



**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ
РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

**Белорусский национальный
технический университет**

Энергетический факультет

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ
В XXI ВЕКЕ**

**Материалы
II Республиканской научно-практической конференции**

Минск, 11–13 мая 2011 г.

**Минск
БНТУ
2012**

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ
Белорусский национальный технический университет

Энергетический факультет

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ЭНЕРГЕТИКИ В XXI ВЕКЕ

Материалы
II Республиканской научно-практической конференции

Минск, 11–13 мая 2011 г.

Минск
БНТУ
2012

УДК 621.311

ББК 31я43

П27

Редакционная коллегия:
канд. техн. наук, доцент *С.М. Силюк*;
канд. техн. наук, доцент *Ю.В. Бладыко*;
д-р техн. наук, профессор *Н.Б. Карницкий*;
канд. техн. наук, доцент *В.Б. Козловская*;
канд. экон. наук, доцент *В.Н. Нагорнов*;
канд. техн. наук, доцент *И.В. Новаш*;
д-р техн. наук, профессор *В.А. Седнин*;
д-р техн. наук, профессор *И.И. Сергей*;
д-р техн. наук, профессор *М.И. Фурсанов*

В сборнике представлены материалы II Республиканской научно-практической конференции «Перспективы развития энергетики в XXI веке». Тематика докладов посвящена актуальным проблемам энергетического комплекса. Обсуждаются проблемы повышения надежности и эффективности электрических сетей и систем энергоснабжения, автоматизации энергетических систем, рационального использования энергоресурсов.

Материалы публикуются в авторских редакциях.

Включенные в сборник доклады прошли рецензирование и получили положительную оценку.

ISBN 978-985-525-932-0

© Белорусский национальный
технический университет, 2012

СЕКЦИЯ «Электрические станции»

УДК 621.315

Программный комплекс для исследования удаленных двухфазных коротких замыканий

РОМАНЮК Ф.А., НОВАШ И.В., РУМЯНЦЕВ В.Ю.,
БОБКО Н.Н., УСТИМОВИЧ В.А.

Белорусский национальный технический университет

Разработанный программный комплекс для исследования режимов линий 6–10 (35) кВ с односторонним питанием состоит из головного расчетного модуля, файла исходных данных, файла результатов и программы оболочки, позволяющей проводить вычислительный эксперимент. Программа оболочка позволяет осуществлять редактирование и ввод исходных данных, выполнять расчет исследуемого режима и выводить результаты во внешний файл и в виде графиков на экран монитора (рис. 1).

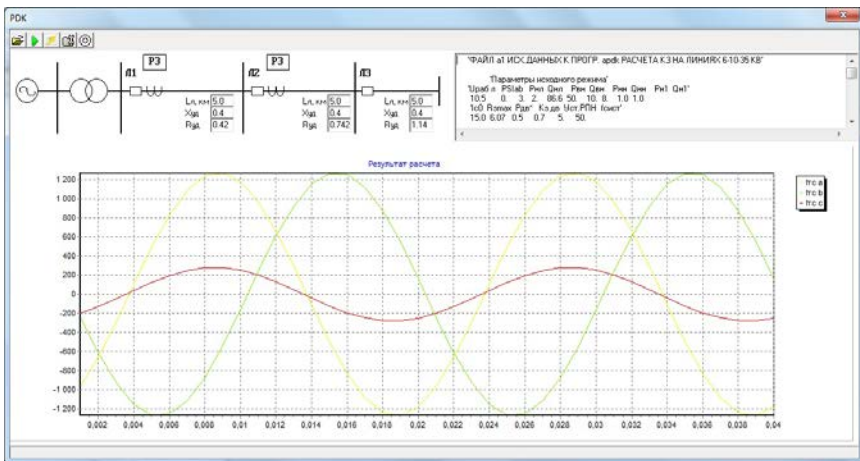


Рис. 1. Диалоговое окно программного комплекса

Для линий, непосредственно присоединенных к шинам НН и линий удаленных от шин НН понизительной подстанции, рассчитываются входные сигналы токовой защиты от междуфазных КЗ.

Выполнены контрольные расчеты для всех предусмотренных режимов, подтвердившие отсутствие ошибок в алгоритме и программных блоках. Для анализа получаемых расчетных данных, которые записываются во внешний файл результатов «ТОКИ_ТТ», разработана программа в среде MathCAD «ANREZ».

**Применение инженерных упрощенных методов
для расчета самозапуска электродвигателей собственных нужд
тепловых электростанций**

Глинский Е.В., Гузовская В.Н., Липская Е.В., Ерохов Е.Л.
Белорусский национальный технический университет

Самозапуск электродвигателей (ЭД) собственных нужд (СН) тепловых электростанций является одним из важнейших эксплуатационных режимов, обеспечивающих непрерывность технологического процесса и устойчивую бесперебойную работу теплоэнергетического оборудования при перерывах питания и повторной подаче напряжения на шины СН, соответствующую требованиям нормативно-технических документов.

Достоверный и полный ответ на вопрос, успешен или неуспешен будет самозапуск ЭД, можно получить только после проведения предварительных расчетов и соответствующих дополнительных экспериментальных проверок.

Упрощенные приближенные методы расчета режимов работы ЭД СН электростанций характеризуются малым объемом вычислительных операций. Эти методы позволяют выполнить для одного или группы ЭД СН отдельно расчеты следующих режимов: установившегося режима при нормальной работе, режима глубокой посадки напряжения на шинах СН при коротком замыкании за блочным трансформатором, режима выбега одного или группы ЭД при потере электропитания, режима самозапуска группы ЭД при восстановлении электропитания. Они также позволяют оценить правильность выбора мощности трансформаторов собственных нужд (ТСН), состава ЭД подключенных к ТСН, соотношения момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма для обеспечения пуска и самозапуска, уставок некоторых видов устройств РЗА.

Для проверки успешности процесса самозапуска группы ЭД необходимо, как минимум, рассчитать индивидуальный выбег каждого агрегата, а после определения начального напряжения выполнить проверку соотношения момента вращения ЭД и момента сопротивления механизма в диапазоне частот вращения от начального (в конце выбега) до установившегося значения. Достаточным условием успешности самозапуска является то, что время самозапуска ЭД должно быть меньше допустимого времени определяемого нагревом ЭД и условием нарушения технологического режима теплоэнергетического оборудования.

Сложные схемы электроснабжения или при необходимости более детальный расчет режимов перерыва питания и самозапуска ЭД СН рекомендуется выполнять с помощью ЭВМ.

Защита трансформаторов от перенапряжений

Спургияш А.Г., Шмыгун О.Я.

Белорусский национальный технический университет

Перенапряжение – любое увеличение напряжённости электрического поля, в какой-либо части электроустановки или линии электропередачи, достигающее величины, опасной для состояния изоляции установки. Перенапряжение представляет опасность для людей, находящихся во время перенапряжения в непосредственной близости от установки или линии. К причинам перенапряжения относят два источника происхождения: внутреннего и внешнего происхождения.

При нормальной работе трансформатора между отдельными витками и катушками обмоток, а также между обмотками и заземленным магнитопроводом возникают синусоидальные напряжения номинальной частоты и амплитуды. Эти напряжения неопасны для трансформатора.

В процессе использования трансформаторы могут подвергаться напряжению, превосходящему рабочие параметры. Данные перенапряжения классифицируются по их продолжительности на две группы: кратковременное и переходное. Самые большие перенапряжения возникают при грозовых разрядах. Перенапряжения, возникающие вследствие коммутационных причин, воздействуют в основном на главную изоляцию обмоток; атмосферные перенапряжения наиболее опасны для продольной изоляции. В большинстве случаев грозовые разряды создают в линии перенапряжения в виде кратковременных импульсов, причем амплитуда и форма импульса перенапряжения, проникающего в обмотки трансформатора, в значительной степени зависят от дальности, на котором происходит атмосферный разряд, защиты подстанции и подходов к ней. Также напряжения при перенапряжениях во много раз превышают нормальное рабочее напряжение между катушками трансформатора. Именно поэтому в трансформаторе возникают пробой и перекрытия изоляции.

Для защиты от атмосферных перенапряжений в трансформаторах с номинальным напряжением обмоток до 35 кВ используют усиленную изоляцию провода для первой и второй катушек в начале и в конце обмотки, а также увеличивают вентиляционные каналы между ними. В трансформаторах с напряжением обмоток 110 кВ и выше применяют емкостную компенсацию. Для этого используют добавочные емкости.

Защита силовых трансформаторов от грозового перенапряжения осуществляется и ограничителями перенапряжений, который должен устанавливаться до коммутационного аппарата и присоединяться наикратчайшим путем от вводов трансформатора к заземляющему устройству подстанции.

Применение математической системы MathCAD при расчете уставок микропроцессорных терминалов защит

САМОЙЛЕНКО А.О., КОВАЛЬ А.А., КЛИМКОВИЧ П.И.
Белорусский национальный технический университет

В последнее время активно происходит модернизация энергосистемы. Устанавливается новое силовое оборудование. Во вторичных цепях электромеханические реле заменяют на микропроцессорные (МП) защиты, обладающие более высокими показателями надежности и устойчивости функционирования. К их достоинствам следует отнести компактность устройств, возможность реализации сложных и более совершенных принципов действия защит, уменьшение нагрузки на трансформаторы тока, несколько групп настроек, возможность цифрового выравнивания величин измеренных токов и углов сдвига фаз с целью уменьшения тока небаланса и т. д. Но имеют место и проблемы, вызванные применением МП защит.

1. Сложности, которые вызваны переходом от традиционных реле к микропроцессорным. Во-первых, для электромеханических реле стоимость замены вышедшей из строя детали не дорогая; для МП защит, где все функции защиты и управления располагаются на одной плате, при поломке одного элемента приходится менять всю плату. Во-вторых, на работу МП терминалов защит оказывают влияние электромагнитные возмущения питающей сети – возникают проблемы электромагнитной совместимости.

2. Трудности, которые присущи как микропроцессорным терминалам защит, так и электромеханическим реле. Это отстройка от токов небаланса, вызванных броском тока намагничивания, перевозбуждением, перегрузками послеаварийными режимами, внешними КЗ.

3. В связи с отсутствием унифицированных методик расчета возникают затруднения при расчете уставок и проверке чувствительности микропроцессорных терминалов защит различных производителей – каждый разработчик предлагает собственные методики.

Руководствуясь существующими доступными нормативными документами, в математической системе MathCAD разработаны программные модули позволяющие выполнить расчет уставок микропроцессорных терминалов защит блока генератор-трансформатор, генератора, трансформатора связи, трансформатора собственных нужд, отходящих воздушных и кабельных линий различного класса напряжения, электродвигателей.

Разработанные модули могут быть использованы как в учебном процессе, так и на производстве при расчете уставок и проверке чувствительности релейных защит элементов главной схемы электрических соединений проектируемого объекта.

Анализ характеристик и использование в учебном процессе цифровых терминалов и их конфигураторов, лабораторных стендов и симуляторов микропроцессорных устройств защиты

Тишечкин А.А., Сапожникова А.Г.

Белорусский национальный технический университет

В релейной защите в последнее десятилетие стала широко применяться микропроцессорная техника. Это обусловлено существенными преимуществами микропроцессорных защит по сравнению с электромеханическими и электронными защитами. Принципы построения и алгоритмы, во многом отличаются от применяемых в электромеханических и электронных защитах, ввиду существенно различающихся технической основы и способов обработки информации. Новые возможности микропроцессорной техники позволяют реализовать ряд функций, которые невозможно было осуществить ранее.

В цифровых защитах существенно увеличилось число параметров, установка которых производится пользователем, и так же в сложных защитах наличие большого числа сообщений различного вида. Это в определенной степени усложняет обслуживание и требует наличия квалифицированного персонала.

С целью подготовки специалистов по микропроцессорным защитам кафедрой «Электрические станции» создана лаборатория, оснащенная современными стендами, разработанными специально для обучения. На основе стендов разрабатываются лабораторные работы с целью систематизировать основные вопросы построения современных цифровых релейных защит, описать их основные функции и характеристики и вопросы их эксплуатации. В лабораторных работах также используется компьютерная техника, с помощью которой происходит наладка микропроцессорных защит, задание уставок, просмотр журналов событий и аварий, работа на симуляторах микропроцессорных защит. Работа на стендах учебной лаборатории позволяет помимо теоретических знаний, приобрести уверенные практические навыки такие как:

- применение микропроцессорных терминалов для реализации функций простых защит и автоматики;
- применение микропроцессорных терминалов для реализации функций защит средней сложности и автоматики;
- применение микропроцессорных терминалов для реализации функций сложных защит и автоматики;
- использование микропроцессорных устройств в противоаварийной автоматике.

**Требования к программному обеспечению комплекса
по исследованию функциональных возможностей
микропроцессорной защиты**

РОМАНЮК Ф.А., НОВАШ И.В., РУМЯНЦЕВ В.Ю.,
БОБКО Н.Н., УСТИМОВИЧ В.А.

Белорусский национальный технический университет

Применение средств микропроцессорной техники позволяет создавать защиты с высокими показателями селективности, быстродействия и чувствительности с расширенными функциональными возможностями, которые трудно получить на базе аналоговых средств. К преимуществам цифровых защит можно также отнести возможность быстрой смены алгоритмов, удобство в эксплуатации, а также возможность организации эффективного тестового и функционального контроля работоспособности устройств.

Программы вычислительного эксперимента воспроизводят комплексную математическую модель обобщенного электроэнергетического объекта и измерительных трансформаторов защищаемого объекта во всех режимах, на которые должна реагировать испытываемая защита. Обобщенный электроэнергетический объект – участок электрической сети, узел нагрузки, понизительная подстанция и т. п. – в состав которого входит конкретный защищаемый объект – отходящая линия, питающий ввод, крупный электродвигатель и т. п. Программа вычислительного эксперимента выдает результаты в виде мгновенных значений вторичных токов и напряжений измерительных трансформаторов, к которым присоединено испытываемое устройство РЗ.

Программное обеспечение комплекса по исследованию функциональных возможностей микропроцессорной защиты состоит из двух частей: программной реализации комплексной математической модели защищаемого объекта и программной реализации микропроцессорной защиты. Программная реализация математической модели защищаемого объекта дает возможность получать в ходе вычислительного эксперимента значения вторичных токов и напряжений моделируемого объекта для различных режимов. Эти расчетные значения токов и напряжений являются входными воздействиями для программной реализации модели защиты. В основу математического моделирования защищаемого объекта положен физический подход, базирующийся на замене реальных элементов упрощенными электрическими схемами замещения. Математическое моделирование микропроцессорной защиты базируется на физическом подходе для ее аналоговой части и на информационном подходе для цифровой.

Автоматизация расчета режимов самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций

ЕРОФЕЕНКО Т.С., ЕРОХОВ Е.Л., ГЛИНСКИЙ Е.В.

Белорусский национальный технический университет

На кафедре «Электрические станции» БНТУ разработаны вычислительная система и методические указания по ее использованию, предназначенной для расчетов персоналом ТЭС самозапуска групп асинхронных электродвигателей собственных нужд (СН) 6 и 0,4 кВ.

Вычислительная система выполняет расчет нормального режима, предшествовавшего самозапуску, режима трехфазного КЗ на основных шинах секции, режимов группового и индивидуального выбега после отключения основного источника питания, режима самозапуска после восстановления питания от резервного трансформатора. Особенности разработанных алгоритмов и программ являются учет предшествующей нагрузки резервного ТСН, учет сопротивления связи между резервируемой и резервной секциями 0,4 кВ, учет сопротивлений кабелей между основной системой шин и групповыми сборками, питающих кабелей электродвигателей, сопротивлений первичных обмоток низковольтных трансформаторов тока и переходных сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей. Учет предшествующей нагрузки резервного ТСН осуществляется в виде эквивалентного электродвигателя, также участвующего в самозапуске совместно с электродвигателями резервируемой секции после их присоединения к резервному ТСН.

Особенностью алгоритмов является учет влияния вытеснения тока на параметры контуров роторов электродвигателей по обобщенному критерию, одинаковому для всех типов двигателей. Это объясняется предположительно меньшей степенью такого влияния и отсутствием конкретных данных для его учета.

Особенностью разрабатываемых для вычислительной системы алгоритмов и программ, наряду с учетом предшествующей двигательной нагрузки на шинах резервного трансформатора СН и сопротивления связи между шинами резервируемой и резервной секций 0,4 кВ, является учет сопротивлений связей между групповыми сборками 0,4 кВ и основной системой шин, учет сопротивлений питающих кабелей, первичных обмоток трансформаторов тока, переходных сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей. В процессе расчета самозапуска конкретной секции СН 0,4 кВ предусмотрена возможность изменения сопротивлений контактных соединений в цепях электродвигателей без выхода из программы расчета режимов самозапуска.

Мероприятия по уменьшению погрешностей трансформаторов тока при переходных и установившихся режимах

Тишечкин А.А., Ерофеев Т.С., Самойленко А.О., Беседа А.С.
Белорусский национальный технический университет

Одной из проблем релейной защиты, как для микропроцессорных терминалов защит, так и электромеханическим реле – отстройка от токов небаланса, вызванных броском тока намагничивания, перевозбуждением, перегрузками послеаварийными режимами, внешними КЗ. Одной из составляющих тока небаланса является погрешность трансформаторов тока.

При КЗ трансформаторы тока (ТТ) могут насыщаться вследствие чего погрешность может возрастать до значений близких к 80–100 %. Для продольных дифференциальных защит данный факт может привести к ложному срабатыванию. Насыщение ТТ при разных видах КЗ неодинаково.

Существует ряд мероприятий направленных на уменьшение погрешностей ТТ при переходных и установившихся режимах:

1. Разработка и использование новых типов ТТ. Например пояс Роговского – трансформатор тока, у которого обмотки располагаются на немагнитном сердечнике.

2. Совершенствование характеристик срабатывания существующих защит. Характеристика срабатывания должна быть точным образом отстроена от тока небаланса в зависимости от значения тока КЗ.

3. Разработка МП защит, которые смогли бы определять поведение ТТ во время протекания переходного процесса. Необходимо установить закономерность трансформации вторичного тока ТТ в переходном режиме для дальнейшего использования этих алгоритмов в быстродействующих дифференциальных защитах. Данный метод сводится к нахождению участков достаточной точной трансформации, выявлению закономерностей их появления. Одним из эффективных решений, препятствующих срабатыванию защиты в случае внешнего КЗ, является введение области дополнительного торможения.

4. Компенсация погрешностей насыщенных ТТ или восстановление сигнала, искаженного явлением насыщения. Суть метода компенсации погрешностей ТТ заключается в вычислении по выборкам вторичного тока дискретных значений намагничивающего тока и приведенного ко вторичной цепи ТТ первичного тока. При этом апериодические составляющие во вторичном и намагничивающем токах можно не учитывать, так как они при суммировании взаимно компенсируются. Метод компенсации погрешностей дополнительно может обеспечить устойчивую работу защиты на участках насыщенного состояния ТТ.

**Влияние начального положения жесткой ошиновки
распределительного устройства 10 кВ
на параметры электродинамической стойкости**

Климкович П.И., ШПАКОВСКИЙ А.А.

Белорусский национальный технический университет

По разработанной математической модели и компьютерной программе явного метода расчета электродинамической стойкости жесткой ошиновки распределительных устройств 10 кВ проведено исследование влияния начального положения шинных конструкций для шин, расположенных в горизонтальной плоскости и по вершинам треугольников, углы которых равны 90° и 60° . По результатам вычислительного эксперимента построены зависимости изгибающих ($P_{\max \text{ изг.}}$) и растягивающих ($P_{\max \text{ раст.}}$) усилий на вершины изоляторов и максимального напряжения в материале шины (σ_{\max}) от начального угла положения шин (рис. 1 и 2).

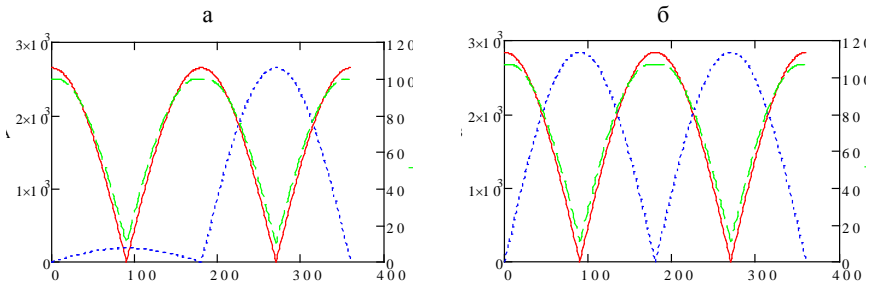


Рис. 1. Зависимости $P_{\max \text{ изг.}}$, $P_{\max \text{ раст.}}$ и σ_{\max} от начального угла поворота фазы при горизонтальном расположении шин:

а – для фаз А и С; б – для В: — — — $P_{\max \text{ изг.}}$; - - - - $P_{\max \text{ раст.}}$; - · - · σ_{\max}

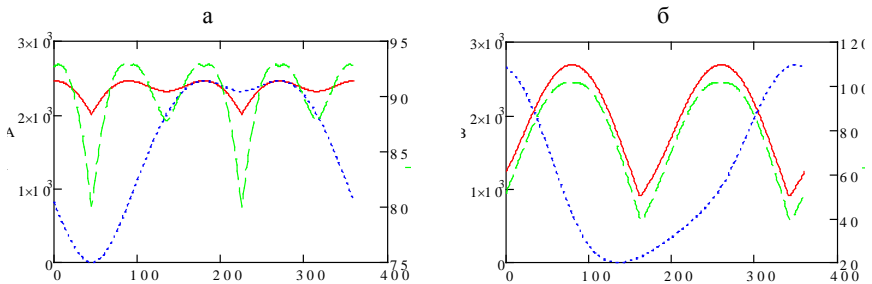


Рис. 2. Зависимости $P_{\max \text{ изг.}}$, $P_{\max \text{ раст.}}$ и σ_{\max} от начального угла поворота фазы при расположении шин в вершинах прямоугольного треугольника:

а – для фаз А и С; б – для В: — — — $P_{\max \text{ изг.}}$; - - - - $P_{\max \text{ раст.}}$; - · - · σ_{\max}

**Расчет электродинамических усилий
в трехфазной системе жестких проводников
произвольного пространственного расположения**

СЕРГЕЙ И.И., ПОНОМАРЕНКО Е.Г., СПАСКОВ А.А., ШПАКОВСКИЙ А.А.
Белорусский национальный технический университет

Данная работа посвящена разработке методики расчета электродинамических усилий (ЭДУ), возникающих при коротком замыкании в системе произвольно расположенных жестких проводников. ГОСТ 30323-95 по расчету электродинамического действия токов короткого замыкания содержит методику расчета усилий в системе параллельных жестких шин, расположенных в один ряд или по вершинам прямоугольного или равностороннего треугольника [1]. В то же время в некоторых конструкциях распределительных устройств, сборные шины располагаются по-другому, поэтому существующая методика расчета нуждается в дополнении.

Расчет ЭДУ производится по закону Био, Савара и Лапласа, записанному в векторно-параметрической форме в виде двух сомножителей

$$d\vec{F}_{kj} = I_{kj} \vec{G}_{kj}, \quad (1)$$

где $I_{kj} = \frac{\mu_0 i_k i_j}{4\pi}$ – токовый коэффициент; $\vec{G}_{kj} = d\vec{s}_k \times \oint_{I_j} \frac{[d\vec{s}_j \times \vec{R}_{jk}]}{|\vec{R}_{jk}|^3}$ – коэффициент контура; $d\vec{s}_k$ – длина элемента k -ой шины; $d\vec{F}_{kj}$ – ЭДУ на элемент длины k -ой шины от j -ой (при $k \neq j$); \vec{R}_{jk} – вектор между элементами проводников с токами; i_k и i_j – мгновенные значения токов во взаимодействующих проводниках.

В соответствии с выражением (1) разработан алгоритм и составлена компьютерная программа численного расчета ЭДУ в системе сборных шин распределительных устройств, расположенных в вершинах произвольного треугольника. Выполнена оценка достоверности вычислений по компьютерной программе. Результаты расчетов для частных случаев хорошо согласуются с расчетами по методологии, представленной в ГОСТ. Разработанный метод и компьютерная программа могут быть использованы при разработке шинных конструкций с произвольным расположением шин и изоляторов.

Литература

1. Короткие замыкания в электроустановках: Методы расчета электродинамического и термического действия токов короткого замыкания. ГОСТ 30323-95. – Введ. 01.03.1999. – Минск: 1999. – 57 с.

Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки открытых распределительных устройств электростанций

СЕРГЕЙ И.И., ПОТАЧИЦ Я.В., НОВАК А.В.

Белорусский национальный технический университет

В ОРУ широко применяются токоведущие конструкции с гибкими проводками. Параметрами траектории движения проводов при КЗ являются их максимальные горизонтальные отклонения при отталкивании и сближении, вертикальные отклонения при подъеме и опускании проводов. Алгоритм расчета траекторий движения проводов при КЗ основан на численном методе решения гиперболических уравнений в частных производных динамики пространственно расположенных проводов при совместном действии распределенных электродинамических и климатических нагрузок с учетом упругого и температурного удлинения проводов. Для пролетов с относительной стрелой провеса менее 5 % хорошее совпадение с опытными данными обеспечивают уравнения гибкой нити с малой стрелой провеса. Расщепленные фазы заменяются одиночным эквивалентным проводом.

Численное решение уравнений движения проводов производится разностным методом по явной схеме. Значения координат провода на нулевом слое сетки численного решения находится из уравнений равновесного положения проводов.

Положение крайних точек разностной сетки определяется с учетом динамики гирлянд изоляторов, опорных и изолирующих конструкций, спусков к электрическим аппаратам. Уравнения движения гирлянд изоляторов по форме записи полностью соответствуют уравнениям проводов. Только в их правых частях не учитываются электродинамические нагрузки.

Определение электродинамических усилий базируется на законе Био-Савара-Лапласа и производится по выражению, учитывающему обтекание участков шин, разделенных точкой крепления спуска неодинаковыми по величине и направлению токами КЗ.

Климатические нагрузки от ветра и гололеда влияют на начальное положение проводов до КЗ и их сближение после КЗ. Из нормируемых ПУЭ сочетаний климатических условий в зависимости от величины тока КЗ наибольшие сближения фазных проводников будут в режиме максимальной температуры при отсутствии ветра и гололеда или при максимальной скорости напора ветра при температуре минус 5 °С и отсутствии гололеда. Расчет начального положения проводов в нормируемых ПУЭ климатических режимах производится по компьютерной программе механического расчета MR21, в основу которой положен численный метод решения уравнений статики гибкой упругой нити.

Насыщение трансформаторов тока апериодической составляющей тока короткого замыкания

НЕКРИШ В.В.

СЗАО «Таврида Электрик БП»

В белорусской электроэнергетике широкое распространение получают устройства релейной защиты и автоматики (РЗА) на микропроцессорной (МП) элементной базе. Такие устройства обладают рядом несомненных достоинств. Однако их применение может вызывать затруднения у конечных пользователей, вызванное недостаточным пониманием особенностей этой техники. Одна из таких особенностей – специфические требования к трансформаторам тока (ТТ) и токовым цепям. При выборе ТТ и сечений токовых цепей проектные организации зачастую продолжают руководствоваться методикой, изложенной в РД 34.35.106 и [1], которая не учитывает насыщение ТТ апериодической составляющей тока КЗ, что может приводить к ложному срабатыванию или отказу МП устройств РЗА.

Физически явление насыщения ТТ заключается в накоплении магнитного потока в сердечнике ТТ, поскольку отсутствует или уменьшена полуволна обратной полярности, которая в обычных условиях перемагничивает сердечник.

В [2] содержатся рекомендации по предотвращению насыщения ТТ. Исследования показывают, что даже при величине тока в максимуме не превышающей трех значений номинального вторичного тока, трансформатор входит в режим насыщения [2, 3].

Сложившаяся практика показала, что при выборе ТТ пользоваться только универсальными методическими указаниями нецелесообразно, т. к. они довольно сложны для повседневного применения, а также не учитывают различные меры, принимаемые производителями для снижения требований к ТТ. Поэтому многие компании, выпускающие МП устройства РЗА, приводят в соответствующих инструкциях индивидуальные требования к ТТ для каждого отдельного реле. В большинстве случаев соблюдение этих требований гарантирует правильную работу релейной защиты даже при высоких значениях постоянной времени первичной сети.

Литература

1. Королев Е.П., Либерзон Э.М. Расчеты допустимых нагрузок в токовых цепях релейной защиты. – М.: Энергия, 1980.
2. IEEE Std C37.110-1996. IEEE Guide for the Application of Current Transformers Used for Protective Relaying Purposes.
3. Баглейбтер О.И. Трансформатор тока в сетях релейной защиты. Противодействие насыщению ТТ апериодической составляющей тока КЗ // Новости электротехники. – № 5 (53). – 2008.

Координация уровней токов короткого замыкания

БОБКО Н.Н., БАРАН А.А., ГАВРИЕЛОК Ю.В., КОЗЕЛ А.С.
Белорусский национальный технический университет

Разработка эффективных методов и средств ограничения токов КЗ является одним из центральных вопросов проблемы координации уровней токов КЗ. Его решение в силу технических и экономических условий достаточно затруднено и требует совместных, тщательно согласованных усилий научно-исследовательских, проектных и эксплуатационных организаций.

Наиболее распространенными и действенными способами ограничения токов КЗ являются:

- оптимизация структуры и параметров электростанций, сетей и энергосистем (схемные решения);
- деление сетей;
- использование различного типа токоограничивающих устройств и аппаратов;
- оптимизация режима нейтралей силовых трансформаторов.

Схемные решения позволяют производить продольное и поперечное разделение сетей с лимитированием предельно допустимого для них уровня токов КЗ. Тщательно обоснованные схемные решения освобождают энергосистемы от принятия в условиях эксплуатации вынужденных и порой неоптимальных мер по ограничению токов КЗ.

Деление сети есть вынужденное в условиях эксплуатации решение, ведущее к уменьшению жесткости эксплуатируемых сетей с целью ограничения токов КЗ в примыкающих узлах сети.

К токоограничивающим устройствам и средствам относятся: реакторы с линейной характеристикой (одинарные, сдвоенные, сухие, масляные); управляемые реакторы с нелинейной характеристикой; трансформаторы и автотрансформаторы с расщепленными обмотками низшего напряжения; токоограничивающие коммутационные аппараты (ограничители ударного тока, тиристорные выключатели, предохранители и т. п.); резисторы с линейной или нелинейной характеристиками.

Для оптимизации режима нейтралей можно использовать: частичное разземление нейтралей трансформаторов 110–220 кВ, включение в нейтрали резисторов и реакторов.

**Параметры асинхронных электродвигателей
в математических моделях вычислительного эксперимента
расчета самозапуска механизмов собственных нужд
тепловых электростанций**

БОБКО Н.Н., ГУЗОВСКАЯ В.Н., ЛИПСКАЯ Е.В., НОВАК А.В.
Белорусский национальный технический университет

Неуспешный самозапуск электродвигателей собственных нужд ТЭС может привести к большому экономическому ущербу из-за недоотпуска электроэнергии и тепла и отключения ответственных потребителей, а также к повреждению основного оборудования.

В каталогах и справочной литературе конкретный тип двигателя характеризуется следующими параметрами: номинальным напряжением, номинальной мощностью, номинальной частотой вращения, номинальным коэффициентом полезного действия, номинальным коэффициентом мощности, пусковым током, пусковым моментом, максимальным моментом.

В математических моделях вычислительных систем для оперативных расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд ТЭС [1] двигатель представляется параметрами, отсутствующими в каталогах и справочной литературе. Это так называемые модельные параметры, являющиеся параметрами известных Т-образных схем замещения контуров электродвигателя, которые могут быть определены из соотношений, вытекающих из данных схем для режима номинальной нагрузки, режима в начальный момент пуска, режима при максимальном вращающем моменте.

Таковыми параметрами двигателя являются: активное сопротивление обмотки статора; активное сопротивление ротора; индуктивные сопротивления рассеяния контуров статора и ротора; индуктивное сопротивление ветви намагничивания. Активная составляющая сопротивления ветви намагничивания в расчетах обычно не учитывается.

На основании математических зависимостей определения параметров асинхронного электродвигателя, представленных в [2], на кафедре «Электрические станции» разработана методика нахождения параметров асинхронных электродвигателей пригодная для расчетов группового выбега.

Литература

1. Новаш В.И., Глинский Е.В. Вычислительные системы для расчетов самозапуска электродвигателей собственных нужд персоналом электрических станций // «Технические вузы – республике»: материалы 52-й международной научно-технической конференции профессоров, преподавателей, научных работников, аспирантов и студентов БГПА. В 7-ми ч. Ч. 1 / БГПА. – Минск, 1997. – С. 4.

2. Важнов А.И. Переходные процессы в машинах переменного тока. – Л.: Энергия, Ленингр. отд-ние, 1980. – 256 с.

**Алгоритмы реализации математических моделей
элементов сети и функциональных блоков
микропроцессорной защиты**

РОМАНЮК Ф.А., НОВАШ И.В., РУМЯНЦЕВ В.Ю.,
БОБКОВ Н.Н., УСТИМОВИЧ В.А.

Белорусский национальный технический университет

Алгоритм воспроизведения комплексной математической модели узла распределительной сети представляет собой последовательность конкретных математических и логических операций, приводящую к численным результатам решения уравнений модели. Комплексная математическая модель представляет собой замкнутую систему дифференциальных и алгебраических уравнений, подлежащих совместному решению.

Дифференциальные уравнения не приводятся к нормальной форме Коши, т. к. в их правые части входят переменные, являющиеся корнями нелинейных алгебраических уравнений, неразрешимых в общем виде. Это требует решения алгебраических уравнений на каждом шаге численного интегрирования дифференциальных уравнений.

Длительность рассчитываемых режимов междуфазных КЗ может составлять до 3–5 с. Требуемую точность решения дифференциальных уравнений при этих условиях может обеспечить метод Рунге-Кутты 4-го порядка, который требует четырехкратного вычисления правых частей дифференциальных уравнений на каждом шаге их численного решения. Большое количество алгебраических уравнений, наличие среди них нелинейных характеристик намагничивания элементов магнитопроводов силового трансформатора и трансформаторов тока, переменность ряда коэффициентов, являющихся тригонометрическими функциями времени не позволяют непосредственно использовать для их решения известные библиотечные программы. Алгебраические уравнения решаются методом итераций с улучшением сходимости по формуле Вегстейна.

Разработаны алгоритмы решения уравнений комплексных математических моделей для расчета входных сигналов токовых защит при различных видах и местах коротких замыканий.

Разработанные алгоритмы являются математической базой для разработки комплекса компьютерных программ для проведения исследования поведения токовых защит при удаленных двухфазных КЗ.

СЕКЦИЯ «Электроснабжение»

УДК 621.311.1

Определение технических характеристик кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 10 кВ

РАДКЕВИЧ В.Н., КРИВЕНКОВА Т.В., АДАМЧУК Е.В.
Белорусский национальный технический университет

От точности определения активных и индуктивных сопротивлений кабельных линий зависит достоверность расчетов потерь мощности, электроэнергии и напряжения, токов короткого замыкания и т. д. В то же время при определении активных сопротивлений одножильных кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена (СПЭ), которые имеют сечение жилы до 800 мм^2 , следует учитывать особенности распределения тока по сечению проводника вследствие электромагнитных явлений, вызывающих поверхностный эффект и эффект близости. Из-за указанных эффектов активное сопротивление жил, имеющих сечение более 70 мм^2 , несколько больше омического. Кабели с изоляцией из СПЭ имеют длительно допустимую температуру нагрева жил $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Их рабочие температуры могут существенно повлиять на сопротивление переменному току.

Однако в технической документации заводов-производителей, как правило, даются сопротивления жил кабелей постоянному току при температуре жилы $20 \text{ }^\circ\text{C}$ и переменному – при $90 \text{ }^\circ\text{C}$. Использование таких данных приводит к погрешности расчетов электрических сетей. Для повышения точности расчета активного сопротивления одножильных кабелей построены номограммы, позволяющие оценить эту характеристику в зависимости от коэффициента предварительной нагрузки кабеля.

Индуктивное сопротивление одножильных кабелей в основном зависят от радиуса токопроводящей жилы и расстояния между центрами жил соседних кабелей S . На величину S оказывает влияние расположение кабелей при прокладке и их конструктивное исполнение. Например, при расположении кабелей вплотную друг к другу по треугольнику расстояние S равно расчетному наружному диаметру кабеля, который при одном и том же сечении жилы для кабелей разных марок может несколько отличаться. Для расчета индуктивного сопротивления одножильных кабелей в технической литературе приводятся разные аналитические выражения. Выполнен анализ этих выражений с целью выбора из них наиболее точного, дающего результаты максимально приближающиеся к средним значениям реактивных сопротивлений, приведенных в справочных таблицах технической документации кабелей с изоляцией из СПЭ.

Оценка надежности трансформаторных подстанций (6–10)/0,4 кВ

СТАЛОВИЧ В.В.

Белорусский национальный технический университет

От надежности трансформаторных подстанций (ТП) (6–10)/0,4 кВ зависит бесперебойное снабжение потребителей электроэнергией, поэтому её оценка важна как при проектировании, так и при эксплуатации распределительных сетей.

Целью работы является нахождение наиболее рациональной методики оценки надежности ТП, которая удобна для применения в процессе решения практических задач, и при этом наиболее полно и достаточно точно учитывает режимы работы реальных систем.

В настоящей работе для ряда типовых трансформаторных подстанций (6–10)/0,4 кВ, различного конструктивного исполнения, составлены «деревья» неисправностей, с помощью которых объясняются причины аварийного отключения узлов нагрузки ТП, и связанного с этим недоотпуска электроэнергии. При составлении «деревя» неисправностей, кроме отказов основных элементов схемы электроснабжения, были учтены отказы устройств релейной защиты и автоматики, а также вероятность обесточивания секции шин подстанции из-за ошибок обслуживающего персонала, что значительно повысило точность расчетов.

Оценка надежности трансформаторных подстанций производилась несколькими различными методами в статическом, динамическом и ремонтном режимах, основными исходными данными для которых являлись следующие показатели надежности: интенсивность отказов, среднее время восстановления, интенсивность преднамеренных отключений и среднее время обслуживания элементов.

На основании проведенной оценки можно сделать вывод, что в условиях неопределенности исходных данных результаты расчетов надежности ТП в значительной степени зависят от показателей надежности элементов подстанции и в гораздо меньшей степени от метода расчета. Тот или иной метод расчета следует применять в зависимости от конкретного типа решаемой задачи и известных параметров рассматриваемой схемы.

Полученные данные показателей надежности трансформаторных подстанций (6–10)/0,4 кВ помогут при выборе оптимального варианта подстанции для различных условий строительства и эксплуатации, а также позволят определить математическое ожидание ущерба от перерывов питания потребителей электроэнергии.

О представлении зависимости момента асинхронного двигателя от скольжения

ГОНЧАР А.А.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что момент, развиваемый асинхронным двигателем, связан с напряжением сети $M = U^2$. В установившемся режиме этот момент равен моменту – $M_{ст}$, создаваемому рабочим механизмом $M = M_{ст}$.

Последнее обстоятельство накладывает ограничения на формальное толкование $M = U^2$. В общем случае при изменении напряжения сети изменится рабочее скольжение – S .

При неизменной нагрузке двигателя новое скольжение можно определить из выражения:

$$\frac{M_{ст}}{M_{к}} = \left(\frac{U}{U_{н}} \right)^2 \frac{2}{\frac{S}{S_{к}} + \frac{S_{к}}{S}}, \quad (1)$$

где $M_{ст}$ – момент на валу; $M_{к}$ – критический момент; $U_{н}$ – номинальное напряжение; U – текущее значение напряжения сети; $S_{к}$ – критическое скольжение.

Для определения S из выражения (1) необходимо решить уравнение второй степени.

С целью упрощения расчетов предлагается определить новое значение S из выражения:

$$S = \frac{M_{ст}}{M_{к}} S_{к} \left(\frac{U_{н}}{U} \right)^2.$$

При этом принято, что на отрезке от $S = 0$ до $S = S_{к}$ момент асинхронного двигателя изменяется по линейному закону.

Исследование особенностей построения осветительных сетей со светодиодными источниками света

КОЗЛОВСКАЯ В.Б.

Белорусский национальный технический университет

Светодиод представляет собой полупроводниковый прибор, излучающий некогерентный свет при пропускании через него электрического тока.

Светодиоды обладают хорошими светотехническими характеристиками, не требуют значительных затрат на эксплуатацию, являются безопасными, экологически чистыми, удобными для применения. В ближайшей перспективе они могут стать вполне конкурентоспособными по отношению не только к лампам накаливания, но и к газоразрядным лампам. Сдерживающим фактором, препятствующим их массовому применению является стоимость, значительно превышающая стоимость традиционных источников света. Конструктивно светодиодные источники света содержат светодиодную матрицу, а также преобразовательное устройство, позволяющее преобразовывать переменный ток напряжением 230 В в постоянный пониженного напряжения. Стоимость такого устройства составляет десятки процентов стоимости всего светового прибора. Кроме того, при все более широком распространении светодиодов в освещении актуальным может оказаться вопрос о влиянии огромного количества таких преобразователей на качество электроэнергии. В связи с этим рассматривается задача возможности питания систем освещения некоторых потребителей постоянным током. Выполненные расчеты показали, что экономически целесообразно организовать питание от отдельного источника постоянного тока светильников, используемых для освещения общедомовых помещений и лестничных клеток жилых домов. В этом случае с учетом стоимости всех элементов сети и их обслуживания, сроков службы источников света и экономии электроэнергии вариант со светодиодными источниками света оказывается выгоднее традиционного с использованием компактных люминесцентных ламп. Следует также иметь ввиду экологическую выгоду данного решения. Светодиоды, в отличие от газоразрядных ламп, не содержат ртути и, поэтому, не требуют специальной утилизации.

УДК 621.32

Экономическая целесообразность применения галогенных ламп низкого напряжения

САЦУКЕВИЧ В.Н., КАБАНОВ А.А., СИДОРОВ А.Г.
Белорусский национальный технический университет

В настоящее время все больше внимания уделяется поиску более эффективных и экономичных решений в области освещения. Одним из направлений развития современной светотехники является исследование электрических источников света с целью определения возможности их применения в освещении.

Широкое распространение в последнее время получили галогенные лампы накаливания (ГЛН) для акцентного освещения музеев, общественных зданий, в жилых и промышленных помещениях. Номенклатура ГЛН

содержит лампы сетевого и низкого напряжения. ГЛН низкого напряжения выгодно отличаются высокой светоотдачей, миниатюрностью. Пониженное напряжение позволяет при той же потребляемой мощности достигнуть более высокого уровня освещённости, что позволяет создавать компактные и привлекательные системы освещения.

ГЛН низкого напряжения работают от источников 6, 12 и 24 В. Источниками питания ГЛН могут быть как электронные, так и индукционные трансформаторы. Электронные трансформаторы несколько дороже, но у них вдвое меньше размеры и вес, что является преимуществом, т. к. трансформаторы для питания осветительной нагрузки часто размещают на подвесном потолке. Они защищают сеть от перегрузок, не создают радиопомех и обеспечивают плавный пуск ламп, продлевающий их срок службы.

Для осветительных сетей с галогенные лампы низкого напряжения, предпочтительнее использовать электронные трансформаторы. При использовании электронных трансформаторов в качестве источников питания для осветительных сетей активное сопротивление проводящих линий увеличивается более чем в два раза по сравнению с электрическим сопротивлением проводников току промышленной частоты.

Таким образом, при проектировании систем освещения, содержащих лампы низкого напряжения необходимо учитывать влияние различных факторов, приводящих к значительным потерям мощности в электрической цепи, что накладывает ограничения на выбор числа и мощности источников света.

УДК 620.004.5

Надёжность релейно-контактных схем систем автоматики при множественных отказах

АНИЩЕНКО В.А., ЛЕСОТА А.В., МАЙСТРОВИЧ А.Г.
Белорусский национальный технический университет

Надёжность энергетических систем существенно зависит от надёжности устройств автоматики, в том числе релейной защиты, содержащих релейно-контактные схемы. Безотказность релейно-контактных схем можно повысить путем резервирования входящих в них элементов, которые могут быть в одном из трех состояний: работоспособном, иметь отказ типа «обрыв» или «замыкание».

При расчёте показателей надёжности резервированных схем необходимо учитывать, что достаточно часто наряду со статистически независимыми отказами встречаются множественные отказы, вызываемые общей для нескольких или всех элементов схемы причиной.

Шкала предпочтений резервированных схем по степени убывания вероятности безотказной работы при отсутствии множественных отказов элементов типов «обрыв» и «замыкание» выглядит следующим образом:

- последовательно-параллельное, параллельно-последовательное соединение элементов, мажоритарная схема «2 из 3»;
- последовательное или параллельное дублирование;
- последовательное или параллельное троирование.

Достоинством мажоритарной и дублированных схем является равенство вероятностей их отказов противоположных типов. Последовательное троирование минимизирует вероятность отказов типа «замыкание», параллельное троирование минимизирует вероятность отказов типа «обрыв».

Проведенный анализ показал, что множественные отказы при одинаковых вероятностях разнотипных отказов элементов не влияют на надёжность работы дублированных схем, снижают вероятность безотказной работы последовательно-параллельной, параллельно-последовательной и мажоритарной схем, повышают вероятность безотказной работы троированных схем. Полученные результаты могут быть использованы при выборе наиболее целесообразных схем резервирования ответственных систем автоматики.

УДК 620.91: 621.311.2

Потенциал коммерческого использования отходов для производства электрической и тепловой энергии

ПОСПЕЛОВА Т.Г.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь главный инвестор по использованию биомассы в энергетических целях – государство. Эксплуатируется более 3000 котлов на древесном топливе для отопления отдельно стоящих домов, офисных зданий в сельской местности, школ, других детских учреждений. Построены мини-ТЭЦ, принадлежащие РУП Облэнерго, концерну «Беллесбумпром» и местным органам власти. Зарубежные инвесторы начали вкладывать инвестиции в акционерный капитал в совместные предприятия по производству биомассы для производства электрической и тепловой энергии (СООО «Аластрэ», ПТ «Беллека», «РиндиБел», «Ай-Си-Эль-Бел», «Поставы-Пеллет»). Лесозаготовки и реализация древесины в заготовленном виде, производство энергетической щепы, топливных гранул и брикетов – направления, наиболее перспективные для привлечения иностранного капитала.

Государство, в лице региональных управлений ЖКХ, строит и ведет инвестиционные проработки по строительству мусороперерабатывающих

заводов, комплексов по получению и использованию в энергетических целях свалочного газа, а также станций по переработке сточных вод во всех крупных городах страны. Компанией «TDF Ecotech AG» взят в аренду полигон ТКО «Тростенецкий», где будет сооружен комплекс по добыче свалочного газа и использованию его в энергетических установках. Завод по переработке ТКО и производству энергии будет построен в Минске. Для этого создано СЗАО «ТелДаФакс Экотех МН». Строятся заводы по утилизации ТКО и осадка сточных вод в гг. Бресте, Гродно (кредит Мирового банка), Новополоцке. ЕБРР профинансировал разработку ТЭО по строительству комплексов по очистке воды и получению биогаза на иловых полигонах в гг. Витебске, Барановичах и Слониме.

Функционируют биогазовые комплексы в Минской, Брестской и Гомельской областях. Для реализации принятой Правительством Беларуси программы строительства в 2010–2012 гг. 39 биогазовых комплексов предусматриваются меры по широкому привлечению инвесторов.

УДК 621.311

Оптимальные уровни напряжений на промышленных предприятиях в зависимости от состава электроприёмников

АНИЩЕНКО В.А.

Белорусский национальный технический университет

Для нормальной работы электроприёмников напряжение на их зажимах должно находиться в допустимых пределах $\pm 5\%$ от номинального значения. В соответствии со статическими характеристиками при повышении напряжения потребляемая мощность возрастает, а при понижении – уменьшается.

Регулирующий эффект нагрузки потребителей электроэнергии зависит от состава электроприёмников, суточных графиков нагрузки и может сильно отличаться для разных потребителей. Он используется для экономии потребляемой электроэнергии и снижения её потерь в питающих сетях. Это осуществляется средствами централизованного (на шинах центра питания распределительных сетей) и местного (на заводских и цеховых подстанциях) регулирования напряжения. Возникает задача согласования алгоритмов централизованного и местного регулирования напряжения, удовлетворяющего всех потребителей. Вторая задача связана с эффектом приспособляемости потребителей, который обусловлен человеческим фактором. Этот эффект проявляется при максимальных нагрузках в энергосистеме и вызывается стремлением диспетчерского персонала компенсировать снижение производительности рабочих механизмов при низких напряжениях путём изменения коэффициентов трансформации трансфор-

маторов и увеличения производственных мощностей. Эффект приспособляемости нивелирует положительное с точки зрения экономии электроэнергии влияние регулирующего эффекта нагрузки, что наблюдается в практике работы систем электроснабжения. Необходима оптимизация уровней напряжений с учётом указанных эффектов. [1]. Изменяющийся состав электроприёмников и трудно предсказуемая реакция диспетчерского персонала на снижение напряжения делает оптимальное регулирование напряжения возможным при наличии большого объёма информации о действовавших централизованных и местных средствах регулирования. Эта задача может быть решена с помощью автоматизированных систем контроля и управления электроснабжением.

Литература

1. Маркушевич Н.С. Регулирование напряжения и экономия электроэнергии. – М.: Энергоатомиздат, 1984.

УДК 621.311.1

Экономически целесообразный режим работы силовых трансформаторов (6–10)/0,4 кВ

РАДКЕВИЧ В.Н., ОЗИМУК И.Н., СУРУС И.Н.

Белорусский национальный технический университет

При эксплуатации систем электроснабжения следует предусматривать экономически целесообразный режим работы силовых трансформаторов. Сущность его состоит в том, что для трансформаторов устанавливаются интервалы нагрузок, в пределах которых их экономически целесообразно использовать. В качестве технико-экономической характеристики иногда рассматриваются приведенные потери мощности, учитывающие не только потери активной мощности в трансформаторах, но и дополнительные потери активной мощности, возникающие в системе электроснабжения во всей цепи от генераторов источников питания до трансформаторов из-за потребления трансформаторами реактивной мощности. Выполненные расчеты показали, что у трансформаторов напряжением (6–10)/0,4 кВ типа ТМГ11, ТМГ12 и ТМГ13 по условию наименьших приведенных потерь мощности диапазоны экономически целесообразных нагрузок невелики, а их предельные значения соответствуют коэффициентам загрузки трансформаторов 0,3–0,4. Естественно, что работа трансформаторов с низкими значениями коэффициента загрузки приводит к существенному недоиспользованию их установленной мощности и не может быть эффективной. Следовательно, критерий экономически целесообразного использования номинальной мощности трансформатора по минимальным приведенным потерям имеет ограниченную пригодность.

Основной технико-экономической характеристикой трансформаторов является величина приведенных (дисконтированных) затрат, характеризующая стоимость трансформации электроэнергии за нормированный срок службы. Рассчитав значения приведенных (дисконтированных) затрат для всей шкалы номинальных мощностей трансформаторов одного номинального первичного напряжения, можно получить семейство кривых, точки пересечения которых определяют экономические интервалы нагрузок рассматриваемых трансформаторов. Расчеты, проведенные для силовых трансформаторов напряжением (6–10)/0,4 кВ серии ТМГ разных предприятий-изготовителей, показывают, что экономически целесообразные нагрузки по критерию наименьших приведенных затрат могут в ряде случаев превышать номинальную мощность трансформатора.

УДК 628.81, 641.53

**Задачи энергосбережения в свете основных положений
Программы социально-экономического развития
Республики Беларусь на 2011–2015 годы**

ОЛЕШКЕВИЧ М.М., МАКОСКО Ю.В., ПРОКОПЕНКО Л.В.
Белорусский национальный технический университет

На основании показателей социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы (в сопоставимых ценах, в процентах к предыдущему году) валовой внутренний продукт (ВВП) в 2015 году по отношению к 2010 году составит 162–168 %, а снижение энергоемкости валового внутреннего продукта в 2015 году к 2010 году – 29–32 %.

Потребление ТЭР в 2010 году составляет

$$TЭР_{2010} = (25 - 30) \cdot 10^6 \text{ т у.т.}$$

Потребление ТЭР в 2015 году с учетом энергосбережения должно составить

$$TЭР_{2015} = (1 - 0,3) \cdot TЭР_{2010} \frac{ВВП_{2015}}{ВВП_{2010}} = 0,7 \cdot 25 \cdot 10^6 \cdot 1,68 = 29,4 \cdot 10^6 \text{ т у.т.}$$

Потребление ТЭР в 2015 году с учетом соотношения постоянных и переменных расходов ТЭР в зависимости от роста ВВП без учета мероприятий по энергосбережению составит

$$TЭР'_{2015} = TЭР_{\text{пост}} + TЭР_{\text{перем}} \frac{ВВП_{2015}}{ВВП_{2010}} = 33,3 \cdot 10^6 \text{ т у.т.,}$$

где $TЭР_{\text{пост}} = 0,51 \cdot 25 \cdot 10^6$ т у.т. – постоянный расход ТЭР, не зависящий от производительности труда и роста ВВП, состоящие из расходов ТЭР коммунально-бытового сектора 25,4 %, транспорта 2,6 %, постоянная со-

ставляющая промышленного и строительного потребления 14,0 % и постоянная составляющая потеря энергии 4,0 %, всего 51 %; $TЭР_{перем} = 0,49 \cdot 25 \cdot 10^6$ т у.т. – переменный расход ТЭР, зависящий от производительности труда и роста ВВП – расходы промышленного сектора 35,4 %, сельского хозяйства 4,5 %, переменная составляющая потеря энергии 6,1 %, всего 49 %.

Таким образом, для выполнения прогнозных показателей Программы среднее предприятие должно за 5 лет увеличить объем производства на 68 % и выполнить мероприятия по энергосбережению, снижающие расход ТЭР на 11,7 % или на 2,3 % в год.

УДК 621.32

Целесообразность применения светодиодов в сфере жилищно-коммунального хозяйства

ГАВРИЛОВИЧ О.Н.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время достаточно остро стоит вопрос использования светодиодных источников света (ИС) для освещения объектов жилищно-коммунального хозяйства (ЖКХ). Целью работы было произвести расчет экономического эффекта при освещении общедомовых помещений и незадымляемых лестничных клеток современного 16 этажного жилого дома двумя вариантами: с использованием в качестве ИС светильников на основе люминесцентных ламп (ЛЛ) и светодиодных (СД) светильников.

На основании проделанного светотехнического расчета для первого варианта освещения общедомовых помещений произвольно выбранного объекта ЖКХ был принят светильник марки ЛБО22-18-501 мощностью 18 Вт с ЛЛ, а для второго варианта светодиодный светильник ДПО-10-101 мощностью 10 Вт, выполненный на основе светодиодной матрицы.

Для выбора оптимального проектного решения наряду с разносторонней оценкой положительных и отрицательных факторов сравниваемых вариантов осуществляется их технико-экономическое сопоставление путем проведения технико-экономического расчета (ТЭР).

Экономичность проектируемых вариантов определяем двумя методами: методом приведенных затрат и методом чистого дисконтированного дохода (ЧДД) [1, 2]. После проведения данных расчетов было установлено, что при реализации проекта с использованием СД светильников значение ЧДД больше, а приведенные затраты более, чем в 2 раза ниже, по сравнению с проектом с использованием светильников марки ЛБО22-18-501, следовательно, вариант светодиодного освещения является экономически

более выгодным. Годовое потребление электроэнергии при использовании светильников ДПО-10-101 оказалось практически в 2,5 раза меньше, чем при использовании светильников на основе ламп ЛБ022-18-501. Таким образом, для освещения общедомовых помещений объектов ЖКХ целесообразно использовать светильники на основе СД матрицы, нежели часто употребляемые светильники на основе ЛЛ.

Литература

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.

2. Постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. № 158 «Об утверждении Правил по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов». – По состоянию на 30 марта 2007 года.

УДК 621.32

Анализ использования светодиодов на промышленных предприятиях

ГАВРИЛОВИЧ Д.А.

Белорусский национальный технический университет

С каждым днем все более актуальным становится использование светодиодных источников света (ИС) в освещении различных помещений. Целью данной работы было произвести экономическое сравнение вариантов с использованием в качестве ИС светильников на основе ламп ДРЛ и светильников на основе светодиодных ламп (СДЛ) для произвольно выбранного промышленного цеха.

На основании светотехнического расчета для первого и второго вариантов освещения помещения промышленного предприятия соответственно были выбраны светильники РСП18-400-01 с лампами типа ДРЛ мощностью 400 Вт и светодиодные светильники ВЭЛАН-012 со светодиодными лампами мощностью 100 Вт, предназначенные для общего освещения производственных и складских помещений.

После проведения технико-экономических расчетов для оценки экономической эффективности вариантов по методу приведенных затрат, а также по методу чистого дисконтированного дохода для двух сравниваемых вариантов было установлено, что более выгодным является использование варианта освещения с использованием светильников на основе СДЛ [1, 2]. Т. е. при реализации проекта с использованием светодиодных светильников приведенные затраты в 1,3 раз ниже, чем проекта с использованием светильников РСП18, а также у второго проекта с использованием светодиодных светильников значение ЧДД больше, следовательно, он является более выгодным и предпочтительным в использовании.

Окончательным выводом проделанной работы является то, что сегодня наравне с высокими светотехническими характеристиками, высоким сроком службы, низким потреблением электроэнергии и другими преимуществами внедрение СД светильников в освещение является также и более экономически выгодным в использовании по сравнению с лампами ДРЛ, можно также отметить, что эта выгода будет еще более очевидной по мере снижения стоимости светодиодов и появления их с большей световой отдачей.

Литература:

1. Справочная книга по светотехнике / под ред. Ю.Б. Айзенберга. – 3-е изд. перераб. и доп. – М.: Знак, 2006. – 972 с.
2. Постановление Министерства экономики Республики Беларусь от 31 августа 2005 г. № 158 «Об утверждении Правил по разработке бизнес-планов инвестиционных проектов». – По состоянию на 30 марта 2007 года.

СЕКЦИЯ «Тепловые электрические станции»

УДК 625.786, 621.1, 621.59

Устройство реверсивной тоннельной вентиляции метрополитенов с частичной рециркуляцией воздуха

КАЩЕЕВА О.В., ВОРОНОВ Е.О., КАЩЕЕВ В.П., ЖИДОВИЧ И.С.,
СОРОКИН В.Н., КЛИМЕНКОВА О.Л.
РУП «Минскэнерго»

Белорусский национальный технический университет

Исследование относится к вентиляции тоннельных сооружений, к созданию нормальных условий для пассажиров и обслуживающего персонала метрополитена.

Задачей исследования является стабилизация температурного и влажностного режимов атмосферы метрополитена при его работе, создание комфортных условий для пассажиров и обслуживающего персонала, уменьшение влияния вредных веществ, вносимых наружным воздухом, уменьшение энергетических затрат на обслуживание помещений метрополитена.

Задача достигается тем, что известное устройство реверсивной тоннельной вентиляции метрополитенов с частичной рециркуляцией воздуха, дополнительно содержит тепловой насос, испарительная зона которого служит для охлаждения части удаляемого отработанного воздуха и соединена с сепаратором разделения жидкой и газообразной фракций, блок их раздельной очистки и удаления в канализацию нейтрализованной жидкой фракции, устройство для возвращения газообразной части в сооружения метрополитена, соединяющие их трубопроводы с арматурой. Кроме того оно имеет рекуперативные теплообменные устройства для нагрева поступающего наружного воздуха отработанным и аналитически – исполнительный комплекс для осуществления оптимальной работы устройства в автоматическом режиме.

Пример использования предлагаемого технического решения и на этом примере (с учётом общепринятых норм) технико-экономическая оценка целесообразности применения системы утилизации теплоты вытяжного воздуха в системе теплоснабжения станции метрополитена. Расчёт сделан для станции «Тракторный завод» Минского метрополитена.

Исходные данные:

1. Расчетная тепловая нагрузка:
 - отопление 93,3 кВт;
 - горячее водоснабжение 80,6 кВт.
2. Годовая продолжительность тепловой нагрузки:
 - отопление 7000 часов;

– горячее водоснабжение 3 часа/сутки, 1095 час/год.

3. Стоимость энергоносителей (средняя за сутки на 2010 г.):

– 1 МВт·ч электроэнергии, потребляемой тепловыми насосами и другим электрооборудованием 150 долларов;

– 1 Гкал теплоты из системы ЦТ 60 долларов.

Технические предложения:

Вариант 1 (базовый). Централизованное теплоснабжение от городской тепловой сети (ЦТ).

Вариант 2. Теплоснабжение от теплонасосной установки (ТНУ) на основе теплового насоса «воздух-вода» с блоком очистки и охлаждения воздуха на станции метро.

Результаты технико-экономических расчетов приведены в таблице 1.

Таблица 1. Результаты технико-экономических расчетов

Наименование показателей	Единица измерения	Вариант 1 (базовый)	Вариант 2
Годовое потребление теплоты, всего:	Гкал	525,2	525,2
– на отопление;	Гкал	449,3	449,3
– на горячее водоснабжение	Гкал	75,9	75,9
Потребляемая мощность теплонасосными, всего:	кВт	–	34,8
– ТНУ	кВт	–	34,8
Годовой расход энергоресурсов на теплоснабжение:			
– теплоты из сети ЦТ;	Гкал	525,2	–
– электрической энергии ТНУ*	МВт·ч	–	152,7
Единовременные капитальные вложения на теплоснабжение, всего:	тыс. долл.	15,0	58,0
– на сооружение сети ЦТ;	тыс. долл.	15,0	–
– на сооружение ТНУ	тыс. долл.	–	58,0
Ежегодные эксплуатационные расходы, всего:	тыс. долл.	32,7	27,0*
– стоимость теплоты от сети ЦТ;	тыс. долл.	31,5	–
– электрической энергии, потребляемой ТНУ	тыс. долл.	–	22,9
Приведенные затраты	тыс. долл.	34,2	32,8
Срок окупаемости дополнительных капитальных вложений	лет	–	7,5*

* без учета эффекта сокращения расхода электрической энергии на привод вентиляторов, удаляющих теплоизбытки при теплоснабжении по варианту 1

Кроме того, применение устройства позволяет создать комфортные условия в метрополитене, использовать ранее бесполезно выбрасываемое

тепло, а также значительно упростить эксплуатацию тоннельных сооружений и уменьшить эксплуатационные расходы.

Таким образом, задача исследования – стабилизация температурного и влажностного режимов атмосферы метрополитена при его работе, создание комфортных условий для пассажиров и обслуживающего персонала, уменьшение влияния вредных веществ, вносимых наружным воздухом, уменьшение энергетических затрат на обслуживание помещений метрополитена, достигнута.

УДК 621.1, 621.59, 621.697

Устройство с комплексной системой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов в атмосферу

КАЩЕЕВА О.В., ВОРОНОВ Е.О., КАЩЕЕВ В.П., ЖИДОВИЧ И.С.,
СОРОКИН В.Н., КЛИМЕНКОВА О.Л.

РУП «Минскэнерго»

Белорусский национальный технический университет

Исследование относится к области утилизации теплоты и уменьшения вредных выбросов, возникающих в жилых зданиях и сопровождающих работу большого количества промышленных предприятий, в частности теплоэнергетических объектов, прежде всего теплогенерирующих установок малой мощности, расположенных в густонаселённых жилых районах, не имеющих централизованного теплоснабжения.

Задачей исследования является удешевление теплоты, производимой автономной системой теплоснабжения зданий, уменьшение загрязнения атмосферы от вредных газовых выбросов и снижение теплового загрязнения окружающей среды при работе систем вентиляции зданий, вентиляции их внутренней и наружной канализационной сети и при повышении надёжности их работы.

Поставленная задача достигается тем, что устройство с комплексной системой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов в атмосферу, дополнительно содержит сборную ёмкость для смешения дымовых газов, вентиляционных выбросов и атмосферного воздуха, тепловой насос, испарительная зона которого является холодильником этой смеси газов, а через его конденсатную зону проходит линия теплоснабжения потребителя теплоты, снабжённая собирающим и раздающим коллекторами, трубопроводом для связи этой линии теплоснабжения с системой прямой и обратной сетевой воды из котельной, сепаратор для разделения жидкой и газообразной фаз смеси, нейтрализующие устройства для раздельного снижения концентраций вредных и пахучих веществ, находящихся в выделенных газообразной и жидкой частях смеси, трубопровод для периодической по-

дачи в топку котла воздуха с повышенной концентрацией вредных и пахучих веществ, полученного при пропуске его через газовые фильтры при их регенерации после исчерпания их обменной ёмкости.

В качестве примера использования предлагаемого технического решения (и его технико-экономическая оценка эффективности с учётом общепринятых норм) взят жилой дом в окрестностях г. Минска, где нет системы централизованного теплоснабжения, общей площадью 3600 м² при количестве квартир – 50 и числе жителей – 140 человек.

Тепловая нагрузка:

– отопление – 180 кВт;

– горячее водоснабжение (среднечасовое за сутки) – 30 кВт.

Базовый источник теплоснабжения жилого дома – котельная с котлами на природном газе теплопроизводительностью $2 \times 150 = 300$ кВт.

Тепловые потоки:

1. Количество вытяжного воздуха из помещений жилого дома – 1375 м³/час (из расчета 27,5 м³/час на 1 квартиру) со средней температурой 18 °С.

2. Количество дымовых газов, образующихся при сжигании природного газа в котельной:

– при тепловой нагрузке 210 кВт – 252 м³/час (из расчета 120 м³/час природного газа на выработку 1000 кВт·ч и 10 м³/час дымовых газов при сжигании 1 м³/час природного газа) с температурой 110 °С;

– при тепловой нагрузке 180 кВт – 216 м³/час (из расчета 120 м³/час природного газа на выработку 1000 кВт·ч и 10 м³/час дымовых газов при сжигании 1 м³/час природного газа) с температурой 110 °С.

3. Усредненное количество вентиляционного воздуха, проходящего через канализационные стояки жилого дома – 300 м³/час с температурой 20 °С.

4. Расчетная температура наружного воздуха для г. Минска – минус 24 °С (согласно СНиП).

5. Средняя за отопительный период температура наружного воздуха для г. Минска – минус 1,5 °С (согласно СНиП).

6. Продолжительность отопительного периода для г. Минска – 204 сутки/год (согласно СНиП).

Экономические показатели:

1. Удельные капитальные вложения на сооружение котельной на природном газе – 120 долл./кВт.

2. Удельные капитальные вложения на сооружение установки утилизации на основе теплового насоса – 300 долл./кВт.

3. Удельные капитальные вложения на сооружение установки очистки и нейтрализации конденсата, смеси охлажденных дымовых газов и вентвыбросов – 150 долл./кВт.

4. Удельные капитальные вложения на сооружение установки, обеспечивающей равный экологический эффект очистки дымовых газов и ветвыбросов из помещений зданий и канализационной сети традиционным способом (оценка по результатам анализа стоимости возможных к применению устройств) – 250 долл./кВт.

Выполненные исследования показывают, что предлагаемое устройство технически реализуемо и позволяет обеспечить более дешёвое, чем традиционное, теплоснабжение объектов, удаленных от источников централизованного теплоснабжения и размещаемых на территориях, имеющих повышенные требования к выбросам вредных веществ, содержащихся в дымовых газах и вытяжном вентиляционном воздухе из помещений зданий и внутренней и наружной канализационной сети. Причем, из результатов приведенного технико-экономического сравнения следует, что в сравнении с традиционным решением обеспечивается сокращение единовременных капитальных вложений на сооружение предлагаемого устройства на 11,7 %, ежегодных эксплуатационных затрат – на 15,3 %, а также сокращение на 39,2 % потребления природного газа (вместо 793 тыс. $\text{нм}^3/\text{год}$ расходуется всего 483 тыс. $\text{нм}^3/\text{год}$).

УДК 621.58

Анализ возможности аккумуляции холода в системах централизованного хладоснабжения республики Ирак

СЕДНИН А.В., ХОССЕНЕ НАЗАР Н. КАДАМ

Белорусский национальный технический университет

Централизованное холодоснабжение – это система, в которой охлажденная вода распределяется по трубам от центральной станции к зданиям, для охлаждения помещений и на технологические нужды. Система централизованного холодоснабжения состоит из трех основных элементов: источника охлаждения, системы распределения и потребителя.

Географическое местоположение Ирака характеризуется большим числом ясных дней. Климат Ирака субтропический средиземноморский с жарким сухим летом и теплой дождливой зимой. Наиболее выражены два сезона: продолжительное жаркое лето (май–октябрь, температура свыше $+40\text{ }^\circ\text{C}$) и более короткая прохладная, а иногда холодная зима (декабрь–март, температура около $+10\text{ }^\circ\text{C}$). Потребность в охлаждении воздуха внутри жилых и офисных помещений начинается в середине апреля и продолжается до середины октября. Кроме потребности в кондиционировании воздуха, появляется увеличенная потребность в бытовых системах охлаждения (для охлаждения питьевой воды и других напитков и фруктов, для хранения пищевых продуктов и овощей, и для изготовления льда и т. д.).

Одним из актуальных вопросов является рассмотрение возможности создания систем централизованного хладоснабжения с возможностью аккумуляции холода. Система аккумуляции холода предназначена для выравнивания неравномерности графиков потребления и производства холода. Для систем централизованного хладоснабжения, которые используют электроэнергию и тепловую энергию от собственной ГТУ, возможно получение дополнительного холода в ночной период, с целью его использования для охлаждения воздуха перед ГТУ в дневной период. Охлаждение воздуха перед ГТУ в самый жаркий период суток, позволит повысить КПД ГТУ по производству электроэнергии, что как следствие приведет к экономии топлива.

Были рассмотрены схемы с применением парокомпрессионных холодильных машин с производством электроэнергии от собственной ГТУ и водоаммиачных абсорбционных холодильных машин использующих для производства холода теплоту отходящих газов ГТУ.

Анализ полученных результатов расчета схем показал перспективность разработки схем с аккумуляцией холода, как для выравнивания графиков электрической нагрузки, так и снижения температуры воздуха перед ГТУ в определенные часы суток.

УДК 621.365.5

Создание комбинированных энергетических установок на базе газопоршневых установок и ОРЦ-установок

Седнин А.В., Кушнер Д.Л., Седнин А.А.

Белорусский национальный технический университет

В Республике Беларусь большинство газопоршневых агрегатов (ГПА) на базе двигателей внутреннего сгорания эксплуатируются в качестве базовых источников тепловой и электрической энергии в системах централизованного теплоснабжения. ГПА имеют ряд преимуществ перед другим энергетическим оборудованием, за счет низкой удельной стоимости, высокого значения электрического КПД, широкого диапазона электрической мощностей (особенно если речь идет об установках малой мощности), возможности использования в качестве топлива биогаза.

С целью повышения выработки электроэнергии при сжигании природного газа (биогаза), интерес могут представлять комбинированные установки, например ГПА и паротурбинные установки на органическом теплоносителе (ОРЦ-установки).

При создании комбинированных схем ГПА-ОРЦ следует различать варианты установки ОРЦ-модулей на действующих ГПА и вновь проектируемых установках. В первом случае возможно применение большого числа

различных схем, которые определяют конструктивные решения по части утилизации теплоты от ГПА. В частности некоторые производители ГПА объявили о разработке типовых решений по комбинированным установкам, что позволит им достичь КПД по производству электроэнергии на уровне 46–50 %, для установок сравнительно небольшой мощности. Во втором случае ГПА представляет собой законченное изделие, находящееся в эксплуатации и изменение конструкции, которого может быть технически не осуществимым, либо затратным мероприятием.

В качестве источника теплоты для ОРЦ-модуля можно рассматривать как теплоту уходящих газов после ГПА, так и теплоту охлаждающей жидкости двигателя. В зависимости от того, теплота кого потенциала используется в качестве источника теплоты для ГПА, применяют ОРЦ либо с низкотемпературными, либо с высокотемпературными рабочими телами.

Анализ результатов расчетов технологических схем ГПА и ОРЦ показал, что увеличение выработки электроэнергии при использовании только теплоты уходящих газов после ГПА составит до 8 % при применении в ОРЦ-установке низкотемпературных теплоносителей и до 10 % при сложной установке включающей в себя, как низкотемпературную, так и высокотемпературную ОРЦ.

УДК 621.51.01(075.8)

Методика настройки параметров оптимальной динамической настройки САР теплоэнергетических процессов для объектов с инерционным участком n -го порядка

Кулаков Г.Т., Корзун М.Л.

Белорусский национальный технический университет

Динамические характеристики инерционных участков теплоэнергетических ОР описываются следующей передаточной функцией (ПФ):

$$W_{об}(p) = \frac{k_{об}}{(T_0 p + 1)^n}, \quad (1)$$

где $k_{об}$, T_0 и n – соответственно коэффициент передачи объекта, постоянная времени инерционного звена (ИЗ) 1-го порядка, порядок дифференциального уравнения.

Методы расчета оптимальной динамической настройки двухконтурных САР основаны на аппроксимации ПФ инерционным участком в виде ПФ ИЗ 1-го порядка с запаздыванием:

$$W_{ин}(p) = \frac{k_{ин} e^{-\tau_y p}}{T_k p + 1}; \quad (2)$$

$$W_{\text{ин}}(p) = \frac{k_{\text{ин}} e^{-\tau_y p}}{(T_{\text{ин}} p + 1)(\sigma_{\text{ин}} p + 1)}, \quad (3)$$

где $k_{\text{ин}}$, $T_{\text{ин}}$ и $\sigma_{\text{ин}}$, τ_y , T_k – соответственно коэффициент передачи участка, большая и меньшая постоянные времени инерционного участка, условное запаздывание по каналу регулирующего воздействия, постоянная времени инерционного участка, равная $T_k = T_{\text{ин}} + \sigma_{\text{ин}}$.

Численные значения ПФ (2) и (3) выбираются из условия минимизации площадей разностей $k_{\text{ин}}$ экспериментальной и расчетной передаточных характеристик объекта. Обычно $T_k = T_{\text{ин}} + \sigma_{\text{ин}} > \tau_y$. ПФ (1) можно представить в виде ИЗ 1-го порядка с запаздыванием, исходя из лучшего совпадения ЧХ объекта в области низких частот. Постоянную времени ИЗ T_1 и запаздывание τ_1 выразим через численные значения параметров T_0 и n :

$$W_{\text{ин}}(p) = \frac{k_{\text{ин}} e^{-\tau_1 p}}{T_1 p + 1}, \quad (4)$$

где $T_1 = T_0 \sqrt{n}$; $\tau_1 = nT_0 - T_1$.

Так, если САР с дифференциатором с использованием ПФ (2), то для расчета параметров ПФ дифференциатора можно использовать МПК ЧВ:

$$T_d = T_k; \quad (5)$$

$$k_d = \frac{2k_{\text{ин}} \tau_y}{T_k}, \quad (6)$$

где k_d – коэффициент передачи дифференциатора; T_d – время дифференцирования.

Расчет параметров динамической настройки (ПДН) основного ПИ-регулятора производят по МЧК с учетом найденного значения k_d .

Если для расчета дифференциатора использовать ПФ (4), то формулы МПК ЧВ примут следующий вид для $T_1 > \tau_1$:

$$T_d = T_1 = T_0 \sqrt{n}; \quad (7)$$

$$k_d = \frac{2k_{\text{ин}} \tau_1}{T_1} = \frac{2k_{\text{ин}} (nT_0 - T_1)}{T_0 \sqrt{n}}. \quad (8)$$

Если же $T_1 < \tau_1$, то расчет ПДН дифференциатора следует производить по следующим формулам:

$$T_d = nT_0 - T; \quad (9)$$

$$k_{\text{д}} = \frac{2k_{\text{ин}}\tau_1}{T_1} = \frac{2k_{\text{ин}}T_0\sqrt{n}}{nT_0 - T_1}. \quad (10)$$

Результаты численного моделирования переходных процессов САР с дифференциатором с использованием формул (7)–(10) вместо (5) и (6) для объекта с ПФ инерционного участка $W_{\text{ин}}(p) = \frac{1,12}{(25,3p + 1)^6}$ и опережающе-

го участка в виде ИЗ 2-го порядка $W_{\text{оп}}(p) = \frac{3,7}{(16,5p + 1)(1,5p + 1)}$ показали:

при обработке крайнего внешнего возмущения время регулирования сокращается в 2–3 раза, степень затухания переходных процессов увеличивается с ψ от 0,78 до 1,0, максимальная величина регулирующего воздействия уменьшается на 30 %.

УДК 621.51.01(075.8)

Синтез инвариантных САР теплоэнергетических процессов

КУЛАКОВ Г. Т., КОРЗУН М. Л.

Белорусский национальный технический университет

Теория инвариантности указывает пути существенного улучшения качества и повышения динамической точности САР, находящихся под влиянием нестационарных воздействий. Для достижения абсолютной инвариантности необходимо иметь регулятор с бесконечно большим коэффициентом усиления, чего достичь нельзя, а можно иметь только достаточно большое значение коэффициента усиления, то и инвариантность достигается не полная, а только частичная, т. е. с точностью до ε . Необходимым признаком физической реализуемости инвариантной системы является наличие в схеме по меньшей мере 2-х каналов передачи возмущающего воздействия между точкой его приложения и той точкой, относительно которой достигается инвариантность.

Особенностью САР технологических параметров ТЭС является то, что динамические характеристики (ДХ) крайних внешних возмущений (по нагрузке котла, энергоблока) определяются расчетным, экспериментальным путем. ДХ инерционных участков пароперегревателей котлов при возмущении расходом пара могут быть аппроксимированы ПФ инерционного звена (ИЗ) 1-го порядка:

$$W_{\text{в}}(p) = \frac{k_{\text{в}}}{T_{\text{в}}p + 1}, \quad (1)$$

где $k_{\text{в}}$ и $T_{\text{в}}$ – соответственно коэффициент передачи, постоянная времени ИЗ.

Априорные сведения о возмущениях САР теплоэнергетических объектов позволяют реализовать инвариантные двухконтурные САР. ПФ устройства компенсации крайнего внешнего возмущения при этом имеет следующий вид:

$$W_k(p) = \frac{W_b(p)[1 - W_{зд}(p)]}{W_{зд}(p)}.$$

Здесь оптимальная ПФ САР по задающему воздействию будет равна:

$$W_{зд}(p) = \frac{e^{-\tau_y p}}{T_{зд} p + 1}, \quad (2)$$

где τ_y – время запаздывания по каналу регулирующего воздействия; $T_{зд}$ – заданное значение времени разгона оптимального переходного процесса.

При расчетах звено запаздывания можно приближенно заменить ИЗ 1-го порядка, если в одном канале со звеном последовательно включено ИЗ с намного большей постоянной времени или интегрирующее звено. С учетом этого, подставив в ПФ (1) и (2) пренебрегая второй производной, получим:

$$W_k(p) = \frac{k_b(T_{зд} + \tau_y)p}{T_b p + 1} = \frac{k_d T_d p}{T_d p + 1},$$

т. е. реальное дифференцирующее звено, у которого при $T_{зд} = \tau_y$; $T_d + T_b$ –

время дифференцирования; $k_d = \frac{2k_b \tau_y}{T_b}$ – коэффициент передачи дифференциатора.

Предложенный метод оптимизации комбинированной инвариантной САР позволяет при обработке внешнего возмущения в двухконтурной системе уменьшить максимальную динамическую ошибку регулирования от 10 до 30 %, интегральный квадратичный критерий качества регулирования в 1,5–2 раза.

СЕКЦИЯ «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»

УДК 541.128

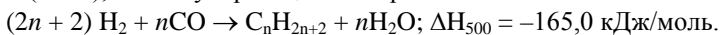
О применении каталитических процессов в синтезе моторных топлив

КРАЕЦКАЯ О.Ф.

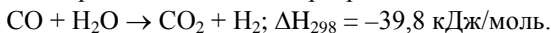
Белорусский национальный технический университет

Проблема получения высокооктановых компонентов моторных топлив и других химических продуктов из ненефтяного сырья (угля, природного газа, торфа, биомассы) становится все более актуальной в связи с многочисленными прогнозами о скором исчерпании разведанных нефтяных запасов на фоне все возрастающего потребления нефти и ростом цен на нее.

Одним из процессов получения жидких углеводородов из альтернативного сырья является синтез углеводородов из CO и H₂ – синтез Фишера-Тропша (СФТ), основную реакцию которого можно записать как:



Сопутствующей реакцией является превращение водяного газа:



Основными способами получения синтез-газа (смеси CO и H₂) являются газификация угля или конверсия природного газа, запасы которых значительно превышают запасы нефти, а также газификация любого углеродсодержащего сырья (древесина, торф, сапрпель и любая биомасса).

При полном превращении синтез-газа, содержащего компоненты в мольном соотношении CO/H₂ = 1/2 и приведенного к нормальным условиям, максимальный выход жидких углеводородов (в расчете на одну CН₂-группу) составляет 208,5 г/м³.

Показатели СФТ определяются индивидуальными свойствами применяемого катализатора, способом проведения процесса и его параметрами.

На сегодняшний день мировое производство жидких углеводородов оценивается величиной около 7 млн. т/год.

Важной задачей развития этого синтеза является разработка катализаторов, обладающих высокой активностью, селективностью и стабильностью. Для создания научных основ их получения следует установить связь между физико-химическими свойствами и химическими характеристиками катализаторов, их активностью и селективностью в рассматриваемом процессе. Всестороннее исследование катализаторов дает возможность прогнозирования их каталитических свойств и целенаправленного создания новых каталитических систем.

Выбор мощности когенерационных комплексов на местных видах топлива и их альтернативных технологий

РОМАНЮК В.Н., ТУРЛОВИЧ Е.И., ПУЗИК В.В.

Белорусский национальный технический университет

Постановление Советом Министров Республики Беларусь № 206 от 19.02.2007 определяет необходимость увеличить потребление местных видов топлива (МВТ) до 25 % потребления первичных энергоресурсов. Определяющим фактором перехода к МВТ является удаленность сырьевой базы от мест потребления, что оставляет за МВТ энергогенерирующие источники малой мощности поселков городского типа (ПГТ).

Другим определяющим фактором является выбор технологии использования МВТ. Возможно применение различных технологий:

– Комбинированное энергоснабжение с применением паротурбинных комплексов: с водой в качестве рабочего тела и с органическим рабочим телом.

– Комбинированное энергоснабжение по смешанной схеме использования топлив: когенерационная часть работает на природном газе (ПГ), пиковые теплогенерирующие мощности – на МВТ.

– Автономное теплоснабжение на базе водогрейных котлов.

Вода в качестве рабочего тела имеет известные недостатки, усложняющие эксплуатацию и делающую ее неприемлемой для условий ПГТ. Переход к органическим рабочим телам (ОРТ) снимает ряд проблем эксплуатации, выдвигая новые, которые на первый взгляд кажутся более приемлемыми. Вытеснение ПГ из приходной части энергобаланса Беларуси имеет место. Однако в обоих случаях энергетические характеристики когенерационных комплексов невысоки и не снижают, а увеличивают энергоемкость ВВП. Экономическая целесообразность, как правило, отсутствует, а если и есть, то оказывается на пределе допустимых значений и в сильной мере зависит от плеча доставки МВТ.

Смешанная схема использования топлива оказывается наиболее компромиссной. Ее отличает энергетическая целесообразность: снижается энергоемкость продукции, т. е. имеет место и годовая экономия топлива, и вытеснение из баланса страны ПГ. Обеспечивается надежное теплоснабжение при отсутствии ПГ. В неотопительный период обеспечивается хорошая экологическая обстановка.

Автономное теплоснабжение на базе МВТ является экономически приемлемой альтернативой комбинированному паротурбинному использованию этих первичных ресурсов.

Комбинированное производство энергопотоков на предприятиях легкой промышленности

РОМАНЮК В.Н., МУСЛИНА Д.Б.

Белорусский национальный технический университет

Легкая промышленность является одной из важнейших составных частей промышленного комплекса Беларуси, выпуская 3,4 % объема продукции страны. В части непродовольственных товаров ее вес возрастает до 40 %, при этом до 72 % всего энергопотребления приходится непосредственно на тепловую энергию. Наибольший интерес представляет текстильная отрасль как сырьевая база швейных, трикотажных и обувных предприятий. На ее долю приходится более трети объема производства отрасли. Важно, что она является наиболее энергоемкой отраслью легкой промышленности: энергетическая составляющая себестоимости превышает 10 %.

Теплотехнологии текстильного производства, связанные, прежде всего, с красильными и сушильными процессами, использующие пар невысоких параметров в течение всего года, в наибольшей степени отвечают требованиям комбинированного энергообеспечения. При этом более 74 % всей потребляемой тепловой энергии вырабатывается за счет прямого сжигания природного газа. В результате раздельного энергетически неэффективного и экономически дорогого энергообеспечения, на фоне непрерывного роста цен на энергоресурсы, энергетическая составляющая себестоимости продукции сказывается на конкурентоспособности предприятий легкой промышленности. Для решения задач энергосбережения и одновременного улучшения финансового положения предприятий требуется максимальное использование собственной комбинированной выработки электроэнергии на теплотехнологическом потреблении отрасли. Структура энергопотребления отрасли позволяет полностью обеспечить ее предприятия дешевой электроэнергией от собственных распределенных энергоисточников.

В этой связи целесообразен переход на комбинированную выработку энергопотоков, как правило, на базе газо-поршневых агрегатов (ГПА) с выработкой пара, сетевой воды и электрической энергии. Для достижения наибольшего числа часов использования когенерационных комплексов требуется комплекс мер по выравниванию суточного технологического потребления пара, связанного с режимом работы предприятий и залповым технологическим теплотреблением, изменение структуры теплоносителей и пр. Полезно ввести в состав теплоэнергетической системы промышленного предприятия различные аккумуляторы. В результате обеспечива-

ется экономией ПГ более 25 % и, главное, улучшается финансовое положение предприятий.

Автоматизация систем теплоснабжения зданий

АЙДАРОВА З.Б.

Белорусский национальный технический университет

Известны три ступени регулирования в системе теплоснабжения:

1. Центральное регулирование на источнике теплоты (на ТЭЦ или в котельной).

2. Местное (в тепловом пункте здания).

3. Индивидуальное (у потребителя, например, на отопительном приборе). При этом чем ближе средства регулирования к объекту регулирования, тем выше их технологические возможности, так как отражают тепловой режим непосредственно у потребителя.

Наиболее простым, но эффективным устройством индивидуального регулирования является радиаторный терморегулятор. Терморегулятор состоит из регулирующего клапана, устанавливаемого на трубопроводе, подводящем теплоноситель к отопительному прибору одноструйной или двухтрубной системы водяного отопления, и автоматического термостатического элемента. Внутри термoeлемента имеется сильфон, заполненный газом, который реагирует на любое незначительное изменение температуры воздуха в помещении, вызванное теплопритоками от освещения, людей, солнечной радиации и т. п. Растягиваясь при повышении температуры и сжимаясь при ее понижении, сильфон воздействует на конус регулирующего клапана, в результате чего сокращается или увеличивается расход теплоносителя через отопительный прибор и, соответственно, его теплоотдача. Термoelement может быть настроен потребителем на любую желаемую температуру воздуха от +6 до +26 °С, а дальше прибор все сделает сам. Таким образом, терморегулятор обеспечивает экономию до 20 % тепловой энергии, расходуемой на отопление, так как превышение температуры воздуха сверх заданной всего на 1 градус приводит к перерасходу энергии примерно на 5 %.

Радиаторные терморегуляторы гарантируют необходимое распределение воды по всей системе отопления. При этом даже самые удаленные радиаторы будут обеспечивать требуемую подачу тепла. Следующим элементом автоматизации являются балансировочные клапаны, которые применяются для автоматического поддержания постоянной разности давлений в двухтрубных стояках или расчетного расхода теплоносителя в одноструйных стояках. Они также исключают возможность шумообразования в радиаторных терморегуляторах.

Метод конечных элементов в расчетах тепловых процессов

ЕСЬМАН Р.И.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время численные методы и интерактивная графическая техника составляют единое целое в программах систем автоматизации научных исследований и автоматизированного проектирования. В качестве вычислительного средства часто используется метод конечных элементов (МКЭ). Суть МКЭ состоит в замене математической модели исследуемого процесса или объекта системой алгебраических уравнений. Большинство математических моделей содержит систему дифференциальных или интегральных уравнений относительно тех функций от координат и времени, которые являются важнейшими характеристиками исследуемого процесса. При применении МКЭ исследуемый объект условно разбивается на небольшие части (конечные элементы). Каждый элемент включает некоторое количество узловых точек. Целью метода является вычисление искомых функций в этих узлах. Таким образом, МКЭ заменяет анализ сложной модели более простой задачей решения алгебраической системы, которая может содержать достаточно большое число неизвестных. С появлением компьютеров интерес к дискретному представлению объектов существенно возрос. МКЭ в отличие от метода конечных разностей основан на вариационном исчислении. В методе конечных разностей используется разностная аппроксимация производных, входящих в дифференциальные уравнения. При использовании метода конечных элементов, представляющего собой неявное применение метода Рунге (Рунге – Рунге – Галёркина) на отдельных отрезках, физическая задача заменяется кусочно-гладкой моделью. Дифференциальное уравнение, описывающее задачу, и соответствующие граничные условия используются для постановки вариационной задачи, которая затем непосредственно решается.

Основными этапами применения метода являются следующие: дискретизация задачи, т. е. представление расчетной области в виде совокупности конечных элементов, взаимосвязанных в узловых точках; получение матриц элементов; построение общей матрицы для всей области и вектора нагрузки; наложение граничных условий; решение системы уравнений; расчет любой другой функции, зависящей от узловых неизвестных. Решение задачи конечных элементов начинается с разбиения области на элементы (подобласти). Простейшим элементом для двумерной области является треугольный элемент с тремя узлами в вершинах треугольника. Целесообразно использовать треугольники, близкие к равносторонним, что приводит к наиболее точным результатам.

Исследование теплофизических характеристик материалов на экспериментальном стенде

ЕСЬМАН Р.И.

Белорусский национальный технический университет

Экспериментальное оборудование для контактной диагностики теплофизических свойств материалов включает измерительный комплекс для сбора и обработки информации на базе цифрового термометра ТК-5, измерителя-регулятора (ИР) «Сосна-003», индикатора теплового потока ИТП-20М и приборов ИТ-λ-400, ИТ-с-400 для измерений коэффициента теплопроводности и теплоемкости.

При исследовании тепловых процессов с использованием инфракрасных термографических систем, в отличие от контактных методов, используют уравнения, связывающие термодинамическую температуру с измеряемой величиной спектральной яркости. Неполная информация о радиационных свойствах реальных объектов приводит к возникновению методической погрешности измерений, которая может превышать инструментальную погрешность в десятки раз. Для уменьшения методической погрешности используются излучательные свойства объектов и промежуточной среды. В значительной степени упростить задачу корректного измерения температуры конденсированных сред позволяет предварительное экспериментальное определение спектральной излучательной способности исследуемых объектов по спектральной зависимости коэффициента отражения исследуемого объекта.

Камера IR SnapShot 525, использованная в экспериментах, является радиометрическим тепловизором, имеет широкий динамический диапазон, обеспечивающий точное измерение температуры. SnapShot 525 работает как цифровая камера, снимает и обрабатывает термограммы в широком температурном диапазоне, выводит термограмму на цветной 4-х дюймовый ЖК-экран. Изображения записываются на встроенной РСМСІА карте памяти, позволяющей записать до 280 термограмм на стандартной 8,0 Мбайт карте серии АТА. Обработка изображений производится с помощью прилагаемого программного обеспечения SnapView, работающего в среде Windows. Для обеспечения точного измерения температуры возможно задание значений коэффициента излучения.

В основу методов определения теплофизических характеристик материалов положено решение задачи теплопроводности, устанавливающее связь между временными и пространственными изменениями температуры тела под действием источника теплоты.

Система теплоснабжения санаторного комплекса

РОМАНЮК В.Н., ПУЗИК В.В., ТУРЛОВИЧ Е.И.

Белорусский национальный технический университет

Сегодня повышение эффективности использования первичных энергоресурсов (ПЭР) стало одним из приоритетных направлений экономической политики РБ. Немаловажную роль играет рационализация схемы тепло- и электроснабжения. Для реализации наибольшего энергосберегающего потенциала требуется комплексный подход: эффективное использование ПЭР в комбинированных установках производства тепловой и электрической энергии (ТЭ и ЭЭ), использование альтернативных источников (теплонасосных установок (ТНУ) воздушного и грунтового типа подвода утилизируемого потока тепловой энергии).

Существуют некоторые особенности проектирования систем теплоснабжения (СТС) санаторных комплексов, а именно:

1. Характер объекта и его функциональное назначение определяют неравномерный режим работы энергогенерирующего оборудования (ЭГО).

2. Следует обеспечить комфортные условия для оздоровления отдыхающих на территории пансионата, что исключает использование торфа в качестве основного топлива.

3. Оздоровительный комплекс располагается в лесном массиве, что исключает и природный газ как топливо из-за сложности и высокой стоимости прокладки газопровода.

Выбор вариантов должен учитывать как энергетические и экономические критерии, так и функциональное назначение объекта. Данным факторам отвечают современные схемы теплоснабжения на базе ТНУ, газопоршневых установок, электрокотлов (ЭК) и котлов для резервного топлива. Парокомпрессионные ТНУ с электроприводом, например, обеспечивают выработку ТЭ с использованием энергии окружающей среды (воздух, грунт) с коэффициентом преобразования до 4. Высокая стоимость оборудования и работ значительно ухудшают показатели эффективности работы ТНУ. Для ее повышения следует максимально гибко использовать ЭГО с учетом графиков потребления ЭЭ энергосистемы: загрузка оборудования, потребляющего ЭЭ на выработку ТЭ, максимальна в ночное время, когда действуют пониженные тарифы на покупку ЭЭ. Помимо отмеченных сдерживающими факторами распространения ТНУ являются: недостаточная апробированность в РБ, сложность адаптации существующих СТС под требования ТНУ, новизна таких СТС в РБ в совокупности с наличием негативных примеров (НПО «Интеграл»), дорогая ЭЭ и пр.

**Исследование теплоотдачи отопительного прибора
системы теплоснабжения полевого госпиталя,
функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций**

НЕСЕНЧУК А.П., КАЧАР И.Л.

Белорусский национальный технический университет

Исследуется теплоотдача отопительного прибора системы теплоснабжения мобильного полевого медицинского учреждения, функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций. Данное исследование позволяет оценить эффективность данной системы, где в качестве источника теплоснабжения используется вихревой теплогенератор ВТГ-2,2 с приводом от автономного источника энергии.

Эксперименты проводились с использованием мягкого отопительного прибора в соответствии с планом эксперимента при установившемся тепловом режиме. Такие эксперименты представляют значительный интерес при условии естественной конвекции в горизонтальной щели.

Опыты (в соответствии с планом эксперимента) выполнялись в десяти точках и были связаны с измерением температур теплоотдающей и теплопринимающей поверхности, а также температуры в щели. В качестве инструментария использовались бесконтактный пирометр AR852B и хромель-копелевые термопары.

Для оценки теплоотдачи от свободной поверхности отопительного прибора был получен коэффициент теплоотдачи: $\alpha = 5,942 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ (при средней температуре теплоотдающей поверхности $74 \text{ }^\circ\text{C}$).

Для замкнутого пространства (горизонтальной щели) результаты обработки опытных данных, устанавливающие зависимость между критериями подобия Nu , Gr , Pr , были представлены в виде графика. Анализ графика показал, что нанесенные на него точки, являющиеся результатом обработки данных опыта, практически укладываются на одну прямую линию. Уравнение для линии может быть представлено в виде $\lg Nu = a_0 + a_1 \lg(Gr \cdot Pr)$. Определение коэффициентов при неизвестных выполнялось по методу наименьших квадратов. В результате проведенных расчетов при помощи программного средства MathCAD 15 было получено критериальное уравнение $Nu = 0,236 (Gr \cdot Pr)^{0,251}$, позволяющее производить расчеты интенсивности теплообмена в условиях естественной конвекции в ограниченном пространстве (горизонтальной щели). Согласно данному критериальному уравнению для значений температур теплоотдающей поверхности от $65 \text{ }^\circ\text{C}$ до $85 \text{ }^\circ\text{C}$ были получены значения коэффициентов теплоотдачи, меняющие свои значения, от $2,7$ до $3,2 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$ соответственно (температура теплопринимающей поверхности $46 \text{ }^\circ\text{C}$).

Особенности проектирования трубопроводов систем централизованного теплоснабжения

Криштофик А.В.

Белорусский национальный технический университет

Разработка проектной документации, а тем же монтаж трубопроводов различного назначения, играет важную роль в промышленном и гражданском строительстве.

В настоящее время для систем централизованного теплоснабжения наиболее часто используются трубопроводы с промышленной ППУ (пенополиуретан) – изоляцией. В ряде зарубежных пособий по проектированию теплопроводов с ППУ-изоляцией приводятся номограммы для определения габаритов Г-, Z-образных поворотов и П-образных компенсаторов. Некритическое использование этих номограмм может привести к серьезным ошибкам при принятии проектных решений.

Данное обстоятельство объясняется тем, что точность построения номограмм, как правило, не превышает 10–15 %. В результате чего при их использовании небольшая погрешность в величине компенсируемого расширения Δ может привести к значительной разнице в размере необходимого вылета. Так же следует отметить тот факт, что специфика поведения трубопроводов, заземленных в грунте не характерна для трубопроводов, проложенных на открытом воздухе.

Отказ от упрощенных методик расчета необходим не только по причине развития компьютерных технологий (использование персональной вычислительной техники дает возможность обработки большого объема исходной информации, что в свою очередь повышает точность результатов), а так же ввиду сложившихся экономических факторов (постоянное повышение цен на энергоносители требует более тщательной проработки проектных решений).

Особенность компьютерного моделирования заключается в том, задача расчета сводится не к максимально точному воспроизведению чертежа реального трубопровода, а к выбору подходящей расчетной схемы, применение которой обуславливается невозможностью учета всех свойств реальной конструкции.

Таким образом, одним из главных факторов повышения точности вычислительных процессов является разработка современных методик расчета с использованием компьютерного моделирования.

К выбору температуры теплоносителя при центральном количественно-качественном регулировании отпуска теплоты

Седнин В.А., Шкляр И.В.

Белорусский национальный технический университет

В последнее время в Республике Беларусь вследствие автоматизации тепловых пунктов теплопотребителей был осуществлен переход теплоисточников на режим с переменным расходом теплоносителя в тепловых сетях. Тем самым вызвана необходимость перехода на метод количественно-качественного центрального регулирования отпуска тепловой энергии. В тоже время, согласно нормативам проектирования, применение методов количественного или количественно-качественного регулирования на источнике теплоты требует технико-экономического обоснования. Для действующих систем теплоснабжения в качестве критерия эффективности можно принимать затраты топлива на производство и транспорт тепловой энергии.

В данной работе был предложен расчет вышеуказанного критерия с учетом диссипации тепловой энергии при её транспорте. В случае, когда в системе теплоснабжения источником теплоты является водогрейная котельная, данный критерий будет состоять из следующих составляющих:

– расхода топлива, сжигаемого, в котле для производства теплоты, которая состоит из тепловой нагрузки потребителей, расхода теплоты на собственные нужды, теплопотерь при транспорте тепловой энергии от теплоисточника к тепловому потребителю, а также диссипации тепловой энергии при её транспорте;

– расхода топлива, сжигаемого на электростанциях энергосистемы, для выработки электроэнергии, потребляемой на собственные нужды и для привода сетевых насосов котельной.

Очевидно, что данный критерий зависит от величин, специфичных для конкретной системы теплоснабжения, и конкретных условий эксплуатации, в частности от протяженности и гидравлических характеристик теплосети. Поэтому оптимальный температурный график должен рассчитываться индивидуально для каждой системы теплоснабжения.

В ходе работы была реализована компьютерная программа которая наглядно показывает, что учет диссипации тепловой энергии позволяет снизить температуру прямой сетевой воды на 1–4 °С и способствует сокращению расхода топлива на производство и транспорт тепловой энергии.

Комбинированная установка выработки электрической и тепловой энергии с использованием биомассы

СЕДНИН В. А., ЛЕВШЕНЯ А. И.

Белорусский национальный технический университет

Среди современных технологий комбинированного производства электрической и тепловой энергии из биомассы, в диапазоне малых мощностей установок (до 5 МВт), можно выделить следующие технологии: паросиловые циклы на водяном паре средних и низких параметров; паросиловые циклы с применением низкотемпературных рабочих тел (циклы ОРЦ); циклы двигателей внутреннего сгорания и газотурбинные циклы на газогенераторном газе, получаемом в процессах термической конверсии (газификации) топлива или на биогазе, получаемом путем сбраживания органических отходов; газотурбинные циклы с прямым сжиганием твердого топлива в камере сгорания газовой турбины; газотурбинные циклы с внешним сжиганием топлива; установки на основе цикла Стирлинга. Перечисленные технологии имеют свои плюсы и минусы.

В докладе представлены результаты численного исследования технологической схемы теплофикационной установки (рис. 1), представляющей комбинацию паротурбинной установки ОРЦ и газотурбинной установки, с внешним сжиганием топлива. В качестве котельной установки выбран котел с кипящим слоем, позволяющий в качестве топлива рассматривать древесные отходы, фрезерный торф и комбинированные виды твердого топлива.

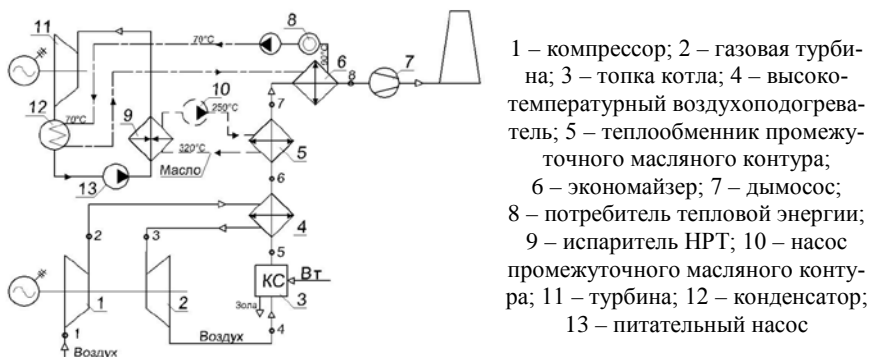


Рис. 1. Технологическая схема комбинированной энергетической установки

Полученные данные позволяют судить о перспективности реализации данной схем при строительстве миниТЭЦ на местных видах топлива. Достигаемые электрический КПД составляет 28–30 %.

СЕКЦИЯ «Экономика и организация энергетики»

УДК 621.311

Газификация биомассы с последующим сжиганием генераторного газа с местными ископаемыми топливами

КРАВЧЕНКО В.В., НАГОРНОВ В.Н., БОКУН И.А.

Институт экономики НАН Беларуси

Белорусский национальный технический университет

Наибольшей перспективой для получения энергии из биомассы обладают технологии основанные на газификации и последующим совместным сжиганием генераторного газа в энергетических установках работающих на различных видах топлива (уголь, мазут, газ).

Газификация представляет собой высокотемпературный процесс, протекающий при взаимодействии твёрдого топлива с ограниченным количеством воздуха или кислорода и превращается в горючий газ. Процесс газификации при воздушном дутье протекает при температурах 900–1000 °С, теплота сгорания полученного газа составляет 4–6 МДж/м³, а теплота сгорания полученного газа 10–15 МДж/м³ (среднекалорийный газ).

Для получения генераторного газа большей калорийности используют технологии основанные на комбинации пиролиза и газификации, которые позволяют получить газ с теплотой сгорания до МДж/м³.

Пиролиз дает возможность превращать твердую биомассу в газообразное, жидкое и твердое топливо, которое может быть использовано в качестве энергетического и технологического топлива.

Жидкие продукты пиролиза биомассы представляют собой густую черную смолянистую жидкость, выход которой может достигать до 80 % массы сухого сырья, получаемого при быстром низкотемпературном проведении процесса. Это топливо может использоваться в качестве котельного топлива в газовых турбинах и дизельных двигателях. Теплота сгорания жидких продуктов пиролиза достигает 25 МДж/кг. Твёрдые продукты пиролиза представляют собой углистое вещество ($Q_d^p = 35$ МДж/кг), выход которых может достигать 30–35 % массы сухого сырья, получаемых при карбонизации и медленном пиролизе. Такое топливо может использоваться для технологических нужд. Газообразные продукты пиролиза представляют собой среднекалорийный газ ($Q_H^p = 15–20$ МДж/м³), а при частичной газификации получается низкокалорийный газ ($Q_H^p = 4–8$ МДж/м³).

Тепловая модернизация зданий

КУПРИК А.В.

Белорусский национальный технический университет

В Беларуси решение о проведении тепловой модернизации существующих жилых домов принимается местными исполнительными и распорядительными органами по результатам обследования домов, исходя из их технического состояния, анализа теплопотребления, а также с учетом обращений граждан по вопросам сырости и промерзания в жилых помещениях.

В среднем на квартиру утепление панельной многоэтажки обходится от 4000 до 9000 долларов США в зависимости от принимаемых мер. При этом срок окупаемости может достигать до 20 лет и более. Поэтому важно думать про энергоэффективность уже на стадии проектирования и строительства здания, а не улучшать его уже в процессе эксплуатации. Поскольку утепление жилого дома является капитальным вложением, то и источником финансирования являются, как правило, банковские кредиты и бюджетные средства. Так, например, в Минске в 2011 году предусматривалось капитально отремонтировать 709,4 тыс. м² жилья. На эти цели было выделено Br441 млрд., из них Br307 млрд. (70 %) составили средства бюджета, Br133 млрд. (30 %) – средства населения и арендаторов. В дальнейшем предусматривается снижение бюджетных затрат и увеличение доли финансового участия населения. В частности, предлагается за средства населения менять системы отопления (радиаторы) и окна (долевое участие в размере 50 % стоимости). Беларусь также активно сотрудничает в области повышения энергоэффективности с Международным банком реконструкции и развития. Так в 2008–2010 гг. банком на эти цели было выделено 15 млн. долларов США.

Особенностью проведения тепловой реновации зданий является то, что зависимость финансовых затрат не прямопропорциональна получаемому тепловому эффекту, т. е. имеется некоторая базовая цена, которая не зависит от величины сохраняемого тепла.

Тепловая реабилитация домов должна проводиться грамотно, с привлечением соответствующих специалистов. При утеплении здания изменяется не только теплообмен с окружающей средой, но и паро- и воздухопроницаемость. Проведенная с ошибками тепловая реновация дома в лучшем случае не даст нужного эффекта. В худшем, может привести к появлению грибка или ухудшению микроклимата в помещении, что в свою очередь приведет к болезням.

Минимизация воздействия внешних и внутренних угроз энергетической безопасности тепловых электрических станций

Бокун И.А., Нагорнов В.Н., Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет

Институт экономики НАН Беларуси

Проведенный анализ внешних и внутренних угроз энергетической безопасности тепловых электрических станций (ТЭС) показал, что угрозами, наиболее существенно ослабляющими энергетическую безопасность ТЭС в настоящее время, являются: низкая обеспеченность собственными топливно-энергетическими ресурсами (ТЭР); высокая доля природного газа в топливно-энергетическом балансе; высокая степень износа основных производственных фондов ТЭС; более высокие удельные расходы топлива на производство электроэнергии и тепла по сравнению со странами Европейского союза; импорт ТЭР преимущественно из одной страны (России); большие затраты на импортируемые энергоресурсы; недостаток инвестиций в топливно-энергетический комплекс республики.

В результате проведенного исследования авторами разработаны рекомендации по минимизации воздействия внутренних и внешних угроз энергетической безопасности ТЭС: повышение эффективности использования ТЭР, прежде всего импортируемого топлива, а также стимулирование увеличения использования местных видов топлива; диверсификация импортируемых топливно-энергетических ресурсов по поставщикам и видам топлива с целью уменьшения доли газа в топливно-энергетическом балансе, а также зависимости от одного поставщика (России); внедрение инновационных энергосберегающих технологий и современного высокоэкономичного оборудования в производстве, минимизация удельных расходов топлива на производство электроэнергии и тепла, а также снижение потерь энергии в сетях; оптимизация денежных потоков для создания резервов для проведения ремонтных работ и модернизации оборудования; обеспечение платежеспособности потребителей энергоресурсов, включая население, и сокращение дотационности; обеспечение экологической безопасности предприятий; развитие кадрового потенциала предприятий; обеспечение энергосбережения и повышение эффективности использования энергетических ресурсов в течение их полного жизненного цикла от добычи до утилизации; осуществление постоянного мониторинга состояния энергетической безопасности с целью оперативного принятия решений по предотвращению и минимизации воздействия угроз.

Оценка комплексного использования низкосортных местных ископаемых топлив для производства синтез-газа, тепловой и электрической энергии

Бокун И.А., Нагорнов В.Н., Кравченко В.В.

Белорусский национальный технический университет
Институт экономики НАН Беларуси

Одним из важнейших направлений вовлечения в топливно-энергетический баланс Республики Беларусь НМИТ может быть применение ПГУ-ТЭЦ с внутрицикловой газификацией их в кипящем или пульсирующем слое при комбинированном производстве синтез-газа, тепловой и электрической энергии.

ПГУ-ТЭЦ представляет собой многоцелевую комбинированную энергетическую установку, которая позволяет производить ряд видов продукции с меньшими затратами, чем при раздельном способе.

Оценка указанной технологии может быть осуществлена с помощью математической модели, в основу которой положен эксергетический потенциал (величина максимально возможной работы разных энергоносителей, характеризующая термохимические и термодинамические процессы превращения энергии и заканчивающиеся при наступлении термодинамического равновесия) позволяющий производить анализ процессов превращения энергии на различных участках ПГУ-ТЭЦ.

Эксергия E зависит от параметров потока (p и T) и параметров среды (p_0 и T_0) и определяется:

$$E = (h - h_0) + T_0(s - s_0),$$

где $(h - h_0)$ соответственно энтальпия потока и окружающей среды; $(s - s_0)$ энтропия потока и окружающей среды соответственно; T_0 температура окружающей среды.

При построении математической модели ПГУ-ТЭЦ с внутрицикловой газификацией НМИТ применима методика агрегатирования и декомпозиции., в которой на основании анализа схемы соединения материальных и затратных потоков можно составить систему балансовых уравнений по расчетным элементам и, использовать метод множителя Лагранжа получить целевую функцию, которая характеризует работу энергообъекта ПГУ-ТЭЦ с минимальными затратами в каждом рассматриваемом элементе

$$L = \sum Z_i (E_i^Y)_n^i + \sum \lambda_i \left[-E_i^Y + \sum E_{ij}^X (E_j^Y)_n^i \right] \rightarrow \min ,$$

где E_i^X и E_i^Y – входные и выходные потоки эксергии; λ – коэффициент множителей Лагранжа.

Экономическая эффективность применения биогазовых технологий в Республике Беларусь

НАГОРНОВ В.Н., ИГНАТЮК А.С.

Белорусский национальный технический университет

В настоящее время активно развивается возобновляемая энергетика. Этому способствует постоянный рост цен на энергоносители. Среди альтернативных источников энергии выделяются биогазовые установки, поскольку они выполняют сразу несколько функций: генерируют биогаз, вырабатывают биоудобрения, улучшают экологическую ситуацию в местности работы установки.

При активном внедрении биогазовых установок, энергия, получаемая из биогаза, может занимать значительную долю в общем объеме энергопотребления государства. Срок окупаемости подобных установок составил от 1 до 5 лет в зависимости от условий расчета. Таким образом инвестиции в подобные установки привлекательны. Рассматривая два вида биогазовых установок (мелкое и крупное сельскохозяйственное производство, 0,6 и 60 тонн сбраживаемого сырья в сутки) были получены результаты, приведенные в таблице. Себестоимость выработанной энергии составила до 20 % от действующего тарифа для сельскохозяйственных производителей.

На малой биогазовой установке (600 кг/сут.) – электроэнергия 0,001 \$/кВт·ч; тепловая энергия 4,5 \$/Гкал; биоудобрения 0,0025 \$/кг; срок окупаемости при полной реализации 0,7 лет. На крупной биогазовой установке (60 т/сут.) – электроэнергия 0,02 \$/кВт·ч; тепловая энергия 9,07 \$/Гкал; биоудобрения 0,005 \$/кг; срок окупаемости при полной реализации 1,88 лет.

Таким образом, проект экономически эффективен как в небольших хозяйствах, так и в масштабах крупного сельскохозяйственного производства. К тому же он выгоден и с технической стороны для энергосистемы в целом. Проект позволяет обеспечить экономически эффективное снабжение удаленных децентрализованных потребителей электроэнергии и тепла. Возможна газификация населенных пунктов без необходимости прокладывания дорогостоящих газотранспортных сооружений. В современных условиях постоянного роста цен на энергоносители привлекательность применения биогазовых технологий будет постоянно усиливаться. К тому же подобные установки решают проблему утилизации отходов животноводства, сточных вод городских канализаций. Таким образом, биогазовая установка – это уникальный генерирующий источник, который к тому же благоприятно влияет на окружающую среду.

К формированию нормативной численности персонала энергосистемы

ЛИМОНОВ А.И.

Белорусский национальный технический университет

Электроэнергетика является естественной монополией. В отличие от хозяйственных субъектов, функционирующих в конкурентной среде, государственные органы управления должны осуществлять контроль как за ценообразованием на электрическую и тепловую энергию, так и за целым рядом параметров внутренней деятельности энергосистем. Поэтому цены на электрическую и тепловую энергию определяются не в результате конкуренции множества производителей, а устанавливаются расчетным путем с учетом сложившихся затрат на производство и передачу энергии. При этом затраты, в том числе и на оплату труда, должны определяться по нормативам.

В электроэнергетике разработаны и утверждены нормативы численности персонала, в соответствии с которыми и формируется фонд заработной платы (ФЗП) по филиалам и энергосистеме в целом. По существу такие нормативные документы являются формой контроля со стороны государственных органов власти за хозяйственными субъектами, занимающими монопольное положение на рынке. А из этого вытекает и основное требование к разработке этих документов. Они должны быть легко проверяемые и контролируемые. Это в первую очередь относится к функциональным факторам, используемым при расчете нормативной численности. Во-первых, данные факторы должны оценивать не трудоемкость конкретно выполненных работ, а объемы обслуживания, возлагаемые со стороны государства (общества) на тот или иной филиал. Во-вторых, такие факторы не должны субъективно оцениваться и находиться в сфере влияния нормируемого персонала. В-третьих, упомянутые факторы должны одновременно служить объективной оценкой объема выполняемой работы и, в то же время, находиться в системе отчетности, за достоверность которой несут персональную ответственность руководители соответствующих филиалов. Как следствие, к числу таких факторов можно отнести достаточно ограниченное количество укрупненных показателей, что определяет точность оценки нормирования.

Анализ перспективной программы энергосбережения Республики Беларусь

МАНЦЕРОВА Т.Ф., КРАВЧУК Е.А., БАРАННИКОВ А.И.
Белорусский национальный технический университет

Энергосбережение сегодня является одним из важнейших показателей эффективности работы национальной экономики. Оценив достигнутые результаты в области энергосбережения, осознавая важность и приоритетность политики энергосбережения на перспективу, Правительством страны утверждена Республиканская программа энергосбережения на период 2011–2015 годы. Основной целью принятой программы является необходимость обеспечения выполнения комплекса организационных и технических мероприятий, взаимоувязанных по ресурсам, исполнителям, срокам реализации, направленных на снижение энергоемкости валового внутреннего продукта, замещение импортируемых топливно-энергетических ресурсов местными и создание необходимых условий для повышения уровня энергетической безопасности республики.

Согласно норм программы на период 2011–2015 годы при возрастающих объемах валового потребления ТЭР на 12 %, экономия за счет энергосбережения должна составить по прогнозам 2 млн. т у.т. в 2015 г. против 1,36 млн. т у.т. в 2011 г. Снижение энергоемкости ВВП в 2011–2012 гг. планируется на уровне 6–7 %, 2013–2014 гг. 7,0–7,5 %, в 2015 г. 7,0–8,0 %. В целом, за период 2011–2015 гг. снижение энергоемкости ВВП планируется на уровне 29–32 %.

Достижение макроэкономических и энергетических показателей невозможно без эффективного использования ТЭР на уровне регионов, отраслей, отдельных предприятий страны. Программой предусмотрены различные уровни и задания по экономии ТЭР для министерств и ведомств. Например, ГПО «Белэнерго» за пять лет должно обеспечить экономию ТЭР в объеме 1265–1515 тыс. т у.т., концерн «Белнефтехим» – 1450–1594 тыс. т у.т. В тоже время Министерству связи и информатизации задание доведено в объеме 19 тыс. т у.т., концерну «Белбиофарм» – 22 тыс. т у.т. Анализ заданий по экономии ТЭР по областям и г. Минск показал, что Гомельская и Витебская области должны обеспечить экономию ТЭР за период 2011–2015 гг. на уровне 1377–1724 тыс. т у.т., в то время как Могилевская область – 779–993 т у.т. Для Минска экономия ТЭР в 2011 году должна составить 177–196 т у.т., а в 2015 г. – 186–259 т у.т., т. е. за пять лет экономия в целом должна быть обеспечена в пределах 918–1154 т у.т.

Стандарт ISO 50001

КУПРИК А.В.

Белорусский национальный технический университет

15 июня 2011 года Международная организация по стандартизации ISO опубликовала официально утвержденную версию международного стандарта ISO 50001:2011 «Системы энергоменеджмента – Требования с руководством по использованию».

ISO 50001 основан на общих элементах стандартов ISO, распространяется на системы менеджмента и совместим с ISO 9001 (менеджмент качества) и ISO 14001 (экологический менеджмент). В рамках экспериментальной программы тестирования были проведены два экспериментальных внедрения на предприятиях крупного и малого бизнеса. В течение двух лет компания, принадлежащая Dow Chemical, сократила потребление энергии на 17,9 %, а предприятие с количеством работающих 36 человек – на 14,9 %, что в стоимостном выражении составило 250 000 USD. И это все с нулевыми капитальными инвестициями.

Цель Стандарта заключается в том, чтобы дать организациям возможность создания систем и процессов, необходимых для совершенствования энергетических параметров, в том числе энергетической эффективности и энергопотребления. Внедрение этого Стандарта должно привести к сокращению финансовых затрат, выбросов парниковых газов и других воздействий на окружающую среду путем систематического управления энергией (энергоменеджмента). Стандарт применим для организаций всех видов и размеров, независимо от каких-либо географических, культурных и социальных условий. Успешная реализация зависит от вовлеченности всех уровней и функций управления организации и особенно от руководства.

Концепция Стандарта основана на известном принципе «планируй – действуй – проверяй – совершенствуй», позволяет внедрять энергетический менеджмент в повседневную практику организации.

Стандарт не устанавливает абсолютных параметров эффективности использования энергии за пределами требований энергетической политики организации и ее обязательств по выполнению соответствующего законодательства. Таким образом, две организации, осуществляющие аналогичные операции, но с разными энергетическими показателями, могут соответствовать его требованиям.

Энергетический учет на промышленных предприятиях

МАНЦЕРОВА Т.Ф., СОЛОГУБ Н.А.

Белорусский национальный технический университет

Энергетический учет (ЭУ) – это система, предназначенная для регистрации, анализа и подготовки отчетности потребления энергии. Целью ЭУ является управление затратами энергии, обучение энергетической и экологической культуре, управление затратами воды и иных ресурсов. Основными задачами является контроль получения сбережений от энергоэффективных модернизаций, создание денежной и энергетической мотивации за сбережения энергии, распределение приоритетов энергоэффективных модернизаций, анализ аномального потребления, нахождение ошибок в счетах энергопоставщиков.

Энергетическое обследование достаточно дорогостоящее мероприятие. Решение о проведении энергоаудита должно приниматься по результатам анализа показателей деятельности объекта, и их сопоставление с доведенными нормами и показателями на аналогичных производствах. Указанный анализ должен подтвердить, что проведение энергоаудита позволит улучшить показатели объекта. В первую очередь за счет внедрения новых технологий и оборудования.

Имеется ряд методов анализа информации в системе энергетического учета:

1. Сравнение плановых (нормативных) данных с фактически достигнутыми. Это один из самых простых методов, который требует только анализа данных. Указанный метод хорошо работает для небольших предприятий, использующих энергию только для освещения, но не отопления.

2. Помесячное усреднение нескольких лет. Этот метод более точно оценивает историческое потребление на отопление и охлаждение, чем предыдущий метод, особенно, если другие факторы остаются постоянными.

3. Метод корректировки температуры. Поскольку на большую часть потребления энергии здания воздействует погода, этот метод будет наиболее точно отражать сбережения энергии благодаря изменениям в оборудовании здания или энергоменеджменту.

4. Корректировка изменения площади. Используется предположение, что изменение потребления энергии пропорциональны изменениям площади.

ЭУ помогает предприятиям понять как используется энергия и какие действия необходимо предпринять чтобы сберечь средства.

Влияние дисперсной фазы SiO₂ на каталитическое восстановление никеля (II) гипофосфит-ионами

ГОНЧАРОВА А.С.

Белорусский государственный университет

Безэлектролизные композиционные покрытия на основе никеля, включающие ультрадисперсную фазу диэлектрика (например, бора, фосфора, алмаза, Al₂O₃, WO₃, MoO₃), представляют большой практический интерес, поскольку характеризуются повышенной коррозионной устойчивостью, твердостью, износостойкостью, что обуславливает возможность их применения в различных областях промышленности. Дешевый способ получения износо- и коррозионностойких покрытий основан на соосаждении в никелевое покрытие нанодисперсной фазы SiO₂, которая является одним из наиболее дешевых материалов и о получении которой имеется множество сведений. Известно, что безэлектролизное никелирование – процесс, основанный на каталитическом восстановлении ионов Ni²⁺, например, гипофосфит- или борогидрид-ионами, а наличие в электролите дисперсной фазы может оказывать влияние как на устойчивость электролита, так и на механизм восстановления Ni(II).

Цель данной работы заключалась в изучении закономерностей восстановления Ni(II) в присутствии дисперсной фазы SiO₂. Для изучения закономерностей формирования покрытий Ni-P-SiO₂ использовали ацетатный электролит никелирования с восстановителем – NaH₂PO₂ и концентрацией SiO₂ 0,01–0,05 моль·дм⁻³. При проведении эксперимента установлено, что с ростом концентрации дисперсной фазы в электролите, в указанных выше пределах, увеличивается содержание SiO₂ в покрытии от 1,5 до 2,5 масс. %.

Вольтамперометрический анализ катодных кривых восстановления Ni²⁺ (измерения проводили в трехэлектродной ячейке с хлорсеребряным электродом сравнения, вспомогательным платиновым электродом, с рабочими электродами с $S = 1 \text{ см}^2$ – медной и никелированной фольгой) показал, что потенциал начала восстановления Ni(II) на медном рабочем электроде без и с дисперсной фазой SiO₂ составляет –680 мВ, а плотность тока восстановления Ni²⁺ в электролите содержащем дисперсную фазу, в интервале потенциалов от –680 до –900 мВ больше, чем без SiO₂. Установленный факт косвенно доказывает, что частицы SiO₂ обладают каталитической активностью по отношению к окислению H₂PO₂ – ионов.

Формы привлечения заемных средств в энергетику Республики Беларусь

БАРАННИКОВ А.И., КРАВЧУК Е.А.

Белорусский национальный технический университет

В современных условиях в период нестабильности финансовых рынков для осуществления деятельности предприятия приходится изыскивать новые возможности, как для финансирования проектов, так и для погашения текущих кредитов. В этой связи вызывают интерес как меры, направленные на ускорение оборачиваемости денежных средств, так и сравнительно небольшая себестоимость вновь привлекаемых кредитных ресурсов с использованием различных схем.

С 2004 г. законодательно предприятиям энергетической отрасли запрещено использовать вексель. Тем не менее, одной из приемлемых форм кредитования энергетических предприятий является кредит с использованием векселей со сроками платежа по предъявлению, но не ранее определенной даты или на определенный день в целях последующего их использования в качестве расчетно-платежного средства.

Договор факторинга заключается по инициативе подрядчика или поставщика. Все расходы по обслуживанию факторинга ведет контрагент. В настоящее время ситуация с инновационным фондом стабилизировалась, поэтому факторинг применяется в исключительных случаях.

Одной из форм привлечения заемных средств является также выпуск ценных бумаг: акций и облигаций. Предприятия энергетической отрасли РБ находятся в собственности государства, поэтому выпуск акций на сегодняшний день невозможен. Привлечение заемных средств посредством облигаций является одним из вариантов снижения кредитного бремени организаций. В частности, на погашение задолженности за природный газ РУП «Минскэнерго» 14 февраля 2011 года направило средства от размещения облигаций на общую сумму 377,8 млрд. рублей, покупка которых будет производиться за счет оборотных средств предприятия равными долями (количество облигаций) в период с мая 2014 года по февраль 2017 года включительно. За период погашения РУП «Минскэнерго» направит на эти цели 430,2 млрд. рублей (ориентировочно: 2014 г. – 104,3 млрд. рублей; 2015 г. – 142,5 млрд. рублей; 2016 г. – 146,2 млрд. рублей; 2017 г. – 37,1 млрд. рублей).

Сбалансированная система показателей как инструмент контроллинга

Климкович Н.И.

Государственный институт управления и социальных технологий БГУ

Динамично развивающаяся среда функционирования организаций и потребности руководства вызывают необходимость совершенствования и создания системы управления организацией, генерирующей максимальный эффект от взаимодействия и функционирования ее элементов, делая организацию устойчивой к внешним и внутренним факторам воздействия. Создание такой системы обуславливает появление контроллинга, обеспечивающего координирующую и интегрирующую деятельность всей системы управления в целом с помощью снабжения ее релевантной информацией о состоянии объектов управления, выраженной в совокупности взаимосвязанных абсолютных и относительных показателей, отображающих все стороны развития организации.

В большинстве своем организации при анализе оценки своей деятельности используют исключительно финансовые показатели, однако они не позволяют учесть все материальные цели организации и игнорируют требования рынка к качеству и времени. Недостаток финансовых показателей обуславливает возникновение предпосылок для их интеграции в систему, включающую в себя и нефинансовые показатели.

В настоящее время наиболее применимой, проработанной и отрегулированной моделью оценки эффективности деятельности является сбалансированная система показателей (ССП), позволяющая увязать между собой стратегию организации, показатели, характеризующие ее деятельность, и конкретные действия, направленные на реализацию стратегии.

В соответствии с концепцией СПП, для анализа эффективности деятельности организации предлагается рассматривать ее с точки зрения четырех аспектов: финансы, потребители, внутренние бизнес-процессы, обучение и рост, а так же разрабатывать количественные показатели, собирать данные и анализировать их в соответствии с каждой из этих перспектив.

Таким образом, для выделения показателей, относящихся к стратегически важным аспектам деятельности организации следует определить перечень ключевых бизнес-процессов, результаты деятельности которых, имеют основное влияние в достижении целей организации, необходимый набор индикаторов эффективности и ключевых показателей характеризующих по выбранным ключевым бизнес-процессам в рамках каждого аспекта СПП, а так же установить соответствующие показатели для центров ответственности.

**Макроэкономическая оценка состояния и использования
национального богатства Республики Беларусь**

МАНЦЕРОВА Т.Ф.

Белорусский национальный технический университет

Последние годы ознаменовались усилением внимания экономистов к методологическим и информационным проблемам оценки национального богатства (НБ). Это обусловлено тем, что элементы НБ являются важнейшими факторами, определяющими текущую динамику и перспективы социально-экономического развития страны.

Существуют международные различия в составе и оценке национального богатства. Специфика состава и оценки НБ Республики Беларусь заключается в том, что значительную долю в нем занимают основные средства (ОС). За период с 1986 по 2010 гг. она возросла с 61,1 % до 73,2 %. В межотраслевом разрезе в 2010 г. наибольший удельный вес занимают ОС промышленности (31,7 %). Инновационное развитие экономики сегодня уже невозможно без поэтапного ввода новых мощностей. Оценка динамики показателей движения ОС в целом по республике свидетельствует о неуклонном росте коэффициента обновления (в 1995 г. – 2,5 %, а в 2009 г. – 4,6 %). Коэффициент выбытия снижается за этот период соответственно с 3 % до 1 %. Негативной можно считать тенденцию увеличения степени амортизации ОС за период с 1991 г. до 2009 г. на 34,5 %, которая достигла уровня 43,8 % в 2009 г. Среди отраслей национальной экономики значительный уровень амортизации имеет промышленность (53 %), а наименьший – торговля и общественное питание (35,3 %). Проводимая структурная перестройка экономики направлена на смещение вектора с отраслей, производящих товары на сферу услуг в связи с отсутствием в стране необходимого минерального сырья для производства и высокими ценами на его импорт. Это, в свою очередь, предусматривает опережающее развитие и ввод в действие ОС в отраслях, оказывающих услуги. Если в 1990 г. это соотношение было 59,1 % и 40,9 %, то в 2009 г. – 47,4 % и 52,6 %.

СЕКЦИЯ «Электротехника и электроника»

УДК 621.3

Решение задачи анализа переходных процессов, нарушающих законы коммутации

ШЕМАРОВ А.И.

Белорусский национальный технический университет

К классическим задачам, «нарушающим» законы коммутации при анализе переходных процессов относится задач о подключении к заряженному идеальному конденсатору параллельно незаряженного идеального конденсатора. При перезарядке конденсаторов согласно закону сохранения заряда напряжение на конденсаторах устанавливается равным и согласно перераспределению заряда в зависимости от емкостей соединяемых в систему конденсаторов. Если рассмотреть этот процесс с точки зрения закона сохранения энергии, где накопленная в конденсаторе энергия пропорционально квадрату напряжения и половине емкости конденсатора, то напряжение установившееся в системе после коммутации, должно быть большим, чем вычисленное с использованием закона сохранения заряда.

Для анализа была использована схема, в которую было включено последовательно два конденсатора (C_1 – заряженный и C_2 – незаряженный) и четыре резистора, общим сопротивлением R . Составлена система уравнений с использованием баланса энергий.

В результате решения системы уравнений в общем виде, была выведена формула энергии теряющейся при перезаряде конденсаторов. Доказано, что величина потерь не зависит от величины сопротивления в цепи, а энергия затрачиваемая на перезаряд конденсаторов определяется как произведение половины квадрата напряжения заряженного до коммутации конденсатора на общую емкость последовательно включенных конденсаторов C_1 и C_2 и не зависит от сопротивления R . Полученная формула позволила объяснить факт того, что в реальных системах при проведении подобных коммутаций общее напряжение на конденсаторах меньше, чем теоретически ожидаемое. Это связано с наличием в конденсаторах паразитной индуктивности, отрицательное влияние которой проявляется при значительных токах в исследуемой электрической схеме. При перезаряде конденсаторов возникает колебательный процесс, каждое колебание которого приводит к потере части энергии. В результате напряжение на конденсаторах устанавливается меньше рассчитываемой величины. Основной целью решения задачи было доказательство непротиворечивости закона сохранения энергии результатам, получаемым методами анализа переходных процессов.

Оптимизация режимов дефицитной энергосистемы в составе избыточного энергообъединения

Мищенко Н.В.

Белорусский государственный технологический университет

Совместная работа энергосистем в составе энергообъединения по сравнению с их раздельной работой существенно повышает экономичность и надежность производства и распределения электроэнергии. Кроме того, появляется возможность снижения величины суммарного резерва мощности.

В современных условиях регулирование частоты и активной мощности в Республике Беларусь осуществляется с помощью избыточной энергосистемы (ЕЭС РФ) автоматическими средствами с астатической и абсолютно жесткой характеристикой $P = \xi(f)$, в пределах $\pm 0,2$ Гц. В то же время с помощью собственных регулирующих средств системной автоматики в энергосистеме республики может осуществляться лишь в пределах $\pm 0,02$ Гц. Кроме того дефицитная электроэнергетическая система (ЭЭС) более подвержена возмущениям из-за резкого изменения нагрузки режима и «более чувствительна» к нерегулярным колебаниям обменной мощности. Случайные колебания обменной мощности создают трудности в управлении потоками энергии и усложняют задачу обеспечения устойчивости параллельной работы дефицитных ЭЭС, что весьма существенно сказывается на надежной работе межсистемных связей ограниченной пропускной способности.

После определения необходимой величины покупной мощности с внешних рынков выполняется оптимизация распределения нагрузки в дефицитной энергосистеме с учетом внутреннего сетевого фактора. Учет последнего можно выполнить различным образом. Наилучшие результаты получаются при перестройке реальных характеристик удельных приростов электростанций в соответствии с действительными значениями напряжений в контролируемых узлах сети и степенью учета характеристик ее элементов.

Для этого планируется уровень покупной мощности от внешних источников и для него определяется оптимальная загрузка электростанций системы. При этом значение перетоков мощности, поступающих с зарубежных рынков, не должно превышать заявленной мощности. После проведения расчетов для нескольких уровней заявленной покупной мощности, их результаты сопоставляются, выбирается приемлемое значение покупной мощности.

Сумматор на идеальном операционном усилителе

БЛАДЫКО Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

Идеальным операционным усилителем (ОУ) считается ОУ с бесконечно большими коэффициентом усиления и входным сопротивлением. На рис. 1 приведен сумматор дифференциального типа, часто называемый параллельным.

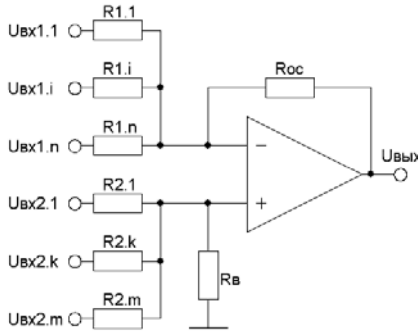


Рис. 1. Схема сумматора дифференциального типа

Для уменьшения погрешностей от протекания разностных токов сопротивления входов нужно выравнять. Для этого в схему включен резистор R_B . Условие выравнивания сопротивлений (проводимостей) входов записывается в виде:

$$\frac{1}{R_{oc}} + \sum_{i=1}^n \frac{1}{R_{1i}} = \frac{1}{R_B} + \sum_{k=1}^m \frac{1}{R_{2k}}.$$

При получении отрицательного значения R_B необходимо его подключить к инвертирующему входу, при бесконечно большом значении R_B нет необходимости в его подключении.

При выполнении этого условия выходное напряжение параллельного сумматора (рис. 1) на идеальном ОУ равно

$$U_{\text{вых}} = \sum_{k=1}^m \frac{R_{oc}}{R_{2k}} U_{\text{вх } 2k} - \sum_{i=1}^n \frac{R_{oc}}{R_{1i}} U_{\text{вх } 1i}.$$

Эта формула справедлива для любого типа сумматора, у которого выровнены сопротивления входов. Для инвертирующего сумматора будет отсутствовать первое слагаемое, для неинвертирующего – второе.

Особенности защиты питающей сети от высших гармоник

ГАВРИЛЕНКО С.Д.

Белорусский национальный технический университет

Известно, что доля нелинейной однофазной нагрузки питающей сети возрастает, возрастает и её негативное влияние. Дополнительные негативные факторы вносят управляемые выпрямители мощных энергетических установок. Известно, что такие выпрямители являются регулируемыми и генерируют реактивную мощность. Управляемые выпрямители потребляют из питающей сети ток, содержащий кроме полезной первой, другие нечетные гармоники. В однофазных мостовых выпрямителях – это все нечетные, в трехфазных мостовых – это все нечетные кроме 3-й и других, кратных ей. В двенадцатипульсных выпрямителях – это все нечетные, кроме 3-й и кратных ей, а так же 5-й гармоники.

Амплитуды этих гармоник зависят от угла управления α , который может изменяться в пределах от 0 до 70 градусов. Анализ разложения потребляемого управляемыми выпрямителями тока в ряд Фурье показывает, что для всех выпрямителей увеличение угла управления приводит к росту доли гармоник высших порядков. Так, для однофазной мостовой схемы при $\alpha = 66^\circ$ наибольший «вес» имеет 11-я гармоника. В трехфазном мостовом выпрямителе при $\alpha = 43^\circ$ доля 17-й гармоники сравнивается с долей самой мощной в этом выпрямителе 5-й гармоники. В двенадцатипульсном трехфазном выпрямителе при $\alpha = 20^\circ$ доли 17-й и 19-й гармоник становятся наибольшими.

Традиционная фильтрация 3-й, 5-й и 7-й гармоник при этом неэффективна. Вероятно снижение эффективности компенсации реактивной мощности на более высоких частотах.

Для предотвращения негативных последствий необходимо применение дополнительных мер, а именно: использование импульсных блоков питания (ИБП) с трехфазным входом и однофазным выходом; применение трансформаторов серии ТСТ (трансформаторы симметрирующие трехфазные). При применении ТСТ однофазная нагрузка воспринимается питающей сетью как трехфазная, что позволяет восстанавливать симметрию нагрузки по фазам. Совместное использование трехфазных ИБП и ТСТ позволит усилить защиту трехфазной сети от нелинейной однофазной нагрузки. Для дополнительной защиты от высших гармоник, генерируемых управляемыми выпрямителями, можно рекомендовать регулировку амплитуды входного напряжения на их входах и обоснованное ограничение диапазона изменения угла управления α .

Источник питания для электроимпульсного обеззараживания дренажных стоков

Крутов А.В., Боровская В.В.

Учреждение образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»

Как и любая биологическая среда, вода обладает определенными электромагнитными свойствами – электропроводностью, диэлектрической и магнитной проницаемостью, оптическими характеристиками. В результате воздействий на стоки электромагнитных полей происходят изменения химических, физических свойств воды, электрических зарядов находящихся в ней компонентов. Это позволяет значительную часть процессов обработки стоков осуществлять электротехнологическими способами, как наиболее эффективными.

Электроимпульсная технология (ЭИТ) основана на воздействии на обрабатываемую жидкость ударных волн, генерируемых импульсным электрическим разрядом и вызывающих дезинтеграцию и гибель микроорганизмов. Электроразрядные процессы с участием материала электродов создают высокую температуру и давление.

В ходе лабораторных исследований разряда в пробе дренажной воды тепличных комбинатов было установлено, что при пропускании высокого напряжения через слабо соленый раствор в первый момент времени (порядка 60 мкс) сопротивление проводящей среды в сотни раз больше, чем в момент самого разряда. Этот фактор и объясняет различие напряжения пробоя на конденсаторе и начального напряжения его заряда. Появилась возможность создания разряда и при напряжении, практически равном напряжению заряженного конденсатора. Для этого потребовалось поддерживать напряжение на электродах более 10 мс. В первые 5–6 мс всей длительности импульса, из-за высокого сопротивления среды, ток, проходящий через нее, значительно меньше, чем в момент разряда. Данная особенность обрабатываемой жидкости и позволила реализовать ее обеззараживание при более низком напряжении, не прибегая к дорогостоящим компонентам установки для повышения напряжения разряда. В итоге требовалось создать источник питания, который будет обеспечивать непрерывную подачу высокого напряжения (2,5 кВ) при малом токе (порядка 0,6 А) и кратковременно при токе около (2–3 кА). В докладе приводится схема источника, позволяющая обеспечить требуемое напряжение с учётом всех условий, указанных выше. Основным источником высокого напряжения представляет собой кластер, состоящий из 4-х последовательно соединённых, устройств удвоения напряжения. Используя данный способ

удалось избежать применения высоковольтных трансформаторов. Применены унифицированные трансформаторы мощностью 250–360 Вт и напряжением вторичной обмотки 220–240 В. При этом исчезла необходимость применения высоковольтных конденсаторов. В экспериментальной установке используются 8 конденсаторов емкостью 150,0 мкФ на напряжение 450 В. Рабочее напряжение на каждом из конденсаторов не превышает 340 В. Для обеспечения крутого фронта импульса при коммутации был применён быстродействующий (скорость нарастания более 300 А/мкс) тиристор типа Т173-1250-40, с номинальным обратным напряжением 3000 В, и кратковременным (60 мс) током до 20 кА. В докладе приведена также схема управления тиристором, которая позволяет обеспечить открытие тиристора и его закрытия спустя установленное время, которое может регулироваться в широких пределах. Таким образом стало возможным изменять длительность импульса разряда, добиваясь более высокого КПД установки, одновременно повышая эффективность обеззараживания.

Показатели при обеззараживании сточной воды в большей степени зависят от характера разряда. Наибольшее нарастание тока, а также мгновенной мощности в камере имеет место при затухающем периодическом разряде.

УДК 621.311.6

Обеззараживание сточных вод цехов переработки молока сверхвысокочастотным электромагнитным воздействием

КРУТОВ А.В., КОЗЕЛ А.Г.

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Молокоперерабатывающие предприятия (молочные заводы) являются одними из крупных потребителей пресной воды и источниками образования значительных объемов сточных вод. Сточные воды молочных заводов содержат высокие концентрации органических загрязнений (жир, белок, лактоза), а в такой среде очень активно развиваются болезнетворные микроорганизмы (бактерии, вирусы).

В докладе анализируются различные методы обеззараживания сточных вод. Обоснован и описан способ обеззараживания сточных вод с помощью электромагнитного излучения СВЧ-диапазона. Напряженность электромагнитного поля СВЧ-установки повышают используя объемный резонатор. Устанавливают связь, между источником СВЧ-излучения и резонатором, размещают внутри резонатора трубы из диэлектрических или частично диэлектрических материалов, по которым протекают сточные воды, подлежащие обеззараживанию, после чего возбуждают колебания на ча-

стоте, соответствующей резонансной частоте системы: источник СВЧ-излучения – волновод – резонатор – обеззараживаемые воды, увеличивая напряженность электромагнитного поля внутри резонатора до величины, обеспечивающей уничтожение микроорганизмов, таких как бактерии, споры или вирусы, за счет непосредственного поглощения ими энергии СВЧ, после чего поддерживают напряженность поля СВЧ на этом уровне в течение времени, достаточного для обеззараживания сточной воды.

Предложенный способ позволяет использовать устройство, отличающееся компактностью и простотой конструкции, в нем нет необходимости в использовании каких-либо схем слежения, управления или контроля. Проблемы настройки магнетрона и резонатора на одинаковую частоту не возникает, и, соответственно, нет временной и температурной нестабильности, связанной с неточной настройкой частот.

УДК 621.38

Измеритель коэффициента передачи тока транзистора

БЛАДЬКО Ю.В.

Белорусский национальный технический университет

В расчете электронных устройств необходимо определять коэффициенты передачи (усиления) по току. Статический коэффициент передачи тока для схемы с общей базой (ОБ) определяется как

$$\alpha = \frac{\Delta I_k}{\Delta I_3} \text{ при } U_{кб} = \text{const} .$$

Для измерения данного коэффициента в электронной лаборатории Electronics Workbench [1] была разработана схема измерителя (рис. 1).

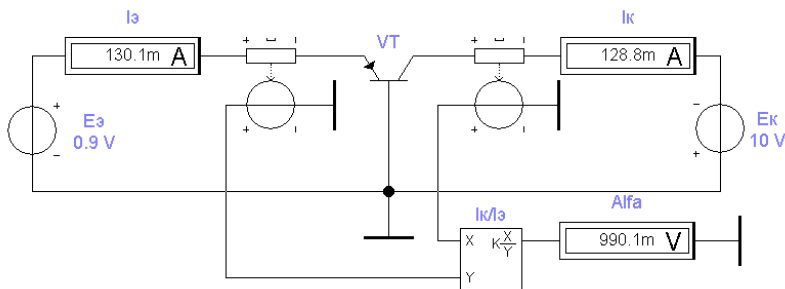


Рис. 1. Измеритель коэффициента передачи тока

В собранную цепь биполярного транзистора, подключенного по схеме ОБ, добавлены амперметры для отображения значений сил тока коллектора и эмиттера. Непосредственно для измерения значения коэффициента

передачи тока эмиттера последовательно амперметрам включаются преобразователи ток-напряжение. Эти преобразователи играют роль измерительных шунтов, но не влияют на численные значения токов и напряжений схемы. Значения, полученные на преобразователях, посылаются на делитель, где мгновенное значение тока коллектора делится на мгновенное значение тока эмиттера. На выходе делителя включен вольтметр для вывода численного значения коэффициента передачи эмиттерного тока биполярного транзистора.

Литература

1. Карлашук В.И. Электронная лаборатория на IBM PC. Лабораторный практикум на базе Electronics Workbench и MatLab. – М.: СОЛОН-Пресс, 2004. – 800 с.

УДК 621.3

Анализ переходных процессов с использованием закона сохранения энергии

ШЕМАРОВ А.И.

Белорусский национальный технический университет

При решении задач анализа переходных процессов методами классической электротехники существуют задачи которые не могут быть решены этими методами. К таким задачам относятся задачи, при которых «нарушаются» законы коммутации. Это задача о подключении к заряженному идеальному конденсатору параллельно незаряженного идеального конденсатора и задача о подключении к идеальной катушке индуктивности, через которую протекает ток последовательно идеальной катушке индуктивности без тока. Как в первом, так и во втором случае, происходит кажущееся нарушение закона сохранения энергии. Так при перезарядке конденсаторов согласно закону сохранения заряда напряжение на конденсаторах устанавливается равным и согласно перераспределению заряда в зависимости от емкостей соединяемых в систему конденсаторов. Так при одинаковой емкости обоих конденсаторов напряжение после соединения делится пополам. Однако если рассмотреть этот процесс с точки зрения закона сохранения энергии, где накопленная в конденсаторе энергия пропорционально квадрату напряжения и половине емкости конденсатора, то напряжение установившееся в системе после коммутации должно быть иным.

Закон сохранения энергии является базовым законом современной науке и не может противоречить выводам, получаемым с использованием других методов анализа переходных процессов.

В докладе осуществляется попытка использования закона сохранения энергии при анализе переходных процессов в электрических цепях. Для этой цели составляются дополнительно интегральные уравнения баланса

энергии на отрезке времени, выбранном для анализа переходных процессов в электрической схеме. Для решения полученной системы дифференциальных и интегральных уравнений используются методы численного моделирования электрических схем. Предложенный метод был опробован на классических задачах анализа переходных процессов. Полученные результаты полностью совпали с результатами, получаемыми классическими методами. Цель предлагаемого метода попытка решения задач анализа переходных процессов нарушающих законы коммутации.

УДК 621.373.826

Исследование виброактивности и напряженно-деформированного состояния изделий автотранспортной техники

Тюшкевич Б.Н., Полищук А.А., Шухно А.А.

Учреждение образования «Белорусский государственный аграрный технический университет»

Одна из оптических схем голографического интерферометра, в качестве источника когерентного излучения, в котором использован рубиновый лазер с комбинированным включением добротности, приведена в докладе. Кроме задающего генератора лазер допускал применение усилителей. При этом, в зависимости от геометрических размеров исследуемого объекта, возможны следующие схемы усиления: один однопроходной усилитель, один двухпроходной усилитель, два однопроходных усилителя, один двухпроходной и один однопроходной усилители, два двухпроходных усилителя. В докладе представлен вариант с одним двухпроходным и одним однопроходным усилителями. В этом случае при работе задающего генератора в режиме TEM_{00q} моды энергия излучения на выходе усилителей достигала 0,6 Дж. В качестве опорного использовано излучение, отраженное от торца рубинового элемента одного из усилителей. В задающем генераторе и усилителях использованы рубиновые стержни РЛС 8×120/180 среднего оптического качества.

Управление электрооптическим затвором осуществлялось специально разработанным блоком. После усилителей лазерное излучение с помощью рассеивающей линзы расширялось до необходимых размеров и использовалось для освещения объекта. Опорный пучок формировался линзами и направлялся на регистрирующую среду, в качестве которой использовались либо голографическая фотопленка ФГ 690, либо специально разработанная система фототермопластической регистрации.

Проведенные исследования показали, что метод импульсной двухэкспозиционной голографической интерферометрии дополняет информацию, получаемую методами тензометрии, лазерной доплеровской анемометрии

и спеклооптической диагностики, и дает наиболее полное представление о формах колебаний и характере распределения деформаций по всей видимой поверхности исследуемых изделий при различных формах и степени их нагружения.

УДК 621.316.722

Стабилизатор переменного напряжения с улучшенным качеством выходного сигнала

МИХАЛЬЦЕВИЧ Г.А.

Белорусский национальный технический университет

Стабилизаторы переменного напряжения (СПеН) широко применяются как на производстве, так и быту. Широко были раньше в быту распространены стабилизаторы феррорезонансного типа для телевизоров. Высоким КПД обладают тиристорные СПеН, работа которых основана на переключении обмоток трансформатора. Недостатком перечисленных СПеН является низкое качество выходного сигнала (большие нелинейные искажения выходного сигнала и низкая его помехозащищенность). Предлагаемый СПеН позволяет существенно уменьшить перечисленные недостатки, и предназначен, в первую очередь, для применения в приборах неразрушающего контроля, работа которых основана на перемагничивании контролируемых изделий.

СПеН состоит из первой последовательной цепи (ПЦ), состоящей из источника переменного напряжения, диодного моста, в диагональ которого своим выходом включен первый фототранзистор (ФТ) и нагрузки (R_n), второй ПЦ, подключённой параллельно R_n , состоящей из последовательно соединенных источника положительного постоянного напряжения, второй ФТ, на базе транзистора $n-p-n$ типа и первого диода, третьей ПЦ, подключённой параллельно R_n , состоящей из последовательно соединенных источника отрицательного постоянного напряжения, третьего ФТ, на базе транзистора $p-n-p$ типа и второго диода, а также состоит из блока сравнения, подключённого своим первым входом к R_n , вторым входом к источнику опорного стабилизированного переменного напряжения (ИСПН), а первым, вторым и третьим выходами соответственно к входам первого, второго и третьего ФТ, и блок фазовой автоподстройки частоты ИСПН, подключённый своим входом к R_n , а выходом – к входу ИСПН.

Блок сравнения, выполненный на операционных усилителях, управляет своим первым выходом работой первого ФТ, таким образом, чтобы напряжение на выходе не превышало заданного ИСПН значения, а вторым и третьим выходами управляет работой второго и третьего ФТ таким образом, чтобы напряжение на выходе не уменьшалось меньше заданного зна-

чения. При этом уменьшаются фазовые искажения выходного сигнала и искажения типа «ступенька».

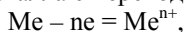
УДК 628.31:621.31

Комбинированная очистка сточных вод постов мойки в неоднородном электрическом поле постоянного тока

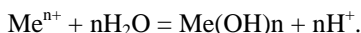
Крутов А.В., Бойко М.А.

Учреждение образования «Белорусский государственный
аграрный технический университет»

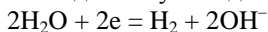
Одним из главных источников загрязнений сточных вод постов мойки автотракторной техники являются моющие средства, нефтесодержащие эмульсии. Комбинированная очистка сточных вод постов мойки сельскохозяйственной техники в неоднородном электрическом поле постоянного тока происходит в электролизере под действием электрического тока с использованием растворимых или нерастворимых электродов. В качестве растворимых в наших опытах использованы алюминиевые и железные электроды (Ст. 3), ионы которых, выходя в раствор при электролизе, обладают хорошими коагулирующими свойствами. На растворимых электродах происходит ионизация металла с переходом в раствор его ионов:



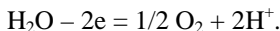
которые гидролизуются, образуют гидроксиды металлов, являющиеся хорошими коагулянтами загрязнений и адсорбентами для уже скоагулированных частиц:



Одновременно при электролизе происходит разложение воды с подщелачиванием обрабатываемой жидкости у катода:



и подкислением у анода:



Электрокинетический потенциал эмульсии, находящейся в электрическом поле, снижается, а эмульсия теряет свою устойчивость. Кроме того, при прохождении очищаемых стоков между электродами под воздействием электрического поля происходит нейтрализация заряда загрязняющих частиц с последующей их коагуляцией. Пузырьки газа, которые образуются при электролизе, осуществляют флотацию загрязнений. Процессы, происходящие при электрохимической очистке, представлены схемой (приводится в докладе). При этом процессе имеют место электрокоагуляция загрязнений, электрофлотация скоагулировавшихся частиц. При использовании нерастворимых электродов, кроме процесса электрохимической коагуляции и электрофлотации загрязнений, при $\text{pH} = 8-9$ происходит про-

цесс электрохимической деструкции загрязнений на катоде и на аноде. При этом обеззараживание сточных вод происходит ионами гипохлорита, которые образуются на аноде (при наличии в сточных водах хлоридов), или полученной при электрохимических процессах перекисью водорода и озоном.

К числу основных факторов, определяющих качество очистки при электрохимическом методе, относятся следующие: плотность тока на электродах; объём обрабатываемых сточных вод; материал и конструкция электродов и время обработки сточных вод. По сравнению с другими физико-химическими установками, электрохимические не требуют складских помещений для хранения химических реактивов и приготовления их растворов, наличия дозаторов для обработки стоков.

Для достижения максимальной степени очистки необходимо исключить возможность нейтрализации зарядов, для этого рабочую камеру электроактиватора следует разделить с помощью ионоселективной перегородки на катодную и анодную. Так как состав загрязнений сточных вод постов мойки меняется в течение года, зависит от сезонности работ сельскохозяйственной техники, электрохимическая обработка стоков должна быть дифференцирована с учетом этого, что позволит снизить энергозатраты на очистку.

Содержание

СЕКЦИЯ «Электрические станции»

<i>Романюк Ф.А., Новаш И.В., Румянцев В.Ю., Бобко Н.Н., Устимович В.А.</i> Программный комплекс для исследования удаленных двухфазных коротких замыканий	3
<i>Глинский Е.В., Гузовская В.Н., Липская Е.В., Ерохов Е.Л.</i> Применение инженерных упрощенных методов для расчета самозапуска электродвигателей собственных нужд тепловых электростанций.....	4
<i>Спургияш А.Г., Шмыгуи О.Я.</i> Защита трансформаторов от перенапряжений.....	5
<i>Самойленко А.О., Коваль А.А., Климкович П.И.</i> Применение математической системы MathCAD при расчете уставок микропроцессорных терминалов защит	6
<i>Тишечкин А.А., Сапожникова А.Г.</i> Анализ характеристик и использование в учебном процессе цифровых терминалов и их конфигураторов, лабораторных стендов и симуляторов микропроцессорных устройств защиты	7
<i>Романюк Ф.А., Новаш И.В., Румянцев В.Ю., Бобко Н.Н., Устимович В.А.</i> Требования к программному обеспечению комплекса по исследованию функциональных возможностей микропроцессорной защиты	8
<i>Ерофеев Т.С., Ерохов Е.Л., Глинский Е.В.</i> Автоматизация расчета режимов самозапуска электродвигателей собственных нужд электростанций	9
<i>Тишечкин А.А., Ерофеев Т.С., Самойленко А.О., Беседа А.С.</i> Мероприятия по уменьшению погрешностей трансформаторов тока при переходных и установившихся режимах	10
<i>Климкович П.И., Шпаковский А.А.</i> Влияние начального положения жесткой ошиновки распределительного устройства 10 кВ на параметры электродинамической стойкости	11
<i>Сергей И.И., Пономаренко Е.Г., Спасков А.А., Шпаковский А.А.</i> Расчет электродинамических усилий в трехфазной системе жестких проводников произвольного пространственного расположения	12
<i>Сергей И.И., Потачиц Я.В., Новак А.В.</i> Расчет электродинамической стойкости гибкой ошиновки открытых распределительных устройств электростанций.....	13
<i>Некриш В.В.</i> Насыщение трансформаторов тока апериодической составляющей тока короткого замыкания	14
<i>Бобко Н.Н., Баран А.А., Гавриелок Ю.В., Козел А.С.</i> Координация уровней токов короткого замыкания	15

Бобко Н.Н., Гузовская В.Н., Липская Е.В., Новак А.В. Параметры асинхронных электродвигателей в математических моделях вычислительного эксперимента расчета самозапуска механизмов собственных нужд тепловых электростанций	16
--	----

Романюк Ф.А., Новаш И.В., Румянцев В.Ю., Бобко Н.Н., Устимович В.А. Алгоритмы реализации математических моделей элементов сети и функциональных блоков микропроцессорной защиты.....	17
---	----

СЕКЦИЯ «Электроснабжение»

Радкевич В.Н., Кривенкова Т.В., Адамчук Е.В. Определение технических характеристик кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена напряжением 10 кВ.....	18
---	----

Сталович В.В. Оценка надежности трансформаторных подстанций (6–10)/0,4 кВ.....	19
--	----

Гончар А.А. О представлении зависимости момента асинхронного двигателя от скольжения.....	20
--	----

Козловская В.Б. Исследование особенностей построения осветительных сетей со светодиодными источниками света	20
--	----

Сацукевич В.Н., Кабанов А.А., Сидоров А.Г. Экономическая целесообразность применения галогенных ламп низкого напряжения	21
--	----

Анищенко В.А., Лесота А.В., Майстрович А.Г. Надёжность релейно-контактных схем систем автоматики при множественных отказах.....	22
--	----

Поспелова Т.Г. Потенциал коммерческого использования отходов для производства электрической и тепловой энергии.....	23
--	----

Анищенко В.А. Оптимальные уровни напряжений на промышленных предприятиях в зависимости от состава электроприёмников.....	24
---	----

Радкевич В.Н., Озимук И.Н., Сурус И.Н. Экономически целесообразный режим работы силовых трансформаторов (6–10)/0,4 кВ.....	25
---	----

Олешкевич М.М., Макошко Ю.В., Прокопенко Л.В. Задачи энергосбережения в свете основных положений Программы социально-экономического развития Республики Беларусь на 2011–2015 годы ...	26
---	----

Гаврилович О.Н. Целесообразность применения светодиодов в сфере жилищно-коммунального хозяйства	27
--	----

Гаврилович Д.А. Анализ использования светодиодов на промышленных предприятиях.....	28
--	----

СЕКЦИЯ «Тепловые электрические станции»

<i>Кащева О.В., Воронов Е.О., Кащеев В.П., Жидович И.С., Сорокин В.Н., Клименкова О.Л.</i>	
Устройство реверсивной тоннельной вентиляции метрополитенов с частичной рециркуляцией воздуха	30
<i>Кащева О.В., Воронов Е.О., Кащеев В.П., Жидович И.С., Сорокин В.Н., Клименкова О.Л.</i>	
Устройство с комплексной системой утилизации теплоты и снижения вредных выбросов в атмосферу	32
<i>Седнин А.В., Хоссене Назар Н. Кадам</i>	
Анализ возможности аккумуляции холода в системах централизованного хладоснабжения республики Ирак	34
<i>Седнин А.В., Кушнер Д.Л., Седнин А.А.</i>	
Создание комбинированных энергетических установок на базе газопоршневых установок и ОРЦ-установок.....	35
<i>Кулаков Г.Т., Корзун М.Л.</i>	
Методика настройки параметров оптимальной динамической настройки САР теплоэнергетических процессов для объектов с инерционным участком n -го порядка	36
<i>Кулаков Г.Т., Корзун М.Л.</i>	
Синтез инвариантных САР теплоэнергетических процессов.....	38

СЕКЦИЯ «Промышленная теплоэнергетика и теплотехника»

<i>Краецкая О.Ф.</i>	
О применении каталитических процессов в синтезе моторных топлив.....	40
<i>Романюк В.Н., Турлович Е.И., Пузик В.В.</i>	
Выбор мощности когенерационных комплексов на местных видах топлива и их альтернативных технологий.....	41
<i>Романюк В.Н., Муслина Д.Б.</i>	
Комбинированное производство энергопотоков на предприятиях легкой промышленности.....	42
<i>Айдарова З.Б.</i>	
Автоматизация систем теплоснабжения зданий.....	44
<i>Есьман Р.И.</i>	
Метод конечных элементов в расчетах тепловых процессов.....	45
<i>Есьман Р.И.</i>	
Исследование теплофизических характеристик материалов на экспериментальном стенде	46
<i>Романюк В.Н., Пузик В.В., Турлович Е.И.</i>	
Система теплоснабжения санаторного комплекса	47

Несенчук А.П., Качар И.Л. Исследование теплоотдачи отопительного прибора системы теплоснабжения полевого госпиталя, функционирующего в условиях чрезвычайных ситуаций	48
Криштофик А.В. Особенности проектирования трубопроводов систем централизованного теплоснабжения.....	49
Седнин В.А., Шкляр И.В. К выбору температуры теплоносителя при центральном количественно-качественном регулировании отпуска теплоты.....	50
Седнин В.А., Левшеня А.И. Комбинированная установка выработки электрической и тепловой энергии с использованием биомассы.....	51

СЕКЦИЯ «Экономика и организация энергетики»

Кравченко В.В., Назорнов В.Н., Бокун И.А. Газификация биомассы с последующим сжиганием генераторного газа с местными ископаемыми топливами	52
Куприк А.В. Тепловая модернизация зданий	53
Бокун И.А., Назорнов В.Н., Кравченко В.В. Минимизация воздействия внешних и внутренних угроз энергетической безопасности тепловых электрических станций	54
Бокун И.А., Назорнов В.Н., Кравченко В.В. Оценка комплексного использования низкосортных местных ископаемых топлив для производства синтез-газа, тепловой и электрической энергии.....	55
Назорнов В.Н., Игнатюк А.С. Экономическая эффективность применения биогазовых технологий в Республике Беларусь.....	56
Лимонов А.И. К формированию нормативной численности персонала энергосистемы.....	57
Маничарова Т.Ф., Кравчук Е.А., Баранников А.И. Анализ перспективной программы энергосбережения Республики Беларусь.....	58
Куприк А.В. Стандарт ISO 50001	59
Маничарова Т.Ф., Сологуб Н.А. Энергетический учет на промышленных предприятиях.....	60
Гончарова А.С. Влияние дисперсной фазы SiO ₂ на каталитическое восстановление никеля (II) гипофосфит-ионами	61
Баранников А.И., Кравчук Е.А. Формы привлечения заемных средств в энергетику Республики Беларусь.....	62

Климкович Н.И.	
Сбалансированная система показателей как инструмент контроллинга.....	63
Манцерова Т.Ф.	
Макроэкономическая оценка состояния и использования национального богатства Республики Беларусь	64

СЕКЦИЯ «Электротехника и электроника»

Шемаров А.И.	
Решение задачи анализа переходных процессов, нарушающих законы коммутации.....	65
Мищенко Н.В.	
Оптимизация режимов дефицитной энергосистемы в составе избыточного энергообъединения	66
Бладыко Ю.В.	
Сумматор на идеальном операционном усилителе	67
Гавриленко С.Д.	
Обособности защиты питающей сети от высших гармоник.....	68
Крутов А.В., Боровская В.В.	
Источник питания для электроимпульсного обеззараживания дренажных стоков	69
Крутов А.В., Козел А.Г.	
Обеззараживание сточных вод цехов переработки молока сверхвысокочастотным электромагнитным воздействием	70
Бладыко Ю.В.	
Измеритель коэффициента передачи тока транзистора.....	71
Шемаров А.И.	
Анализ переходных процессов с использованием закона сохранения энергии.....	72
Тюшкевич Б.Н., Полищук А.А., Шухно А.А.	
Исследование виброактивности и напряженно-деформированного состояния изделий автотранспортной техники	73
Михальцевич Г.А.	
Стабилизатор переменного напряжения с улучшенным качеством выходного сигнала	74
Крутов А.В., Бойко М.А.	
Комбинированная очистка сточных вод постов мойки в неоднородном электрическом поле постоянного тока	75

Научное издание

**ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ
ЭНЕРГЕТИКИ В XXI ВЕКЕ**

Материалы

II Республиканской научно-практической конференции

Минск, 11–13 мая 2011 г.

Ответственный за выпуск *П.И. Климкович*

Технический редактор *О.В. Песенько*

Компьютерная верстка *Т.С. Ерофеевко*

Подписано в печать 30.11.2012. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 4,71. Уч.-изд. л. 3,68. Тираж 100. Заказ 546.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет. ЛИ № 02330/0494349 от 16.03.2009. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.