 г.
5. **Оспанов Б.С.** Разработка и исследование плазменного растопочного узла для прямоточных пылеугольных горелок котлов БКЗ-160-100. Автореф.дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук. Алматы, КазНИИЭнергетики, 1998.
6. **Выбор** запальных устройств для безмазутной растопки и стабилизации горения пылеугольных котлов / Сеулин Н.А., Иванников В.М., Видин Ю.В. и др. – Электрические станции, 1994, №11.
7. **Проблемы** внедрения безмазутной растопки котлов, сжигающих канско-ачинские угли / Сеулин Н.А., Иванников В.М., Видин Ю.В. и др. – Электрические станции, 2000, №6.
8. **Решение** некоторых проблем внедрения безмазутной растопки котлов, сжигающих канско-ачинские угли / Жуйков А.В., Видин Ю.В. – 5 Всероссийская Научно-практическая конференция и выставка 18 – 19 ноября 2004 г., Красноярск, Энергоэффективность: Достижения и перспективы, стр.33.
9. **Отечественный** и зарубежный опыт замены мазута углем при растопке подсветке факела парогенератора / Жуйков А.В., Видин Ю.В. – Вестник Ассоциации выпускников КГТУ, выпуск №10, стр 192, Красноярск 2004г.
10. **Патент РФ №2206824**, МПК F 23. Топка / Дубровский В.А., Зубова М.В., Деринг И.С., Евтихов Ж.Л. / Заявлено с 5/08, 6/04, 2003/.
11. **Внедрение** муфельных предтопков, разработанных на кафедре ТЭС КГТУ, - реальный путь снижения расходов мазута на растопку паровых котлов ТЭС / Дубровский В.А., Деринг И.С., Федченко М.П., Зубова М.В. – Вестник КГТУ, выпуск №28, Красноярск 2002г, стр. 40.

УДК 621.311.22

А.В. МОШКАРИН, д.т.н., проф., Б.Л. ШЕЛЫГИН, к.т.н., доц.
(ИГЭУ),
В.Н. ЗАЙЧИКОВ, инж.
(Ижевский котельный завод)

Оптимизация конвективной поверхности нагрева водогрейных котлов КВа-1,74ГМ и КВр-1,16К

Для выпускаемых на ИКЗ водогрейных котлов марок КВа-1,74ГМ и КВр-1,16К с увеличением числа промежуточных конвективных экранов n до четырех экономия топлива достигает соответственно 0,0031 м³/с и 0,005 кг/с согласно зависимости:

$$\Delta B = L (n - 1)^m,$$

где константы $L = 0,0017 \div 0,0029$, $m = 0,49 \div 0,53$ зависят от марки котлов и вида топлива.

Одновременно с утилизацией теплоты уходящих газов конвективные поверхности по сравнению с исходным вариантом возрастают на 30÷33 м², что повышает металлоемкость установок. Оптимальное количество промежуточных экранов определялось технико-экономическими расчетами на основании метода годовых затрат.

При ставке процента $i = 15\%$ и продолжительности реализации объекта 15 лет норма амортизации равнялась 0,021, а норма дисконта $P = 0,191$. Сравнительный анализ выполнялся применительно как к ценам 2004 г., так и на перспективу (2007 г.) при различных значениях числа часов использования максимума тепловых нагрузок $\tau_{\text{макс}}$.

Исследованиями установлено изменение расчетных капитальных вложений и издержек производства тепловой энергии при повышении числа промежуточных экранов n от одного (исходный вариант) до четырех. С увеличением числа часов работы $\tau_{\text{макс}}$ до 4000 ч заметно возрастает изменение топливных затрат, что требует дополнительной утилизации продуктов сгорания.

В зависимости от вида топлива минимальное значение суммарных годовых затрат ожидается при $n_{\text{опт}} = 2 \div 3$. Дальнейшее повышение количества экранов неперспективно, т.к. возможная экономия топливных затрат компенсируется затратами на капиталовложения и ремонт.

Получена обобщающая зависимость, позволяющая в случае оптимального количества промежуточных экранов $n_{\text{опт}}$ прогнозировать экономию годовых затрат при изменении цен топлива C_T и числа часов $\tau_{\text{макс}}$, руб:

$$\Delta Z = A K_c [1 + M (\tau_{\text{макс}} - 3000)],$$

где K_c , A и M – кратность повышения цен и коэффициенты, зависящие от марки топлива и числа $n_{\text{опт}}$.

С учетом ожидаемой инфляции для принятой компоновки котлов КВа-1,74ГМ и КВр-1,16К при низких скоростях газов целесообразно повышение количества промежуточных экранов до трех.

УДК 621.311.22

А.В. МОШКАРИН, д.т.н., проф., Б.Л. ШЕЛЫГИН, к.т.н., доц.
(ИГЭУ),
В.Н. ЗАЙЧИКОВ, инж.
(Ижевский котельный завод)

Исследование влияния поверхностей нагрева промежуточных экранов на показатели работы котлов ИКЗ

Ижевский котельный завод (ИКЗ) производит водогрейные котлы теплопроизводительностью 0,3÷1,74 МВт, радиационные и конвективные поверхности нагрева которых выполнены из труб диаметром $\varnothing 159 \times 4,5$ мм. В каждой секции трубы размещены с шагом 200 мм, а для отдельных экранов промежутки между трубами закрыты стальными полосами шириной 60 мм. При существующих уходящих конвективных поверхностях нагрева из-за высоких температур уходящих газов (200÷300 °С) КПД котлов брутто равен 75÷88 %, что ниже нормальных значений.

С использованием специально разработанной универсальной расчетной модели выполнено исследование изменения показателей работы установок с увеличением площадей конвективных поверхностей нагрева котлов. Анализ проводился для модификаций наиболее мощных котлов КВа-1,74ГМ и КВр-1,16К, соответственно сжигающих газовое и твердое топливо.

В результате увеличения числа промежуточных экранов n снижение температуры уходящих газов, °С, и изменение КПД, %, при различных температурах наружного воздуха $t_{нар}$ подчиняются зависимостям:

$$\Delta q_{yx} = T (n - 1)^a;$$

$$\eta_k = N + b (t_{нар} + 40) + c (n - 1)^d,$$

где константы $T = 43,3 \div 60,3$; $N = 75,12 \div 86,5$; $a = 0,61 \div 0,65$; $b = 0,036 \div 0,04$; $c = 2,33 \div 3,6$; $d = 0,49 \div 0,53$ зависят от марки котлов.

Если величина n возрастает до четырех, то температура уходящих газов достигает 130÷200 °С при соответствующем ее снижении Δq_{yx} по сравнению с базовым вариантом на 76÷111 °С. КПД котлов в зависимости от вида топлива и значения $t_{нар} = -40 \div +20$ °С повышается на 5÷8,5 %.

Эффективность конвективного тепловосприятия котлов может быть повышена за счет изменения компоновки поверхностей нагрева. В случае низких скоростей продуктов сгорания в газоходах котлов ИКЗ установлена целесообразность размещения в них дополнительного количества промежуточных экранов (от двух до трех).

Проведенный анализ и полученные математические зависимости позволяют дать на стадии проектирования оперативную оценку показателей работы новых модификаций водогрейных котлов ИКЗ при изменении различных режимных характеристик, и, кроме того, могут быть использованы для выбора рациональных условий их эксплуатации.

УДК 621.311

А.А. АНДРЕЕВ, асп., С.И. ШУВАЛОВ, д.т.н., проф.
(ИГЭУ)

Экспериментальное исследование работы динамического сепаратора

Углеразмольные мельницы ТЭС оборудуются центробежными статическими сепараторами типа ТКЗ-ВТИ, обладающими достаточно высокой эффективностью разделения и широким диапазоном регулирования границы разделения. Принципиальным недостатком этой конструкции является необходимость в ручной настройке сепаратора на получение требуемой тонкости пыли при изменении прочностных характеристик угля или режима работы котла.

Этого недостатка лишены динамические сепараторы с вращающимися завихрителями, у которых граница разделения настраивается изменением частоты вращения ротора. Для оценки влияния конструктивных и режимных факторов на характеристики разделения на стендовой установке ИГЭУ было проведено исследование работы модели сепаратора при разделении пыли кузнецкого угля. В качестве базовой конструкции взят сепаратор с вращающимся ротором и статическим предвключенным завихрителем, образованными вертикальными лопатками, установленными под различными углами.

В опытах варьировались расход воздуха через сепаратор, скорость вращения ротора, а также углы установки лопаток завихрителя и ротора. Результаты экспериментов показали, что при изменении частоты вращения от 91 до 287 об/мин граница разделения сепаратора снижается с 90 мкм до 23 мкм, что полностью перекрывает диапазон регулирования сепараторов ТКЗ-ВТИ. Вместе с тем частота вращения существенным образом также влияет на эффективность разделения. В зависимости от расхода воздуха, высоты зоны разделения и углов установки лопаток завихрителя и ротора коэффициент проскока крупных частиц в мелкий продукт изменяется в пределах от 0,5 (что превосходит показатели сепаратора ТКЗ-ВТИ и соответствует более эффективному статическому сепаратору ИГЭУ) до 2,3 (что значительно хуже, чем у сепараторов ТКЗ-ВТИ). При всех комбинациях режимных и конструктивных параметров наибольшая эффективность разделения достигается при равенстве тангенциальной составляющей скорости газа на выходе из завихрителя и окружной скорости ротора. Данное соотношение для требуемой границы разделения может быть обеспечено соответствующим выбором частоты вращения и угла установки лопаток завихрителя. При настройке на другую границу разделения целесообразно скорректировать расход воздуха.

Математическое моделирование движения частиц угля в барабане шаровой мельницы

Шаровые барабанные мельницы (ШБМ) своей конструкции они более всего приспособлены для получения достаточно мелкой пыли. За последнее время на ТЭС России стали применяться новые технологии сжигания углей (ВИР-технология, сжигание в кипящем слое), требующие подачу в топочную камеру значительно более крупных частиц. Существенную помощь в выборе режима работы пылесистемы, обеспечивающего получение такой пыли, может оказать математическое моделирование процессов, протекающих в барабане мельницы.

Принципиальным отличием ШБМ от мельниц других типов является аккумуляция в размольном пространстве мельницы большого количества измельчаемого материала. По этой причине значительное влияние на формирование условий измельчения оказывает движение материала вдоль барабана мельницы, определяющее время пребывания частиц различных размеров в зоне размола.

Для расчета процесса переноса частиц в барабане ШБМ предлагается математическая модель, учитывающая влияние режимных и конструктивных факторов, а также удельную плотность и дисперсный состав измельчаемого материала.

В поперечном сечении вращающегося барабана рассматриваются три характерные области: первая занята поднимающейся вверх по круговым траекториям плотным слоем шароматериальной загрузкой, вторую образует разреженный слой падающих частиц и шаров, остальное сечение барабана составляет «чистый» канал, по которому движется основное количество вентилирующего газа.

Перемещение частиц вдоль барабана происходит при подъемном движении за счет вытеснения плотного слоя и при падении под воздействием проходящего через разреженный слой потока газа и столкновений с частицами других размеров. Продолжительность подъема и падения частиц, а также площади характерных областей рассчитываются по траекториям движения в зависимости от диаметра барабана, скорости вращения и загрузки барабана шарами и материалом. Распределение газа по «чистому» каналу и разреженному слою рассчитывается исходя из равенства аэродинамического сопротивления канала и разреженного слоя.

Математическая модель в зависимости от режима работы мельницы позволяет рассчитать количество и время пребывания в барабане частиц различной крупности. При использовании известной модели измельчения

частиц предлагаемая математическая модель позволяет прогнозировать поведение вентилируемой ШБМ при различных режимах ее работы.

Выбор рациональной схемы слива дренажа второй ступени СПП турбоустановки К-1000-5,9 / 25

Турбоустановки для АЭС производства ПО «ТУРБОАТОМ» мощностью 1000 МВт имеют двухступенчатую схему промежуточного перегрева. Заводом предусмотрен слив дренажа второй ступени СПП в последний по ходу воды подогреватель высокого давления (ПВД-7). Дренаж из ПВД-7 каскадно сливается в ПВД-6 и далее деаэратор 0,7 МПа.

Эффективность такой схемы сама по себе не слишком высока. Кроме того, сброс довольно большого по величине ($G_{др}=85$ кг/с) горячего потока в деаэратор ухудшает его работу. Для повышения термодинамической эффективности утилизации теплоты дренажа, имеющего высокий энергетический потенциал ($t_{др}=272,4$ °С, $h_{др}=1197,9$ кДж/кг) более целесообразно использовать его для дополнительного подогрева питательной воды после ПВД в специальном теплообменнике (охладителе дренажа СПП).

Расчетный анализ различных схем включения охладителя дренажа (ОД) второй ступени СПП для турбоустановки К-1000-5,9/25-1 показал, что наиболее энергетически выгодным является его установка за группой ПВД со сливом охлажденного дренажа в ПВД-7. Температура питательной воды на входе в парогенератор повышается на $3,9$ °С, что дает прирост электрической мощности турбоустановки примерно 728 кВт.

С термодинамической точки зрения наиболее эффективной является непосредственный ввод дренажа второй ступени СПП при помощи специального насоса в линию питательной воды после ПВД. Однако работа насоса на воде с такой высокой температурой ($272,4$ °С) является ненадежной. Для повышения надежности схемы с перекачивающим насосом необходимо дренаж СПП предварительно охладить в охладителе дренажа.

Расчеты показали, что выигрыш в электрической мощности для такой схемы по сравнению с заводской составляет около 0,9 МВт. При этом запас до температуры насыщения составляет 40 °С.

В качестве перекачивающих насосов могут быть использованы электронасосы типа ЦНР 1500-115 или гидротурбонасосы КГТН 850-400, рассчитанные на перекачку воды с температурой 284 и 280 °С соответственно. Суммарная поверхность нагрева двух охладителей дренажа (по типу ОДС-600) составляет 1200 м².

УДК 621.039

А.Г. ИЛЬЧЕНКО, к.т.н., доц., А.В. ПОШТАРЕНКО, инж.
(ИГЭУ)

Анализ тепловой экономичности цикла двух давлений применительно к энергоблоку АЭС с ВВЭР-1000

Как известно, тепловая экономичность энергоблоков АЭС с реакторами типа ВВЭР-1000 относительно невысока вследствие низкого температурного уровня подвода тепла к циклу (начальное давление перед турбиной составляет около 5,9 МПа). Повысить тепловую экономичность можно за счет повышения среднетермодинамической температуры подвода теплоты, что может быть достигнуто применением цикла двух давлений (аналогично АЭС с газоохлаждаемыми реакторами [1]).

В [2] показано, что для условий серийного реактора ВВЭР-1000 в предвключенном парогенераторе (ППГ) установки, выполненной по схеме цикла двух давлений, может генерироваться насыщенный пар с давлением до 11,5 Мпа. При работе установки по схеме цикла двух давлений пар из ППГ направляется в дополнительный (предвключенный) цилиндр турбины, после которого осушается в сепараторе и поступает на вход цилиндра высокого давления (ЦВД) основной турбины К-1000-5,9/50, либо в промежуточные отсеки ЦВД.

При постоянных мощности реактора и подогреве теплоносителя в активной зоне увеличение мощности ППГ приводит к снижению давления генерируемого в нем пара, что несколько снижает эффект от применения цикла двух давлений.

Как показали расчеты, при вводе пара из предвключенного цилиндра на вход ЦВД главной турбины с ростом мощности ППГ тепловая экономичность сначала увеличивается, достигая максимума при $Q_{\text{ППГ}} = 490$ МВт, затем начинает снижаться. Максимальный прирост мощности турбины составляет около 27,4 МВт (эл.), что соответствует повышению электрического КПД нетто на 0,9%. При вводе отработанного пара из предвключенного цилиндра в промежуточные отсеки ЦВД с увеличением тепловой мощности ППГ тепловая экономичность монотонно возрастает. Максимальный выигрыш мощности (~ 45,8 МВт) достигается при вводе пара в ЦВД главной турбины после второго отсека. Расчеты выявили также эффективность повышения давления в основном парогенераторе до 6,8 МПа.

Литература

1. **Канаев А.А., Ратников Е.Ф., Копп И.З.** Термодинамические циклы, схемы и энергооборудование атомных электростанций.-М.:Атомиздат, 1976.
2. **Ильченко А.Г.** Эффективность применения дополнительного перегрева пара на АЭС с реакторами ВВЭР при использовании предвключенных парогенераторов // Вестник ИГЭУ.-2003.-Вып.3, с.3-7.

Способ и система теплоснабжения и горячего водоснабжения

В предложенной трехтрубной схеме теплоснабжения в системе транспортирования теплоты выделяют отдельную трубу для нагрузки горячего водоснабжения, подогрев воды осуществляют в трубном пучке конденсатора и в дополнительном подогревателе горячей воды, подключенному к нижнему отопительному отбору турбины. Все три трубные пучки конденсатора могут одновременно использоваться при раздельной подаче в каждый из этих пучков: сырой подпиточной воды для системы отопления из источника технического водоснабжения, подпиточной питьевой воды из городского водопровода на горячее водоснабжение и циркуляционной охлаждающей воды системы оборотного технического водоснабжения [1]. На подогрев воды на горячее водоснабжение используется пар только низких параметров из нижнего отбора и, соответственно, снижается расход пара более высоких параметров из верхнего отбора, что повышает теплофикационную выработку электроэнергии турбиной и эффективность теплофикации. По сравнению с двухтрубной схемой теплоснабжения и горячего водоснабжения отпадает необходимость в циркуляции сетевой воды в неотапительный период по условиям нагрузки горячего водоснабжения. Температурный график теплосети при любых температурах наружного воздуха будет выдерживаться только по режиму отопления (без срезки по условиям горячего водоснабжения), что также увеличивает теплофикационную выработку электроэнергии на ТЭЦ, снижает тепловые потери в тепломагистралях и расход электроэнергии на перекачку теплоносителя. За счет изменения температурного режима трубопроводов тепловой сети снизится их коррозия, что повышает надежность. Удельный расход условного топлива на 1 ГДж нагрузки горячего водоснабжения уменьшится не менее чем на 5-6 кг.

Особенно эффективно применение указанной системы теплоснабжения и горячего водоснабжения при модернизации и реконструкции существующих систем теплофикации. Для этого достаточно дополнительно создать однотрубную схему горячего водоснабжения, чтобы увеличить отпуск теплоты от ТЭЦ присоединенным потребителям на долю тепловой нагрузки горячего водоснабжения, что позволяет при этом повысить надежность и экономичность систем теплоснабжения и горячего водоснабжения при минимальных капитальных затратах.

Литература

1. **Шкода А.Н., Шкода В.Н., Шкода Н.И.** Способ и система теплоснабжения и горячего водоснабжения // ЕАФВ. Бюллетень № 6, 2003.12.25. – С.51. Заявка на изобретение 200300414. Решение о выдаче евразийского патента от 28 января 2005 г.

УДК 621.311.22

А.А. КУДИНОВ, д.т.н., проф., А.С. КУВЫКИН, И.А. ГОРБАЧЕВ, студ.
(СамГТУ)

Исследование режимов работы внутреннего контура теплосети Тольяттинской ТЭЦ

Целью исследований является оценка потенциальных возможностей работы внутреннего контура теплосети Тольяттинской ТЭЦ (То ТЭЦ) в связи с перспективным увеличением ее тепловой нагрузки на 120 и 320 Гкал/ч. Для покрытия теплофикационной нагрузки на ТоТЭЦ установлено 6 бойлерных установок, включающих 5 бойлеров ПСВ-500, 2 – ПСГ-1300, 5 – ПСГ-2300 и 6 ПВК типа ПТВМ-100. Для осуществления циркуляции сетевой воды в турбинном цехе ТоТЭЦ установлены 12 сетевых и 8 подпорных насосов производительностью 1000 т/ч (4 шт.) и 2500 т/ч (16 шт.). Особенностью теплосети ТоТЭЦ является нерациональное расположение и запутанность обвязки трубопроводов в районе ПВК, зауженность диаметров ряда трубопроводов и др., что обусловлено постепенным вводом мощностей станции.

Для исследования гидравлических и тепловых режимов работы теплосети была построена ее компьютерная модель, включающая графическую схему соединения элементов сети и базу данных, в которой хранится полная информация об элементах сети. Модель позволяет воспроизводить различные варианты работы теплосети, как по составу задействованного оборудования, так и при различных исходных данных режимного характера. Задача гидравлического расчета сети ТоТЭЦ заключалась в определении расходов и давлений по всем участкам и узловым точкам схемы и затрат электроэнергии на перекачку жидкости. Расчетная информация позволяет выполнять детальный анализ состояния системы и оценивать влияние любого параметра на это состояние. Полученное в результате гидравлического расчета потокораспределение является основой тепловых расчетов и определения температуры воды в любой точке системы, в том числе и с учетом потерь в окружающую среду. Компьютерная модель может быть адаптирована для расчета и других распределительных систем практически любой сложности.

Выполнены исследования режимов работы теплосети ТоТЭЦ при увеличении ее тепловой мощности на 120 и 320 Гкал/ч. Рассмотрено несколько режимов работы теплосети, различных по составу работающего оборудования (насосов и сетевых подогревателей), при которых обеспечиваются заданные давления на тепловыводах с учетом допустимых отклонений по нормам ПТЭ. Для каждого режима определены температуры сетевой воды на тепловыводах. Выявлены режимы, которые позволяют получить $t_{\max}=120^{\circ}\text{C}$ (без ПВК) и определены условия, при которых такие режимы возможны (загрузка пиковых бойлеров или мероприятия по реконструкции). Режимы, которые не обеспечивают t_{\max} , могут использоваться при пониженном температурном графике.

Подсекция «ТЕХНОЛОГИЯ ВОДЫ И ТОПЛИВА НА ТЕПЛОВЫХ И АТОМНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СТАНЦИЯХ»

УДК 621.187

Е.В. КОЗЮЛИНА, ассист. Ю.Ю. ТИХОМИРОВА, асп., (ИГЭУ)
С.В. КИЕТ, студ. (МЭИ)

К вопросу повышения надежности измерений удельной электропроводности и рН в системах химико-технологического мониторинга на ТЭС

Анализ возможных видов нарушений ВХР и изменение при этом показаний приборов АХК показал, что различные нарушения ВХР КПП часто вызывают сходную реакцию показаний приборов АХК, с нарушениями в самой измерительной системе. Это значительно затрудняет идентификацию нарушений ВХР, особенно на ранней стадии развития ситуации. Опыт показывает, что нестабильность в измерении рН часто связана с изменением расхода пробы через датчик рН–метра (с увеличением расхода показания рН–метра уменьшаются). Другая возможная проблема в измерениях связана с изменением температуры пробы. Часто температура пробы может колебаться в пределах от 15 °С до 40 °С. Таким образом, при использовании результатов приборных измерений следует разделять нарушения связанные с ВХР от нарушений в измерительной системе.

Учитывая возможные нарушения в работе самих приборов, следует перед поиском причины нарушений ВХР проверить результаты измерений на приемлемость. Термин приемлемости вводится ГОСТ Р ИСО 5725-6-2002 и рекомендуется для химконтроля теплоносителя АЭС [1].

Следует отметить, что данные АХК, не получившие надежного обобщенного признака приемлемости, не заносятся в базу данных и требуют проверки и устранения причин, вызвавших это явление.

Любой факт получения неприемлемых данных может использоваться системой в качестве сигнала для начала процедур по выявлению причин этого события и тем самым обеспечивать дополнительную самодиагностику системы СКУ ВХР, а также выявлять ситуации в технологическом цикле на ранних этапах их развития.

Таким образом, использование комплекса процедур по проверке результатов измерений АХК позволяет повысить информативность диагностики ВХР и устойчивость работы систем измерения и контроля.

Литература

1. **Разработка системы контроля и управления водно-химическими режимами 1 и 2 контуров АЭС с ВВЭР–1000.** В.А. Гашенко, А.Р. Преловский, А.В. Ульянов и др.// Материалы Международного научно-технического совещания «Водно-химический режим АЭС» М. – Десногорск, 2003.

УДК 621.187

Е.В. КОЗЮЛИНА, ассист., Н.А. ЕРЕМИНА, к.т.н., доц., Б.М. ЛАРИН, д.т.н., проф.
(ИГЭУ)

Алгоритм поиска причины нарушений водно-химического режима по показаниям приборов автоматического химконтроля

Опубликованный в 2001 году руководящий документ «Общие технические требования к системам химико-технологического мониторинга водно-химических режимов тепловых электростанций» дает такое определение: СХТМ предназначена, во-первых, для оперативного комплексного автоматизированного контроля и анализа состояния ВХР и, во-вторых, для диагностики и прогнозирования нарушений водно-химического режима энергоблока во всех режимах его работы, включая пуски и остановки.

В литературе приводятся возможные блок-схемы поиска причины нарушений, в частности, при выходе за норму (измеренная величина больше допустимого значения) величины удельной электропроводности Н-катионированной пробы и рН питательной воды барабанного котла.

Приведенные схемы помогают в поиске причины конкретного нарушения ВХР, однако имеют ряд недостатков, а именно:

а) неучтены возможные нарушения в измерительной системе, нередко совпадающие по отклонениям измерений с нарушениями ВХР;

б) отсутствует проверка показаний методами автоматического или ручного химанализа;

в) перевод поиска в другой алгоритм (от нарушений рН к нарушениям удельной электрической проводимости Н-катионированной пробы, а возможно и далее;

г) спорными остаются критерии окончания поиска нарушения ВХР: от определения «вида нарушения» до указаний действий по устранению нарушения, и далее. Уровни действий по устранению нарушения (например: в течение 1 часа, в течение 1 суток, в течение 30 суток как на АЭС).

На кафедре ХХТЭ ИГЭУ был разработан алгоритм поиска причины нарушения ВХР отличающийся тем, что анализ предлагается проводить не по одному, а по трем приборным измерениям: по результатам измерений удельной электропроводности исходной и Н-катионированной пробы и величины рН. Использование предложенного алгоритма позволяет диагностировать нарушения ВХР на ранних стадиях развития ситуаций и разделять нарушения связанные непосредственно с ВХР от нарушений связанных работой приборов.

УДК 621.187

А.Б. ЛАРИН, БАТТИ М.К.Л., асп, А.Р. ГОРНУШКИН, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Анализ технологической эффективности схем химической очистки воды в условиях промышленной эксплуатации

Разнообразные предложения по совершенствованию технологии химического обессоливания воды на ТЭС можно разделить на 2 группы:

совершенствование технологии химического обессоливания на базе действующих установок с целью сокращения расхода реагентов и стоков; разработка схем химвобессоливания на основе новых фильтров и методов ионного обмена.

Проведенное исследование подтвердило технологическое преимущество противоточного ионирования, которое достигается как небольшой реконструкцией установленного оборудования (Блок фильтров БФ-6 ТЭЦ-21 ОАО «Мосэнерго»), так и созданием новых глубоко автоматизированных установок (ХВО стана 2000 ОАО «Северсталь»).

Тенденция увеличения единичной производительности ионитных фильтров отвечает требованию экономической эффективности проекта ВПУ и вместе с усложнением технологии регенерации противотоком требует практически полной автоматизации ионитной установки. Последнее условие в отечественных разработках реализуется, к сожалению, очень слабо.

Большой выбор ионов способствует разработке и внедрению перспективных технологий ионообменной обработки природных вод на отечественных ТЭС. Однако, требуется организация надежного «входного контроля» ионов, например, как принято на Смоленской АЭС. Наряду с этим необходимо обратить внимание на особенность значительной части природных вод России, характеризующихся повышенным содержанием железоорганических соединений при средней или малой жесткости. Недооценка этого фактора, наряду с низкой технической культурой эксплуатации не только может ухудшить технологические показатели противоточных фильтров ВПУ (ХВО «Амкар»), но и снижают надежность выработки химвобработанной воды заданного качества, что может привести к нарушению водоснабжения потребителя.

При этом следует помнить, что резерв повышения технологической эффективности и экологического совершенства практически всех водоподготовительных установок отечественных ТЭС кроется в оптимизации принятого технологического процесса и автоматизации химконтроля качества обрабатываемой и отмывочной воды.

Оптимизация ионообменных процессов ХВО путем подбора ионитов

В настоящее время в России способ химического обессоливания воды на ионообменных фильтрах является наиболее распространенным. Подавляющее большинство химводоочисток пущены в эксплуатацию более 15 лет назад. Изменения экологии привели к тому, что изменился ионный состав примесей воды многих источников водоснабжения ТЭС. В ряде случаев состав примесей воды, подаваемой на ВПУ, существенно отличается от состава примесей воды, положенного в основу ее проекта. Снижение энергетических нагрузок на большинстве станций привело к снижению требуемой производительности ВПУ. При этом условия эксплуатации загруженных ионитов вынужденно нарушаются.

Сложилась традиция разделять процесс ионирования на две или три ступени, причем в каждую ступень входят как катионитные, так и анионитные фильтры. Компоновка ионообменных фильтров при ступенчатом ионировании в блоки («цепочки») позволяет обеспечить условия для автоматизации процессов контроля и управления, как в период работы, так и в период регенерации.

Обязательным условием эксплуатации цепочки является одновременность отключения на регенерацию всех входящих в нее фильтров, не зависимо от степени их истощения. Следовательно, важнейшим фактором экономичности таких ХВО является одновременность истощения ионитов, загруженных в фильтры цепочки. Одним из способов выполнения данного условия является правильный подбор ионитов.

В основу предлагаемого принципа подбора ионитов положены следующие условия:

- Максимально возможное равенство ионной нагрузки и сорбционной возможности ионитов.
- Фильтроциклы катионитные и анионитные равны для «цепочки» и максимально близки или кратны для «полу-цепочки» и «гребенки».
- Равные фильтроциклы одноименных фильтров с учетом максимально возможной высоты загрузки и скорости фильтрования.

Разработана методика прогноз-расчета, позволяющая подобрать иониты с учетом их обменной емкости, технологических ограничений эксплуатации и геометрических характеристик фильтров.

Если прогноз-расчет делается для вновь проектируемой установки, то диаметры фильтров входящих в цепочку подбираются, а для существующих установок принимаются как постоянные.

УДК 621.165

А.В. ЕВСЮТИН, м.н.с., А.В. БОГЛОВСКИЙ, к.т.н., с.н.с., (МЭИ),
А.Н. ПЛАХИН, инж. (Псковская ГРЭС)

Внедрение оксихлорида алюминия в качестве перспективного коагулянта на Псковской ГРЭС

На большинстве станций России в качестве коагулянта используется сульфат алюминия. Применение этого коагулянта приводит к получению осветленной воды с высокой агрессивностью и низкой эффективностью удаления органических примесей. Для условий Псковской ГРЭС, где окисляемость исходной воды (р. Шелонь) достигает 40-45 мгО/л, а щелочность не превышает 1-1,2 мг-экв/л, сложность связана с необходимостью проведения коагуляции при практически нулевой остаточной щелочности и дополнительном подщелачивании.

Предварительные лабораторные исследования коагуляции воды р. Шелонь позволили определить наиболее оптимальный коагулянт ОХА с модулем основности 2/3 и его оптимальную дозировку. В ходе промышленных испытаний на Псковской ГРЭС уточнялись дозы реагентов и оценивалась необходимость подщелачивания исходной воды.

Таблица **Результаты испытаний коагуляции воды на ПГРЭС**

Коагулянт	Исходная вода					Доза реагентов		Выход из осветлителя				
	Щ _{исх} , мг-экв/л	Ж _{исх} , мг-экв/л	Ок, мгО/л	SiO ₂ , мг/л	рН	D _щ , мг-экв/л	D _к , мг/л Al ₂ O ₃	рН	Щ, мг-экв/л	Ок, мгО/л	Мутн, мг/л	Fe, мкг/л
Al ₂ (SO ₄) ₂	0,8	1,0	21,6	3,5	7,4	0,3	32	5,3	0,03	5,2	0,15	60
ОХА 2/3	0,8	1,0	21,6	3,3	7,3	0,1	34	6,1	0,23	5,2	0,12	38
	0,7	1,02	21,6	3,4	7,3	0	21	6,4	0,31	5,8	0,15	36

Переход на коагуляцию оксихлоридом алюминия в режимах работы с минимальным подщелачиванием и без подщелачивания не привел к каким-нибудь нарушениям в работе осветлителя: качество осветленной воды по окисляемости, мутности, содержанию железа примерно соответствовали этим показателям при коагуляции серноокислым алюминием. При этом режим работы шламового фильтра был стабильным. Сравнение результатов коагуляции в режиме с подщелачиванием показывает, что применение ОХА взамен сульфата алюминия при практически одинаковых дозах коагулянтов позволяет существенно снизить дозу щелочи и уменьшить агрессивность воды: оптимальное значение рН составляет 6,1-6,2 вместо 5,3. В режиме с минимальным подщелачиванием качество воды при коагуляции ОХА практически по всем показателям выше, чем при существующей технологии. Полный отказ от подщелачивания позволяет стабильно получать воду достаточно высокого качества с рН от 6,2 до 6,4 при дозах ОХА в пределах от 20 до 30 мг/л. Кроме того, применение ОХА позволяет на 10-15% увеличить продолжительность фильтроциклов цепочек ВПУ, т.е. снизить расходы на собственные нужды.

УДК 362.3

Д.Р. ХАЗИАХМЕТОВА, ассист., В.В. ШИЩЕНКО, д.т.н., проф.
(МЭИ)

Осаждение сульфата натрия из концентрата испарителей вымораживанием

Испарители применяются для подготовки пресной и обессоленной воды. Этот способ относят к технологиям повышенной экологической безопасности, так как не требуются ввод большого количества реагентов. Однако в результате его использования образуется концентрат солей, сброс которых в водоисточник затруднителен и требует разбавления маломинерализованными водами, либо необходима дальнейшая его обработка с целью выделения основной массы содержащихся в концентрате минеральных компонентов. Основными компонентами концентрата испарителей, работающих на воде слабосоленых источников с предварительным Na-катионированием, являются сульфат и хлорид натрия. Растворимость сульфата натрия в монорастворе меняется с изменением температуры и в диапазоне до 100 °С имеет максимальное значение при $t=31,5$ °С. С уменьшением температуры растворимость падает быстрее, чем с её ростом и при $t=0$ °С составляет 41,2 г/л, а при -20 °С – 2 г/л. Рост концентрации хлорида натрия в растворе снижает равновесную концентрацию сульфата натрия. В концентрате испарителей содержание сульфата натрия достигает 47,6-74,1 г/л. Следовательно, возможно выделение чистой соли в виде $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ при охлаждении раствора до температуры 0 °С. При этом значительно снизится сброс солей в окружающую среду. Был проведен ряд экспериментов по осаждению сульфата натрия из концентрата испарителей охлаждением. Эксперимент в таблице. Анализ результатов показал, что осаждение сульфата натрия осуществляется довольно быстро, и при 0 °С его остаточное содержание проводился в лабораторных условиях. Температура в морозильной камере составляла минус 15-20 °С. Исследования проводились на концентрате испарителей Казанской ТЭЦ-2 и его имитате, приготовленном на дистиллированной воде.

Результаты эксперимента представлены в таблице. Удельный расход воды на отмывку составил около $1 \text{ м}^3/\text{м}^3$ соли.

Таблица. Результаты экспериментов по выделению сульфата натрия из концентрата испарителей при охлаждении.

Измеряемая величина	Имитат			Концентрат испарителей Казанской ТЭЦ-3		
	исходный	солевой	концентрат	исходный	солевой	концентрат
Объем, мл	400	80	320	360	120	240
Сульфаты, г/л	41,28	119,7	20,16	36	112,2	20,16
Хлориды, г/л	5,19	4,96	5,98	6,37	6,74	6,76
Щелочность, г/л	0,49	0,42	0,46	0,49	0,49	0,49

Бессеточный фильтр воды для тепловых электростанций

Проблема очистки охлаждающей воды на тепловых электростанциях в настоящее время особенно важна. Анализ современных способов очистки воды показал, что применяемые на тепловых электростанциях устройства не должны иметь малоэффективные вращающиеся сетки.

В 1998 г. была разработана и внедрена на Чернобыльской АЭС принципиально новая установка по очистке охлаждающей воды от загрязнения. Был запатентован бессеточный центробежный механический фильтр с тремя ступенями очистки.

На рис.1 приведен разрез фильтра, установленного в подводящем циркуляционном водоводе третьего энергоблока Чернобыльской АЭС.

Принцип действия фильтра основан на использовании центробежного эффекта потока воды после его прохождения через неподвижный завихритель. Под действием центробежной силы частицы мусора отбрасываются к внутренней стенке фильтра с последующим улавливанием их ступенями очистки, из которых с частью воды удаляется через тангенциальный отвод в емкость или сливной водовод.

Более чем трехлетняя промышленная эксплуатация бессеточного фильтра на Чернобыльской АЭС показала, что средний коэффициент очистки циркуляционной воды перед конденсаторами паровых турбин третьего энергоблока составил около 99,5%.

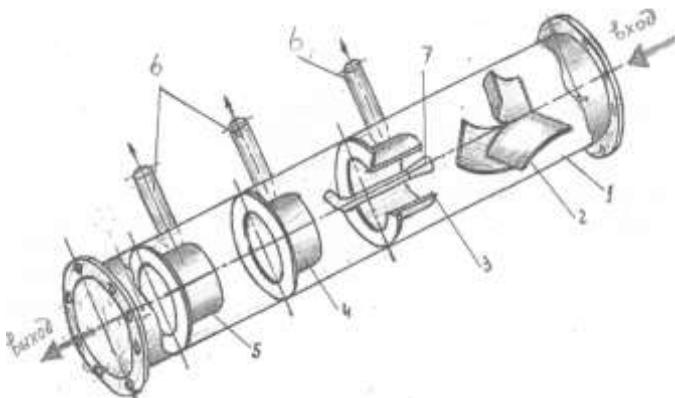


Рис.1. Фильтр бессеточный центробежный

1 – корпус фильтра, 2 – аппарат закручивающий (завихритель), 3 – первая ступень очистки, 4 – вторая ступень очистки, 5 – третья ступень очистки, 6 – тангенциальные отводы сброса мусора в сливной водовод (емкость), 7 – сборник легкой фракции мусора.

УДК 621.3

С.В. АБРАМОВ, асп., Г.Я. ВАГИН, д.т.н., проф., В.Г. ТИТОВ, д.т.н., проф.
(НГТУ, г. Н. Новгород)

Особенности построения автономной системы электропитания на базе батареи топливных элементов

Затраты на изготовление и использование топливных элементов в настоящее время постепенно снижаются, и стоимость альтернативной электроэнергии скоро будет сравнима с тарифами энергетических компаний. Также наблюдается уменьшение стоимости мощных полупроводниковых устройств на фоне увеличения их эффективности, надежности и качества преобразования электроэнергии. Оба этих аспекта вскоре позволят автономным системам электропитания на базе топливных элементов (АСЭП ТЭ) интенсивно завоевывать позиции в той части рынка электроэнергии, которая ориентирована на сравнительно мелких потребителей. Именно здесь недорогой и эффективный преобразователь мощности батареи ТЭ (ПМ БТЭ) способен решить задачу широкого внедрения альтернативной водородной энергии на коммерческий рынок. Бытовое применение АСЭП на базе ТЭ обладает вполне определенной спецификой.

Прежде всего, в состав таких систем входят аккумуляторы энергии (батареи химических источников тока, суперконденсаторы, маховики и т.д.), призванные обеспечить работу системы в периоды пиковых нагрузок и при переходных процессах. Это обусловлено большим временем отклика ТЭ на скачкообразные изменения нагрузочного тока.

Второй особенностью таких систем в силу характера применения является значение их номинальной мощности, составляющее несколько десятков киловатт, в то время как пиковые нагрузки могут превышать это значение на 20-30%.

Поскольку основным предназначением ПМ как одного из главных компонентов АСЭП ТЭ является трансформирование постоянного напряжения БТЭ в регулируемое переменное напряжение, то преобразование мощности происходит в два основных этапа. На первом преобразователь постоянного тока трансформирует относительно низкое постоянное напряжение БТЭ до значения, при котором обеспечивается нормальная работа инвертора. На втором этапе для преобразования постоянного напряжения с выхода предыдущего каскада в переменное необходимой величины используется инвертор. Наличие этих двух этапов преобразования мощности является третьей особенностью описываемых систем.

Литература

1. **Коровин Н. В.** Электрохимическая энергетика. – М.: Энергоатомиздат, 1991.
2. **Mohan N., Undeland T., Robbins W.** Power electronics: converters, applications and design, John Wiley & Sons, Inc., Chichester, England, 1995.

Ограничение накипеобразования в насосном оборудовании нефтяных скважин и мазутного хозяйства ГРЭС

Надежность и экономичность систем откачивания нефти из скважин, а также перекачки мазута в мазутном хозяйстве ГРЭС во многом определяется наличием отложений на поверхностях рабочих колес и направляющих аппаратов погружных насосов. Проблемам накипеобразования в этих условиях посвящено достаточно много исследований. Они в основном направлены на оценку эффективности методов ограничения образования отложений, обычно применяемых в таких отраслях промышленности как химическая и энергетика: спецподготовка воды, стабилизация, ввод ингибиторов и др. Однако возможность применения этих методов в условиях откачки нефти ограничена, прежде всего технологически.

Среди нетрадиционных методов, применение которых возможно в этих условиях, следует отметить виброакустическую обработку воды и омываемой ею металлоконструкции оборудования. Этот метод при своей реализации не требует сколько-нибудь существенных капитальных и текущих затрат. Он требует только обязательной предварительной отладки как конструктивных характеристик виброакустических устройств, так и их технологических параметров (амплитуда, частота) в соответствии с условиями работы конкретного обрабатываемого оборудования.

Для проверки работоспособности данной технологии были изготовлены несколько бесконтактных магнитных вибраторов с различными частотами возбуждаемых колебаний (200, 300, 600 Гц), подготовлен экспериментальный стенд с насосами, реально применяемыми на нефтяных промыслах. Для сокращения времени исследования применялся метод ускоренного образования отложений – использование специальных растворов солей. Результаты исследований показали, что интенсивность солеотложения при действии вибрации, создаваемой вибратором с основной частотой возбуждаемых колебаний 600 Гц, уменьшилась с $0,87 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$ до $0,45 \text{ г/м}^2 \cdot \text{ч}$, т. е. почти в два раза, что подтверждает принципиально наличие значительного положительного эффекта.

СЕКЦИЯ 6. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ И УСТАНОВКАМИ

УДК 62-83-52

В.А. БАРЫШНИКОВ, к.т.н., доц.
(Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Смоленске)

Управление выпрямителем в роторной цепи асинхронного двигателя

В традиционном варианте асинхронного электропривода с фазовым регулированием в трехфазном мостовом выпрямителе, включаемом в роторную цепь, применяются не полностью управляемые приборы – тиристоры [1]. С появлением полностью управляемых силовых вентилях (GTO-тиристоров, IGBT-транзисторов и др.) стало возможным управление выпрямителем по принципу широтно-импульсной (ШИМ) или импульсной (ИМ) модуляции. Свойства электропривода при таких способах управления выпрямителем не изучены.

При ШИМ, как и при фазовом регулировании, используется система импульсно-фазового управления (СИФУ) с вертикальным принципом управления. Поскольку работа вентилях синхронизируется с роторным напряжением, частота которого пропорциональна скольжению, обеспечение постоянства амплитуды опорного пилообразного напряжения достигается путем изменения наклона пилы в зависимости от скольжения. Отличие ШИМ заключается в том, что интервалы возможной проводимости вентилях заполняются не одним, а несколькими пилообразными сигналами кратности 6. Скважность импульсов управления в зависимости от уровня напряжения управления изменяется от 0 до 1.

При ИМ сигнал управления поступает на компаратор, формирующий управляющие импульсы единичного или нулевого состояния в интервалах возможной проводимости вентилях. Здесь СИФУ предельно упрощается, поскольку не требуется организации опорных пилообразных напряжений и стабилизации их амплитуд.

В среде MATLAB Simulink разработаны модели, реализующие ШИМ и ИМ. Как установлено, при этих способах управления достигается эффект плавного изменения эквивалентного активного добавочного сопротивления, зависящего от параметров снабберных цепей, что характерно для коммутации активно-емкостного сопротивления в цепи выпрямленного тока. Разработана методика анализа и синтеза замкнутых систем управления в «малом» по цепи выпрямленного тока ротора. Для уменьшения влияния электромагнитных явлений на момент двигателя при пуске рекомендуется предварительное включение статора с временной задержкой в три периода сети.

Литература

1. Барышников В.А. Асинхронный электропривод с фазовым регулированием в роторной цепи. Труды III Междунар. (XIV Всеросс.) научно-технич. конф. по автоматизированному электроприводу «АЭП-2001». Н. Новгород: «Вектор-Тис», 2001, с. 62-64.

Повышение перегрузочной способности преобразователя частоты с помощью динамической модели тепловых процессов IGBT-модуля

Важнейшим условием надежности работы преобразователя частоты является наличие защиты силовых ключей от токовых перегрузок. Критическим параметром является предельная рабочая температура кристаллов IGBT. Из-за сложности непосредственного измерения температуры кристаллов защита преобразователя традиционно осуществляется на основе контроля температуры охладителя или корпуса модуля. Очевидно, что вследствие инерционности датчиков и наличия переходных тепловых сопротивлений «охладитель-корпус» и «корпус-кристалл», такой способ обеспечивает эффективную защиту модуля только при относительно длительных перегрузках с небольшими кратностями тока. Для устранения этого недостатка предлагается использование динамической тепловой модели силовых ключей, работающей в реальном масштабе времени.

При построении модели используется информация о предельной рабочей температуре, статических, динамических и тепловых характеристиках силового модуля. Расчет потерь в ключах и мгновенных значений превышения температуры кристаллов относительно температуры корпуса осуществляется исходя из реального алгоритма работы инвертора. Переходное тепловое сопротивление «корпус-кристалл» IGBT и диодов аппроксимируется следующей зависимостью:

$$Z_{hi}(t) = \sum_{i=1}^n R_{hi} (1 - e^{-\frac{t}{\tau_{hi}}}), \quad i = 1, 2, \dots, n,$$

где n – количество участков разбиения области «корпус-кристалл»; R_{hi} , τ_{hi} – тепловое сопротивление и эквивалентная постоянная времени нагрева i -го участка.

Установлено, что выбор количества участков разбиения более трех, несущественно сказывается на точности аппроксимации переходного сопротивления.

Представленный способ реализации температурной защиты позволяет выполнять непрерывный контроль теплового состояния всех силовых элементов схемы, что дает возможность использовать IGBT-модули стандартной конструкции (с одним резистивным термодатчиком в центре подложки модуля) вместо специализированных даже в широкодиапазонных электроприводах с преобразователями частоты.

Алгоритм температурной защиты на основе динамической тепловой модели IGBT- модуля реализован в преобразователях частоты серии ЭПВ, выпускаемых ООО «ЭЛПРИ» ЧЭАЗ.

УДК 621.3.072.6

С.В. ЖУРАВЛЕВ, инж., Н.Е. ГНЕЗДОВ, асп., В.Л. ЧИСТОСЕРДОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Многофункциональный программно-аппаратный комплекс управления преобразователями частоты серии ЭПВ

Одним из неотъемлемых требований, предъявляемых к современным преобразователям частоты (ПЧ), является наличие у них широких коммуникационных возможностей. Новая серия преобразователей частоты ЭПВ, разработанная НИЛ «Вектор», имеет каналы связи RS232/RS485 и CAN. Возможно аппаратное расширение с использованием стандартов USB, Ethernet.

Разработано программное обеспечение, позволяющее использовать ПЧ в составе промышленной сети Modbus или CANOpen длиной линии до 1 км и скоростью обмена данными до 1 Мбод. Большой словарь параметров ПЧ – список доступных через коммуникационные каналы параметров предоставляет возможность точного и гибкого управления ПЧ в реальном времени и получения информации о состоянии ПЧ и структуре промышленной сети.

Разработан адаптер PC-CAN/RS485 для объединения до 246 устройств в сеть Modbus и до 126 устройств в сеть CANOpen с управлением от компьютера или промышленного контроллера. Адаптер может использоваться для построения многоуровневых сетей, для обмена данными между сетями Modbus с разным форматом кадра (ASCII, RTU).

Программное обеспечение комплекса для ПК представляет собой мультидокументный интерфейс пользователя, реализующий возможность функционирования в двух режимах по отношению к управляемому ПЧ (online/offline). Программный комплекс позволяет:

- просматривать и редактировать параметры и переменные ПЧ, с последующей загрузкой изменений в ПЧ; для быстрого доступа к основным узлам ПЧ используются мнемосхемы соответствующих объектов;
- рассчитывать параметры регуляторов и других переменных на основе данных, введенных пользователем;
- организовать мониторинг основных переменных и флагов состояния ПЧ с заданной частотой обновления, в том числе и в графическом виде (режим осциллографа);
- формировать управляющие сигналы ПЧ, в том числе с использованием циклограмм работы и построением внешних контуров регулирования;

Интерфейс подразумевает использование трехуровневой политики доступа к элементам управления и настройки объектов управления, обеспечивающей режим разделения ролей «пользователя» и «наладчика».

УДК 621.3.072.6

В.Л. ЧИСТОСЕРДОВ, к.т.н., доц., И.Ю. КОЛОДИН, инж.
(ИГЭУ)

Адаптивная автонастраиваемая система векторного управления бездатчиковым асинхронным электроприводом

Разработана новая серия асинхронных электроприводов с векторными принципами управления и нетребующих датчика механических координат двигателя, обладающая функциями адаптации к изменениям параметров статорной и роторной цепей, динамическим неидеальностям инвертора и автонастройки параметров системы управления на параметры силового канала привода. Область применения таких систем: механизмы, предъявляющие повышенные требования к динамическим характеристикам привода, у которых установка датчика на вал двигателя нецелесообразна по технико-стоимостным показателям, либо принципиально невозможна вследствие особенностей технологии производства.

Разработан адаптивный алгоритм наблюдения за состоянием электропривода, позволяющий вычислять все необходимые для векторного управления приводом переменные, включая оценки потокосцепления ротора, электромагнитного момента, скорости в диапазоне от нулевой до удвоенной номинальной частоты. Устойчивость наблюдателя состояния во всем диапазоне работы электропривода обеспечивается за счет изменения структуры наблюдателя в области малых скоростей и скольжений.

Алгоритм компенсации неидеальностей инвертора напряжения позволяет минимизировать влияние задержек переключения и «мертвой» зоны в коммутациях верхнего и нижнего ключей фазы на точность задания напряжения статора и, как следствие, снижает пульсации на малых уровнях скорости и расширяет диапазон ее регулирования.

Алгоритмы адаптации к изменению параметров двигателя особенно актуальны в электроприводах данного класса, поскольку сводят к минимуму погрешность вычислений наблюдателя, связанных с параметрическим несоответствием реального объекта и модели, заложенной в наблюдателе, что делает электропривод инвариантным к изменению параметров двигателя.

Характеристики бездатчикового электропривода с векторной системой управления исследованы в НИЛ «Вектор». Электропривод обеспечивает двукратную перегрузочную способность по моменту при работе в первой зоне регулирования скорости (с постоянством потокосцепления ротора) в диапазоне регулирования 50:1. Полоса пропускания контура скорости двигателя составила не менее 20 Гц. Диапазон регулирования скорости вверх от номинальной составляет 1:2.

УДК 621.3.072.6

М.С. ЩЕРБАКОВ, асп., Д.А. МОНОВ, инж.
(Ивановский государственный энергетический университет)

Исследование алгоритмов ШИМ для улучшения энергетических характеристик рекуперативного IGBT выпрямителя

В настоящее время в преобразователях частоты с векторным управлением часто используется широтно-импульсная модуляция с коммутацией ключей по алгоритму «центрированный ШИМ» (центрированный «треугольник») формирования выходного напряжения. Однако повышение качества электромагнитных процессов, а также улучшение энергетических показателей системы электропривода требуют реализации алгоритмов ШИМ по определенным критериям.

Основное отличие в работе модулятора рекуперативного блока от модулятора преобразователя частоты заключается в диапазоне изменения модуля задающего вектора напряжения. Необходимость постоянной работы с максимальным значением задания по амплитуде снижает эффективность использования популярного алгоритма «центрированный ШИМ». В данном исследовании проведен анализ основных законов коммутации (центрированный «треугольник», «треугольник» с 3-мя векторами в комбинации, «треугольник» с 4-мя векторами в комбинации). Выполнен анализ энергетической эффективности различных алгоритмов применительно к векторному управлению рекуперативным IGBT выпрямителем. Анализ проведен с помощью модели системы, построенной с учетом быстрых процессов в силовой схеме. Частота ШИМ исследуемых алгоритмов эквивалентировалась таким образом, чтобы обеспечить одинаковую частоту переключений ключей (одинаковые коммутационные потери в силовом модуле). Критерий оптимальности алгоритмов записывается в виде:

$$J_{eq} = \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} \Delta I^2(t) \cdot dt, \text{ где } \Delta I(t) = I(t) - \frac{1}{T_M} \int_0^{T_M} I(t) \cdot dt.$$

Здесь T_M – период модуляции, $I(t)$ – текущее значение тока.

Анализ полученных результатов показал нерациональность использования для управления рекуперативным IGBT выпрямителем традиционного алгоритма «центрированный ШИМ». С помощью моделирования синтезирован результирующий алгоритм, составленный из частных законов коммутации с 4-мя векторами в комбинации, который является наиболее оптимальным для повышения качества динамических и статических характеристик работы рекуперативного блока. Использование предложенного алгоритма позволяет существенно снизить потери во входных силовых цепях за счет уменьшения пульсаций тока.

УДК 621.3.072.6

С.К. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доц., Н.Е. ГНЕЗДОВ, асп., К.С. ЛЕБЕДЕВ, студ.
(ИГЭУ)

Исследование наблюдателей состояния механических переменных электроприводов

Наблюдатели состояния позволяют по доступной для измерения информации восстанавливать переменные, необходимые для реализации высококачественных систем управления электроприводами в различных отраслях промышленности.

Основные теоретические положения синтеза и анализа наблюдателей состояния разработаны в середине 20 века. Но только в последнее время наблюдатели состояния стали использоваться в быстродействующих системах электроприводов переменного тока. Это вызвано в первую очередь изменением элементной базы – широким распространением недорогих, быстродействующих, высокой разрядности управляющих контроллеров. Кроме того, постоянно возрастают требования не только к качеству процессов в электроприводе, но и их стабильности в условиях вариации, а подчас и неопределенности параметров механики электропривода.

При синтезе наблюдателей состояния для систем управления многодвигательными электроприводами возникает ряд аспектов, требующих пристального рассмотрения. К ним следует отнести оптимизацию структуры наблюдателей состояния с целью обеспечения при заданных динамических показателях практической реализуемости в микропроцессорных системах. Также требует решения задача создания наблюдателей для систем, подверженных действию возмущений различной природы.

Разработаны методики синтеза наблюдателей состояния полного порядка, максимально использующие датчиковые системы электроприводов. Такие наблюдатели позволили синтезировать систему динамического закрытия зазора в многодвигательном электроприводе с нежесткой механикой. При действии на электропривод возмущений сложной формы предлагается методика построения наблюдателей состояния с астатизмом повышенного порядка. Такие наблюдатели обеспечивают восстановление с заданной точностью действующих на объект возмущений.

Для систем электроприводов с переменными или неопределенными параметрами механики предложены структуры наблюдателей состояния, включающие в себя элементы нечеткой логики.

Проведенные исследования подтверждают правильность принятых за основы теоретических положений. В результате исследований проведена корректировка предложенных решений и выработаны рекомендации по практической реализации наблюдателей состояния.

УДК 621.3.072.6

В.Ф. ГЛАЗУНОВ, д.т.н., проф., Н.Е. ГНЕЗДОВ, асп.,
С.К. ЛЕБЕДЕВ, к.т.н., доц., И.В. ОРЛОВ, студ.
(ИГЭУ)

Разработка многодвигательных систем с нежесткой механикой на базе электроприводов серии ЭПВ

Многодвигательный электропривод, приводящий в движение общую массу, широко распространен в промышленности. К таким объектам относятся поворотные устройства антенн, башенных кранов и экскаваторов, шаровые мельницы, приводы транспортных устройств, манипуляторов. Особенностью этого класса объектов является наличие упругих кинематических связей, существенно влияющих на динамику и устойчивость системы.

Предложена система регулирования скорости общей массы, обеспечивающая устойчивость и монотонные переходные процессы скоростей двигателей, общей массы и упругих моментов. Разработана структура и методика расчета параметров нелинейного регулятора состояния переменной структуры.

Исследована зависимость параметров регулятора от заданного быстродействия, выработаны рекомендации по выбору полосы пропускания системы с учетом микропроцессорной реализации. Проведена оптимизация параметров регулятора, обеспечивающая робастность системы.

Предложена система динамического закрытия зазоров кинематических передач, требующая минимальной дополнительной мощности двигателей. Система использует информацию об упругих моментах, получаемую с наблюдателя состояния. Астатические наблюдатели состояния позволяют вычислять моменты упругого взаимодействия для закрытия зазора в передачах в статических и динамических режимах. Произведен анализ структур наблюдателей и разработаны методики расчета их параметров.

На основе принципов нечеткой логики синтезирована система регулирования положения вала общей массы. Нечеткий регулятор использует информацию о разности заданного и реального положений вала, а также о текущей скорости общей массы. Система обеспечивает заданную точность позиционирования вала общей массы в условиях вариации параметров механики.

Разработаны принципы и средства коммуникации, как для многопроцессорных систем управления, так и между отдельными электроприводами. Для этого использованы коммуникационные протоколы Modbus и CANopen. Обеспечена возможность управления многодвигательным электроприводом с персонального компьютера или промышленного контроллера. Результаты работы внедрены в преобразователях частоты серии ЭПВ, выпускаемых ООО «ЭЛПРИ» ЧЕАЗ.

УДК 621.313

А.Б. ДАРЬЕНКОВ, П.А. ЗАХАРОВ, И.В. ЛЕОНТЬЕВ, А.Ю. ОВЕЧКИН, В.Г. ТИТОВ
(НГТУ, г. Нижний Новгород)

Регулирование возбуждения синхронных двигателей с идентификатором угла нагрузки

Синхронные двигатели (СД) благодаря своим конструктивным особенностям и высоким энергетическим показателям находят широкое применение в мощных электроприводах, работающих в длительном режиме и не требующих регулирования скорости. В прокатном производстве синхронные электроприводы характеризуются частым чередованием набросов и сбросов нагрузки. Набросы нагрузки на валу СД вызывают качания ротора, которые могут приводить к выпадению двигателя из синхронизма, а также являются причиной колебаний реактивной и активной мощностей, вызывающих изменения напряжения и частоты сети соответственно.

Для синхронного электропривода с резко переменной нагрузкой наиболее совершенной является система автоматического регулирования возбуждения, которая работает в функции угла нагрузки δ СД и его производной. Информация о мгновенном значении угла δ позволяет прогнозировать момент выпадения СД из синхронизма и своевременно форсировать возбуждение, тем самым предотвращая асинхронный ход двигателя. Демпфирование качаний ротора реализуется посредством форсировок возбуждения в соответствии со значением скорости изменения угла δ .

Однако у системы возбуждения с регулятором, работающим в функции угла нагрузки δ , есть существенный недостаток – сложность датчика параметра регулирования. Непосредственное измерение угла нагрузки δ с использованием магнитоэлектрических или вращающихся датчиков положения ротора требует вмешательства в конструкцию двигателя, что снижает эксплуатационную надежность синхронного электропривода.

Наиболее приемлемым вариантом решения обозначенной проблемы является использование методов косвенного определения угла δ с помощью идентификатора, с малой погрешностью вычисляющего угол нагрузки без использования датчиков внутри и на валу двигателя. Результаты моделирования такого идентификатора на ЭВМ свидетельствуют о высокой точности косвенного измерения угла нагрузки по токам и напряжениям статора СД и в его обмотке возбуждения без использования датчиков внутри и на валу двигателя.

УДК 62 - 83:681.51(075.8)

М.М. ДУДКИН, асп.
(Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск)

Сравнительный анализ динамических характеристик преобразователей напряжения в частоту импульсов

Метрологические показатели число-импульсных фазосдвигающих устройств (ФСУ) [1] во многом определяются точностью работы преобразователя напряжения в частоту импульсов (ПНЧ). Поэтому представляет интерес сравнительный анализ динамических характеристик ПНЧ различных классов с целью выявления наиболее помехоустойчивого принципа их построения к сигналам внешних помех. При анализе рассматривались интегрирующий ПНЧ с установкой нулевых начальных условий в канале интегрирования (рис.1а), интегрирующий ПНЧ с синфазной амплитудной модуляцией (АМС) преобразуемого параметра (рис.1б), а также псевдоинтегрирующий ПНЧ с амплитудной модуляцией одного порога переключения релейного элемента РЭ (рис.1в) [2].

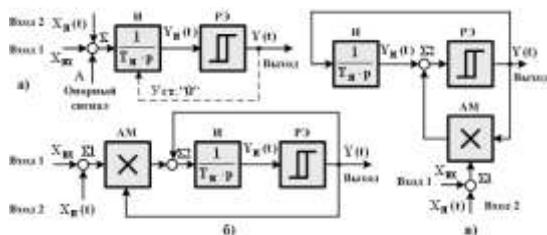


Рис.1. Структурные схемы ПНЧ

Анализ динамических характеристик проводился методом трансцендентных функций с представлением результатов моделирования в виде пространства динамического состояния объекта [2] при воздействии гармонического сигнала помехи $X_{п}(t)$ на информационный «вход 2» ПНЧ (рис.1).

Проведенный сопоставительный анализ динамики ПНЧ показал, что интегрирующие преобразователи обеспечивают более низкую погрешность при работе с высокочастотными сигналами и являются наиболее приемлемыми для число-импульсных ФСУ, работающих в системах управления с высоким уровнем помех в каналах передачи информации.

Литература

1. А.с. 1288864, H02M7/00. Устройство для управления вентильным преобразователем / Л.И. Цытович (СССР) - №3919220/24-07, заявлено 01.07.85, опублик. 07.02.87, Бюл. №5.
2. Цытович Л.И. Развертывающие преобразователи для систем управления вентильными электроприводами и технологической автоматикой. Дис....докт. техн. наук. – Челябинск: ЧГТУ, 1996. – 464 с.

Управление натяжением ткани в переходных режимах при обработке ее врасправку

В процессе непрерывной обработки ткани врасправку в многовалковой машине она подвергается деформации вдоль основы под действием сосредоточенных и распределенных сил трения. При использовании приводных направляющих роликов натяжение на входе зоны обработки является единственным управляющим воздействием, исключающим образование складок полотна внутри машины. При этом для исключения недопустимого складкообразования полотна его натяжение на входе машины необходимо регулировать в зависимости от числа направляющих роликов в зоне обработки, моментов сопротивления их вращению и сил трения в обрабатывающей среде, а также скорости движения полотна.

При увеличении скорости движения полотна от входа к выходу машины возрастает. При скорости, равной нулю, натяжение на выходе машины необходимо регулировать за счет натяжения на входе, компенсирующего все силы трения в зоне обработки. Таким образом, при разгоне машины для стабилизации натяжения полотна как внутри зоны обработки, так и на ее выходе натяжение на ее входе необходимо уменьшать в функции скорости движения полотна.

Показано, что минимальное значение натяжения ткани на входе зоны обработки определяется возможной вариацией действующих в ней сил сосредоточенного и распределенного трения.

С учетом изложенного предлагается управлять натяжением ткани на входе зоны обработки в функции скорости ее движения и под контролем натяжения на выходе зоны.

Для этого на остановленной машине, воздействуя на входное натяжение, устанавливают необходимое натяжение на выходе зоны обработки. В момент трогания натяжение на входе снижают на величину сил сосредоточенного трения, действующих на полотно, а затем уменьшают его по мере увеличения скорости в функции натяжения полотна на выходе зоны.

Приводится анализ переходных процессов деформации полотна в зоне обработки, выполненный методом математического моделирования. Расчет выполнен с использованием программного комплекса МИК-АЛ для зоны обработки с параметрами:

модуль упругости полотна 1000 Н/м, число роликов в зоне – 3,
радиус ролика – 0,05 м, длина полотна в зоне – 4 м,
момент инерции ролика – 0,02 кгм,
коэффициенты технологических возмущений:
распределенных – 0,01 с/м, сосредоточенных – 2,5 с/м.

УДК 621.313

П.А. ЗАХАРОВ, М.А. ЗАХАРОВ
(Нижегородский государственный технический
университет, г. Нижний Новгород; ИГЭУ)

Диагностическая электромеханическая модель электроприводного газоперекачивающего агрегата

В настоящее время из всего парка газоперекачивающих агрегатов (ГПА) имеющегося в наличии в ООО «Волготрансгаз» порядка 50 % приходится на электроприводные газоперекачивающие агрегаты (ЭГПА). В качестве приводного двигателя в ЭГПА в основном используются нерегулируемые синхронные двигатели (СД) разных типов. В ООО «Волготрансгаз» применяются два типа синхронных двигателей: 89 % СТД-12500 ($P = 12,5$ МВт, $U=10$ кВ) и 11 % СДГ-12500 ($P = 12,5$ МВт, $U = 10$ кВ). Данные двигатели эксплуатируются со второй половины 80-х годов прошлого века и на данный момент срок их эксплуатации приближается к 20-и годам.

Помимо СД в состав ЭГПА так же входит: редуктор, центробежный нагнетатель (ЦБН) и трубопроводная обвязка (ТПО). Функционирование каждого из перечисленных элементов оказывает влияние на технологический процесс транспорта газа и выход из строя любого из этих узлов приводит к выходу из строя всего комплекса, что ведет к значительному материальному ущербу и может привести к человеческим жертвам.

С этой точки зрения наиболее целесообразно рассматривать все процессы в ЭГПА в целом, не исключая ни один из перечисленных элементов. В состав диагностической модели входят несколько блоков разного функционального назначения. В первом блоке осуществляется оценка электромагнитных и электромеханических процессов в СД, во втором оценка механических процессов в редукторе, в третьем процессы в ЦБН, в четвертом механические процессы в ТПО и осуществляется оценка влияния процессов и параметров между собой.

Надежность работы газоперекачивающих станций во многом зависит от работы технологического оборудования и ТПО. Статистика показывает, что на долю ТПО приходится 47 % выявленных дефектов. По этой причине большой интерес представляет именно взаимодействие между ГПА и ТПО.

В результате анализа процессов в ТПО можно сделать вывод, что одним из путей повышения надежности работы всего газоперекачивающего комплекса является переход от нерегулируемых ЭП к регулируемым.

Измерение дефектов и управления качеством ресурсов подготовки инженерных кадров

Концепция тотального управления качеством образования предусматривает непрерывное совершенствование качества образовательных услуг. Для управления усилиями, направленными на совершенствование процесса подготовки инженерных кадров, прежде всего, необходимо организовать измерение дефектов существующих ресурсов.

Верхним уровнем принято считать ресурсы специальности, которые объединяют в своем составе ресурсы *второго уровня* для всех учебных дисциплин, производственной практики, дипломного проектирования. Непосредственными объектами измерения дефектов являются ресурсы *третьего уровня*; для учебной дисциплины это – ресурсы лекционного курса, лабораторного практикума, курсового проекта (работы), аудиторных практических занятий, самостоятельной работы

Для каждого объекта формируется набор измеряемых микропоказателей качества, с помощью которых можно измерить, например, качество постановки лекционного курса, степень его синхронизации с лабораторным практикумом, уровень организации входного и выходного контроля, качество программного обеспечения, качество используемого оборудования и многое другое.

В процессе измерения дефектов могут принимать участие четыре группы пользователей: *администратор*, основными задачами которого являются регистрация пользователей и настройка программных средств; *руководитель объекта*, который является постановщиком задачи измерения, имеет права редактирования весовых коэффициентов измеряемых показателей, формирования эталонных значений, формирует программу совершенствования объекта по результатам измерений; *эксперт* – имеет право формирования собственных эталонных значений, вводит оценки измеряемых показателей; *студент* – допускается только для ввода оценок измеряемых показателей.

Для определения дефектов исследуемого объекта *руководитель* выбирает или создает сам файл эталонных значений и формирует список файлов показателей качества, которые были сформированы по результатам оценки объекта экспертами и студентами. *Численные значения дефектов* вычисляются по показателям качества всех уровней как разность эталонного значения и усредненного значения определенного группой экспертов и студентов.

По результатам сравнительного анализа расчетных и эталонных показателей качества формируется *таблица дефектов*, с помощью которой руководитель объекта составляет *календарный план и смету расходов* на совершенствование ресурсов объекта.

Сетевые фильтры для преобразователей частоты в асинхронном электроприводе

При использовании асинхронных двигателей переменного тока с частотным управлением необходимо учитывать влияние помех из сети на работу преобразователя и помех, излучаемых в сеть. Предельные допустимые помехи на электромагнитную совместимость регламентируются отечественными и мировыми стандартами. Игнорирование этих требований чревато проблемами эксплуатации электрооборудования. В связи с этим существует проблема выявления наиболее рациональных путей развития сетевых фильтров современных электроприводов переменного тока. Назначение сетевых фильтров – защита преобразователей частоты от сетевых индустриальных помех и защита питающей сети переменного тока и других потребителей электрической энергии от помех, создаваемых работой полупроводниковых преобразователей.

Поставленная цель достигается методом математического моделирования электромагнитных процессов, протекающих в системе «Сеть переменного тока – сетевой фильтр – неуправляемый выпрямитель – автономный инвертор напряжения – асинхронный двигатель».

Основные задачи, которые необходимо решить для достижения поставленной цели:

1. Математическое моделирование сетевых фильтров, работающих в составе рассматриваемой системы.
2. Разработка программ расчета электромагнитных процессов.
3. Исследование электромагнитных процессов при заданных параметрах сети, сетевого фильтра и цепи нагрузки.
4. Гармонический анализ тока, потребляемого из сети преобразователем с входными реакторами и без них.
5. Формирование методики для определения параметров сетевых фильтров.

На данный момент были разработаны математические модели и программы для расчета переходных процессов системы «Сеть переменного тока – блок входных линейных реакторов – неуправляемый выпрямитель – емкостный фильтр – автономный инвертор напряжения – асинхронный двигатель», проведен гармонический анализ тока. Были проанализированы различные варианты фильтров, исследован характер электромагнитных процессов при заданных параметрах сети, линейных реакторов и цепи нагрузки, в результате чего были обоснованы и сформированы методики для определения параметров линейных реакторов. Следует отметить, что работа по этой теме ещё не закончена.

Двигательные фильтры для преобразователей частоты в асинхронном электроприводе

При развитии технологий разрывного управления электроприводами переменного тока и технологий создания силовых коммутирующих приборов преобразовательной техники встала проблема выявления наиболее рациональных путей развития выходных фильтров современных электроприводов переменного тока. Для этого установлены основные эффекты в выходных цепях преобразователей частоты (ПЧ) электроприводов, рассмотрены основные технические решения в этой области и требования к устройствам подобного типа. В этих целях проведен обширный анализ информации в Internet, периодической и иной научно-технической литературе, а так же рассмотрены разработки ведущих фирм в области электропривода переменного тока.

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

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

Основные задачи, которые необходимо решить для достижения цели:

1. Обоснование и разработка математической модели электрического кабеля, соединяющего ПЧ и двигатель переменного тока.
2. Разработка программы расчета переходных процессов в кабеле.
3. Исследование переходных процессов в кабеле при заданных его параметрах.
4. Исследование фильтров, установленных на выходе ПЧ и на двигателе.
5. Разработка рекомендаций по применению фильтров для ПЧ серий АПЧ и ЭПВ от 3 до 110 кВт.
6. Разработка методики для определения параметров фильтров.

В результате данной работы была построена математическая модель электрического кабеля, были созданы программы моделирования в среде MathCAD и были проанализированы различные варианты фильтров, в результате чего были разработаны программы и методики для выбора структуры и расчета параметров двигательных фильтров. Полученный подход позволяет ограничить на заданном уровне скорость нарастания фронтов напряжения на двигателе и перенапряжений в кабеле и на двигателе, уменьшить до минимума радиоизлучение кабеля.

Анализ устройств плавного пуска синхронных двигателей газоперекачивающих агрегатов

В настоящее время компрессорные станции с электроприводными агрегатами оборудованы нерегулируемым синхронным электроприводом, который имеет следующие преимущества перед газотурбинным: практически неограниченное число пусков (при использовании устройств мягкого пуска и преобразователей частоты), высокий ресурс и длительный срок службы, высокий КПД, отсутствие вредных выбросов, возможность работы в режиме компенсатора.

Отказ от прямого и реакторного пуска и использование режима управляемого пуска с помощью регулятора напряжения или преобразователя частоты обеспечит безударный пуск СД без бросков тока и момента, снизит уровень электродинамических воздействий на обмотки машины, облегчит ее температурный режим. Это позволит снять ограничение по количеству пусков и повысить ресурс работы двигателя и всего механизма в целом.

Устройства частотного пуска СД газоперекачивающих агрегатов (мощностью от 4 МВт до 12.5 МВт и выше) выполняются по схеме преобразователя частоты с промежуточным звеном постоянного тока на базе инвертора тока, ведомого двигателем. Пуск осуществляется путем плавного увеличения частоты и напряжения. В течение всего времени пуска средний ток двигателя не превышает полутора номиналов. При этом указанные выше отрицательные явления прямого пуска отсутствуют. После завершения пуска преобразователь частоты шунтируется контактным аппаратом, и СД продолжает работу напрямую от сети.

Мягкий пуск двигателя на базе тиристорного регулятора напряжения производится за счет регулирования напряжения на зажимах двигателя, формирования тока и момента двигателя. Система мягкого пуска обеспечивает снижение пускового тока на заданном уровне (не более 2-3 номиналов), но имеет ряд существенных недостатков. Поскольку частота напряжения на зажимах двигателя равна частоте сети, физические процессы при пуске двигателя с помощью регулятора напряжения аналогичны процессам при прямом пуске СД от сети. Простое снижение тока приводит к уменьшению момента двигателя и существенному увеличению времени его разгона. Уменьшение пускового тока СД приводит к уменьшению мощности потерь, но увеличению энергии потерь в связи с увеличением продолжительности пуска.

УДК 620.178.3

А.А. МИНЧЕНКОВ, студ., В.Т. ФИЛИЧЕВ, к.т.н., проф.
(ИГЭУ)

Анализ динамики электропривода разрывной машины

Одной из важнейших проблем в испытательной технике является проведение испытаний на усталость, поскольку изучение явлений усталости ведется в основном экспериментально. Наиболее достоверные результаты получаются при максимальном приближении процесса испытаний к условиям эксплуатации. Поэтому большое значение приобретают испытания при нагрузке, изменяющейся по наперед заданной программе и действующей на образец с определенной частотой.

В настоящей работе рассматривается серийная разрывная машина завода «Точприбор» с максимальным усилием 50 кН. Требуемый закон программного нагружения обрабатывает система подчиненного регулирования двигателя постоянного тока, с вала которого через механическую передачу усилие передается на винтовую пару, образец и силоизмеритель.

Обеспечение заданного закона нагружения образца обуславливается требованиями к энергетическим показателям силовой части привода. В свою очередь параметры силовой части накладывают ограничение на совокупность параметров, характеризующих закон нагружения.

Основными ограничивающими факторами являются: номинальная частота вращения двигателя, допустимый нагрев двигателя и допустимое ускорение привода, которое в данном случае ограничивается допустимой перегрузочной способностью.

Параметрами, характеризующими усилие на образец при гармоническом законе изменения переменной составляющей, являются: амплитуда переменной составляющей, период цикла нагружения и величина постоянной составляющей усилия на образце.

На основе известных соотношений [1] построены области допустимых параметров по скорости, нагреву и перегрузочной способности.

В исследовании были решены следующие задачи:

1. Составлена математическая модель системы электропривода и кинематики разрывной машины. Механическая часть представлена рядной системой с двумя степенями свободы с моментом инерции переменной массы равным бесконечности.

2. Выполнен анализ настройки регулятора скорости для упругой электромеханической системы с учетом воспроизведения гармонического закона нагружения на образце с заданной точностью.

Литература

1. **В.С. Голубков, В.А. Ларионов, В.Т. Филичев.** Особенности выбора параметров электропривода механизма низкочастотного нагружения усталостной машины при гармоническом законе нагружения. Труды НИКИМПа разработка и использование испытательных машин. – М., 1979.

Разработка показателей эффективности преобразования энергии в системе электропривода

В современном электроприводе имеет место неоднаправленный поток энергии между преобразователем и исполнительным двигателем. В этой ситуации использование понятия коэффициента полезного действия затруднительно в связи неопределенностью понятия полезная мощность, многоэлементность системы, сложностью временной характеристики процесса преобразования энергии.

С целью получения показателей эффективности преобразования энергии, обладающими свойствами универсальности, гибкости, однозначности, рассмотрен общий случай системы электропривода, состоящей из источника питания, преобразовательного устройства, двигателя, приводного механизма и технологического объекта.

Для определенности принято, что назначение электропривода состоит в совершении за время t_1 некоторой полезной механической работы $W_{пол}$ в результате взаимодействия приводного механизма и объекта, а также принято заданной мгновенную мощность потока энергии – p_i между элементами системы. В общем случае функция мгновенной мощности на входе однофазного потребителя ($i+1$ элемента системы) может принимать как положительные значения на интервале времени $t_{i(+),n} \dots t_{i(+),n} + \Delta t_{i(+),n}$, так нулевые и отрицательные значения на интервале времени $t_{i(-),n} \dots t_{i(-),n} + \Delta t_{i(-),n}$, где индексом n обозначен номер промежутка на интервале времени.

По результатам исследований для анализа эффективности электромеханического преобразования энергии в системе электропривода предложено использовать показатели: потребляемая мгновенная мощность – $p_{потр\ n}(t)$; полезная мгновенная мощность – $p_{пол\ n}(t)$; мгновенная мощность потерь в i элементе системы – $p'_{in}(t)$; мгновенная мощности накопления энергии в реактивном сопротивлении i элемента системы – $p_{ин}(t)$; коэффициент мощности – $k_{инi}$; коэффициент эффективности использования энергии системой – $K_{ин\ с}$; коэффициент эффективности использования энергии элементом системы – $K_{ин\ уст}$; коэффициент эффективности использования энергии, накопленной в поле – $K_{ин\ поля}$; степень колебаний энергии в элементе системы – $k_{ин\ кс}$; степень колебаний активной энергии в элементе системы – $k_{ин\ ка}$; коэффициент полезного действия i элемента системы – η_{in} .

Разработанные показатели относятся к определенному сечению канала системы электропривода, характеризуют энергетический процесс на заданном отрезке времени. Приведенные показатели позволили обоснованно и однозначно сравнить технические решения при разработке синхронного микроэлектропривода, а также проанализировать эффективность электромеханического преобразования энергии в нем.

УДК 62-83.621.313.333

А.Н. МЯСНИКОВ, В.Г. ТИТОВ, А.О. ТРЕТЬЯКОВ, П.А. ЗАХАРОВ
(Нижегородский государственный технический университет, г. Нижний Новгород)

Преобразователь частоты для резонансных систем на современных полупроводниковой базе

Особый интерес для использования в установках индукционного нагрева вызывают высоковольтные MOSFET и IGBT транзисторы, которые выпускаются также в виде модулей. Расширенный частотный диапазон (от 10кГц до 200кГц) преобразователей, построенных на основе этих транзисторов, позволяет заменить электронные ламповые генераторы.

Наиболее универсальным средством для создания управляющей части преобразователя в настоящее время является микроконтроллер, который, во-первых, управляет логикой переключения вентилей силовой части, получая сигналы обратных связей по токам и напряжениям, и, во-вторых, обеспечивает интерфейсные функции для связи с оператором и другими технологическими объектами. В качестве усилителей импульсов управления силовыми транзисторами используются интегральные драйверы, задача которых – формирование выходного сигнала заданной мощности и формы.

Таким образом, надежная работа преобразователя на современных ключевых элементах обеспечивается, во-первых, правильным выбором схемы преобразователя (последовательный или параллельный инвертор), во-вторых, самим ключевым элементом при оптимизации режимов его работы, исходя из частотных, тепловых и нагрузочных характеристик и, в-третьих, грамотно спроектированной и отлаженной системой управления (СУ).

СУ организует систему сигнализации неполадок преобразователя и автономное отключение преобразователя в случае выхода из строя либо нестабильной работы. Работа преобразователя предполагает одновременное управление как силовым ключом, так и инвертором построенном на современной полупроводниковой базе. Совместное управление приводит к улучшению как энергетических показателей, так и повышению качества управления преобразователем.

Такая СУ предполагает высокую надежность и качество регулирования. Эти возможности позволяют использовать разработанную СУ не только в заявленной области, но и в других технологических производственных процессах.

УДК 621.3.072.6

М.С. КУЛЕНКО, к.т.н., доц.
(Ивановский государственный энергетический университет)

Система управления намоткой ткани на основе эталонной модели рулона

Существующие системы управления осевой намоткой ткани, построенные на принципах стабилизации натяжения материала и линейной скорости его намотки не обеспечивают формирование равномерной плотности по радиусу рулона, что объясняется отсутствием информации о параметрах внутреннего состояния рулона. Некачественная намотка приводит к потере рулоном своей формы и к нарушению устойчивости структуры рулона, приводящему к образованию гофр, отрицательно сказывающихся на качестве последующих технологических операций.

Известны методы управления осевой намоткой с использованием прогнозирующей модели рулона, где коррекция натяжения производится на основе получаемой в результате непрерывного пересчета модели рулона информации о возможных участках гофрообразования. Однако, этот метод предъявляет весьма высокие требования к объему памяти и быстродействию вычислительной части системы. Применяемый при намотке сновальных валиков метод управления перемещением укатывающего валика для осевой намотки также неприемлем ввиду отсутствия возможности принудительно формировать геометрию рулона.

Для более рационального построения системы управления процессом намотки предлагается включить в контур управления эталонную модель рулона, описывающую желаемый характер формирования геометрии рулона на основе информации о физико-механических параметрах наматываемого материала. При этом формирование кривой намотки должно быть максимально приближено к архимедовой спирали, т.е. идеальной равноплотностной и равнонапряженной структуре рулона.

В ходе намотки производится постоянное сравнение текущей геометрии рулона: желаемой (эталонной) и фактической, для оценки которой используется значение радиуса наматываемого витка. Отклонение реального радиуса от желаемого фиксируется блоком коррекции натяжения и вызывает изменение величины сигнала управления для восстановления соответствия между расчетной и фактической геометрией рулона.

Предлагаемая структура системы управления осевой намотки с использованием эталонной модели рулона позволяет, используя упрощенный алгоритм оценки параметров состояния рулона, добиться выравнивания плотности намотки и предотвратить гофрообразование.

Влияние характера нагрузки на параметры генератора импульсов

Выходным звеном импульсных источников энергии являются генераторы импульсов (ГИ) [1]. В докладе рассмотрены особенности разработки ГИ для устройств двух типов:

1. Электрофизические исследовательские и технологические комплексы (установки термоядерных исследований, приборы высокочастотной релятивистской электроники и др.).
2. Вторичные источники питания приемопередающих модулей радиолокационных станций (РЛС), формирующих радиосигналы антенны.

В устройствах первого типа эффективность воздействия на нагрузку определяется, прежде всего, такими параметрами выходных импульсов, как форма, частота, мощность.

Предложено несколько вариантов ГИ с разными накопителями энергии: емкостным, индуктивным и комбинированным. Показано, что ГИ с индуктивным и комбинированным накопителями не требуют стабилизации напряжения на накопительном элементе (НЭ). Однако первые из них позволяют получить лишь импульсы наиболее простых и не всегда оптимальных форм. ГИ с комбинированным НЭ более универсальны по форме выходных импульсов и соотношению активного и индуктивного сопротивления нагрузки.

В устройствах второго типа (РЛС) основное требование к ГИ – амплитудная (АН) и фазовая (ФН) нестабильность импульсов тока, формируемых передающим устройством антенны при разряде НЭ. Причина АН и ФН в динамической нестабильности выходного напряжения НЭ. Это приводит к АН и ФН СВЧ радиосигналов, что определяет дальность обнаружения цели (АН) и селекцию движущихся целей (ФН). При ФН неподвижный объект может восприниматься как движущийся, что снижает эффективность средств ПВО.

В докладе приведены допустимые значения динамической нестабильности выходного напряжения НЭ для выполнения требований РЛС к СВЧ радиосигналам.

Литература

1. Кириенко В.П., Верховский С.Я. Разрядные преобразователи для питания импульсной нагрузки / Тезисы докладов XXIII научно-технической конференции «Актуальные проблемы электроэнергетики». – Н.Новгород, 2004.

УДК 621.9

А.В. ПРУДНОВ, к.т.н., доц., А.М. ЗАХАРОВ, к.т.н., доц.
(ИГЭУ)

Автоматизация транспортно-складских систем

При создании гибких производственных систем, признанным одним из основных направлений дальнейшего развития производств в машиностроении и других отраслях промышленности, повышается роль и значение автоматизации транспортно-складских систем. Автоматизированные транспортно-складские системы (АТТС) обеспечивают совместное функционирование средств транспорта и складов с основным технологическим оборудованием в едином производственном процессе гибкой производственной системы. Наиболее распространены АТТС, включающие центральный склад (обычно стеллажного типа) и устройства автоматического поиска и доставки груза к рабочим позициям. Алгоритм адресации, как правило, сводится к приему и регистрации заданного адреса, управлению опросом датчиков, определению требуемого направления движения рабочего органа и управлению позиционированием. Элементы транспортной системы, как правило, не требуют непрерывного во времени управления. Для управления транспортно-складскими системами необходимо иметь возможность гибкой переналадки систем управления. Эти системы решают задачи управления материальными потоками, задачи позиционирования положения рабочих органов технологических установок и задачи автоматического адресования грузов.

Предложен вариант микропроцессорной АТТС. Транспортно-складская система представлена физической моделью макета стеллажа на 16 ячеек и транспортным средством, аналогом крана - штабелера с электроприводом, и средства автоматизации с микропроцессорным программируемым цикловым устройством. Транспортное устройство позволяет обеспечивать выход в любую из ячеек стеллажа.

Система управления электроприводом и автоматики обеспечивает автоматизацию операции адресования грузов. Задание адреса ячейки макета производится с клавиатуры малогабаритного пульта или от управляющего вычислительного комплекса высшего ранга по интерфейсу последовательной передачи информации.

Микропроцессорное программируемое цикловое устройство реализует определенный алгоритм управления транспортно-складской системой в соответствии с программой.

Язык программирования простой и не требует длительных затрат времени на его освоение.

Автоматизированная транспортно-складская система обладает высокой надежностью.

Особенности построения модели цифроаналоговой системы управления процессом намотки ткани

Управление плотностью намотки ткани является одной из первоочередных задач, которые необходимо учитывать при разработке математической модели процесса формирования рулона с учетом упругих свойств наматываемого образца ткани и действующих в системе управления возмущений.

Построение рассматриваемых систем на аналоговых принципах управления не позволяет получить необходимую точность стабилизации параметров процесса намотки ткани, в частности плотности. В связи с этим, представляет практический интерес исследование процесса намотки ткани на математической модели цифроаналоговой системы управления (ЦАСУ).

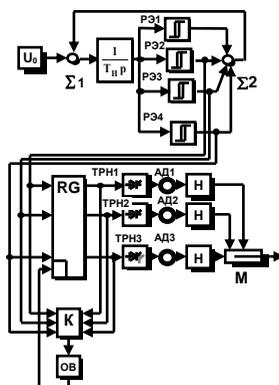
В системе MATLAB 6.0 разработана математическая модель ЦАСУ двухдвигательного агрегата для перематки упругого полотна. Одна из особенностей данной модели заключается в повышении быстродействия системы управления за счет введения цифровых ПИ-регуляторов тока и скорости. Модель системы управления также включает в себя известные структуры двигателя постоянного тока и широтно-импульсного преобразователя (ШИП). Модель преобразователя представлена в виде последовательно соединенных динамических звеньев: дискретного (с передаточной функцией (ПФ) $W(z) = (z-1)/z$), экстраполятора нулевого порядка, чистого запаздывания (с ПФ $W(s) = e^{-Ts}$), аналогового интегратора с ограничением выходного сигнала и безынерционного звена, учитывающего общий коэффициент усиления цифроаналогового преобразователя (ЦАП) прямого канала регулирования тока. Цифроаналоговые контура тока и скорости содержат модели аналогоцифровых преобразователей (АЦП) и датчиков обратных связей по току и скорости, и дискретный элемент с ПФ $W(z) = 1/z$. Период квантования входного сигнала ПИ-регуляторов соизмерим с постоянной времени преобразователя T_n . Ведомый электропривод (ЭП) включает в себя модель аналогового контура регулирования положения измерительного ролика с ПИ-регулятором положения, настроенным на оптимальное быстродействие контура положения. Кроме этого, в разработанной модели ЦАСУ учтены известные ранее особенности представления моделей петлеобразователя, упругого полотна и действующих в процессе намотки силовых связей, позволяющие получить необходимую точность стабилизации параметров процесса намотки.

УДК 62-83:681.51(85.8)

О.Г. ТЕРЕЩИНА, асп.
(Южно-Уральский Государственный университет, г. Челябинск)

Система управления группой из нечетного числа асинхронных электроприводов водяных насосов

Управление электроприводами ТСУ от многозонного развertyвающего преобразователя (МРП) позволяет создать простую с позиции самодиагностирования и автоматического резервирования систему [1]. В подобных устройствах управляющие входы электроприводов подключаются к выходом соответствующих релейных элементов (РЭ) [2]. При реализации МРП с четным числом РЭ переход преобразователя из одной модуляционной зоны (МЗ) в другую сопровождается дополнительными переключениями РЭ, что приводит к кратковременным ложным запускам электродвигателей, которые в действительности должны находиться в выключенном состоянии.



На рисунке показана система управления группой электроприводов, позволяющая устранить данный недостаток. В ее состав входят МРП состоящий из источника сигнала задания (U_0), двух сумматоров (Σ_1, Σ_2), интегратора (I) с постоянной интегрирования T_I и группы из четного числа « $k \geq 4$ » РЭ. Также система содержит « $k-1$ » групп из последовательно включенных тиристорного регулятора напряжения (ТРН), асинхронного электродвигателя (АД) и водяного насоса (Н), выходы которых подключены к общей отводящей водяной магистрали (М) и « $k-1$ »-разрядный регистр памяти (RG), цифровой компаратор (К) с « $2(k-1)$ »-входами и одновибратор (ОВ).

Ложный запуск электроприводов устраняется за счет блокирования входов управления ТРН на время переходного процесса в МРП при его переходе из одной МЗ в другую. При этом на время переходного процесса в регистре памяти сохраняется кодовое состояние предыдущей МЗ. Изменение состояния группы электроприводов осуществляется только после входа МРП в режим устойчивых колебаний, когда кодовое состояние группы « $k-1$ »-РЭ соответствует установившемуся режиму требуемой МЗ.

Литература

1. Цытович Л.И., Терещина О.Г. Развertyвающие преобразователи с автоматическим диагностированием и резервированием каналов передачи информации // Вестник ЮУрГУ №4. Серия «Энергетика», выпуск 5. – Челябинск: ЮурГу. – Выпуск 5., 2004, с.55.
2. Tsytoich L.I., Maurer V.G., Gaphiautullin R.H. Multizoned integrating control system of group of asynchronous electric drives of water pumps. Proceedings of the 2-nd International Symposium on Energy, Environment & Economics EEE-2, Kazan, Russia, 7-10 September 1998, pp.99 – 102.

Построение системы импульсно-фазового электропривода с асинхронным двигателем

Анализ особенностей конструкции и эксплуатации металлообрабатывающих станков показывает, что при относительно небольшом износе исполнительных механизмов, используемые на них системы управления не соответствуют техническим требованиям, предъявляемым к такому оборудованию на современном этапе развития техники и технологии. Это обусловлено не только их физическим износом, но и моральным старением. Модернизация таких станков проводится путем замены установленного на них электротехнического оборудования – устройств числового программного управления, приводных электродвигателей и систем регулирования параметров движения. Поэтому в настоящее время насущно необходима разработка надежных и относительно недорогих систем электроприводов, предназначенных для замены устаревших устройств.

Одним из перспективных направлений является разработка электроприводов переменного тока с асинхронными электродвигателями. В качестве базового принципа построения таких систем предлагается использование цифрового аналога контура фазовой синхронизации, неотъемлемой частью которого является управляющий микроконтроллер. Высокая точность регулирования параметров движения достигается при использовании принципа импульсно-фазового управления частотой вращения вала двигателя и его положением, где закон управления параметрами движения реализуется чисто импульсными или цифровыми средствами без потери информации о состоянии приводного механизма. При этом временные затраты на вычисление управляющих сигналов минимальны, что освобождает вычислительные ресурсы для формирования закона управления АД. При этом предлагается использовать идентификатор момента приводного двигателя, что устраняет необходимость применения средств для измерения токов статорных обмоток и координатных преобразований. Именно это позволяет использовать в системе управления относительно недорогие 8-ми разрядные микроконтроллеры без увеличения периода дискретизации. Широкие перспективы в этом направлении создают конфигурируемые системы, на кристалле которых содержится жесткое ядро и средства программируемой логики. Такой способ реализации электропривода позволяет обеспечить диапазон регулирования частоты вращения до 16000:1, а также высокие точностные показатели системы, соответствующие ГОСТ.

Импульсно-фазовый электропривод с бессенсорным управлением асинхронным двигателем

Появление ряда микроконтроллеров семейства «Motor Control» с высокопроизводительным DSP-ядром открыло в настоящее время широкие возможности по созданию систем со сложными алгоритмами работы, необходимыми для регулируемых электроприводов переменного тока. В то же время принципы векторного управления с момента своего появления практически не претерпели изменений, и для регулирования параметров движения широко используются такие внутренние переменные асинхронного двигателя, как ток и напряжение фазных обмоток, потокосцепления статора и ротора. Их использование в цифровой системе управления требует применения разнообразных по принципу действия и конструкции измерительных преобразователей, а сам принцип векторного управления асинхронным двигателем требует применения дополнительных координатных преобразований, усложняющих алгоритм управления.

В то же время использование средств идентификации состояния асинхронного двигателя по параметрам движения его вала (скорости и ускорению) устраняет необходимость применения дополнительных измерительных преобразователей именно тех переменных, которые непосредственно не определяют траекторию движения исполнительного механизма. Устранение дополнительных координатных преобразований снижает требования к производительности вычислительного устройства, что позволяет использовать в системе управления относительно недорогие 8-ми разрядные микроконтроллеры с быстродействием 10 MIPS. Для обеспечения высоких точностных показателей воспроизведения параметров движения вала предлагается использовать режим фазового сравнения импульсных сигналов задания и измерительного преобразователя перемещения. Предлагаемые принципы управления реализованы при создании ряда импульсно-фазовых электроприводов переменного тока с мощностью двигателя 90 Вт – 11 кВт, предназначенных для машиностроения и испытательной техники. В результате экспериментального исследования этих электроприводов установлена возможность получения диапазона регулирования угловой скорости вала свыше 10000:1. При этом погрешность стабилизации средней её величины не превышает 10^{-6} номинального значения, а коэффициент неравномерности скорости в нижней части диапазона регулирования, определяемый за 1/1000 оборота вала, не превышает 0,2. По сравнению с аналогичными разработками импульсно-фазовый электропривод, наряду с высокими точностными характеристиками, достаточно технологичен, чтобы обеспечить низкие затраты на производство.

УДК 62-83:621.313

М.В. ФАЛЕЕВ, д.т.н., проф., А.Н. ШИРЯЕВ, к.т.н., доц.,
А.М. ШУРЫГИН, асп., Д.А. КЛИМОВ, асп.
(ИГЭУ)

Программный комплекс для моделирования микропроцессорных импульсно-фазовых электроприводов

Микропроцессорный импульсно-фазовый электропривод, в котором регулирование скорости и угла положения ротора осуществляется путем цифровой обработки сигнала фазового рассогласования частотных сигналов задания и обратной связи, является сложным объектом, представляющим собой совокупность дискретных и непрерывных устройств. Особенности электроприводов такого класса не позволяют получить достоверные результаты исследования динамических характеристик при пренебрежении дискретностью системы.

Поскольку для решения практических вопросов, связанных с проектированием и эксплуатацией импульсно-фазовых электроприводов, необходима информация о динамических свойствах реальной, неидеализированной системы, необходима разработка программного комплекса, позволяющего выполнять расчет переходных процессов в электроприводе на ЭВМ. Применение методов численного интегрирования не обеспечивает высокого быстродействия цифровой имитационной модели, поэтому в ее основу положен численно-аналитический метод пространства состояний.

При известных начальных значениях компонентов вектора состояния устройств непрерывного действия $[x]$ в момент времени $t=t_0$ выбранный метод позволяет получить выражение для расчета компонентов вектора $[x]$ в произвольный момент времени $t=t_0+\Delta t$. Состояние устройств дискретного действия определяется в момент времени $t=t_0$ и остается неизменным в течение приращения времени Δt . При появлении импульсов частотного сигнала задания выполняется расчет управляющего сигнала, при этом используется информация о фазовом рассогласовании и положении ротора двигателя, полученная на предыдущем периоде сигнала задания. На каждом расчетном интервале, соответствующем приращению времени Δt , определяется наличие импульса сигнала обратной связи. При его появлении выполняется расчет фазового рассогласования на текущем периоде сигнала задания и определяется положение ротора двигателя. Значения компонентов вектора состояния $[x]$, вычисленные на текущем интервале для момента времени $t=t_0+\Delta t$, и значение времени t принимаются начальными для расчета на следующем интервале. Затем процесс вычислений повторяется.

Применение комплекса подтвердило его эффективность при расчете переходных процессов в импульсно-фазовых электроприводах с микропроцессорным управлением.

УДК 62-83:681.51:621.382.3

М.В. ФАЛЕЕВ, д.т.н., проф., А.Н. ШИРЯЕВ, к.т.н., доц.,
А.М. ШУРЫГИН, асп., Д.А. КЛИМОВ, асп.
(ИГЭУ)

Высокоскоростной импульсно-фазовый электропривод с векторным управлением

Повышение надежности и улучшение параметров движения механизмов, связанных с проведением испытаний физико-механических свойств различных материалов, и достижение необходимых для современных информационных технологий эксплуатационных характеристик могут обеспечиваться при использовании интегрированных в исполнительный механизм приводных устройств, высокоточных измерительных преобразователей, эффективных принципов управления и аппаратных средств их реализации.

Высокие требования к точности воспроизведения параметров движения – скорости и текущего положения механизма – делают практически безальтернативным применение бесколлекторных двигателей (БКД), представляющих собой совокупность синхронной электрической машины с возбуждением от постоянных магнитов и инвертора, управляемого датчиком положения ротора. Требования к реализации необходимых режимов работы электроприводов испытательной техники и достижению соответствующих точностных характеристик могут быть обеспечены только с использованием цифровых средств управления.

Известно, что большинство электроприводов такого типа строятся на основе векторного управления с использованием принципов подчиненного регулирования и измерением токов фазных обмоток двигателя, что не только требует применения дополнительных измерительных преобразователей и соответствующих интерфейсов, но и предъявляет жесткие требования к возможностям вычислительных устройств. Поэтому авторами предлагается микропроцессорная импульсно-фазовая система с векторным управлением БКД, в которой используется только датчик положения ротора и практически все узлы реализуются программным способом.

Векторное управление двигателем в системе электропривода формируется с помощью идентификатора момента. Его применение позволяет получить высокие (до нескольких тысяч об/мин) частоты вращения ротора БКД при обеспечении высоких энергетических показателей работы двигателя.

Проведенные теоретические исследования и результаты испытания экспериментальных образцов микропроцессорного импульсно-фазового электропривода с векторным управлением подтверждают высокую эффективность применения идентификатора момента. В области высоких частот вращения вала потери в двигателе не превышают значений, полученных при прямом векторном управлении.

Реализация векторного управления вентильного двигателя по сигналам дискретного датчика положения ротора

Для осуществления плавного вращения вектора поля якоря, с жесткой привязкой его к положению ротора устанавливают не дискретный, а непрерывный, цифровой или импульсный датчик положения ротора (ДПР). Это обстоятельство может существенно усложнить конструкцию двигателя, так как дискретный ДПР, выполненный, например, на датчиках Холла, установленных в воздушный зазор, реализуется значительно проще, чем импульсный или цифровой датчик. В связи с этим вызывает интерес такая схема вентильного двигателя, в которой векторное управление реализуется с дискретным ДПР.

Выражения для ШИМ-регулирования на всех шести тактах приведены в таблице.

Выражения для ШИМ-регулирования

Такт	1	2	3	4	5	6
γ_1	1	$\cos\Delta\varphi$	$1-\cos\Delta\varphi$	0	$1-\cos\Delta\varphi$	$\cos\Delta\varphi$
γ_2	$1-\cos\Delta\varphi$	$\cos(\Delta-\Delta\varphi)$	1	$\cos\Delta\varphi$	$1-\cos(\Delta-\Delta\varphi)$	0
γ_3	$1-\cos(\Delta-\Delta\varphi)$	0	$1-\cos(\Delta-\Delta\varphi)$	$\cos(\Delta-\Delta\varphi)$	1	$\cos(\Delta-\Delta\varphi)$

В течение межкоммутационного интервала (МКИ) информация о положении ротора отсутствует, поэтому появляется необходимость аппаратными средствами задавать скорость вращения поля якоря (ω_0), максимально приближая ее к скорости вращения ротора ω_p , чтобы значение угла коммутации θ в течение МКИ не менялось. Отсюда возникает необходимость прогнозирования закона изменения ω_p на рассматриваемом МКИ.

Литература

1. Векторное управление вентильного электропривода / С.Г. Воронин, Д.В. Коробатов, В.В. Запунный, П.О. Шабуров // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». – 2004. – Вып. 5.

УДК 621.868.2-83

Ю.В. ПАРШКОВ, ст. препод., Е.Н. ФЕДОРЕНКО, ст. препод.
(Москва, МГТУ «МАМИ»)

Исследование процессов взаимодействия силовых и энергетических установок электромобилей

Обеспечение требуемого уровня экологической безопасности, а также тенденции к повышению энерговооружённости и многофункциональности наиболее многочисленных малотоннажных автотранспортных средств, потребляющих наибольшее количество энергии на единицу транспортной работы, неразрывно связаны с необходимостью решения ряда системных научно-технических задач преобразования и передачи энергии тяговой нагрузке.

Наиболее радикальным способом решения поставленной задачи является введение в силовую установку электромеханических преобразователей (ЭМП) и нетрадиционных возобновляемых источников электроэнергии, образующих электромеханическую тяговую систему (ЭТС). Универсальность и простота управления энергопреобразованием в ЭМП объективно способствует вытеснению из силового канала ЭТС преобразователей энергии работающих по тепловому циклу, которые в наибольшей степени загрязняют окружающую среду выхлопными газами и углеводородными испарениями топлив.

Всесторонний анализ тенденций развития электроэнергетики, с учётом ресурсосберегающих технологий, позволяет охарактеризовать современный этап развития электромобилестроения, как поиск маневренных возможностей и дальнейшего повышения эффективности невос требованных мощностей подсистем аккумулирования и преобразования энергии.

В то же время, увеличение электроэнергетических подсистем, составляющих техническую основу ЭТС, ведёт к предъявлению более жёстких требований к надёжности передачи тяговой нагрузке энергии. Эта задача решается путём выбора структуры идеализированной модели ЭТС, позволяющей сформировать временные зависимости передаваемой энергии от энергоустановки (ЭУ). Такой подход к исследованию ЭТС позволяет решать задачи по повышению энергетической эффективности и ресурса за счёт совершенствования режимов управления энергопреобразованием, при безусловном обеспечении выходным звеном ЭТС требуемых режимов движения, что значительно упрощает реализацию системы регулирования и приводит к возникновению научно-технического направления по повышению энергетической эффективности ЭТС, количественно определяемой, как отношение относительного энергозапаса к относительной массе или относительному объёму ЭТС.

Специфика современных ЭТС приводит к усложнению обеспечивающих и функциональных энергетических подсистем, что предполагает применение совокупности принципов, формирующих направление и концепцию критериального энергетического анализа, предусматривающего комплексный анализ перспективной ЭТС во времени и пространстве, выявление её взаимосвязей.

Невозможность учёта всех факторов определяющих взаимосвязи элементов ЭТС и воздействий внешней среды, обуславливает проведение комплекса научных исследований, что даёт возможность сформировать в каждом конкретном случае целевую функцию, подойти к выбору критериев и определить количественный и качественный состав устройств ЭТС. В соответствии с изложенным, процесс функционирования ЭТС может быть представлен как результат взаимодействия элементов некоторой целостности образующих структуру системы, что позволяет упростить расчёты при её исследовании и более наглядно их интерпретировать.

Таким образом, одним из возможных путей решения задачи поиска наиболее рационального использования электроэнергии является некоторое усложнение схемы передачи энергетических потоков в комбинированной силовой установке ЭМ, что влечёт за собой усложнение алгоритма управления. При этом исследования направленные на выявление взаимосвязей подсистем и элементов в различных ЭТС носят итерационный и в первом приближении асимптотический характер, т.к. с течением времени меняются требования к уровню разработок.

Оценка результатов исследований при решении комплекса научно-технических задач по повышению эффективности ЭТС приводит к выявлению оптимального закона энергопреобразования, на основе которого разработан алгоритм управления, сформулированы технические требования к ЭМ. Множество подобных решений, реализующихся в системах управления ЭМ различного назначения, способствует повышению степени теоретической зрелости научного знания, что в свою очередь является важнейшим условием внедрения ЭМ.

Оптимизированная модель тягового привода электромобиля

Исследования обеспечивающих и функциональных подсистем электромобиля (ЭМ) требуют количественной и качественной оценки закономерностей процессов их функционирования, проведения энергетического анализа, а также структурного и алгоритмического синтеза электромеханической тяговой системы (ЭТС) в целом.

Основной целью функционального анализа ЭМ является проведение оценки свойств вариантов структурного и элементного построения ЭТС в различных режимах нагружения. Дальнейший синтез предполагает определение совокупности элементов и их взаимосвязей, обобщённых показателей функционирования. При этом синтезируемая структура ЭТС должна отвечать заданным требованиям в эксплуатационных условиях ЭМ.

Разработанная обобщённая модель процесса функционирования ЭТС позволяет получить ответы на вопросы об эффективности различных стратегий управления системой (определяемых назначением ЭМ) при её взаимодействии с внешней средой.

Исходя из определённого набора критериальных исходных данных, моделируются режимы работы ЭМ в пределах запаса энергии комбинированной энергоустановки (КЭУ), основной задачей которой, как наиболее важной составной части электрооборудования ЭМ, является надёжная и экономная передача энергии основному потребителю – тяговой нагрузке. Эта задача решена путём выбора оптимальной структуры КЭУ, позволяющей сформировать временные зависимости передаваемой энергии требуемой величины потребляемой мощности в течение определённого времени в тяговую нагрузку для ЭМ грузоподъёмностью от 0,5 до 2 т.

ЭТС исследуется с точки зрения состава отдельных подсистем и взаимосвязей между ними, а также с точки зрения анализа отдельных свойств, позволяющих ЭМ достигать заданной цели. Таким образом, результаты моделирования, полученные на созданной под конкретную проблему модели, позволяют уточнить системообразующие критерии эффективности различных стратегий управления ЭТС.

СОДЕРЖАНИЕ

СЕКЦИЯ 1. ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ	4
СЕКЦИЯ 2. МАТЕМАТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ, ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ И ТЕХНОЛОГИИ.....	532
СЕКЦИЯ 4. НАДЕЖНОСТЬ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ И ДИАГНОСТИКА ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ СТАНЦИЙ И ЭНЕРГОСИСТЕМ	99
СЕКЦИЯ 5. ТЕПЛОВЫЕ И АТОМЫЕ ЭЛЕКТРИЧЕСКИЕ СТАНЦИИ	116
СЕКЦИЯ 6. МЕТОДЫ АНАЛИЗА И СИНТЕЗА СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ И УСТАНОВКАМИ.....	181

АВТОРСКИЙ ИНДЕКС

Абдулов Д.А.	95	Гасс А.А.	112	Калинин А.В.	4, 5
Абрамов С.В.	179	Герасимов С.Е.	109, 112	Калмыков Ю.В.	61
Анастасенков Д.А.	102	Глазунов А.В.	190	Капанин С.Н.	11
Андреев А.А.	166	Глазунов В.Ф.	187	Карабанов Л.А.	99
Андреев Д.А.	102, 104	Гнездов Н.Е.	183, 186,	Карасев В.В.	116
Анохин Ю.А.	113		187	Карпов М.А.	62
Аршиненко И.А.	52	Голов В.П.	49	Карташев Д.В.	133
Баженов К.В.	56	Голубкова И.В.	123	Каск А.М.	89
Баженов О.А.	20, 26	Горбачев И.А.	171	Катулин А.В.	43, 44
Базаров А.А.	13	Горячкин С.Н.	26	Кашин А.В.	204
Байко А.В.	111	Горнушкин А.Р.	174	Киет С.В.	172
Балашов Ю.В.	116	Грачева Е.И.	103	Кириенко В.П.	200
Барабошкина Т.В.	48	Грехов Л.Л.	119	Киселев А.И.	129
Барочкин Е.В.	137, 138	Гречин В.П.	37, 38, 39	Киселева Ю.А.	34, 36, 40
Барышников В.А.	181	Груздев Б.	178	Климов Д.А.	206, 207
Батищев А.М.	8	Губин М.В.	58	Клочков С.А.	63
Батти М.К.Л.	174	Гуюмджян П.П.	92	Клочкова Н.Н.	10
Бедняков С.В.	36	Данилушкин А.И.	7, 9	Козлов В.К.	106
Безменова Ю.В.	53	Данилушкин И.А.	11	Козюлина Е.В.	172, 173
Белов А.А.	79	Дарьенков А.Б.	188	Козин В.М.	62
Белов М.П.	54	Дзюзер В.Я.	57	Колганов А.Р.	192
Белопловский А.А.	5, 6, 7	Дмитриева Л.А.	92	Колодин И.Ю.	184
Богловский А.В.	176	Дмитриева Ю.И.	108	Комов А.А.	143
Беляев Г.В.	19, 20	Дорохов Е.В.	123	Коньков Е.О.	146
Бобылев В.И.	21	Дудкин М.М.	189	Коротков А.А.	128, 131
Бойко Е.А.	56, 152	Дудолин А.А.	124, 125	Косяков С.В.	95
Борисов А.А.	105	Еремина Н.А.	173	Крайков А.Н.	19, 24
Борисов Ю.С.	18	Евсютин А.В.	176	Красиков Н.Н.	17
Братолобов А.А.	41, 42	Егорычева Е.В.	90	Кривов С.А.	4
Брезгинов Н.Н.	101	Екимова Е.Ю.	105	Кротов В.Г.	159
Бузуев А.Н.	14	Жуйков А.В.	162	Крылов А.Н.	8
Быков А.А.	81	Жуков П.Т.	59	Кувыкин А.С.	171
Буров В.Д.	124, 125,	Журавлев С.В.	183	Кудинов А.А.	161, 171
	126, 127,	Зайчиков В.Н.	164, 165	Кудинов В.А.	147, 148
	133, 134,	Запунный В.В.	208	Кудрявцев Д.М.	35, 38, 39
	135	Захаренков Е.А.	126	Кузнецов А.В.	86
Бухмиров В.В.	154	Захаров А.М.	201	Кузнецов Д.Ю.	113
Бушуев Е.Н.	155	Захаров М.А.	191	Кузнецов К.Ю.	64
Васанова Л.К.	153	Захаров П.А.	188, 191,	Кузнецова Е.Е.	65
Величко Ю.А.	56		198	Куленко М.С.	199
Видин Ю.В.	179	Зиганшина С.К.	161	Кулешов А.И.	45, 47
Виноградов В.Н.	137, 138	Зимин Л.С.	8	Куликов А.Л.	38
Виноградов А.Н.	33	Зиннатуллин Д.А.	9	Култышев А.Ю.	119, 120
Вихарев А.В.	23, 24	Иванов А.В.	22	Куццов П.В.	14
Вольнев В.Н.	56	Ильин Е.Т.	122	Курнышев Б.С.	193, 194
Воробьев В.Ф.	19, 20	Ильичев Н.В.	47	Лавров В.В.	67
Галанская Ю.Н.	122	Ильченко А.Г.	168, 169	Лагерь И.В.	96
Галкин А.А.	96	Калатузов В.А.	149, 150,	Лапин Е.С.	61
Гарифуллин М.Ш.	106		151	Лапочкин А.И.	90

Ларин Б.М.	155, 173, 174	Орлов И.В.	187	Соколов А.М.	21, 22
Лебедев К.С.	186	Осипов И.Е.	130, 131	Соколов М.И.	51
Лебедев П.В.	16	Павлов М.Н.	94	Соколова М.А.	134
Лебедев С.К.	186, 187	Папков Б.В.	99, 107	Соколовский В.А.	5, 6
Ледуховский Г.В.	137, 138	Папкова М.Д.	88	Солдатов А.В.	25, 77
Леонтьев И.В.	188, 195	Парпуц М.В.	78	Соломаничев М.А.	202
Макаревич В.В.	125	Паршков Ю.В.	209, 211	Солунин А.М.	29, 30
Макарина М.В.	45	Пашинин И.В.	31	Солунин М.А.	29, 30
Малафеев А.В.	93	Пекунов В.В.	73	Солунин С.А.	29, 30
Малашенков Ю.А.	69	Петин В.С.	139, 144	Сорокин А.Ф.	34, 48
Мальшев В.С.	89	Пирогов А.И.	155	Сорокин Н.Ю.	51
Мартirosян А.А.	49	Пирогов Г.В.	180	Спирин Н.А.	67
Метлин Н.В.	17	Писарев В.П.	4	Спичков Ю.П.	190
Милосердов Е.П.	70	Плахин А.Н.	176	Ставров С.Г.	158
Миңченков А.А.	196	Плетников С.Б.	132	Сташенков С.С.	12
Мирзаабдуллаев А.О.	50	Поликарпова М.Г.	98	Сулайманов А.О.	83
Мискевич П.С.	95	Похорилер В.Л.	119, 120, 121	Сульиенков И.Н.	101
Мисриханов М.Ш.	37, 38, 39, 50	Поштаренко А.В.	169	Таджибаев А.И.	100
Митришкина М.Е.	68	Преображен- ский К.А.	74	Таланов В.Д.	156, 157
Митрофанов А.С.	197	Прошин В.Н.	202	Таланов С.В.	157
Митькин Ю.А.	21, 22, 23, 24	Пруднов А.В.	201	Тальяров А.В.	78
Михеев П.Г.	167	Прусаков М.В.	27, 28	Терещина О.Г.	203
Могиленко А.П.	48	Рабенко В.С.	128, 129, 130, 131	Тимаков В.В.	7
Мокичева Ю.В.	82	Ратманова И.Д.	94	Титов В.Г.	179, 188, 198
Монов Д.А.	185	Рыбаков Б.А.	135	Тихов М.Е.	19, 20, 28
Моров Б.И.	121	Рыбин В.С.	139, 144	Тихомирова Ю.Ю.	172
Мошкарин А.А.	141, 142	Рыжов О.И.	45, 46	Томашевский Д.Н.	16
Мошкарин А.В.	130, 164, 165	Савельев В.А.	114	Третьяков А.О.	198
Муравьева Е.Г.	54	Сарапулов С.Ф.	15	Тышкевич И.В.	45, 46
Муромкин Ю.Н.	131	Сарапулов Ф.Н.	15, 16	Фалеев М.В.	204, 205, 206, 207
Мыльников В.А.	110	Седлов А.С.	143, 146	Федин А.В.	111
Мясников А.Н.	198	Семенов Д.А.	75	Федонов С.	15
Назаренко Д.К.	147, 148	Семенов Д.В.	22	Федоренко Е.Н.	209, 211
Назарычев А.Н.	102, 103, 106	Семенова О.А.	75	Федоров М.О.	79
Наумов О.В.	103	Серов В.А.	47	Федотов А.И.	103
Новицкая Г.М.	116	Серов В.Е.	180	Федотов Е.А.	86
Новосельцев И.И.	71	Сибирцев А.Н.	182	Федотов М.Е.	9
Новосельцева С.С.	72	Сигидов Я.Ю.	127, 135	Федотов Е.Ю.	85
Нуждин Е.А.	128, 129	Сидоров С.Г.	91	Филиппов Г.А.	26
Нуждина Т.А.	106	Силуянов Б.П.	160	Филичев В.Г.	196
Обухова А.В.	11	Силуянов Д.Б.	160	Фомин П.А.	193, 194
Овечкин А.Ю.	188	Скворцов Б.А.	111	Фомина О.В.	95
Огорельшев Н.А.	41, 42	Скворода Б.Ф.	76	Хазиахметова Р.Р.	177
Озерова С.Л.	175	Слышалов А.В.	34, 36, 40	Хальзев И.А.	28
Олевская Л.П.	18	Слышалов В.К.	34, 36, 40	Хамедзянов А.А.	95
		Созинова Т.Е.	154	Хамидулин Е.В.	88
		Соколов А.В.	153	Химченко Р.В.	5, 6
				Хорьков А.Н.	134

Хузяшев Р.Г.	80	Чуянов Д.О	87	Шишмарев П.В.	56, 152
Цанев С.В.	133	Чухин И.М.	136	Шищенко В.В.	177
Чернов В.А.	32	Шалаев Ю.В.	36	Шкода В.Н.	170
Чернова Е.А.	65	Шаланда В.А.	107	Шувалов С.И.	142, 166,
Чернова Н.В.	86	Шарков Д.Н.	80		167
Чернышев В.А.	32, 33	Шашенков В.А.	79	Шульпин А.А.	43, 44
Чистов Ю.А.	23, 24	Шелыгин Б.Л.	164, 165	Щербаков М.С.	185
Чистосердов В.Л.	183, 184	Шилов С.В.	26	Ясинский Ф.Н.	63, 85,
					92, 93

ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

Международной научно-технической конференции
**«СОСТОЯНИЕ И ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭЛЕКТРОТЕХНОЛОГИИ»**
(XII Бенардосовские чтения)

1-3 июня

I том

Печатаются в авторской редакции.

Лицензия ИД № 05285 от 4 июля 2001 г.

Подписано в печать 28.04.2005. Формат 60x84 ¹/₁₆.
Усл. печ. л. 12,56. Уч.-изд. л. 15,6. Тираж 300 экз. Заказ .

Ивановский государственный энергетический университет
153003, Иваново, ул. Рабфаковская, 34.