Министерство образования и науки Российской Федерации
Национальный исследовательский университет «МЭИ»
Комитет жилищно-коммунального хозяйства
и топливно-энергетического комплекса Волгоградской области
Администрация городского округа – город Волжский
ООО «ЛУКОЙЛ-Волгоградэнерго»
АО «Системный оператор – ОДУ Юга»
Филиал ПАО «РусГидро» – «Волжская ГЭС»
Магистральные электрические сети Центра (МЭС Центра) – филиал ПАО «ФСК ЕЭС»
Филиал ОАО «ФСК ЕЭС» Волго-Донское ПМЭС
Филиал АО «СО ЕЭС» «Объединенное диспетчерское управление энергосистемами Юга»
Филиал ПАО «МРСК Юга» – «Волгоградэнерго»

РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СЕКЦИЯ I

г. Волжский
26 декабря 2017 г.

Сборник материалов конференции

Волжский **Филиал «НИУ «МЭИ»** **2018**

УДК 620.9(042)
ББК 31
Р 443

Организационный комитет:
Хазиахметов Р.М. (председатель), Султанов М.М., Магид С.И., Раменский П.П., Курьянов В.Н., Жилина В.И., Якимович Е.В., Кульков В.Г., Зенина Е.Г., Иваницкий М.С., Болдырев И.А., Одоевцева М.В., Чубко Ю.М., Трохимчук М.В.

Ресурсоэнергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов: Межрегиональная конференция. Секция I, г. Волжский, 26 декабря 2017 г. / Сборник материалов конференции. – Волжский: Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2018. – 193 с.

ISBN 978-5-94721-131-3

В сборник вошли статьи, отражающие основное содержание докладов, представленных на конференции, в которых освещены актуальные проблемы развития теплоэнергетики, электроэнергетики, машиностроения, металлургии, химической, нефтеперерабатывающей и газовой промышленности в части моделирования и создания объектов энерго- и ресурсосберегающих технологий. Рассмотрены проблемы математического моделирования, автоматизированного проектирования, информационных технологий и управляющих систем. Обсуждены также проблемы внедрения технических и программных средств измерения, диагностики и автоматизации.

Публикуемые материалы предназначены для научных работников, инженеров и аспирантов. Материалы могут быть полезны студентам старших курсов и магистрантам технических вузов при выборе тематики бакалаврских работ и магистерских диссертаций.

Тексты тезисов, представленные авторами, сверстаны и при необходимости сокращены. Как правило, сохранена авторская редакция.

Печатается по решению Учебно-методического совета Филиала ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском.

УДК 620.9(042)
ББК 31

ISBN 978-5-94721-131-3

© Авторы, 2018
© Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2018

СЕКЦИЯ № 1

ТЕПЛО- И ЭЛЕКТРОЭНЕРГЕТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС

Председатель: ***С. И. Магид*** – д-р техн. наук, профессор
Сопредседатель: ***М. С. Иваницкий*** – канд. техн. наук, доцент
Секретарь: ***Е. Н. Целуйко*** – магистрант

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ МУЛЬТИРОТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЙ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Мельников Е. А. – студент
Ходырева Н. Г. – канд. пед. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Для безаварийного функционирования воздушных линий электропередачи (ВЛЭП) необходим постоянный мониторинг их технического состояния. Традиционным является наземный обход бригадой с визуальной оценкой электрического оборудования, конструкций и отдельных элементов воздушной линии (ВЛ). Этот способ обладает значительной трудоемкостью, а в ряде случаев может быть небезопасен. Одним из возможных альтернативных вариантов диагностики ВЛЭП является осмотр воздушных линий с помощью беспилотных летательных аппаратов (БПЛА).

Методика беспилотного обследования линий электропередачи включает в себя облет, наблюдение и аэрофотосъемку трассы и составных частей ВЛ по всей длине, что позволяет существенно сократить время диагностики, эффективно оценить техническое состояние ВЛЭП, а также своевременно обнаружить дефекты и нарушения, которые могут привести к аварийному отключению. К преимуществам данного способа можно отнести безопасность, получение снимков, обладающих высокой степенью разрешения с разных ракурсов.

Для аэродиагностики объектов инфраструктуры ВЛЭП применяются беспилотные летательные аппараты самолетного и мультироторного типов. БПЛА самолетного типа используются преимущественно для осмотра больших площадей и линейных участков местности и съемки линейно протяженных объектов [3]. БПЛА мультироторного типа (коптеры) обладают возможностями для оперативного мониторинга отдельных труднодоступных опор, пролетов, а также для осмотра некоторых элементов ВЛЭП под углом зрения, недоступным с земли [2].

В России основными БПЛА мультироторного типа, применяемыми для диагностики ВЛЭП, являются летательные аппараты, выпускаемые компаниями Unmanned Беспилотные системы («Supercam X6M2»), ООО «Геоскан»

(«Геоскан 401 Видео») и ZALA AEROGROUP Беспилотные системы («ZALA 421-22»). Обобщенные характеристики коптеров представлены в табл. 1.

Таблица 1

Обобщенные характеристики БПЛА мультироторного типа

Масса, кг	5,0 –7,5
Максимальная взлетная масса, кг	6,0 – 9,5
Практический потолок (высота), м	500 – 1000
Время полета, мин	30 – 60
Максимальная дальность полета, км	5 – 15
Скорость, км/ч	30 – 60
Тип двигателя	электрический
Старт	вертикальный
Приземление	вертикальное
Режим полета	ручной, автоматический, полуавтоматический с возможностью корректировки маршрута в полете
Дополнительная полезная нагрузка	1 – 2 кг; фотоаппарат, тепловизор, видеокамера

Основным достоинством БПЛА мультироторного типа является способность выполнять самостоятельный полет в определенном направлении, «зависать» в нужных точках на заданном расстоянии от земли, в случае необходимости плавно менять высоту. Коптеры имеют малые габариты, обладают маневренностью и легки в управлении. Они не требуют наличия взлетно-посадочной полосы благодаря вертикальному взлету и посадке. К несомненным плюсам данных аппаратов можно отнести простоту и надежность конструкции, компактность и малую взлетную массу при существенной полезной нагрузке [5].

Главными ограничениями в применении БПЛА мультироторного типа являются малое время работы такого оборудования (от 30 мин до 1,5 ч) и, как следствие, малый радиус действия летательных аппаратов. Учитывая этот факт, комплексы БПЛА мультироторного типа могут быть задействованы в качестве дополнительного оборудования наземных бригад для более детального осмотра отдельных участков линий электропередачи.

Анализ литературы [1, 2, 3] показал, что использование БПЛА мультироторного типа предоставляет определенные возможности для обнаружения дефектов трассы и элементов ВЛ (табл. 2). Для этих целей достаточно эффективным является установка на квадрокоптер фотоаппаратуры, которая позволяет получить большое количество снимков высокого пространственного разрешения [2, 4].

В качестве дополнительного оборудования можно применять камеры инфракрасного диапазона, позволяющие определять величину и разницу температур диагностируемых элементов, и ультрафиолетового диапазона для регистрации оптических разрядных процессов.

Таблица 2

Возможности обнаружения дефектов элементов ВЛЭП с помощью БПЛА мультироторного типа

Элементы ВЛЭП	Виды дефектов
Трасса ВЛ	• наличие в охранной зоне ВЛ складированных материалов; • наличие на краю просеки отдельных деревьев, угрожающих падением или разрастанием в сторону ВЛ на недопустимые расстояния; • недостаточная, ширина просеки по трассе ВЛ; • наличие растительности на земле, отведенной под опору; • выполнение на трассе в охранных зонах несогласованных работ
Опоры и фундаменты	• разворот траверс; • наклон опор сверх допустимых норм; • отсутствие деталей на металлических опорах; • подтопление в охранной зоне по трассе ВЛ; • наличие на опорах птичьих гнезд и других посторонних предметов
Провода, грозотросы, контактные соединения	• наличие обрывов, набросов и расщеплений фазных проводов или грозозащитного троса, «следы» ремонта; • изменение стрел провеса и расстояний от проводов ВЛ до земли, до пересекаемых объектов, между фазами до недопустимых значений; • отсутствие гасителей вибрации, гасителей пляски, предусмотренных проектом ВЛ или их смещением от места установки
Подвески, арматура	• полное разрушение фарфора или стекла изоляторов; • скол части тарелок изолятора; • следы перекрытия гирлянд и отдельных изоляторов (повреждение глазури, фарфора, стекла, следы оплавлений)
Заземляющие устройства	• отсутствие скоб, прикрепляющих заземляющие спуски к опоре; • неправильная установка разрядника или смещение разрядника от проектного положения

Рассмотрим некоторые результаты обследования технического состояния элементов опор ВЛ-110 кВ № 8, расположенной в Тракторозаводском и Дзержинском районах г. Волгограда. Комплекс работ включал в себя диагностику металлоконструкций и фундаментов посредством визуального осмотра, а также с применением увеличительных оптических приборов. Опоры № 35 и 37 были осмотрены дополнительно с помощью квадрокоптера F450. Основными техническим характеристиками данной модели являются: вес – 1600 г, габариты – 500 × 500 × 250, время полета – 10 мин, средняя скорость – 40 км/ч, потолок высоты полета – 600 м, дальность полета – 3 км, полезная нагрузка – 600 г (12 Мп камера).

В результате визуальной диагностики для опоры № 35 выявлено нарушение содержания охранной зоны, а на опоре № 37 были найдены расхождения и нарушения сварных швов и болтовых соединений. При облете опор с помощью квадрокоптера была задействована видеокамера, что позволило осмотреть под разными углами металлоконструкции, фундаменты, провода и арматуру. Были установлены целостность гирлянд изоляторов и отсутствие обрывов и расщеплений проводов и грозозащитного троса. Птичьи гнезда и другие посторонние предметы на опорах обнаружены не были.

Также был сделан вывод о том, что пространственного разрешения видеосъемки недостаточно для качественного выявления коррозии деталей опоры, нарушений заклепочных и болтовых соединений, трещин и повреждений сварных швов. В дальнейшем планируется провести дополнительное обследование ряда опор ВЛ-110 кВ № 8 с помощью фотосъемки с квадрокоптера для получения снимков высокого пространственного разрешения, что позволит выявить большее число дефектов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Дикой, В. П. Мониторинг состояния воздушных линий электропередачи с использованием беспилотного летательного аппарата / В. П. Дикой, А. А. Левандовский, Р. С. Овянников, В. В. Старцев // Энергия единой сети. – 2014. – № 2 (13). – С. 16-25.

2. Методические указания по применению беспилотных летательных аппаратов для обследования воздушных линий электропередачи и энергетических объектов: [Электронный ресурс]. – М., 2017. – URL: http://www.fsk-ees.ru/upload/docs/STO_56947007-29.200.10.235-2016.pdf (Дата обращения: 19.04.2017).

3. ООО Геоскан: [Электронный ресурс]. – Санкт-Петербург, 2016. – URL: https://www.geoscan.aero/ru (Дата обращения: 26.11.2016).

4. Прохоров, И. Б. Обзор особенностей мультироторного беспилотного летательного аппарата и подобных систем / И. Б. Прохоров, Д. А. Юшкин, П. А. Гребенщиков // Энергетические и электротехнические системы: международный сборник научных трудов; Под ред. С. И. Лукьянова, Н. В. Швидченко. – Магнитогорск, 2015. – С. 294-299.

5. Эпов, М. И. Применение беспилотных летательных аппаратов в аэрогеофизической разведке / М. И. Эпов, И. Н. Злыгостев // Интерэкспо Гео-Сибирь. – 2012. – № 3. – Т. 2.

СХЕМНЫЕ МЕРОПРИЯТИЯ ПО ПОВЫШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ ТУРБИНЫ К-1200-6,8/50

Мирошников В. В. – студент
Иваницкий М. С. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Паровая конденсационная турбоустановка К-1200-6,8/50 с промежуточной сепарацией и двухступенчатым перегревом пара, с рабочей частотой вращения 3000 об/мин предназначена для непосредственного привода генератора переменного тока типа ТЗВ-1200-2УЗ, монтируемого на общем фундаменте с турбиной.

Паровая конденсационная турбоустановка предназначена для работы в блоке с водоводяным реактором типа ВВЭР-1200 базового блока АЭС и работает на насыщенном паре с параметрами пара перед турбиной P = 6,8 МПа, T = 283,8 °С, влажность – 0,5 %.

Целью работы является исследование различных вариантов компоновки тепловой схемы для повышения эксплуатационных показателей атомного энергоблока с паротурбинной установкой К-1200-6,8/50. Объектом исследования служит тепловая схема паровой конденсационной турбоустановки для АЭС с реактором ВВЭР-1200. Рассматриваются три варианта исполнения тепловой схемы:

1) с использованием конденсатного гидротурбонасоса (КГТН) для закачки конденсата греющего пара сепаратора пароперегревателя (СПП) второй ступени в тракт питательной воды;

2) с использованием охладителя дренажа ПП второй ступени;

3) с установкой дополнительного подогревателя высокого давления.

В результате исследования тепловых схем с предложенными изменениями определена эффективность от применения вышеуказанных вариантов.

1. Закачка КГП СПП в тракт питательной воды, рис. 1. Данная схема с применением КГТН позволяет увеличить мощность, вырабатываемую турбоагрегатом на 4,1 МВт, и уменьшить затраты на собственные нужды в размере 0,9 МВт. Энергетический эффект от применения данного решения составляет 5 МВт. Мощность КГТН компенсируется снижением мощности ПН, затрачиваемой для закачки расхода КГП перегревателя 2-й ступени. Основной выигрыш данного технического решения – подогрев питательной воды на 3 °С. Допустимая температура питательной воды задана условиями технического задания (или ПГ).

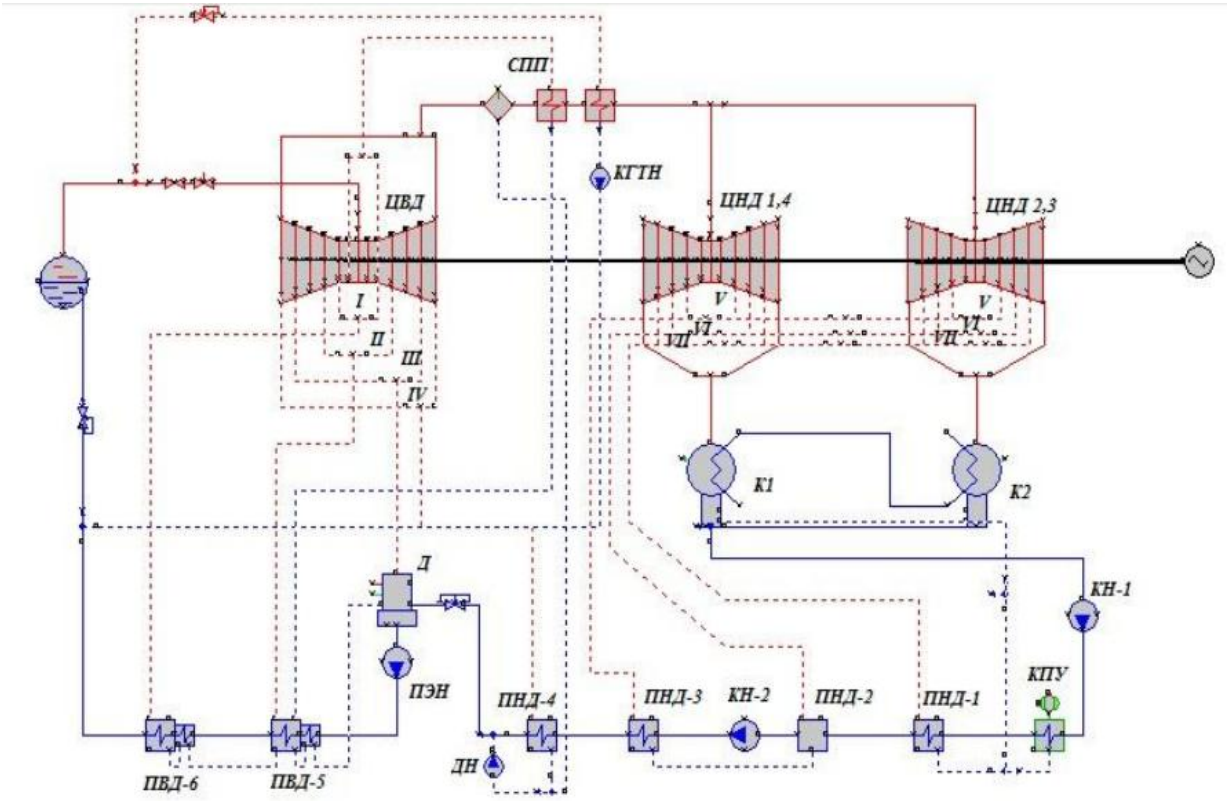

Рис. 1. Принципиальная тепловая схема турбины К-1200-6,8/50. Закачка конденсата греющего пара ПП-2 в тракт питательной воды с применением насоса КГТН

2. Применение ОД пароперегревателя СПП, рис. 2.

При установке ОД ПП после СПП прямое увеличение мощности брутто составляет 1,2 МВт. Недогрев в ОД ПП принят 20 °С. Можно сказать, что при недогреве около 20 °С суммарная площадь поверхности нового СПП останется как в имеющемся СПП, то есть возможно выполнить новый СПП примерно в

прежних габаритах. Уменьшение недогрева в ОД ПП до 10 °С дает еще около 0,5 МВт прироста мощности.

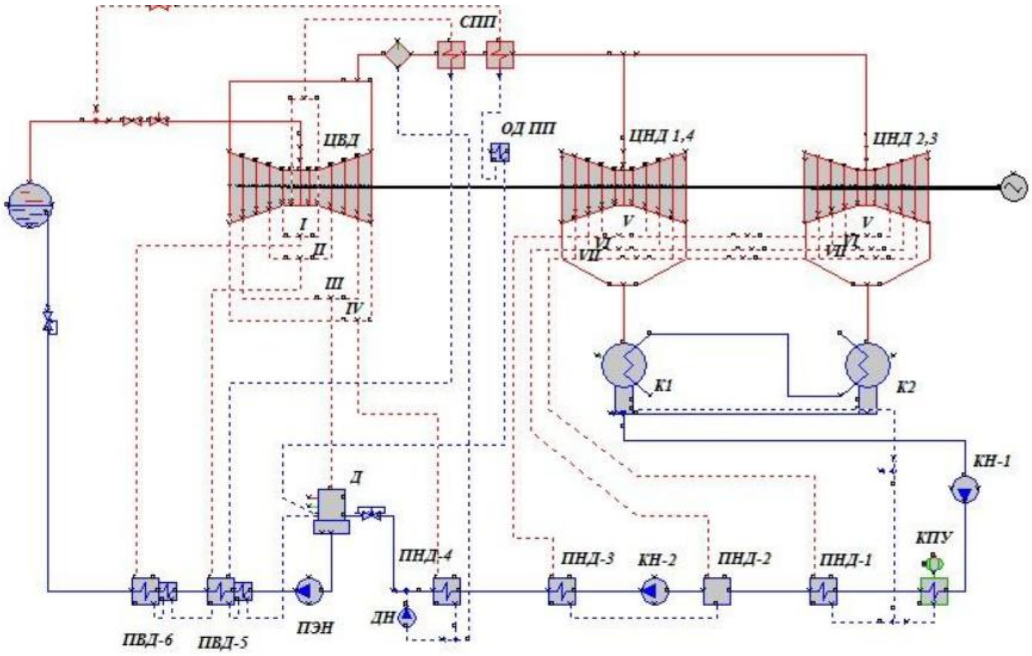

Рис. 2. Принципиальная тепловая схема турбины К-1200-6,8/50 с применением ОДПП

3. Увеличение числа ПВД, рис. 3.

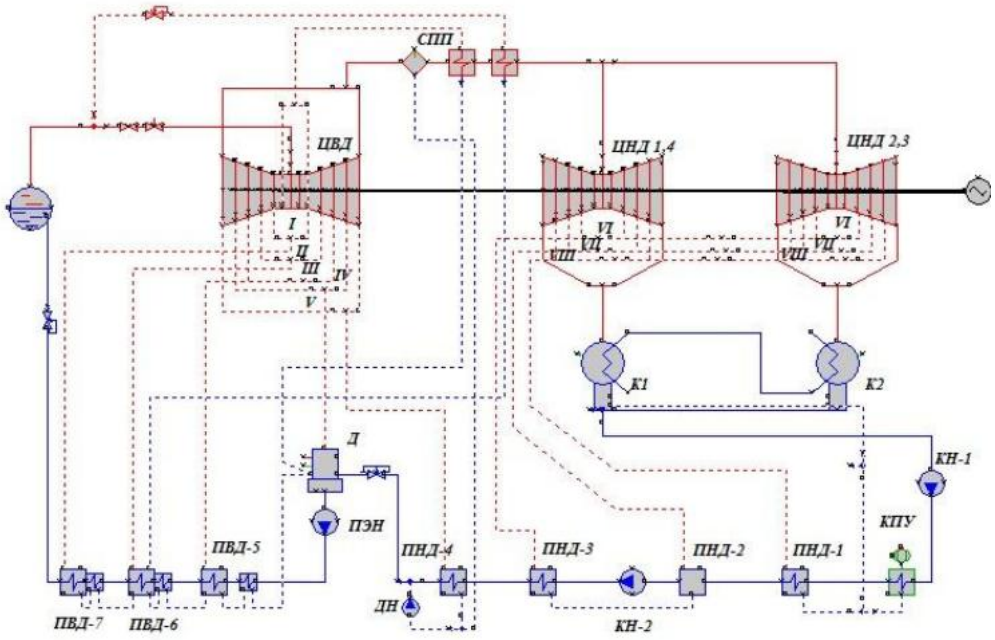

Рис. 3. Принципиальная тепловая схема турбины К-1200-6,8/50
с установкой дополнительного ПВД

Наибольший эффект имеет решение с применением КГТН – 5 МВт, что в приросте КПД турбогенератора составляет оценочно 0,16 %. Наименьший эффект имеет схема с применением ОД.

ОСОБЕННОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ ПЯТИПОЛЬНЫХ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ ФИЛЬТРОВ В СХЕМАХ ПЫЛЕГАЗООЧИСТКИ

Неганова А. А. – магистрант
Иваницкий М. С. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Электрофильтры относятся к высоковольтному электротехническому оборудованию, в котором используется коронный разряд для зарядки взвешенных в газе частиц и их улавливания в электрическом поле. По типу конструкции электрофильтры делятся на однопольные и многопольные [1].

Многопольные электрофильтры состоят из нескольких блоков осадительных электродов, соединенных последовательно. Это обеспечивает конструкцию из нескольких электрических полей, что позволяет производить более качественную очистку. Для обеспечения высокой степени очистки скорость дымовых газов не должна превышать 1,5 м/с. Горизонтальные многопольные электрофильтры являются аппаратами непрерывного действия, то есть зола с электродов удаляется их встряхиванием без отключения электрода от источника тока и источника дымовых газов. Данный процесс получил название вторичного уноса [1-3].

Эффективность работы электрофильтра характеризуется степенью очистки газов или коэффициентом полезного действия, который измеряется в процентах. Степень очистки зависит от количества электрических полей и выражается зависимостью [1]:

$$\eta = 1 - e^{-Bn}, \qquad (1)$$

где η – степень очистки газов; B – эмпирическая константа (B = 0,9 при неблагоприятных условиях очистки газов от золы, обладающей повышенным удельным электрическим сопротивлением; B = 1,3 – экспериментальное значение, B = 2 при благоприятных условиях очистки газов от сжигания углей в устойчиво работающем агрегате); n – число электрических полей электрофильтра.

По формуле (1) можно определить, как увеличение количества полей влияет на степень очистки газов электрофильтра. График, изображенный на рисунке, наглядно показывает, что при увеличении количества полей до трех степень очистки возрастает экспоненциально, при дальнейшем росте числа полей темп эффективности очистки снижается. При этом увеличение размера самого поля приводит к снижению устойчивой работы электрофильтра, поэтому увеличивают не размеры поля, а их количество. С другой стороны, увеличение количества полей приводит к увеличению количества агрегатов питания, механизмов встряхивания, количества электродов, наковален и бойков [2, 3].

Пятипольные электрофильтры считаются современными и более эффективными и в настоящее время рекомендованы для использования в схемах электростанций, сжигающих пылеугольное топливо.

Рост эффективности очистки электрофильтра с увеличением числа последовательных электрических полей можно объяснить уменьшением выноса частиц при встряхивании электродов. При движении очищаемых газов внутри электрофильтра концентрация частиц в газах уменьшается от максимальной на входе до минимальной на выходе, что объясняет меньший рост эффективности очистки газов при увеличении количества полей.

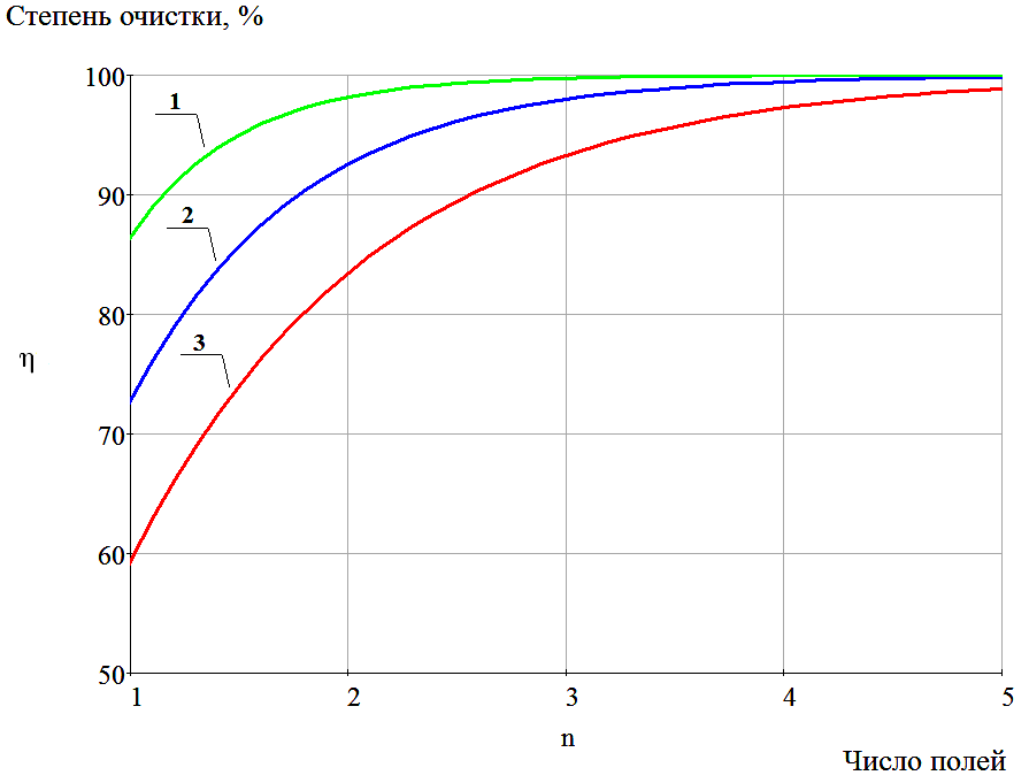

Рисунок. Зависимость степени очистки от количества электрических полей:
1 – B = 2; 2 – B = 1,3; 3 – B = 0,9

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В. Н. Ужов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1967. – 344 с.

2. ГОСТ 31830-2012. Электрофильтры. Требования безопасности и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2013.

3. Санаев, Ю. И. Обеспыливание газов электрофильтрами / Ю. И. Санаев. – Семибратово : Кондор-Эко, 2009. – 163 с.

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРА

Неганова А. А. – магистрант
Иваницкий М. С. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В процессе очистки газа на промышленных предприятиях от взвешенных частиц пыли особое внимание уделяется качеству очистки газа, содержанию вредных для здоровья человека веществ в очищенном газе, что напрямую зависит от эффективности работы фильтрующего устройства. Эффективность электрофильтра описывается степенью очистки газов или коэффициентом полезного действия [1-3]:

$$\eta = 1 - e^{-\left(\omega_n \frac{LP}{\upsilon S}\right)}, \qquad (1)$$

где ω_n – скорость движения заряженных частиц, м/с; L – длина трубы, м; P – активный периметр осадительного электрода, м; υ – скорость движения потока, м/с; S – общая площадь поперечного сечения электрофильтра, м^2.

Выражение (1) можно записать в виде

$$\ln\left(1 - \frac{N_n}{N_0}\right) = -\omega_n \frac{LP}{\upsilon S}, \qquad (2)$$

где N_0 – количество частиц в начальный момент времени $t_0 = 0$; N_n – количество частиц в момент времени $t_0 = t$ при $\eta = \frac{N_n}{N_0}$.

Графическая зависимость выражения [2] от напряженности электрического поля аппарата изображена на рис. 1.

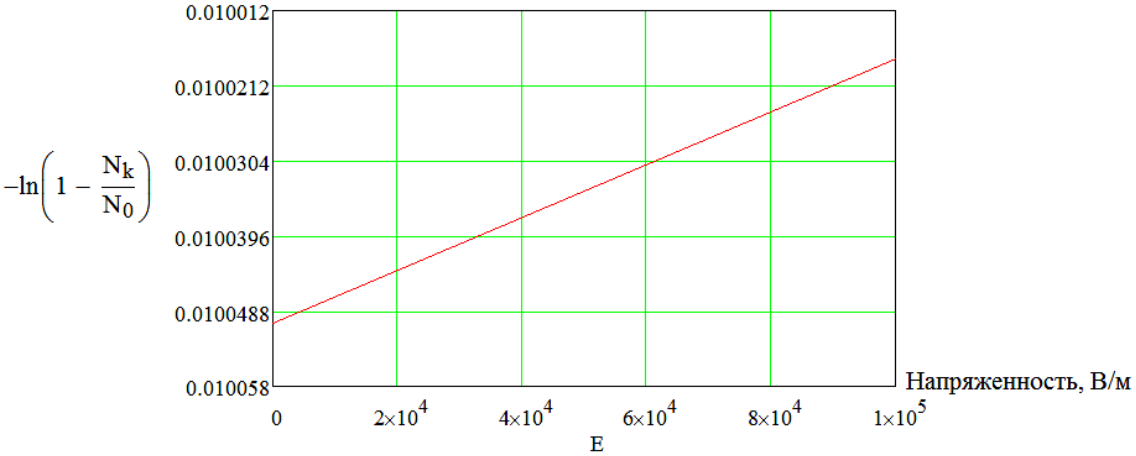

Рис. 1. Графическая зависимость логарифма КПД от напряженности поля

Из графика видно, что КПД возрастает практически линейно, но при этом имеет уровень меньше 1 %, что соответствует уровню напряженности для одиночной частицы и начальному периоду работы электрофильтра.

Математическая модель расчета эффективности электрофильтра описывает зависимость степени очистки электрофильтра от длины траектории движения частиц и уровня напряженности и наглядно показывает, как при различных значениях размеров электрофильтра меняется КПД газоочистного аппарата. Для данного опыта рассматривалась модель электрофильтра с длиной канала L = 4 м, с активным периметром осадительного электрода P = 25 м и площадью входного поперечного сечения S = 25 м^2.

Для нахождения зависимости эффективности работы электрофильтра используется следующая система уравнений на основе данных [3]:

$$\begin{gathered}\frac{d}{dt}N_n = kE_0N - \lambda\cdot\mathrm{grad}N;\\ \frac{d}{dt}E_0 + \omega_n\left(\frac{d}{dx}E_0\right) = \upsilon x\left(\frac{\mathrm{i}_0}{2\pi\varepsilon_0 xkE_0} - \frac{E_0}{x}\right);\\ \frac{d}{dt}E_0 + \omega_n\left(\frac{d}{dy}E_0\right) = \upsilon y\left(\frac{\mathrm{i}_0}{2\pi\varepsilon_0 ykE_0} - \frac{E_0}{y}\right),\end{gathered} \tag{3}$$

где N_n – концентрация ионов, ионы/м^3; N – концентрация ионов в произвольный момент времени, ионы/м^3; k – подвижность ионов, м^2/В·с; E_0 – напряженность электрического поля частицы, В/м; λ – коэффициент диффузии, м^2/с; x, y – координаты движения частицы; i_0 – линейная плотность электрического поля, А/м; ε_0 – электрическая постоянная, Ф/м.

Система уравнений (3) решается методом Булирша-Штера. Для этого задаются начальные условия для напряженности:

$$E_1 = 20\cdot10^5 \text{ В/м}; \quad E_{\text{ст}} = 15\cdot10^5 \text{ В/м},$$

где $E_{\text{ст}}$ – напряженность стенок. Решение по данному методу сводится к нахождению ряда значений времени для конкретных значений напряженности для отображения их графической зависимости. Для этого записывается зависимость вида

$$C(t,z) = \left[\frac{C_1E_{\text{ст}} - \left(\overset{z_1}{C_2}z\right)_1 + C_3E_1}{1}\right], \tag{4}$$

где $z = \left(\frac{0}{0}\right)$.

Решая уравнение (4) при граничных параметрах системы, получим графическую зависимость изменения уровня начальной напряженности поля аппарата во времени, рис. 2.

Точки экстремума на рис. 2 можно объяснить неравномерностью распределения заряженных частиц потока в электрическом поле электрофильтра.

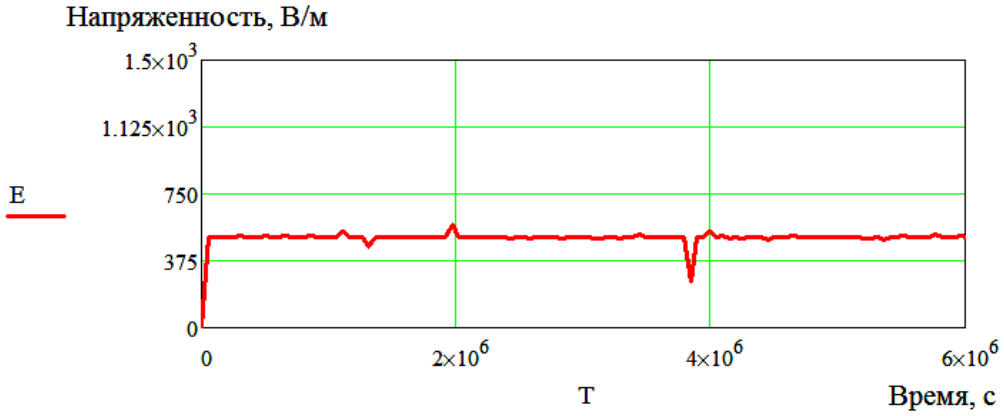

Рис. 2. Графическая зависимость изменения уровня напряженности по времени

Исходя из полученных расчетных данных, можно получить графическую зависимость изменения КПД от длины траектории движения частицы. Для этого уравнение (1) запишем в виде

$$\eta = 1 - e^{\left[\frac{-0{,}118\cdot 10^{-10}\, r \frac{LP}{\upsilon S}}{\mu}\left(\frac{E}{x}\right)\right]}. \qquad (5)$$

Для оценочного расчета примем уровень напряженности постоянным и равным $E = 9 \cdot 10^5$ В/м, длину пути движения частицы зададим в пределах $x = 0{,}01 \div 60$. На рис. 3 представлен график изменения КПД электрофильтра (эффективность улавливания одиночной частицы) от длины пути одиночной частицы потока.

График, изображенный на рис. 3, соответствует режиму, при котором критическое напряжение считается пробивным, при этом не все частицы выносятся из фильтра. Режим соответствует начальному этапу работы электрофильтра.

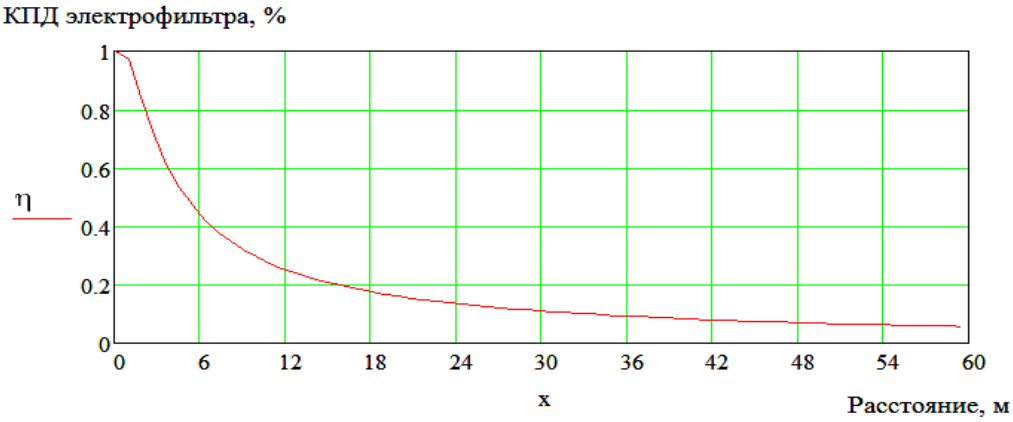

Рис. 3. Графическая зависимость изменения КПД от длины пути движения одиночной частицы потока

Разработанную математическую модель можно использовать для различных конструкций электрофильтров с целью оценки эффективности их функционирования, но при этом для более точной оценки эффективности работы электрофильтрационных установок необходимо учитывать начальную концентрацию твердых частиц, находящихся в газовом потоке.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В. Н. Ужов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1967. – 344 с.

2. ГОСТ 31830-2012. Электрофильтры. Требования безопасности и методы испытаний. – М. : Стандартинформ, 2013.

3. Санаев, Ю. И. Обеспыливание газов электрофильтрами / Ю. И. Санаев. – Семибратово : Кондор-Эко, 2009. – 163 с.

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ОЧИСТКИ СТОЧНЫХ ВОД НА ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯХ

Лушникова А. Р., Шимоняк А. А. – студенты
Гусева Ю. В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Проблема охраны окружающей среды и, в частности, рационального использования и охраны водных ресурсов, предотвращения и ликвидации последствий загрязнения водоемов в настоящее время является первоочередной задачей. На качество воды в водоемах влияют находящиеся в ней вещества и соединения в различных концентрациях, поэтому при сбросе сточных вод после производственных процессов требуется осуществлять извлечение вредных веществ. Теплоэнергетическая промышленность относится к наиболее водоемким отраслям народного хозяйства, поэтому решение вопросов рационального использования воды и обеспечения современных требований к качеству очищенных сточных вод, сбрасываемых в водоем, имеет важное значение и требует постоянного совершенствования систем водоснабжения и водоотведения. Актуальными задачами, стоящими перед теплоэнергетикой, являются [1]:

– совершенствование существующих и разработка новых маловодных и безводных технологических процессов;

– разработка и внедрение локальных схем очистки сточных вод с утилизацией уловленных продуктов и повторным использованием очищенной воды;

– внедрение экономичных высокопроизводительных методов и конструкций установок глубокой очистки сточных вод, методов обработки и утилизации уловленных шламов и осадков сточных вод;

– совершенствование узлов технологических установок с целью сокращения водопотребления и водоотведения;

– комплексный подход к подготовке и использованию воды.

Очистка сточных вод может осуществляться химическими (окисление, восстановление, конденсация, изомеризация, разложение и др.) или физико-химическими методами (перегонка, экстракция, сублимация, ректификация, осмос, ионный обмен, флотация, коагуляция, коалесценция и др.).

Созданию инновационных наночастиц и нанослоев, свойства которых можно было бы внедрить в традиционные методы очистки воды, могут помочь нанотехнологии в этой сфере. В настоящее время разрабатываются системы водоочистки, которые совмещали бы очистку с помощью нанофильтров из композитных материалов и УФ-излучения. Это позволит добиться высокой эффективности и многофункциональности в работе очистных сооружений [2].

Сочетание экстракционных и адсорбционных методов является одним из новых направлений технологии регенерационной очистки сточных вод, загрязненных нефтепродуктами. Флотационные или сорбционные методы малоэффективны и экономически невыгодны. Двухступенчатая технология предусматривает на первом этапе удаление из воды водомасляных эмульсий экстракцией маслами. Оставшееся количество нефти (2-5 мг/л) удаляется из воды на специальных сорбентах, гидрофобизированных древесных опилках. Древесные опилки предварительно активировали, в результате раскрывали межфибрилярные полости, куда по специальной технологии внедряли парафины (C_3O) и выше). Такие гидрофобизированные сорбенты не набухали в воде и обладали сорбционной емкостью 5-7 г/г. Остаточное содержание нефти после сорбционной очистки – не менее 0,1 мг/л [3].

Еще одним направлением в наноочистке сточных вод является электрокоагуляция. Для осуществления процесса коагуляции в воду могут быть введены вместо коагулянтов ионы тяжелых металлов, полученные электрохимическим путем. При использовании в качестве анода железных и алюминиевых электродов происходит электролитическое растворение, при котором в сточную воду переходят ионы этих металлов, превращающиеся в их гидроксиды или соли, обладающие коагулирующей способностью. Достоинства метода электрокоагуляции: компактность установок и простота управления, отсутствие потребности в реагентах, малая чувствительность к изменениям условий проведения процесса очистки, получение шлама с хорошими структурно-механическими свойствами. Недостатком метода является повышенный расход металла и электроэнергии. Инновацией этого метода стала возможность подбора раствора с такими характеристиками, которые позволяют получать коагулянт из отходов металла, а не из дорогостоящей стали.

Правильный выбор современных эффективных технологических схем очистки сточных вод от предприятий теплоэнергетического комплекса из множества существующих позволил бы с высокой точностью реализовывать на практике цепочку сооружений водоотведения, контролируемых средствами автоматизации, которые призваны компенсировать неравномерность поступления исходной технологической нагрузки по расходам и концентрациям загрязнений, а также с наибольшей точностью перераспределять нагрузки на отдельные

единичные сооружения очистки сточных вод, учитывая специфику оборотного водоснабжения и расширение производства, способы удаления, утилизации и переработки осадка.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алексеева, Т. В. Разработка технологии очистки замазученных сточных вод ТЭЦ с использованием метода безнапорной флотации: дис. … канд. техн. наук: 05.23.04: Пенза, 2003. – 126 с. РГБ ОД, 61:04-5/89-1.

2. Виноградов, С. С. Экологически безопасное гальваническое производство / С. С. Виноградов // Глобус. – Москва, 2002. – С. 336-337.

3. Будиловскис, Д. Ферроферрригидрозоль из наночастиц и его применение для очистки сточных вод гальванопроизводств / Д. Будиловскис // Химическое и нефтегазовое машиностроение. – 2004. – № 11. – С. 36-38.

МЕТОДЫ СТАБИЛИЗАЦИИ МОЩНОСТНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПАРОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК

Кулёмина Г. И. – магистрант
Иваницкий М. С. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В настоящее время развитие теплоэнергетики связано с внедрением в эксплуатацию парогазовых установок (ПГУ), вследствие чего достигаются:

– высокие технические показатели;

– низкая стоимость единицы установленной мощности;

– меньшее потребление воды на единицу мощности вырабатываемой электроэнергии по сравнению с паросиловыми установками;

– компактные размеры;

– экологическая чистота по сравнению с паротурбинными установками.

Различают следующие виды ПГУ:

– с котлом-утилизатором (ПГУ с КУ): простота в эксплуатации, основным топливом является природный газ, запасы которого на нашей территории велики, высокая эффективность производства электроэнергии, высокие значения КПД в конденсационном режиме 55-60 %. В свою очередь ПГУ бывают с одноконтурным КУ, двухконтурным КУ, а также в связи с тем, что начальная температура газов достигает 1500 °С, давление 1,8-3,0 МПа позволило перейти в дальнейшем к усовершенствованию паровой ступени ПГУ с КУ и осуществить тепловую схему с тремя контурами генерации пара и его промежуточным перегревом;

– с низконапорным парогенератором (ПГУ НПГ): возможность автономной работы, использование ГТУ на угольных ТЭС, но им свойственна низкая эффективность КПД 45-47 %;

– с высоконапорным парогенератором (ПГУВ): сложны в конструкции и эксплуатации котла, работающем при давлении газового потока 0,8-1,2 МПа [1-5].

На работоспособность установки существенное влияние оказывают параметры наружного воздуха (температура и расход), а также температура выходных

газов. Температура наружного воздуха влияет на производительность парогазовой установки через характеристики газотурбинной установки: при температуре наружного воздуха 0 °С вырабатывает на 20 % больше, чем при 30 °С. На рисунке представлено влияние параметров парового цикла на КПД производства электроэнергии ПГУ с КУ.

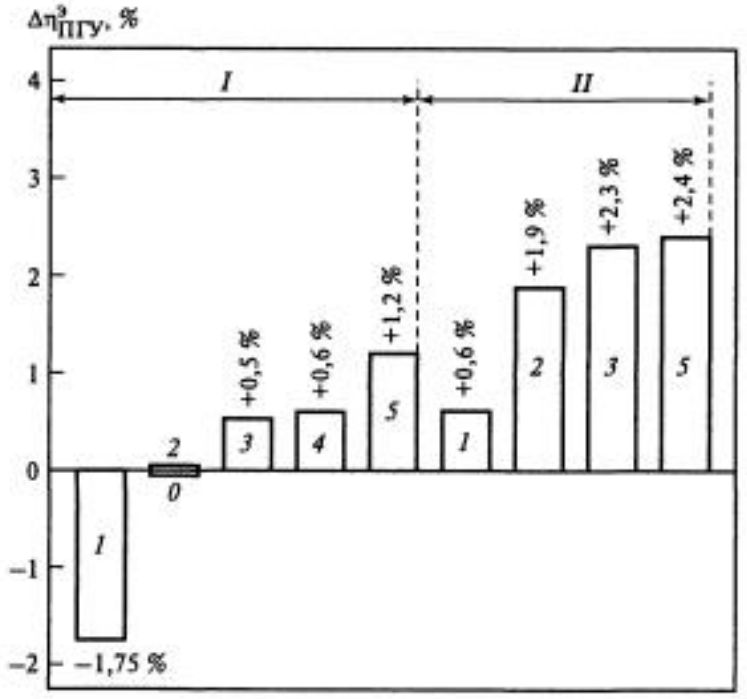

Рисунок. Влияние параметров парового цикла
на КПД производства электроэнергии ПГУ с КУ:
I – докритические параметры пара (8 МПа, 540 °С); II – сверхкритические параметры пара (25 МПа, 540 °С); 1 – одноконтурный КУ; 2 – двухконтурный КУ; 3 – одноконтурный КУ с промежуточным перегревом пара; 4 – трехконтурный КУ; 5 – трехконтурный КУ с промежуточным перегревом пара [1]

Также на работу ГТУ оказывает влияние месторасположение: при расположении на высоте 100 м над уровнем моря мощность уменьшается на 1 %, что объясняется разницей в давлении и плотности воздуха.

В связи с этим для стабилизации температуры рабочего тела и снижения концентрации оксидов азота применяется впрыск воды (пара) в камеру сгорания, что позволяет повысить электрическую мощность установки. Увеличение расхода газов через турбину в результате впрыска воды на входе компрессора и увеличение его КПД (на 4 %) в целом улучшают работу ГТУ: полезная мощность установки при впрыске 0,5-2,0 % воды (по отношению к объему воздуха) возрастает на 7,5-14,0 % при увеличении электрического КПД приблизительно на 3,5 % [1-3].

Другой способ основан на изменении температуры поступающего в компрессор воздуха путем его подогрева или охлаждения с помощью пара или воды, а также выхлопными газами самой ГТУ.

Вопрос надежности и эффективности работы газотурбинной установки при выработке тепловой и электрической энергий зависит от глубины проработки вопроса регулирования параметров применительно к климатическим условиям.

В процессе эксплуатации ПГУ со временем меняются давление, температура и скорость воздуха на входе в камеру сгорания. Изменение величин этих параметров также влияет на полноту и устойчивость процесса горения. Так, уменьшение давления воздуха приводит к уменьшению коэффициента полноты сгорания из-за снижения скорости горения и ухудшения перемешивания (распыления) топлива.

Понижение температуры воздуха на входе в камеру сгорания ухудшает время образования смеси топлива и воздуха, тем самым может возникнуть такое явление, как задержка воспламенения, что снижает скорость горения. Уменьшается полнота сгорания топлива. Для устойчивого горения смеси скорость сгорания должна быть больше или равна скорости движения топливовоздушной смеси [1-5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Газотурбинные и парогазовые установки тепловых электростанций : учебное пособие для вузов / С. В. Цанев, В. Д. Буров, А. Н. Ремезов; под ред. С. В. Цанева. – 3-е изд., стереот. – М. : Издательский дом МЭИ, 2009. – 584 с.: ил.

2. http://www.findpatent.ru/patent/256/2569466.html Дата обращения: 24.11.2017 г.

3. Расчет образования CO и NO_x в камерах сгорания ГТД [Электронный ресурс]: электрон. учеб. пособие / С. Г. Матвеев, С. В. Лукачев, М. Ю. Орлов, И. В. Чечет, Ю. В. Красовская; Минобрнауки России, Самар. гос. аэрокосм. ун-т им. С. П. Королева (нац. исслед. ун-т). – Электрон. текстовые и граф. дан. 1,07 Мбайт). – Самара, 2012.

4. https://moluch.ru/archive/115/31199/ Дата обращения: 24.11.2017 г.

5. http://portal.tpu.ru/SHARED/k/KTXNG/lekcii/Tab1/2011GTU.pdf Дата обращения: 24.11.2017 г.

ЭЛЕКТРОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ В РАБОЧЕМ ПОЛЕ ЭЛЕКТРОФИЛЬТРУЮЩИХ УСТРОЙСТВ ТЕПЛОВЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ

Мельников Д. Ю. – магистрант
Иваницкий М. С. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Для крупных ТЭС электрофильтрационные установки считаются одними из наиболее высокоэффективных и проявивших себя золоуловителей. Они обеспечивают эффективную очистку газов при небольшом сопротивлении потоку газов и без их увлажнения, одновременно с этим КПД очистки при определённых условиях достигает до 99,99 %. На сегодняшний день эти качества делают электрофильтрационные установки наиболее перспективными в использовании на ТЭС и промышленных предприятиях.

Процесс фильтрации печных газов в электрофильтрационных установках состоит из зарядки частиц пыли, пропускаемых по каналам устройства, и осаждении на них под влиянием сил электрического поля. Электрофильтр состоит из осадительных электродов 1 и коронирующих электродов 2 между ними, рис. 1. Коронирующие электроды питаются выпрямленным электрическим током высокого напряжения, при этом у их поверхности образуется ударная ионизация газов, которая сопровождается возникновением тока короны, то есть коронного разряда [1-5].

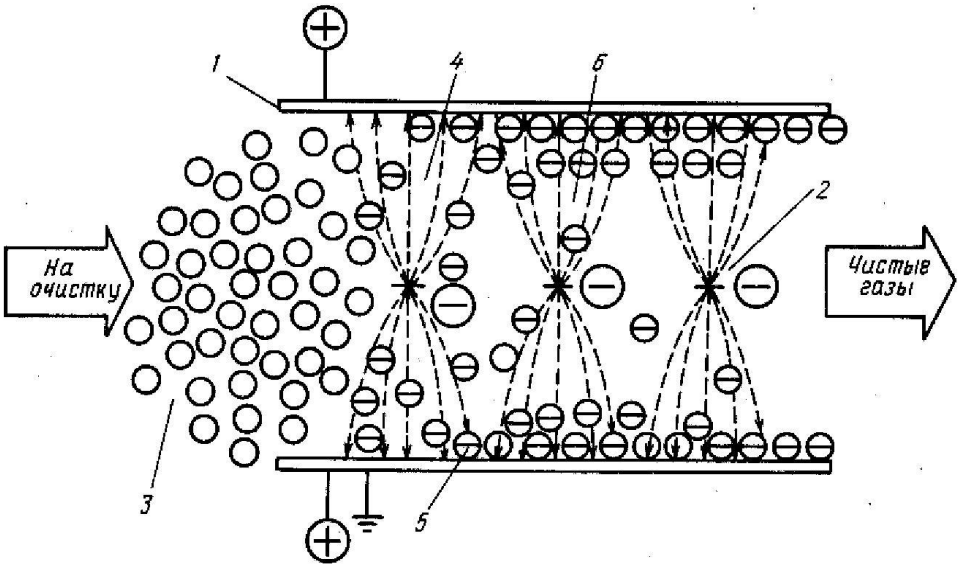

Рис. 1. Процесс поляризации частиц пыли в газоходе:
1 – осадительный электрод; 2 – коронирующий электрод; 3 – частицы пыли;
4 – электрическое поле; 5 – слой осевшей пыли; 6 – заряженная пыль [1]

Ток короны возникает при определённой величине напряжения, из-за которого частицы золы заряжаются и оседают в газоходе.

По мере движения частиц по каналам электрофильтра протекает процесс их зарядки, притяжение к электродам и осаждение, а затем их устранение с электродов встряхиванием или промывкой.

Для лучшей подвижности частиц в рабочей зоне к коронирующим электродам подаётся заряд отрицательного знака, благодаря чему можно поддерживать более высокое напряжение без возникновения искровых пробоев, что повышает степень очистки проходящих газов.

На степень очистки печных газов оказывает влияние не только напряжение питания, но также размеры электрофильтра и свойства фильтруемых газов. Вместе с тем самое сильное воздействие на неё производит удельное электрическое сопротивление пыли, причём оно может сильно варьироваться. Например, для печных газов с содержанием серы зависимость будет выглядеть так, как показано на рис. 2. Из графика можно судить о том, что при удельном электрическом сопротивлении в интервале $2 \cdot 10^7 < \rho_y < 8 \cdot 10^7$ достигается максимальная эффективность улавливания, но при $\log \rho_y > 9$ качество улавливания

значительно снижается. Это происходит из-за перезарядки осевших частиц золы и образования явления «обратной короны», вызывающих унос осевших частиц обратно в газовый поток. Всё это значительно понижает степень очистки и повышает количество вредных выбросов, поэтому при проектировании электрофильтрационных установок стараются исключить такие режимы работы.

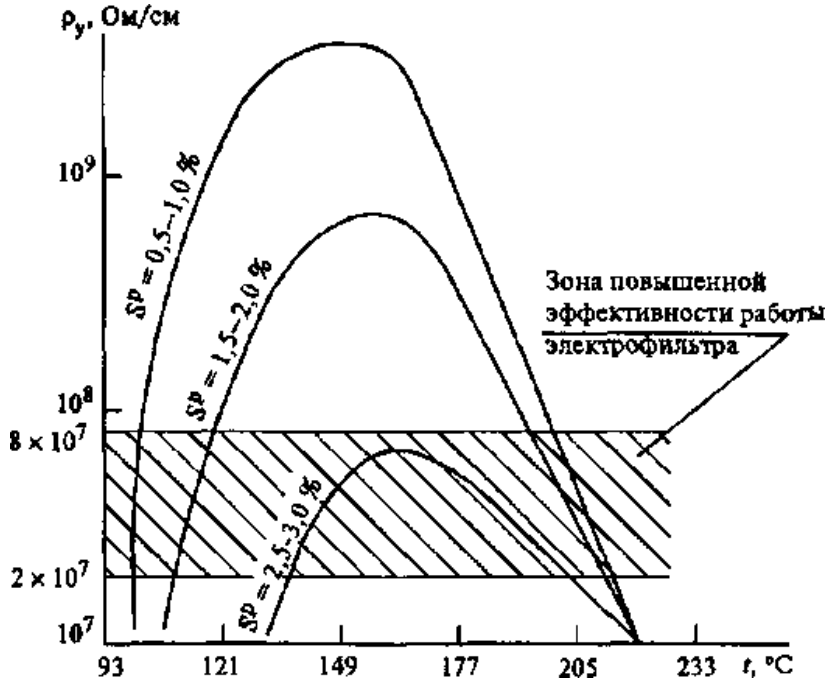

Рис. 2. Зависимость электрического сопротивления золы ρ_y от температуры и концентрации серы S^p в топливе [2]

В большинстве случаев выбор режима работы электрофильтрационных установок определяется параметрами очищаемых газов и их конструкцией ещё при проектировании, но может приниматься в процессе пусконаладки.

Для работоспособности выбираемых режимов обеспечивается правильный выбор высоковольтных устройств питания, поддерживаются оптимальные технологические параметры работы и проводятся регулярные проверки состояния составных частей конструкции, их ремонт и обновление.

Для проверки работы выбранного режима питания определяется количество искрений в единицу времени, рис. 3.

Принято считать, что числом искрений в одну минуту определяется напряжение на электродах электрофильтрационной установки и что степень очистки газов зависима от этой частоты.

Из рис. 2 видно, что время образования дымовых газов сопоставимо 40-70 искрениям за одну минуту. Поэтому немаловажным моментом оптимизации работы электрофильтров является подбор вида и частоты напряжения питания.

Определено, что качество очищения газов значительно снижается при снижении напряжения питания до уровня прекращения искрений, рис. 2.

Также значительное снижение качества очищения газов возникает при повышении числа искрений до 170 в одну минуту. Поэтому приемлемое количество искрений находится в пределах 50-125 в минуту.

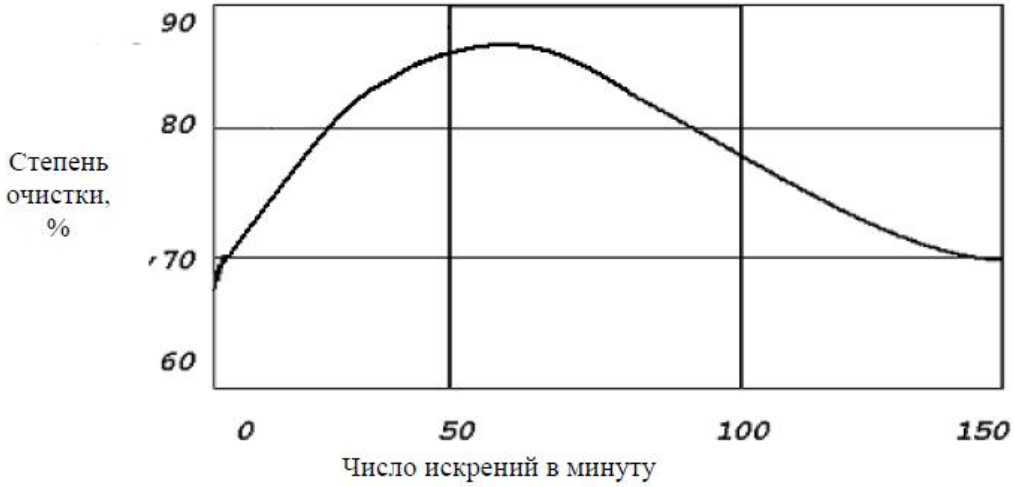

Рис. 3. Зависимость степени очистки от числа искрений при отсутствии обратного коронирования [1]

Также важным этапом оптимизации работы электрофильтра является технологическая настройка системы управления высоковольтным агрегатом. При этом создаётся максимально возможное напряжение на электродах электрофильтрационной установки и обеспечивается оптимальная величина тока короны. Помимо этого настраивается длительность искровых пробоев, время и глубина отработки системы регулирования, частота и ряд других параметров.

Также, для предотвращения перезарядки осевших частиц пыли и образования обратной короны, определяется время её образования.

Рассмотренные методы предотвращения влияния обратного коронного разряда реализуются на практике посредством:

1) кондиционирования топочных газов;

2) обеспечения импульсного питания коронирующих электродов, которое позволяет снижать вероятность образования «обратной короны»;

3) обеспечения знакопеременного питания электрофильтрационных установок, благодаря чему удаётся не допускать образования «обратной короны», так как полярность постоянного напряжения на коронирующих электродах изменяется в момент приближения к напряжению образования «обратной короны» [2-5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Санаев, Ю. И. Обеспыливание газов электрофильтрами / Ю. И. Санаев. – Семибратово : Кондор-Эко, 2009. – С. 122-132.

2. Верещагин, И. П. Высоковольтные электротехнологии : Учебное пособие / И. П. Верещагин. – М. : Издательство МЭИ, 1999. – С. 37-38.

3. Абрамов, А. И. Повышение экологической безопасности тепловых электростанций : Учебное пособие / А. И. Абрамов, Д. П. Елизаров, А. Н. Ремезов; Под ред. А. С. Седлова. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – С. 53-54 с.

4. Ужов, В. Н. Очистка промышленных газов электрофильтрами / В. Н. Ужов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Химия, 1967. – 344 с.

5. Алиев, Г. М. А. Устройство и обслуживание газоочистных и пылеулавливающих установок : Учебник / Г. М. А. Алиев. – М. : Металлургия, 1988. – 116-170 с.

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ СИСТЕМЫ ДЛЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ РЕЖИМОВ РЕГУЛИРОВАНИЯ ОТПУСКА ТЕПЛОТЫ

Целуйко Е. Н., Толстопятов Д. Е. – магистранты
Султанов М. М. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Авторами рассматривается переход существующей системы теплоснабжения из качественного способа отпуска тепла потребителям в альтернативный режим отпуска теплоты – количественный (качественно-количественный) способ на примере системы теплоснабжения г. Волжского.

Недостатком существующего регулирования является сохранение расхода сетевой воды постоянным при повышенных температурах наружного воздуха, что приводит к перегреву отопительной системы. Также при таком способе тепловую нагрузку регулируют по средней температуре наружного воздуха, что приводит к несоответствию температуры сетевой воды температуре воздуха и дисбалансу температур в помещениях у потребителей.

По причине экономии электроэнергии на транспорт теплоносителя в системе теплоснабжения, снижения расхода сетевой воды, то есть его регулирования, появляется необходимость в замене способа регулирования тепловой нагрузки на количественный (качественно-количественный) способ.

При качественном регулировании на тепловых источниках используется последовательное включение сетевых подогревателей турбин и пиковых водогрейных котлов.

При последовательном включении сетевых подогревателей воды и пиковых водогрейных котлов организация расхода воды в системе усложняется, что объясняется необходимостью процесса подогрева большего расхода сетевой воды при расчетных температурах наружного воздуха.

Применяя количественный и качественно-количественный способ регулирования, изменение расхода сетевой воды можно организовать комбинацией числа оборотов насосов.

Также авторами предлагается рассмотреть возможность применения температурного графика 150/70 °С со срезкой 115 °С. При таком графике расход сетевой воды в тепловой сети для нужд отопления, вентиляции сохраняется на существующем уровне, когда он превышает расчетное значение по нагрузкам отопления. Снижение температуры в подающей магистрали позволит исключить перетопы и снизить потери в тепловых сетях. Возможность подачи теплоносителя с более низкими, чем это требуется по несрезанному температурному

графику, температурами, обусловлена тем, что однократный воздухообмен, который учитывается при расчете тепловых потерь зданий, в сильные морозы некомфортен.

Экономическая эффективность будет достигаться за счет снижения затрат топлива, сокращения затрат электроэнергии на перекачку сетевой воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети : учебник для вузов / Е. Я. Соколов. – 7-е изд., стереот. – М. : Издательство МЭИ, 2001. – 472 с.

2. Шарапов, В. И., Ротов, П. В. Регулирование нагрузки систем теплоснабжения / В. И. Шарапов, П. В. Ротов. – М. : Новости теплоснабжения, 2007. – 164 с.

АНАЛИЗ И ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗВЕСТНЫХ СИСТЕМ РЕГУЛИРОВАНИЯ МОЩНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ МАШИН И ИХ ВЛИЯНИЯ НА НАДЕЖНОСТЬ В УСЛОВИЯХ РАБОТЫ НА ОПТОВОМ РЫНКЕ ЭНЕРГИИ И МОЩНОСТИ

Султанов М. М. – канд. техн. наук, доцент
Вархачева Е. М. – магистрант
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Согласно государственному стандарту электрическая сеть Российской Федерации обеспечивает бесперебойную работу предприятий промышленности, работая при частоте 50(±0,1) Гц. Жесткие требования стандарта к отклонениям частоты питающего напряжения обусловлены значительным влиянием частоты на режимы работы электрооборудования, ход технологических процессов производства и, как следствие, технико-экономические показатели работы промышленных предприятий. Электромагнитная составляющая ущерба обусловлена увеличением потерь активной мощности в электрических сетях и ростом потребления активной и реактивной мощностей. Известно, что снижение частоты на 1 % увеличивает потери в электрических сетях на 2 %. Технологическая составляющая ущерба вызвана в основном недовыпуском промышленными предприятиями своей продукции и стоимостью дополнительного времени работы предприятия для выполнения задания.

Выработка электроэнергии турбоагрегатами должна совпадать с электропотреблением в силу невозможности накопления этой энергии, поэтому в зависимости от времени года, сезона и времени суток необходимо стабильное поддержание мощности и частоты вращения энергомашин (рис. 1), в связи с чем повсеместно используются механизмы управления турбинами.

За поддержание постоянной частоты сети отвечает частота вращения ротора электрогенератора, установленного на одном валу с турбиной ГЭС.

При подаче на турбину потока воды $Q_т$, м^3/с, мощность турбины $N_т$ определяется формулой [1]:

$$N_{\text{т}} = 9{,}81 Q_{\text{т}} H_{\text{т}} \eta_{\text{т}}, \qquad (1)$$

где $H_{\text{т}}$ – напор на турбине, м; $\eta_{\text{т}}$ – КПД турбины.

Отсюда частота вращения связана с мощностью через соотношение

$$N_{\text{т}} = M\omega = 2\pi n M, \qquad (2)$$

где M – момент на турбине, создаваемый потоком воды, Н · м; ω – угловая скорость вращения турбины, $с^{-1}$; n – частота вращения вала турбины, об/с.

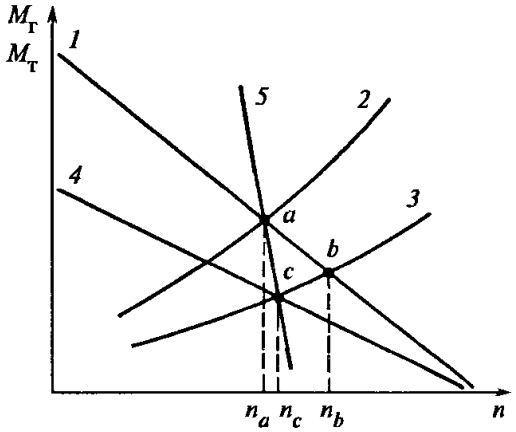

Рис. 1. Характеристики момента турбины (1, 4) и генератора (2, 3), статическая характеристика турбоагрегата (5)

Очевидно, что при постоянном расходе и неизменных параметрах турбины и потребителя электроэнергии скорость вращения будет постоянной. При изменении потока или электрической нагрузки изменяется и скорость вращения вала, что является допустимым только в пределах определенных значений. При резком увеличении или падении нагрузки необходимо обеспечить минимальные показатели отклонений частоты вращения вала турбины от номинального, что достигается путем установки механизма управления турбиной (МУТ), включающего систему регулирования (СР) открытия и закрытия поворотных лопаток, систему защиты и др.

Путем анализа научно-технической литературы и патентов были выявлены следующие методы и средства обеспечения необходимой частоты вращения вала турбин ГЭС и ТЭС при изменении потребляемой нагрузки [2, 3]:

– механическая система регулирования частоты вращения вала турбины, принцип действия которой основан на продольном перемещении толкателя регулирующего клапана путем изменения инерционных сил грузов и натяжения пружин за счет изменения скорости вращения вала турбины;

– гидромеханическая система регулирования частоты вращения вала турбины, контролирующая поворот лопаток или степень открытия направляющего аппарата на ГЭС и паровпускных клапанов в ЦВД турбины на ТЭС. Основана на совместной работе рычажно-шарнирных механизмов и гидравлической системы, состоящей из распределителей, золотников и сильфонов;

– гидродинамическая система регулирования, полностью состоящая из гидромашин. Регулирование степени открытия клапанов происходит за счет установки на валу центробежного насоса, питающего систему (преимущественно на ТЭС);

– электрогидравлическая система регулирования (ЭГСР). Гидросистема, состоящая из электромеханических преобразователей, гидравлических и электрических устройств; контролируется электронными приборами и датчиками частоты вращения вала, вмонтированными в механизм управления и имеющими электрические обратные связи.

Таким образом, посредством сбора и анализа полученной из патентов информации было установлено, что вопросу об унификации и выявлению универсальной для всех типов турбин системы регулирования, удовлетворяющей показателям надежной работы установки, должного внимания не уделялось. Этот факт является причиной актуальности вопроса об исследовании механизмов управления турбинами, создании алгоритма и рекомендаций по выбору определенного типа СР для любого типа турбин, применяемых в промышленности.

Каждая из типов СР имеет статическую характеристику, показанную на рис. 2, выражающую зависимость обеспечиваемой частоты вращения турбины от ее мощности при неизменном положении МУТ, и характеризуется такими параметрами, как степень неравномерности δ и степень нечувствительности ε:

$$\delta = \frac{\left(n_{\text{х.х}} - n_{\text{м.н}}\right)}{n_0}; \tag{3}$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta n}{n_0} \cdot 100, \tag{4}$$

где $n_{\text{х.х}}$ – частота вращения турбины на холостом ходу (нагрузка минимальна или отсутствует); $n_{\text{м.н}}$ – частота вращения турбины при максимальной нагрузке; n_0 – средняя частота вращения (номинальная); Δn – область нечувствительности. Основной вклад в появление нечувствительности вносят силы трения в регуляторах старых конструкций, передаточных механизмах, золотниках, сервомоторах, регулирующих клапанах, люфты в шарнирных соединениях, перекрытия на окнах отсечных золотников.

Для всего парка эксплуатируемых турбин значения этих параметров должны соответствовать значениям, указанным в таблице [3, 4].

С ростом нечувствительности процесс регулирования ухудшается, снижается его точность, возможно возникновение автоколебаний. Современная тенденция ужесточения требований по нечувствительности ставит перед конструкторами систем регулирования турбин непростую задачу. Одним из путей ее решения является практически полный отказ от механических связей в системе регулирования и замена их гидравлическими или электрическими. Таким образом, современные энергомашины оснащаются системами ЭГСР.

Современные технологии позволяют поддерживать частоту вращения с точностью до трёх оборотов. Устойчивая работа системы регулирования, высокая чувствительность и быстродействие являются залогом надежности всей системы, безопасной работы электро- и теплосети, а также повышения ее энергоэффективности и экономичности в условиях рыночных отношений потребителя и производителя электро- и теплоэнергии.

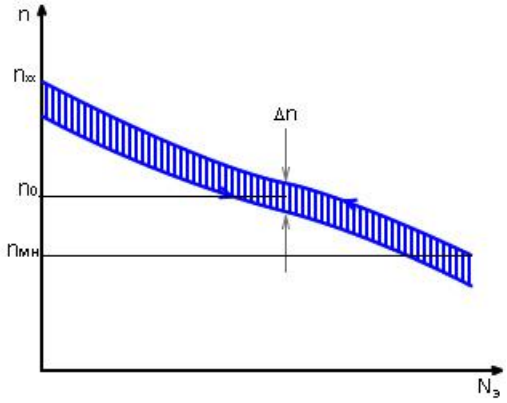

Рис. 2. Статическая характеристика системы регулирования

Таблица

Требования к системе регулирования

Характеристика	ГОСТ Р 55260.3.1-2013 (СР турбин ГЭС)	ГОСТ 24278-89 (СР турбин ТЭС)
Степень неравномерности	2-8 %	4-5 %
Степень нечувствительности	≤ 0,02 %	≤ 0,06 %
Время запаздывания (ГЭС) и время восстановления нагрузки до исходного (ТЭС)	≤ 0,2 с	≤ 3 с

В [5] произведен анализ причин отказов турбин и турбинного оборудования различных типов и заводов-изготовителей, произошедших за последние 15 лет и вызвавших останов турбоагрегата. Результаты анализа показали, что доля отказов системы регулирования составляет 15-27 % от общего числа отказов каждого типа турбин. Причины отказов системы регулирования приведены на рис. 3.

К недостаткам эксплуатации можно отнести попадание посторонних предметов в окна подачи масла на золотники и буксы, что составляет 50 % от повреждений гидросистемы управления. Кроме того, около 15 % отказов СР вызваны повреждениями трубопроводов, возникающими вследствие наличия коррозии и раковин в металле, усталости металла из-за вибрационных нагрузок при неправильной трассировке трубопроводов, возникновения трещин, плохой сборки фланцев.

Каждый приводящий к отказу недостаток системы имеет свою трудоемкость и объем работ по устранению. Согласно статистике, среднее время ремонта систем регулирования для паровых турбин составляет 6 дней, это 13,2 %

от средней продолжительности ремонтов каждого из типа оборудования (генератор, маслосистема, подшипники, паропроводы и др.).

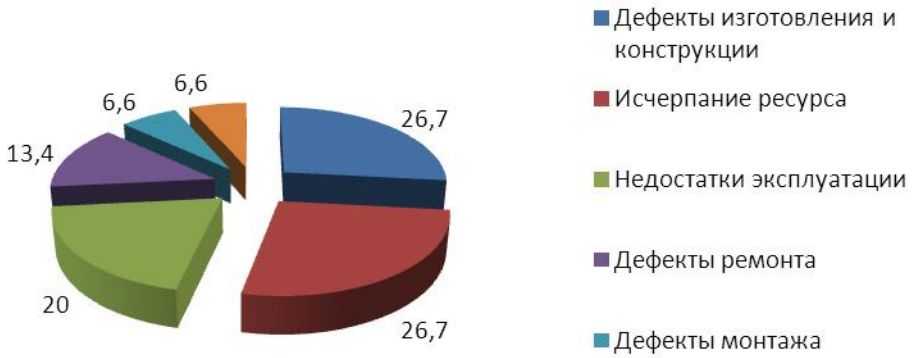

Рис. 3. Процент отказа системы регулирования по типам неисправностей

Выбор оптимальной системы регулирования, наиболее полно отвечающей требованиям безаварийной работы, надежности и быстродействия, осуществляется на основании анализа отказов каждого из вида систем; сравнения их показателей регулирования; выявления универсальных типов СР для каждой из видов турбин, если таковые имеются; создания алгоритма, позволяющего подобрать систему регулирования для определенных параметров и характеристик ГЭС и ТЭС с последующим прогнозом ресурса системы, ее долговечности и надежности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Щавелев, Д. С. Гидроэнергетические установки (гидроэлектростанции, насосные станции и гидроаккумулирующие электростанции) / Д. С. Щавелев. – Л. : Энергоиздат, 1981. – 520 с.

2. Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 1 / Под ред. д-ра техн. наук, проф. Солодовникова В. В. – М. : Машиностроение, 1967. – 770 с.

3. Трухний, А. Д. Стационарные паровые турбины / А. Д. Трухний. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Энергоатомиздат, 1990. – 640 с.: ил.

4. ГОСТ Р 55260.3.1-2013 Гидроэлектростанции. Часть 3-1. Гидротурбины. Технические требования к поставке.

5. ГОСТ 24278-89 Установки турбинные паровые стационарные для привода электрических генераторов ТЭС. Общие технические требования.

6. Султанов, М. М. Оценка надежности, продление ресурса и оптимизация ремонта оборудования ТЭС и энергетических систем : Учебное пособие / М. М. Султанов. – Волжский : Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2016. – 100 с.

ВЛИЯНИЕ ТЕПЛОВОГО РЕЖИМА ГРУНТА И КОНСТРУКТИВНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НА РАБОТУ ГРУНТОВОГО ТЕПЛООБМЕННИКА

Бондаренко А. В. – магистрант
Стрижиченко А. В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Использование низкопотенциальной теплоты грунта с помощью теплонасосных установок (ТНУ) является одним из эффективных способов энергосбережения в объектах жилищно-коммунального сектора.

Эффективность работы теплового насоса значительно зависит от температур источников и приемников теплоты. Коэффициент преобразования теплового насоса – основной показатель, определяющий энергетическую эффективность теплонасосного цикла, – увеличивается с ростом температуры источника и падением температуры приемника теплоты [1]. Также на теплопередачу влияет режим движения жидкости и конструктивные параметры теплообменника. Рассмотренные особенности теплового режима грунта и режима работы теплообменника определяют специфику расчета грунтовых теплообменников (ГТО). Система сбора низкопотенциального тепла грунта поверхностных слоев земли включает в себя грунтовый теплообменник и трубопроводы, соединяющие его с теплонасосным оборудованием (рис. 1).

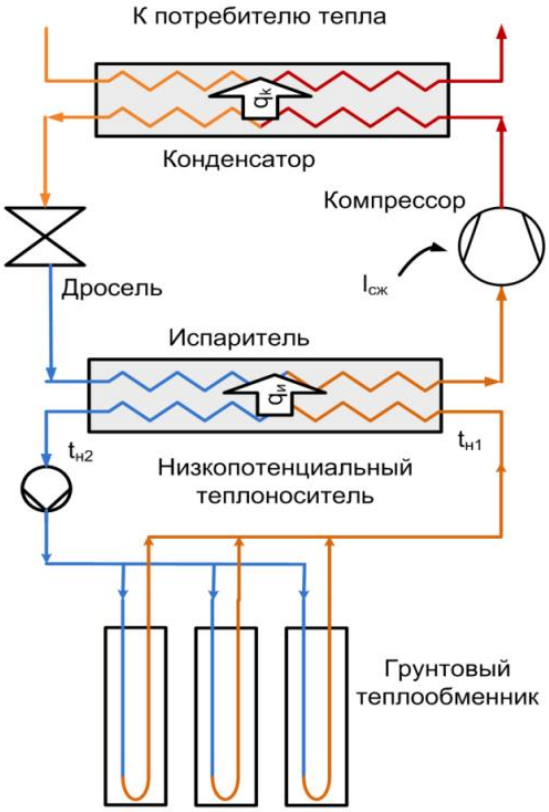

Рис. 1. Схема объекта исследования

Модель работы ГТО. Для описания процессов в грунтовом теплообменнике будем использовать следующую математическую модель:

$$Q = \alpha\, F \Delta t_{\text{г}};$$
$$Q = G_{\text{м}} c_{\text{р}} \Delta t_{\text{ж}}; \qquad (1)$$
$$Q = F \Delta t R^{-1},$$

где Q – тепловой поток, Вт; $G_{\text{м}}$ – массовый расход теплоносителя, кг/с; $c_{\text{р}}$ – удельная теплоемкость теплоносителя, Дж/кг °С; $\Delta t_{\text{ж}}$ – разница температур потока на выходе и входе ГТО, °С; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м °С; $F = \pi\, d\, l$ – площадь теплообмена, м^2; $\Delta t_{\text{г}}$ – разница температур стенки и жидкости вдали от стенки, °С.

Система уравнений дополняется уравнениями подобия для расчета коэффициента теплоотдачи в зависимости от режима течения потока [3]:
при вязкостном режиме течения жидкости в вертикальных трубах (Re < 2300, Gr Pr < 5·10^5):

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = 4 \cdot \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{с}}} \right)^{0,25}; \qquad (2)$$

при вязкостно-гравитационном режиме течения жидкости в вертикальных трубах (Re < 2300, Gr Pr > 5·10^5):

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = 0,037\, \text{Re}_{\text{ж}}^{0,75}\, \text{Pr}_{\text{ж}}^{\;0,4} \left(\frac{\text{Pr}_{\text{ж}}}{\text{Pr}_{\text{с}}} \right)^{-0,11}; \qquad (3)$$

$$\text{Nu}_{\text{ж}} = \frac{\alpha\, d}{\lambda}; \quad \text{Re}_{\text{ж}} = \frac{\omega\, d}{\nu_{\text{ж}}}; \quad \text{Pr} = \frac{\mu\, c_{\text{р}}}{\lambda}; \quad \text{Gr} = \frac{g\, \beta_{\text{г}}\, \Delta t\, d^3}{\nu_{\text{г}}^3}, \qquad (4)$$

где $\text{Nu}_{\text{ж}}$ – критерий Нуссельта, характеризует соотношение между интенсивностями конвективной теплоотдачи и теплопроводности в пограничном слое потока; α – коэффициент теплоотдачи, Вт/м °С; d – диаметр трубы, м; λ – коэффициент теплопроводности жидкости, Вт/м^2 °С; $\text{Re}_{\text{ж}}$ – число Рейнольдса, характеризует гидродинамический режим потока, определяет соотношение сил инерции и молекулярного трения; ω – скорость течения теплоносителя в трубе диаметром d при заданном объемном расходе G_v, м/с; $\nu_{\text{ж}}$, $\nu_{\text{г}}$ – коэффициент кинематической вязкости жидкости, м^2/с; $\mu_{\text{ж}}$, $\mu_{\text{с}}$ – коэффициенты динамической вязкости жидкости, Па · с. Индексы «с» и «ж» означают, что физические свойства берутся при температуре стенки и жидкости соответственно, «г» – температура берется при температуре $t_{\text{г}} = \frac{1}{2}\left(t_{\text{ж}} + t_{\text{с}}\right)$; Gr – число Грасгофа; Pr – число Прандтля; g – ускорение свободного падения, м/с^2; $\beta_{\text{г}}$ – температурный коэффициент объемного расширения, 1/К; $\alpha_{\text{г}}$ – коэффициент температуропроводности жидкости, м^2/с; $t_{\text{с}}$ – температура стенки, °С. Моделирование работы грунтового

теплообменника основано на решении системы уравнений (1), дополненной уравнениями подобия (2-4), методом последовательных приближений. Для решения была использована среда Mathcad. В результате исследовательского расчета определяется влияние различных режимов на эффективность работы теплообменника.

Исходные данные для исследовательского расчета ГТО. В качестве исходных параметров задаются: диапазон изменения температуры грунта 5-12 °С, температура теплоносителя на входе 0 °С ГТО, длина трубы 40 м, количество теплообменников 5, диаметр трубы 40 мм, материал трубопровода ПНД, расход теплоносителя 2,58(±20) % м^3/ч, теплоноситель пропилен-гликоль [4].

Результаты исследования. Во время эксплуатации ГТО происходит постоянный отбор теплоты и может происходить снижение начальной температуры грунта. Следствием этого является снижение температурного напора и теплового потока грунтового теплообменника. Для оценки влияния колебаний температуры грунта на работу ГТО проведен расчет. Проведены расчеты работы ГТО при изменении расхода теплоносителя при различном числе теплообменников разной длины с сохранением суммарной длины ГТО. Также проведен расчет при изменении диаметра трубы ГТО от 0,015 до 0,080 м.

На рис. 2, а, б приведены графики зависимости количества передаваемой теплоты при изменении температуры грунта и расхода теплоносителя.

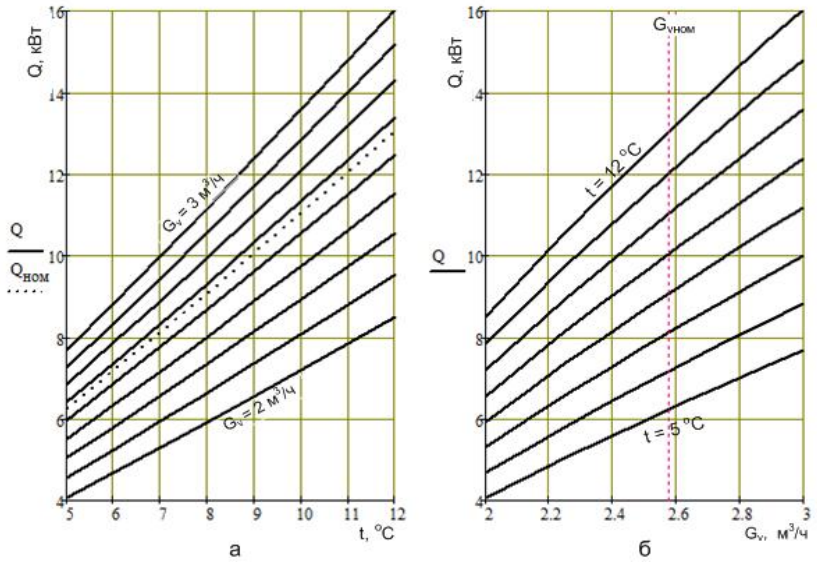

Рис. 2. Зависимость количества передаваемой теплоты от:
а) температуры грунта; б) расхода теплоносителя.
Q – тепловой поток ГТО, кВт; $Q_{ном}$ – тепловой поток при номинальном расходе теплоносителя $G_{v_{ном}}$; G_v – расход теплоносителя, м^3/ч

Анализ графиков показывает, что на величину теплового потока ГТО влияют как температура грунта, так и расход теплоносителя. Так, при снижении температуры грунта с 12 до 5 °С тепловой поток снижается примерно в 2 раза. Увеличение расхода теплоносителя на 5 % приводит к увеличению теплового

потока на 7 %. Для поддержания необходимого теплового потока при изменении температуры в период работы ГТО такой количественный способ регулирования мог бы подойти. С другой стороны, регулируя расход теплоносителя, при поддержании требуемого теплового потока можно снизить затраты электроэнергии на привод циркуляционного насоса. На рис. 3 приведена зависимость изменения расхода теплоносителя и мощности насоса от температуры грунта при поддержании неизменного теплового потока теплообменника. Видно, что зависимость расхода теплоносителя от температуры грунта не линейная. Так, при снижении температуры с 12 до 11 °С для поддержания заданного теплового потока требуется увеличить расход на 2,5 %, а с 6 до 5 °С увеличение расхода составит уже 8,1 %. Это связано с изменением теплофизических свойств теплоносителя. Для поддержания заданного теплового потока при снижении температуры грунта с 12 до 5 °С мощность привода возрастает всего на 50 Вт. А при отсутствии регулирования (рис. 2, а) снижение теплового потока ГТО составит 5 кВт.

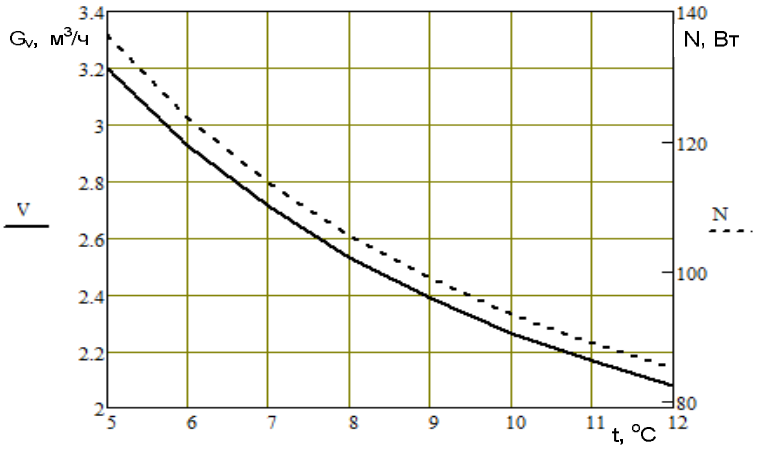

Рис. 3. Изменение расхода теплоносителя и мощности насоса от температуры грунта при поддержании постоянного теплового потока 10 кВт

На рис. 4 приведена зависимость теплового потока ГТО для различного числа теплообменников при постоянном расходе теплоносителя и суммарной длины труб ГТО. Видно, что при уменьшении числа теплообменников тепловой поток возрастает, так как в этом случае при сохранении заданного расхода возрастает скорость движения теплоносителя.

Полученные зависимости характерны для вязкостно-гравитационного режима. На рис. 5 приведены зависимости теплового потока ГТО и необходимой мощности циркуляционного насоса при различных диаметрах трубы ГТО для температуры грунта 10 °С. При диаметрах трубы, меньших 40 мм, для заданных условий наблюдается ламинарный режим ($Gr\ Pr < 5 \cdot 10^5$), при котором имеет место установившееся движение потока. Для диаметра трубы 40 мм наблюдается экстремум, связанный с переходом к вязкостно-гравитационному режиму течения. При дальнейшем росте диаметра трубы тепловой поток ГТО плавно уменьшается, так как при сохранении постоянного расхода теплоносителя

снижается его скорость. Мощность привода циркуляционного насоса для диаметров трубы от 32 мм и выше не сильно изменяется, так как потери напора в ГТО становятся значительно ниже потерь во всем контуре. Потери напора в трубопроводе обратно пропорциональны четвертой степени его диаметра. Этим и объясняется резкое увеличение мощности, необходимой для привода циркуляционного насоса при уменьшении диаметра трубы ГТО. Эти факторы необходимо учитывать при проектировании грунтовых теплообменников.

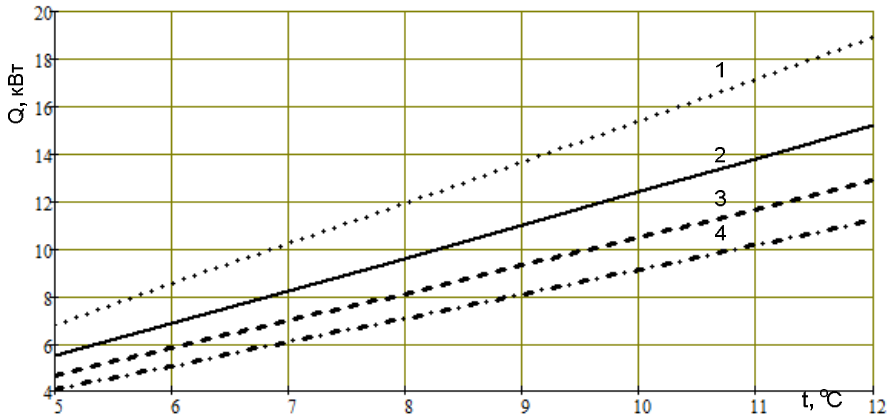

Рис. 4. Зависимости теплового потока ГТО при использовании различного числа теплообменников: 1 – 3 × 66,6 м; 2 – 4 × 50 м; 3 – 5 × 40 м; 4 – 6 × 33,3 м

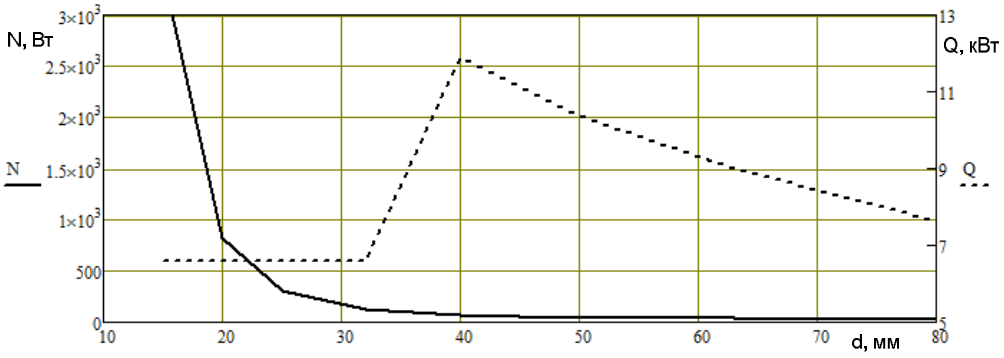

Рис. 5. Зависимости теплового потока ГТО и мощности циркуляционного насоса при различных диаметрах трубы ГТО

Заключение. В результате проведенного исследования установлено, что на тепловой поток грунтового теплообменника влияют температура грунта, режим течения и расход теплоносителя, конструктивные особенности теплообменника. Поддержание заданного теплового потока при изменении температуры грунта возможно путем регулирования расхода теплоносителя.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Бондаренко, А. В., Стрижиченко А. В. Оценка энергетической эффективности различных схем парокомпрессионного теплового насоса / А. В. Бондаренко, А. В. Стрижиченко // Энерго- и ресурсосбережение: промышленность и транспорт : Научно-технический журнал. – 2017. – № 2 (19). – С. 49.

2. Васильев, Г. П. Теплохладоснабжение зданий и сооружений с использованием низкопотенциальной тепловой энергии поверхностных слоев земли / Г. П. Васильев. – М. : Граница, 2006. – 173 с.

3. Юренев, В. Н., Лебедев, П. Д. Теплотехнический справочник. Том 2 / В. Н. Юренев, П. Д. Лебедев. – Изд. 2-е, перераб. – М. : Энергия, 1976. – 896 с.: ил.

4. Дымент, О. Н. Гликоли и другие производные окисей этилена и пропилена / О. Н. Дымент, К. С. Казанский, А. М. Мирошников ; Под ред. О. Н. Дымента. – М. : Химия, 1976. – 376 с.

АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ МЕТОДОВ ОЧИСТКИ ВНУТРЕННЕЙ ПОВЕРХНОСТИ ТЕПЛООБМЕННЫХ ТРУБОК

Рылеев Е. С. – студент
Константинов А. А. – ст. преподаватель
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В состав энергетических установок входит ряд теплообменных аппаратов, являющихся их неотъемлемой частью. Эти аппараты по большей части являются поверхностными и рекуперативными по принципу действия, однако в схемах энергетических установок имеются также и аппараты смешивающего типа. Наличие твердых отложений, накипи, различных загрязнений на теплообменных поверхностях приводит к значительному снижению общей интенсивности процесса теплопередачи, снижению тепловой производительности, повышению расхода теплоносителя (перерасход топлива в зависимости от толщины слоя накипи: 1 мм – 3-4 %; 5 мм – 9-14 %), температурного напора и в конечном итоге топливно-энергетических ресурсов.

Разборная промывка теплообменника, несвоевременная очистка теплообменника, а тем более полный отказ от неё приводят не только к постоянному увеличению энергетических затрат на производство, но и к сравнительно высоким разовым расходам на восстановление рабочих параметров, а в некоторых случаях – и на устранение аварийных ситуаций.

Для удаления отложений и накипи с внутренних поверхностей теплообменного оборудования используют способы очистки, основанные на различных принципах воздействия на отложения. Существует несколько способов очистки, которые применяются в настоящий момент: химическая, механическая, гидромеханическая, электроимпульсная, гидродинамическая.

Основные методы очистки теплообменного оборудования

Механическая чистка (рис. 1) производится специальным инструментом вручную или с помощью электрических либо пневматических дрелей.

Недостатками данного метода являются его высокая трудоёмкость, большой расход режущего инструмента, ограниченная длина прохождения труб (до 1 м), невозможность прохождения поворотных участков, неполная очистка, опасность повреждения трубы.

Гидромеханическая чистка (рис. 2) производится установками «Крот» и «Крок», представляющими собой комплект оборудования, позволяющий производить чистку вращающимися гибкими металлическими шлангами с твердосплавными наконечниками, где вода используется в качестве охлаждающей жидкости и подается в зону чистки. Преимуществом данного метода, по сравнению с предыдущим, является возможность производить очистку на длину до 12 м (меньшая трудоёмкость). Но сохраняются недостатки метода механической чистки.

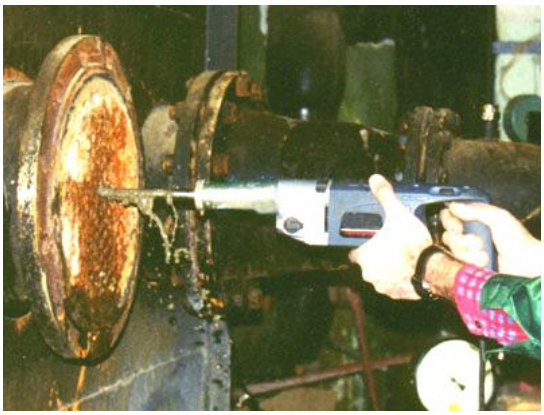

Рис. 1. Механическая чистка теплообменника

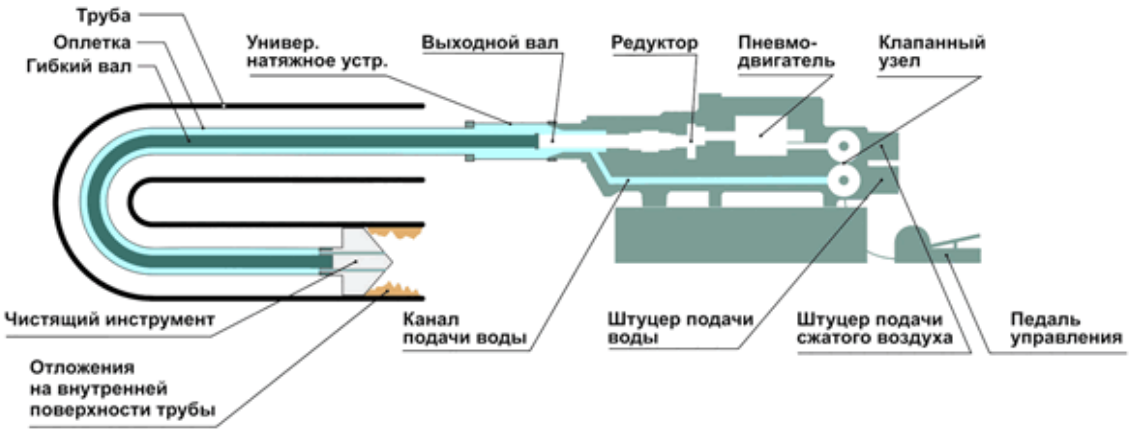

Рис. 2. Схема установки «Крот»

Электроимпульсная чистка производится установкой «Зевс» (рис. 3), представляющей собой генератор электроимпульсов определённой частоты и силы, гибкий электрод определённой длины. Гибкий электрод заводится в трубку, заполняется водой, после чего подается электроимпульс, который производит разрушение отложений. Метод имеет существенный недостаток: сила электроимпульса в некоторых случаях пробивает стенки трубок, что приводит к разгерметизации сосудов.

Гидродинамическая чистка (рис. 4). При гидродинамической чистке в качестве очищающего инструмента используется струя воды, подаваемая насосом

сверхвысокого давления (до 1500 бар) через специальные приспособления (насадки) в рабочую зону. Насадки имеют различную конфигурацию и устройство, позволяющее проводить чистку трубок с различными отложениями. Режущая струя направляется под различным углом атаки к очищаемой поверхности, что даёт возможность снимать с поверхности отложения, не воздействуя на трубку.

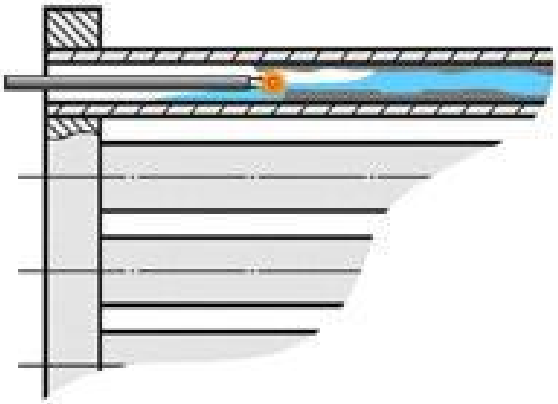

Рис. 3. Электроимпульсная чистка теплообменного оборудования

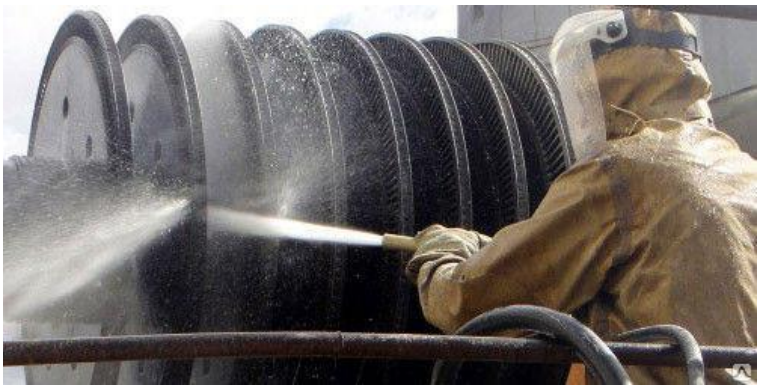

Рис. 4. Гидродинамическая чистка теплообменного оборудования

Химическая чистка. Этот способ очистки позволяет производить очистку теплообменных агрегатов без необходимости разборки агрегата. Также он позволяет проникать очищающему раствору во все труднодоступные места агрегата, что дает возможность произвести более тщательную очистку теплообменных поверхностей.

Система улучшенной теплопередачи и очистки (СУТО/RCCS) (рис. 5). Представляет собой спираль из многокомпозитного полимера. При установке спирали в теплообменную трубку циркулирующая вода воздействует на спираль, заставляя ее непрерывно вращаться со скоростью 300-1800 об/мин. Вращение происходит без внешнего источника питания, превращая ламинарный поток в турбулентный. Нарушение пограничного застойного слоя предотвращает механизм образования отложений и не позволяет отложениям оседать на стенке трубы. Спиральная связь изготавливается специальных полимеров, которые при температуре 400 °С разлагаются на углекислый газ, воду и соединения азота, безопасные для окружающей среды. Соединительные элементы

устройства изготавливаются из материалов, которые допускают высокую степень вторичной переработки, что также обеспечивает защиту окружающей среды.

Рис. 5. Применение СУТО

По-настоящему эффективная очистка теплообменного оборудования значительно увеличивает его производительность и в действительности снижает частоту необходимых очисток, поддерживая теплообменное оборудование в постоянно работающем состоянии.

В таблице приведен сравнительный анализ существующих методов очистки теплообменного оборудования.

Чистка / Параметр	**СУТО**	**Механическая**	**Гидромеханическая**	**Электроимпульсная**	**Гидродинамическая**	**Химическая**
Очистка от отложений во время работы оборудования	✓	×	×	×	×	×
Нарушение процесса образования отложений	✓	×	×	×	×	×
Отсутствие дополнительного оборудования	✓	×	×	×	×	×
Отсутствие источников питания	✓	×	×	×	✓	×
Отсутствие расходных материалов и эксплуатационных затрат	✓	×	×	×	×	×
Отсутствие влияния на экологическую безопасность	✓	✓	✓	✓	✓	×

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Портал теплообменного оборудования http://www.teploobmenka.ru

2. Система улучшенной теплопередачи и очистки теплообменного оборудования http://sutosystem.ru/

3. РосТепло – все о теплоснабжении http://www.rosteplo.ru

ПРОЦЕССЫ ТЕПЛОМАССООБМЕНА ОГРАНИЧЕННЫХ ОБЪЕМОВ ЖИДКОСТИ С ПЕРЕГРЕТЫМИ ТВЕРДЫМИ ПОВЕРХНОСТЯМИ

Карпенко И. А. – студент
Савин В. В. – канд. филос. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Развивается много направлений фундаментальной науки и индустриальных приложений. Это требует глубокого и всестороннего анализа процессов тепломассообмена в различных условиях. На сегодняшний день исследователи особенно заинтересовались системами охлаждения энергетического оборудования. Под энергооборудованием подразумевается полный комплекс как энергетического оборудования (энергооборудования), так и коммуникаций (трубопроводов, каналов, линий электропередачи) энергоносителей. Несмотря на появление новых различных технологий охлаждения, в последнее время гораздо чаще применяется старая, но вполне эффективная и надежная система струйного охлаждения. Возникает необходимость изучения процессов интенсивного теплообмена ввиду возникновения и развития при достаточно больших потоках тепла процессов испарения и кипения наряду с жидкой и паровой фазами.

Тепломассообмен ограниченных объемов жидкости с перегретыми поверхностями ранее активно исследовался в научных работах отечественных и зарубежных ученых [1, 6, 7, 8, 9]. Решением, принятым за прототип, является способ испарения жидкости в испарителе путем смачивания жидкостью нагретой твердой поверхности, регулирования подводимой к испарителю жидкости и равномерного распределения жидкости на входе в испаритель, отличающийся тем, что жидкость подают на нагретую поверхность в виде капель, при этом регулируют количество подводимой жидкости таким образом, чтобы период подачи капель оказался гораздо больше времени их испарения, а равномерное распределение жидкости определялось соответствующим условием:

$$l = (2{,}5 \div 5)d_к, \qquad (1)$$

где l – расстояние между подаваемыми каплями; $d_к$ – диаметр капли.

При этом температура нагретой поверхности

$$t = (1{,}2 \div 2{,}3)t_{кип}, \qquad (2)$$

где t – температура нагретой поверхности; $t_{кип}$ – температура кипения жидкости при рабочем давлении (патент РФ № 2462286, МПК B01D 1/22, 27.09.2012).

Как и в каждом способе, в этом также есть свои минусы. Упущением данного способа испарения жидкости в испарителе является ограниченная интенсивность теплоотдачи, обусловливающая низкую производительность процесса испарения. Исследование этой проблемы привело к разработкам [4, 5] ученых Волгоградского государственного технического университета, которые открыли новый способ испарения, позволяющий увеличить интенсивность

теплоотдачи в испарителе при использовании охладительной жидкости – *талой воды*. Техническим результатом явилось повышение производительности процесса испарения.

Исследования свойств воды В. С. Беляниным («Золотая пропорция. Новый взгляд» [2]) показали, что за незатейливой химической формулой H_2O скрывается вещество, которое обладает уникальной структурой и не менее уникальными свойствами. В представленной структуре молекулы воды есть симметрия, которая играет основную роль в попытках всестороннего объяснения физического мира, и асимметрия, наделяющая эту молекулу возможностью движения и связью с золотой пропорцией (рис. 1).

Авторы работы [2] отмечают, что угол и расстояние между атомами зависят от агрегатного состояния воды (подразумеваются равновесные параметры, так как имеют место постоянные колебания). Так, в парообразном состоянии угол равен 104°40', расстояние O–H – 0,096 нм; во льду угол – 109°30', расстояние O–H – 0,099 нм. Значит, можно предположить, что для обычной жидкой воды валентный угол вполне может иметь некоторое среднее значение между 109,5^{o} и 104,5^{o}, примерно равное 107,0^{o}. Но так как талая вода по своей внутренней структуре близка ко льду, то и валентный угол ее молекулы должен быть ближе к 109,5^{o}, скорее всего около 108,0^{o}, а расстояние O–H – 0,1 нм. Таким образом, угол в вершине равнобедренного треугольника, составляющий около 108°, характеризует его как треугольник золотого сечения, то есть отношение стороны такого треугольника к его основанию всегда будет равно пропорции золотого сечения (0,618…).

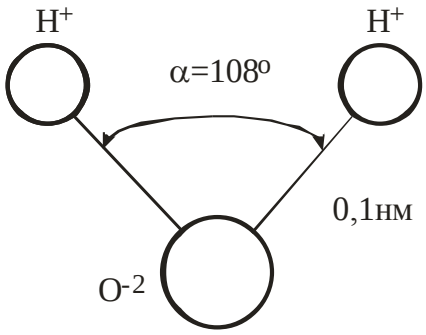

Рис. 1. Схематичное изображение молекулы воды на плоскости

Вода удивительна и неповторима. Ее молекула обладает практически выверенными эстетическими качествами, и поэтому ее свойства необходимо иногда интерпретировать, выходя за рамки традиционной научной парадигмы. И тогда некоторые загадки воды смогут быть объяснены таким «ненаучным» понятием, как гармония.

В 2014-15 гг. в условиях лаборатории кафедры Волгоградского государственного технического университета проводили эксперимент [4, 5], в ходе которого сравнили время испарения падающей капли талой воды ($t_н$ = 3 °C) и дистиллированной воды ($t_н$ =23 °C) на плиту (t =100; 120; 160; 200 °C), рис. 2.

Оказывается, время испарения у талой воды значительно меньше, чем у дистиллированной. Это явление может быть обосновано тем, что в данном случае проявляется способность молекулы талой воды генерировать дополнительную энергию из космоса, то есть резонировать с подобными себе структурами, при этом обладая собственной частотой колебания золотого сечения. Таким образом, необходимый результат [4, 5] достигается повышением интенсивности теплоотдачи в испарителе, заключающемся в смачивании нагретой твердой поверхности равномерно распределенной на входе в испаритель жидкостью, подаваемой в виде капель талой воды таким образом, чтобы период подачи капель был больше времени их испарения, а равномерное распределение жидкости определялось условием (1).

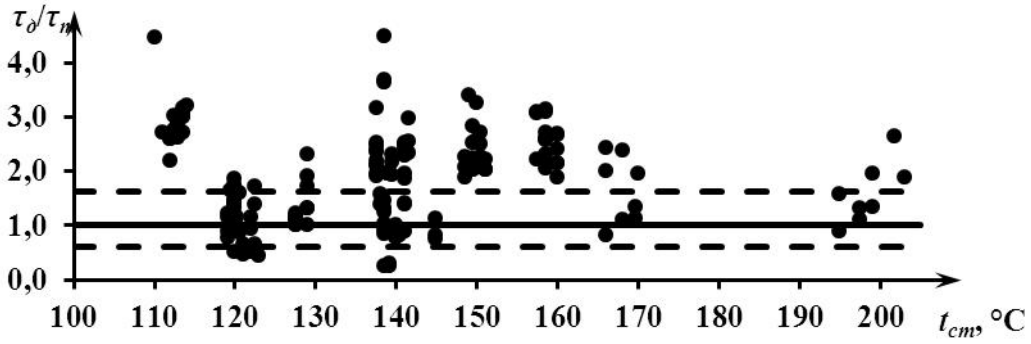

Рис. 2

При этом температура нагретой поверхности

$$t = (1{,}1 \div 2{,}0)t_{кип}, \qquad (3)$$

где t – температура нагретой поверхности, °C; $t_{кип}$ – температура кипения жидкости при рабочем давлении, °C, причем непосредственно перед смачиванием нагретой твердой поверхности в жидкость вводят снег и/или ледяную крошку в количестве не менее 0,3 объемных долей от общего объема жидкости.

В основе изобретения лежит введение в испаряемую на нагретой твердой поверхности испарителя жидкость снега или ледяной крошки в количестве не менее 0,3 объемных долей от общего объема жидкости. Для этого снег или ледяная крошка вводятся в жидкость непосредственно перед ее подачей в виде капель на нагретую твердую поверхность. Допустимо введение смеси снега и ледяной крошки.

В результате после введения в жидкость снега и/или ледяной крошки она, в момент плавления в ней снега и/или льда, насыщается «льдоподобной» структурой – ассоциативной, то есть надмолекулярной структурой, которая образуется в талой воде за счет водородных связей в центрах их образования. В основном количество этих центров сосредоточено вблизи межфазной поверхности, что приводит к образованию вблизи этой поверхности множества ассоциатов (ассоциативных структур), которые имеют достаточно развитую границу раздела.

Таким образом, в результате взаимодействия испаряемой жидкости со снегом и/или ледяной крошкой уменьшается время испарения капель жидкости на нагретой твердой поверхности. Это приводит к увеличению интенсивности теплоотдачи в испарителе и, следовательно, к повышению производительности процесса испарения. Данное условие исключает вероятность слияния капель друг с другом в процессе их испарения, обеспечивая максимально развитую межфазную поверхность, и позволяет испаряемой жидкости проявлять ассоциативные свойства еще более выражено.

Количество вводимого в испаряемую жидкость снега и/или ледяной крошки должно быть равно 0,3 объемным долям от общего объема жидкости, что позволяет ей стабильно проявлять выраженные ассоциативные свойства при температуре нагретой твердой поверхности, которая определяется условием (2), во всем его интервале, что, в свою очередь, позволяет уменьшить время испарения в режиме кипения капель жидкости и поддерживать в этом интервале постоянно высокую интенсивность теплоотдачи в испарителе.

Проведенное исследование процессов тепломассообмена, наиболее эффективных способов теплоотдачи в испарителе, показывает, что в системах охлаждения энергетического оборудования возможно использование нового способа охлаждения твердых поверхностей с увеличением интенсивности теплоотдачи в испарителе, с использованием охладительной жидкости – талой воды [4, 5].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анохина, Е. В. Исследование процессов испарения и кипения жидкостей / Е. В. Анохина // ЖТФ. – 2010. – Т. 80. – Вып. 8. – С. 32-37.

2. Белянин, В. С. Золотая пропорция. Новый взгляд / В. С. Белянин, Е. Романова // Наука и жизнь. – 2003. – № 6. – С. 45-51.

3. Бутусов, К. П. «Золотое сечение» в Солнечной системе. Проблемы исследования Вселенной / К. П. Бутусов. Вып. 7, ВАГО, М. – Л., 1978. – 475 с.

4. Васильев, П. С., Савин, В. В., Голованчиков, А. Б. Патент на полезную модель: «Оросительный испаритель» RU 163849 публикация от 10.08.16. МПК F28D11/04 (2006/01), заявка 2015155749/06.

5. Васильев, П. С., Савин, В. В., Голованчиков, А. Б. Патент на изобретение: «Способ повышения интенсивности теплоотдачи» № 2619684, B01D 1/22 (2006.01) 19 апреля 2016 года. Опубликовано: 17.05.2017 Бюл. № 14.

6. Кутателадзе, С. С. Тепломассообмен и волны в газодинамических системах / С. С. Кутателадзе, В. Е. Накоряков. – Новосибирск : Наука, 1984. – 301 с.

7. Скрипов, В. П. Капля на горячей плите: появление 1/f-шума при переходе к сфероидальной форме / В. П. Скрипов, А. В. Виноградов, В. Н. Скоков и др. // ЖЭТФ. – 2003. – Т. 73. – Вып. 6. – С. 21-23.

8. Abou, M. M. A numerical study of the effect of turbulence on mass transfer from a single fuel droplet evaporation in a hot convective flow / M. M. Abou, A. Sood, M. Birouk // International Journal of Thermal Sciences. – 2007. – № 46. – P.P. 779-789.

9. Mezhericger, M. Heat and mass transfer of single droplet/wet particle drying / M. Mezhericher, A. Levy, I. Borde // Chemical Engineering Science. – 2008. – № 63. – P.P. 12-23.

АНАЛИЗ СТРУКТУРНЫХ ОСОБЕННОСТЕЙ НАНОМАТЕРИАЛОВ В ПРИЛОЖЕНИИ К ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ

Смирнов С. П. – студент
Кулькова В. В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В развитии современной энергетики, как и любой другой отрасли промышленности, выделяют два направления: разработку новых, более эффективных источников и способов добывания энергии и усовершенствование уже имеющихся технологий. Оба эти направления не представляются возможными без применения новых материалов, таких как наноструктурные металлы, композиционные материалы с наноразмерными армирующими включениями, различные виды пластиков и т. д.

Особый интерес среди перечисленных материалов представляют металлы с нанометровым размером зерен. Причиной такого интереса является наличие у них весьма неординарных механических, электромагнитных и оптических свойств, обусловленных особенностями внутреннего строения этих материалов.

На рис. 1 представлены наиболее перспективные для применения наноматериалов в энергетике направления [1].

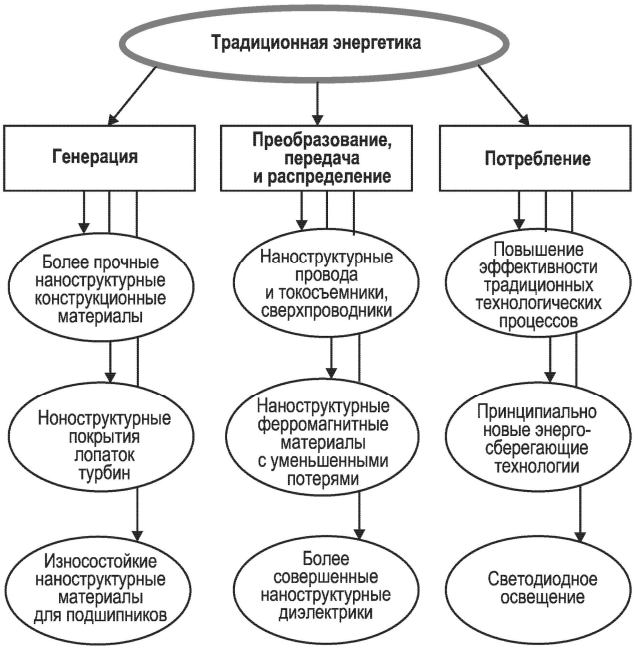

Рис. 1. Нанотехнологии в традиционной энергетике [1]

С наличием большой протяженности границ зерен связано появление следующих размерных эффектов [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8-11]:

• соизмеримость линейных размеров зерен с такими физическими величинами, как длина диффузионного пробега частиц или вакансий, длина волны де Бройля для электронов;

• увеличение роли поверхности раздела между зернами. Атомы вблизи этих поверхностей занимают большую долю атомов всего вещества по сравнению с классическими материалами;

• отличие свойств самих поверхностей раздела от таковых в классическом материале;

• понижение температуры фазовых переходов, в том числе температуры плавления;

• аномально высокие значения коэффициентов диффузии, снижение теплопроводности [3, 12];

• более высокая электропроводность керамики, более высокое сопротивление металлов;

• возрастание коэрцитивной силы в магнитных материалах;

• изменение модулей упругости;

• повышение предела текучести, твёрдости, вязкости при разрушении, износостойкости;

• проявление сверхпластичности при менее высоких температурах [13, 14].

Так, например, измерения твердости образца меди по методу Викерса, проведенные сначала на наноструктурном образце, а затем на том же самом материале, но подвергнутом термической обработке с рекристаллизаций зерен, показывают существование значительной разницы в результатах эксперимента, рис. 2.

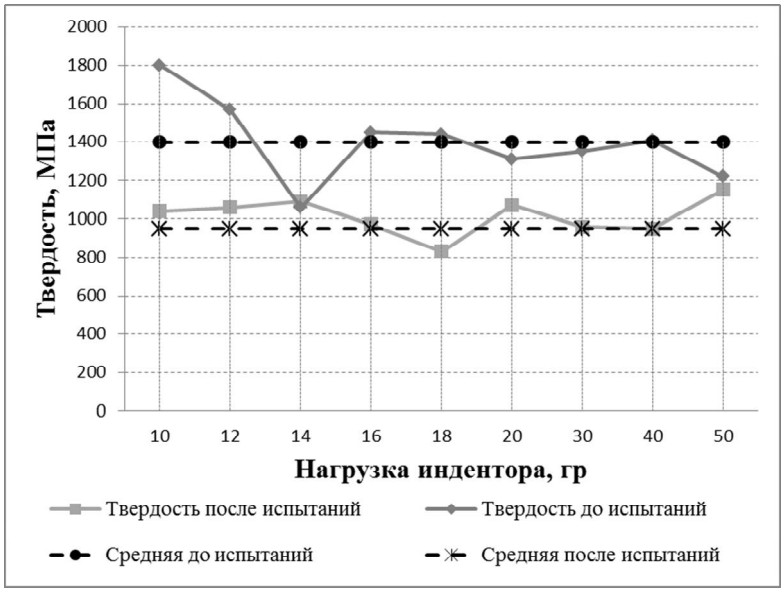

Рис. 2. Значения твердости меди до и после рекристаллизации [15]

Размер зерна, до которого происходит упрочнение, находится в зависимости от факторов, и природа этого не до конца ясна. Как правило, соответствие Холла-Петча выполняется для значимой части исследованных наноматериалов только до конкретного объема зерна, а при невысоких его значениях имеются обратные эффекты: твердость (прочность) падает по мере понижения размера зерна, рис. 3.

Сочетание повышенных значений твердости и жаростойкости таких металлов переводит их в разряд перспективных материалов для создания покрытия ответственных частей энергетического оборудования, работающего при одновременных силовых и термических нагрузках, таких как лопатки турбин и подшипники на их валах.

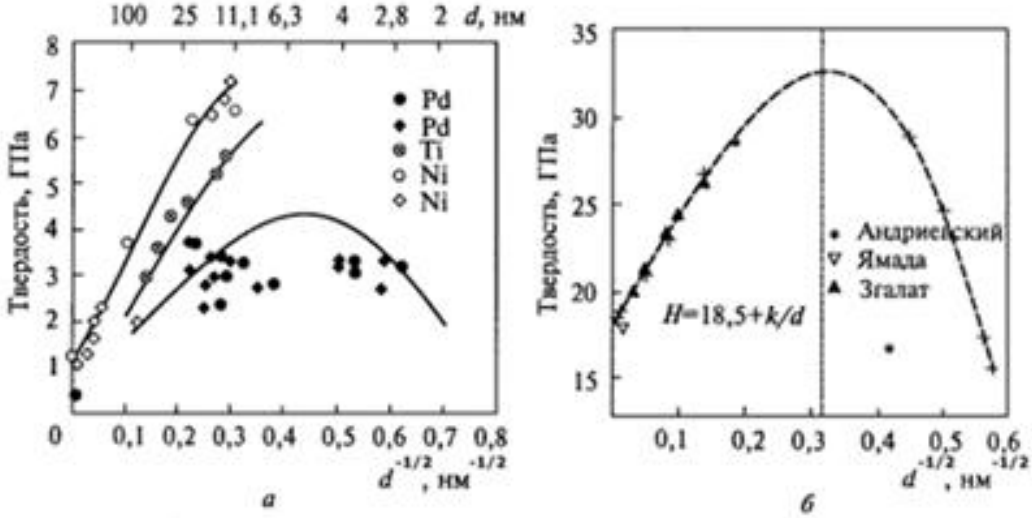

Рис. 3. Зависимость микротвердости материалов от размера зерна:
металлов (а), керамики (б) [15]

Удельная доля зернограничной фазы в ультрамелкозернистых материалах носит немонотонный характер зависимости от размера зерна, рис. 4.

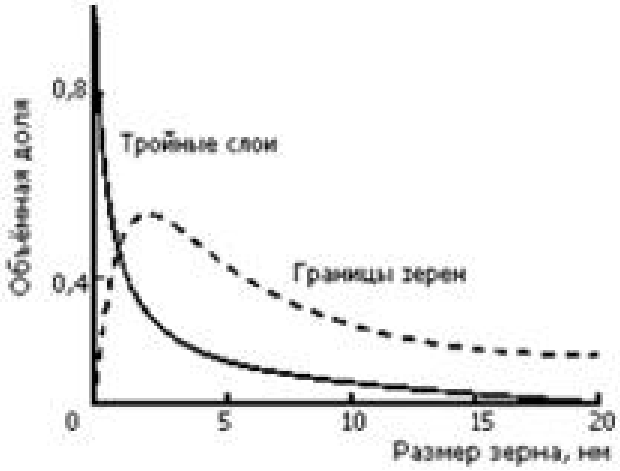

Рис. 4. Зависимость объемной доли границы зерен
и тройных стыков от размера зерна [16]

Прочность нанокристаллических материалов при растяжении существенно превышает прочность крупнокристаллических аналогов и при этом сохраняется лучшее соотношение между прочностью и пластичностью, рис. 5.

С ростом объемной плотности границ в материале облегчаются процессы перестройки зерен при воздействии внешнего напряжения, что в свою очередь ведет к повышению способности материала к пластической деформации и даже к сверхпластичности, таблица.

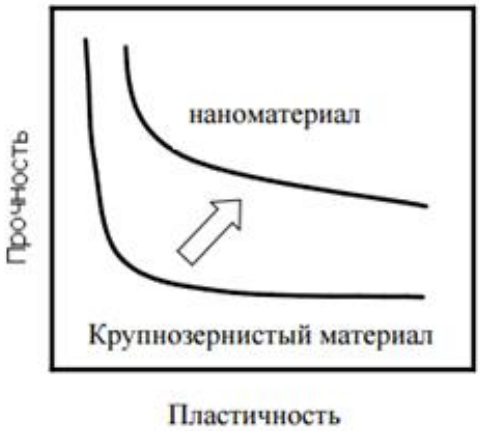

Рис. 5. Соотношение прочности и пластичности крупнозернистого и наноструктурного материала [17]

Параметры сверхпластичности некоторых материалов [18]

Объект	**Размер зерна, нм**	**Температура, °C**	**Напряжение, МПа**	***n, q*** $\varepsilon \sim \sigma^n / L^q$	**Максимальная деформация, %**	**Скорость деформации, c^{-1}**
Ni	20	350	~400	–	300	1×10^{-3}
Al-1420*	100	250	150	–	350	1×10^{-1}
Al-1420	700-800	400	–	–	1620	1×10^{-2}
Ni_3Al	50	650	1500	–	375	1×10^{-3}
$ZrO_2(3Y) + Al_2O_3 + MgAl_2O_4$	~100	1300-1450	10-100	$n \sim 2$	–	$10^{-4} – 10^{-2}$
Ni-22,6%Co	20	500	–	$n = 2$	279	5×10^{-3}
Ni	65	450	–	$n = 2$	550	2×10-3
Si_3N_4(2% Al_2O_3 + 5%Y_2O_3)	68	1450-1600	100-400	$n = 2$, $q \sim 1$, $n = 1$, $q \sim 3$	50	$10^{-5} – 10^{-3}$
Al-7034**	300	400	~10	$n = 2$	1090	10^{-2}
Mg-ZK60***	800	200	10	–	1310	2×10^{-4}

*Al – 5,5%Mg – 2,2%Li – 0,1%Zr;
**Al – 11,5%Zn – 2,5%Mg – 0,9%Cu – 0,2%Zr;
***Mg – 5,5%Zn – 0,5%Zr.

Здесь v – скорость ползучести; L – характерный размер зерен; q – показатель степени в соотношении $H \sim L^q$; n – показатель степени в зависимости $\varepsilon \sim (1/L)^p$; H – твердость материала.

Несмотря на то что в настоящее время наноматериалы являются перспективной областью исследований, на сегодняшний день существует достаточно большое количество неразрешённых вопросов о зависимости механических свойств таких материалов от их структуры и условий получения. Углубление представлений о происходящих в них процессах является обязательным условием успешного применения особенностей ультрамелкозернистых материалов в энергетической отрасли, а следовательно, и повышению ее эффективности.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Витязь, П. А. Наноматериаловедение : Учебное пособие / П. А. Витязь, Н. А. Свидунович, Д. В. Куис. – Минск : Вышэйшая школа, 2015. – 512 с.

2. Андриевский, Р. А., Рагуля, А. В. Наноструктурные материалы : Учебное пособие для студентов высших учебных заведений / Р. А. Андриевский, А. В. Рагуля. – М. : Академия, 2005. – 192 с.

3. Валиев, Р. З. Александров, И. В. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р. З. Валиев, И. В. Александров. – М. : Академкнига, 2007. – 398 с.

4. Lines, M. G. Nanomaterials for practical functional uses / M. G. Lines // Journal of Alloys and Compounds. – 2008. – Vol. 449(1/2). – P. 242-245.

5. Гусев, А. И. Наноматериалы, наноструктуры и нанотехнологии / А. И. Гусев. М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.

6. Андриевский, Р. А., Глезер, А. М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. 1. Особенности структуры. Термодинамика. Фазовые равновесия. Кинетические явления / Р. А. Андриевский, А. М. Глезер // Физика металлов и металловедение. – 1999. – Т. 88, № 1. – С. 50-73.

7. Андриевский, Р. А., Глезер, А. М. Размерные эффекты в нанокристаллических материалах. II Механические и физические свойства / Р. А. Андриевский, А. М. Глезер // ФММ. – 2000. – Т. 89, № 1. – С. 91-112.

8. Коротаев, А. Д. Наноструктурные и нанокомпозитные сверхтвердые покрытия / А. Д. Коротаев, В. Ю. Мошков, С. В. Овчинников, Ю. П. Пинжин, В. М. Савостиков, А. Н. Тюменцев // Физическая мезомеханика. – 2005. – Т. 8, № 5. – С. 103-116.

9. Малыгин, Г. А. Прозрачность и пластичность нанокристаллических материалов и наноразмерных кристаллов / Г. А. Малыгин // УФН. – 2011. – Т. 181, № 11. – С. 1129-1156.

10. Андриевский, Р. А., Глезер, А. М. Прочность наноструктур / Р. А. Андриевский, А. М. Глезер // УФН. – 2009. – Т. 179, № 4. – С. 337-358.

11. Toropov, A. A., Leszczynski, J. A new approach to the characterization of nanomaterials: Predicting Young′s modulus by correlation weighting of nanomaterials codes / A. A. Toropov, J. Leszczynski // Chemical Physics Letters. – 2006. – Vol. 433(1/3). – P. 125-129.

12. Колобов, Ю. Р. Зернограничная диффузия и свойства наноструктурных материалов / Ю. Р. Колобов, Р. З. Валиев, Г. П. Грабовицкая и др. – Новосибирск : Наука, 2001. – 232 с.

13. Суздалев, И. П. Нанотехнология: физико-химия нанокластеров, наноструктур и наноматериалов / И. П. Суздалев. – М. : КомКнига, 2006. – 592 с.

14. Новые материалы / под ред. Ю. С. Карабасова. – М. : МИСИС, 2002. – 736 с.

15. Дешевых, В. В. Низкочастотное внутреннее трение в ультрамелкозернистой меди / В. В. Дешевых // Вестник Тамбовского университета. Серия: Естественные и технические науки. – 2013. – Т. 18, выпуск 4, Ч. 2. – С. 1883-1884.

16. Лякишев, Н. П. Нанокристаллические структуры – новое направление развития конструкционных материалов / Н. П. Лякишев // Вестник РАН. – 2003. – Т. 73, № 5. – С. 422-428.

17. Лякишев, Н. П., Алымов, М. И. Наноматериалы конструкционного назначения / Н. П. Лякишев, М. И. Алымов // Российские нанотехнологии. – 2006. – № 1-2. – С. 71-81.
18. Андриевский, Р. А., Глезер, А. М. Прочность наноструктур / Р. А. Андриевский, А. М. Глезер // УФН. – 2009. – Т. 179, № 4. – С. 337-358.

АНАЛИЗ НИЗКОТЕМПЕРАТУРНОЙ ПОЛЗУЧЕСТИ МЕТАЛЛА БАРАБАНА КОТЛА ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ

Лебедев В. В. – студент
Кулькова В. В. – канд. физ.-мат. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Случаи катастрофического разрушения барабанов котлов, несущие за собой не только широкомасштабные разрушения оборудования этапа генерации пара на тепловых станциях, но и потенциальную опасность для обслуживающего персонала, требуют детального изучения процессов, происходящих в металле данной конструкции. В подавляющем большинстве такие разрушения были зафиксированы на оборудовании, проработавшем длительное время, что свидетельствует о протекании в металле барабанов процессов, ведущих к накоплению усталостных напряжений и снижению остаточной прочности конструкции. Одним из таких процессов является развивающаяся с течением времени ползучесть границ зерен металла.

Рассмотрим межзеренную границу протяженностью d с диффузионной шириной приграничного слоя δ, которая находится в поле нормальных к ней напряжений $\sigma_t = \text{const}$. Направим координатную ось x по границе вправо, а ось y – перпендикулярно ей. Под действием внешних напряжений по границе идет процесс диффузии избыточных вакансий. При этом в тройных стыках зерен расположены непрерывно действующие источники и стоки вакансий. Движение вакансий происходит в одном направлении в сторону уменьшения химического потенциала, который описывается уравнением [1]:

$$\frac{\partial c}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x}\left(D_b \frac{\partial c}{\partial x} \right) + A, \qquad (1)$$

где c – неравновесная концентрация вакансий; t – время; D – коэффициент зернограничной диффузии вакансий, который связан с коэффициентом самодиффузии по объему зерна соотношением $D_b = \frac{D_{sd}}{c}$; A – мощность непрерывно действующего источника вакансий. Решение этого уравнения при начальных условиях x и t: $c(0,0)=0$, $c(x,0)=0$, $c(x,t)=0$, в рамках моделей Набарро-Херринга и Кобла выражения для диффузионной плотности потока вещества.

Найдем скорость ползучести межзеренных границ для случая напряженного состояния материала барабана котла. Движущей силой ползучести является

градиент концентрации вакансий grad$c$, который возникает из-за разности гидростатических давлений p внутри одного зерна размером d.

Такая разница давлений вызывает градиент энтальпий вакансий $H_V = U_V + \Omega p$, где Ω – объем решетки, приходящийся на один атом. Тогда равновесная концентрация вакансий будет определяться выражением

$$c(p) = \exp\left(-\frac{H_V}{kT}\right) = c_0 \exp\left(\frac{\Omega p}{kT}\right), \tag{2}$$

где c_0 – равновесная начальная концентрация вакансий; k – постоянная Больцмана; T – температура.

Поток вакансий в единицу времени через границу в общем виде определяется соотношением

$$j = -D \operatorname{grad} c = -D\left(\frac{\partial c(0,t)}{\partial x} - \frac{\partial c(d,t)}{\partial x}\right). \tag{3}$$

В случае если $\frac{\Omega p}{kT} << 1$, то $\exp\left(\frac{\Omega p}{kT}\right) \approx 1 - \frac{\Omega p}{kT}$. Действия внешних напряжений примем:

$$\operatorname{grad} c = [c(p) - c(-p)]/d\,. \tag{4}$$

Подставляя (4) и (2) в (3), получим выражение для потока вакансий

$$j = -Dc_0\left[\frac{2\Omega p}{kTd}\right]. \tag{5}$$

Обозначим потоки вакансий через границу и из объема зерна j_b и j_V соответственно.

Скорость ползучести материала будет складываться из скоростей ползучести в модели Набарро-Херринга, обусловленной стоком вакансий из объема зерна на его границу, и скоростью проскальзывания в модели Кобла, обусловленной зернограничной диффузией [2]:

$$\dot{\varepsilon} = \dot{\varepsilon}_V + \dot{\varepsilon}_b\,, \tag{6}$$

где $\dot{\varepsilon}_V = j_V/d$ – скорость ползучести границы в модели Набарро-Херринга; $\dot{\varepsilon}_b = j_b\delta/d$ – скорость ползучести границы в модели Кобла. Подставляя в эти выражения соотношения для j, получим:

$$\dot{\varepsilon}_V \approx \frac{2D}{kT}\frac{\Omega\sigma_t}{d^2}, \tag{7}$$

$$\dot{\varepsilon}_b \approx \frac{2D_b\delta}{kT}\frac{\Omega\sigma_t}{d^2}\,. \tag{8}$$

Величину внешнего действующего напряжения σ_t найдем из условий нагружения барабана котла [3]. Для этого рассмотрим цилиндрическую оболочку барабана котла с наружным радиусом $R_н$ и внутренним радиусом $R_{вн}$, нагруженную внутренним давлением $P_{вн}$. Определяющим параметром для выбора методики расчетов является коэффициент толстостенности $\beta = R_н / R_{вн}$. В случае, когда $\beta \geq 1{,}2$, расчет ведется по методике для толстостенных сосудов, где σ_t – кольцевые напряжения, действующие в корпусе барабана.

В результате преобразований получим зависимость σ_t от действующего в барабане давления:

$$\sigma_t = \frac{R_{вн} R_в \left(r^2 + R_н R_в\right)}{R_н \left(R_н - R_в\right) r^2}, \tag{9}$$

где r – радиальная координата.

Подставив (9) в выражения (7), (8) и (6), получим для скорости проскальзывания

$$\dot{\varepsilon}_b = \left(\frac{2D}{d^2} + \frac{D_b \delta}{d^3}\right) \frac{\Omega}{kT} \frac{R_{вн} R_в \left(r^2 + R_н R_в\right)}{R_н \left(R_н - R_в\right) r^2}. \tag{10}$$

Проведя интегрирование выражения (10) по времени, найдем дополнительную деформацию, обусловленную потоком вакансий внутри материала:

$$\varepsilon = \int_0^t \dot{\varepsilon}\, dt = \varepsilon_0 + \left(\frac{2D}{d^2} + \frac{D_b \delta}{d^3}\right) \frac{\Omega}{kT} \frac{R_{вн} R_в \left(r^2 + R_н R_в\right)}{R_н \left(R_н - R_в\right) r^2} t, \tag{11}$$

где ε_0 – начальная деформация на данный период времени.

Учитывая процессы ползучести в общей картине напряженного состояния материала барабана котла, можно оценить вызванное ею снижение остаточной прочности конструкции с течением времени на величину

$$\sigma_п = \left(\varepsilon_0 + \left(\frac{2D}{d^2} + \frac{D_b \delta}{d^3}\right) \frac{\Omega}{kT} \frac{R_{вн} R_в \left(r^2 + R_н R_в\right)}{R_н \left(R_н - R_в\right) r^2} t\right) E. \tag{12}$$

Процессы ползучести, протекающие по модели Набарро-Херрнига и Кобла, относятся к стационарным. Для обоих механизмов справедлива зависимость $\dot{\varepsilon} \sim \sigma_t$, однако ввиду облегченной диффузии по границе зерна при низких температурах, а следовательно, и меньшей ее энергии активации, больший вклад в скорость процесса ползучести при низких температурах внесет модель Кобла. Как видно из выражения (12), снижение прочности в этом случае носит прямо пропорциональную зависимость от времени эксплуатации оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАУРЫ

1. Каур, И., Густ, В. Диффузия по границам зерен и фаз / И. Каур, В. Густ; Пер. с англ. Б. Б. Страумала; Под ред. Л. С. Швиндлермана. – М. : Машиностроение, 1991. – 448 с.

2. Прочность сплавов. Часть II. Деформация : Учебник для вузов / М. А. Штремель. – М. : МИСИС, 1997. – 527 с.

3. Примеры и задачи : Учебное пособие для студентов втузов / М. Ф. Михалев, Н. П. Третьяков, А. И. Мильченко, В. В. Зобнин; Под общ. ред. М. Ф. Михалева. – Л. : Машиностроение, Ленингр. отд., 1984. – 301 с.

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ В ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ

Широбоков Д. Е. – магистрант
Султанов М. М. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Надежность современных систем производства и распределения электроэнергии в значительной мере определяется надежностью электрооборудования. Аварийные повреждения, часто сопровождающиеся разрушением оборудования, приводят к нарушениям электроснабжения и большому экономическому ущербу в энергосистеме и у потребителей. Особенно значительны потери от отказов оборудования высших классов напряжения, имеющего большую единичную мощность.

Актуальность данной работы состоит в необходимости изменения подхода к системе контроля технического состояния электрооборудования и соблюдения требований эксплуатации в дальнейшем.

Поддержание необходимой степени надежности оборудования в процессе его эксплуатации обеспечивается системой технического обслуживания и ремонтов. Традиционно эта система базируется на периодическом проведении плановых профилактических работ и является системой обслуживания по времени наработки. Применительно к устройствам высокого напряжения такая система не является оптимальной, ибо приводит к неоправданным отключениям работоспособного оборудования.

Напряженные графики работы электрических сетей и отсутствие достаточных резервов приводят к необходимости увеличения межремонтных периодов, что при существующей системе технического обслуживания ведет к снижению уровня надежности основного оборудования.

Большие резервы повышения эффективности эксплуатации оборудования высокого напряжения заключены в переходе на техническое обслуживание по реальной потребности. При этом необходимость в обслуживании и ремонте определяется исходя из действительного состояния оборудования.

Переход к обслуживанию оборудования по потребности невозможен без использования надежных методов выявления и оценки его текущего технического состояния. Это и определяет необходимость развития системы технической диагностики.

Необходимость совершенствования системы и методов эксплуатационного контроля электрооборудования определяется также их недостаточной эффективностью. Традиционные методы испытаний разработаны давно и направлены на выявление дефектов, которые, как правило, уже не определяют надежность современного оборудования высокого напряжения. Периодичность испытаний не согласована со скоростью развития дефектов. Все это существенно снижает вероятность своевременного выявления развивающихся повреждений и возможность прогнозирования отказов.

В практике контроля технического состояния объектов электроэнергетики широко используются такие понятия, как экспертиза, диагностика, мониторинг, тренд и испытания.

Испытания. Под испытаниями понимается совокупность измерений в течение ограниченного времени с целью определения величин определенных параметров объекта. Предельные значения параметров объектов электроэнергетики в основном нормированы и перечислены в нормативных документах либо в инструкциях заводов-изготовителей. Результаты испытаний не предполагают аналитических исследований и являются контрольными величинами. К числу таких параметров относятся:

– сопротивление изоляции;
– ток утечки;
– тангенс угла диэлектрических потерь;
– омическое сопротивление цепей;
– уровень вибраций;
– параметры схем замещения электрических машин и т. д.

В пределах паспортного ресурса эксплуатации контроль параметров объектов по результатам испытаний, как правило, достаточен. Вместе с тем испытания не позволяют определить динамику развивающихся дефектов, которые на момент испытаний пока не оказывают существенного влияния на работоспособность объектов электроэнергетики.

Тренд. Тренд – это периодический контроль величин параметров объектов, например, посредством производства испытаний. Наличие тренда позволяет выполнить анализ путем сравнения последовательных результатов измерений. Таким образом, с помощью тренда реализуется дискретный контроль динамики процессов в объектах электроэнергетики.

Тренд узаконен нормативными документами путем нормирования периодичности производства испытаний. Недостатком тренда по результатам испытаний является невозможность проследить изменение параметров внутри временного интервала между испытаниями. Поэтому аварийные ситуации при этом методе контроля не исключены.

Мониторинг. Мониторинг – это непрерывный или дискретно-непрерывный контроль технического состояния объектов. Мониторинг предполагает наличие стационарной системы контроля. Технически мониторинг реализуется с помощью стационарных средств измерения, телемеханических линий и

центра сбора и анализа информации. Все средства мониторинга требуют систематического контроля и технического обслуживания. При отсутствии телемеханических линий мониторинг становится трендом, но более дорогим в сравнении с ним. Мониторинг возможен при наличии у предприятия специалистов, способных выполнять анализ результатов измерений.

В большинстве случаев из-за отсутствия специалистов по анализу результатов измерений средствами мониторинга осуществляется только контроль предельных значений параметров. При этом возможны два вида систем: индикаторный и релейный.

Индикаторные системы сигнализируют центру сбора и анализа информации о превышении тех или иных значений контролируемых параметров. Релейные системы сигнализируют и выполняют ряд коммутационных функций.

Экспертиза. Казалось бы, нет необходимости давать определение понятию экспертиза. Однако это не так. Программное и математическое обеспечение диагностической аппаратуры условно можно разделить на два уровня. Первым из них реализуется сам метод, например, метод частичных разрядов, метод возвратного напряжения и т. д. В зависимости от степени реализации аппаратура может быть индикаторной, релейной или измерительной. Измерительная аппаратура позволяет не только измерять тот или иной параметр, но и нормировать измеряемые величины по степени опасности дефектов в объекте. Такая аппаратура стоит дорого и часто имеет уникальные технические возможности.

Второй уровень программного и математического обеспечения предназначен для анализа получаемых результатов, поэтому имеет критерии оценки, базу данных, алгоритмы анализа. Алгоритмы анализа часто многофакториальные, наукоемкие и являются результатами научных работ. Тем не менее без участия специалистов высокого уровня такая аппаратура не способна автоматически «сделать» правильное заключение о техническом состоянии объекта. Поэтому эти специалисты называются экспертами, а выполняемая ими работа – экспертизой.

Сегодня существует достаточно много различных обучающих фирм, которые после некоторого курса обучения выдают специалистам документы на право ведения экспертных работ. Но эксперты ли это? Не секрет, что в стране пруд пруди инженеров с дипломами. И в тоже время все предприятия и фирмы испытывают острый недостаток настоящих инженеров. И таких специалистов в стране единицы.

Характерной особенностью состояния основных фондов электроэнергетики в настоящее время является большое количество силового оборудования с исчерпанным нормативным ресурсом эксплуатации. В среднем это оборудование составляет 60-80 %. Вместе с тем действительное техническое состояние оборудования, его физический износ и остаточный ресурс эксплуатации в основном не определены. Поэтому имеющееся сегодня мнение о большом физическом износе силового электрооборудования является, по крайней мере, необоснованным. Обновление основных фондов электроэнергетики, как правило, не превышает 3-5 % в год. Совершенно очевидно, что замена такого количества

электрооборудования с исчерпанным ресурсом эксплуатации на новое в короткие сроки экономически и технически является невыполнимой задачей.

Кроме того, обновление основных фондов электроэнергетики, как показывает практика, вовсе не гарантирует решение проблемы по причине отсутствия эффективной системы по контролю качества монтажа вновь вводимых таких объектов и часто из-за низкого качества комплектующих или работ по монтажу. При этом следует иметь в виду, что нормативный ресурс эксплуатации в основном вдвое меньше, чем проектный ресурс, определенный разработчиком того или иного вида силового электрооборудования. Так, например, нормативный ресурс эксплуатации кабельных линий с бумажно-масляной изоляцией – 25 лет, а проектный ресурс – 50 лет. Это обстоятельство является основанием для выполнения экспертизы оборудования на предмет продления дальнейшего его срока службы с последующим параллельным плановым перевооружением электроэнергетики.

Методы контроля технического состояния объектов силовой энергетики делятся на контроль по предельным значениям параметров, определяемым ПТЭ, инструкциями, нормативами, и контроль по текущим значениям параметров, на основании которого выполняется диагностика технического состояния, прогнозирование остаточного ресурса, определение степени опасности дефектов и выработка экспертного заключения. Контроль по предельным значениям параметров не позволяет оценить качество текущего технического состояния объектов, а также динамику развития дефектов, но чаще всего используется в системах защиты и мониторинга. Динамику процесса развития дефектов и качество технического состояния можно определить только диагностическими методами.

Выводы

1. Повышение надежности работы электрических сетей является серьезным технико-экономическим фактором, влияющим на эффективность работы энергетической системы.

2. Значительно повысить надежность работы электрических сетей, технико-экономические показатели работы энергетической системы возможно путем комплексной диагностики электрооборудования, внедрения энергоэффективных способов мониторинга.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Волков, Н. Г. Надежность функционирования систем электроснабжения : Учебное пособие / Н. Г. Волков. – Томск : Изд-во ТПУ, 2005. – 157 с.

2. Фокин, Ю. А. Надежность и эффективность сетей электрических систем / Ю. А. Фокин. – М. : Высшая школа, 1989. – 151 с.

3. Чичёв, С. И. Система контроля и управления электротехническим оборудованием подстанций / С. И. Чичёв, В. Ф. Калинин, Е. И. Глинкин. – М. : Издательский дом «Спектр», 2011. – 140 с. – 400 экз.

4. Ситников, В. Ф., Скопинцев, В. А. Вероятностно-статистический подход к оценке ресурсов электросетевого оборудования в процессе эксплуатации / В. Ф. Ситников, В. А. Скопинцев // Электричество. – 2007. – № 11.

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭЛЕМЕНТОВ И УЗЛОВ УСТРОЙСТВ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ, ИМЕЮЩИХ НАИБОЛЬШЕЕ КОЛИЧЕСТВО ОТКАЗОВ

***Чепрасов С. А.*[1], *Никитин К. А.*[2]** – магистранты
***Зенина Е. Г.*[1]** – канд. техн. наук, доцент
[1]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
[2]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

Одним из наиболее важных вопросов для исследования эксплуатационных параметров электрооборудования является вопрос изучения причин отказа при возврате устройства или прибора на завод-изготовитель.

Для каждого из возвращенных изделий на предприятии-изготовителе выясняют причину его возврата. Специалистами были отмечены следующие причины отказов устройств релейной защиты и автоматики и последующих возвратов приборов (рис. 1):

– механические повреждения (около 10 % от общего числа приборов спустя один месяц эксплуатации);

– отказ резонаторов (10 % от общего числа спустя менее 6 лет работы);

– отказ конденсаторов (около 20 % от общего числа приборов спустя более 5 лет работы);

– отказ трансформаторов во вторичных цепях (около 30 % от общего числа приборов спустя 81 месяц непрерывной эксплуатации);

– ошибки программного обеспечения, выявленные во время эксплуатации изделий [2].

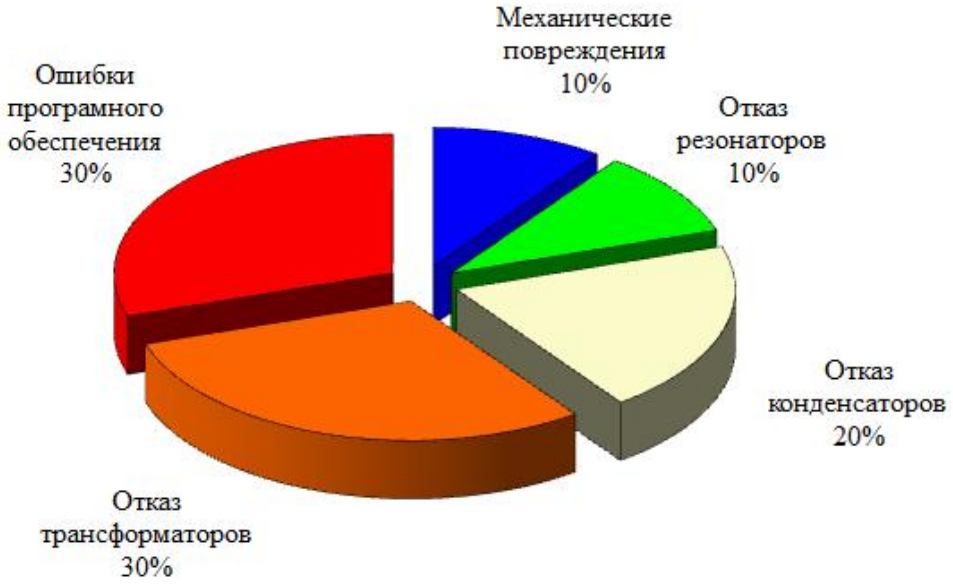

Рис. 1. Причины отказов и повреждений изделий

Анализируя причины отказов, можно сделать вывод, что при выходе реле и защитной аппаратуры из строя нет явных и однозначных элементов и узлов, которые имели бы наименьшие показатели надежности. Это значит, что во время эксплуатации реле и защитной аппаратуры в течение всего цикла могут выйти из строя любые из перечисленных элементов.

Ведущие заводы-изготовители по производству устройств релейной защиты после выполнения соответствующих анализов по надежности элементов, а также при получении большого количества претензий по отказам оборудования либо существенно улучшают работоспособность вышедшего из строя элемента, либо стараются отказаться от его использования.

Помимо вышеперечисленных причин отказов элементов, следует отметить отдельно «человеческий фактор». Например, приборы могут отказать при ошибочной подаче оперативным или техническим персоналом напряжения, значительно превышающего номинальное, что может привести к выходу из строя не только резисторов, но и интегральных микросхем.

Полный анализ замен комплектующих элеметов, выполненных при изготовлении, настройке и испытаниях, а также ремонте возвращенных деталей, показал, что из всех поступивших в эксплуатацию на промышленные предприятия блоков релейной защиты и автоматики наибольший процент отказов зафиксирован у таких элементов, как (рис. 2):

– микросхемы (около 31 %);
– транзисторы (15 %);
– резисторы (около 14 %);
– конденсаторы (12 %);
– моточные изделия (7 %).

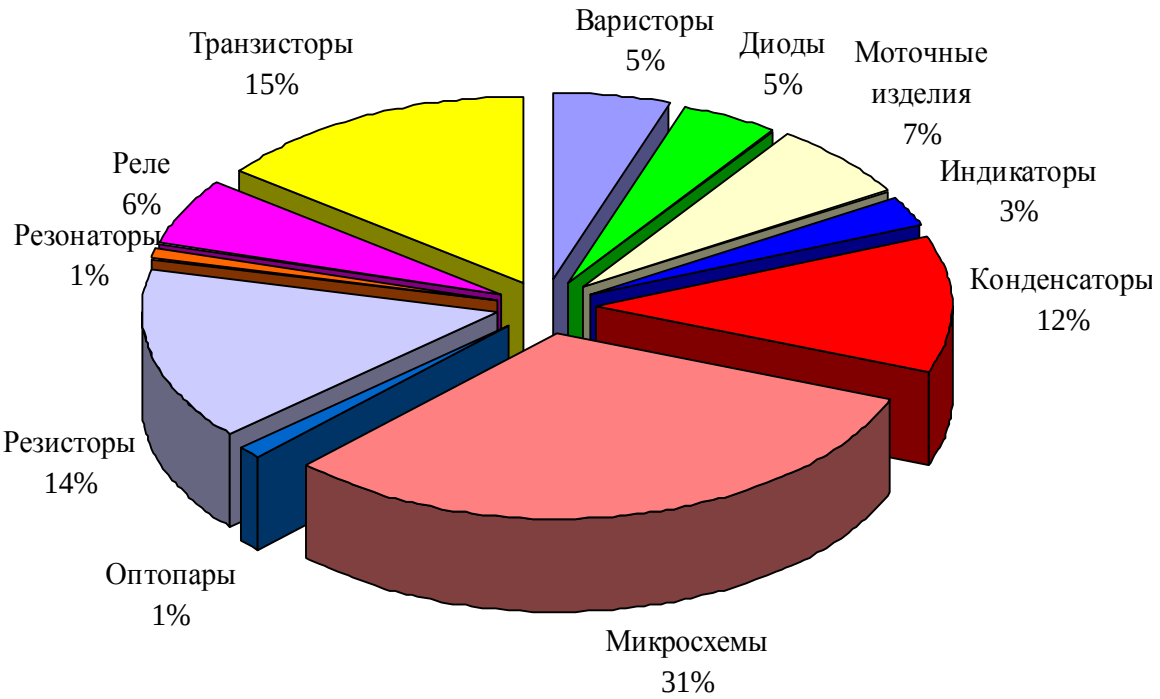

Рис. 2. Полный перечень элементов, находящихся в «зоне риска»

Процент замены остальных комплектующих не столь велик, по сравнению с приведенными выше элементами, и достигает от 1 до 6 % отказов.

Необходимо добавить, что на рис. 2 приведен неполный перечень элементов. Так, для сокращения диаграммы были объединены подобные элементы. Например, в одну группу объединены конденсаторы и ионисторы, варисторы и плавкая вставка (при отказе варистора перегорает плавкая вставка), резисторы и резисторные сборки. Помимо этого, в одну группу – моточные изделия – включены трансформаторы и дроссели.

Следует отметить, что надежность выпускаемых изделий можно анализировать за разные промежутки времени. На рис. 3 и 4 представлены графики зависимости средних значений замен основных элементов, находящихся в «зоне риска», от времени года [1].

Рис. 3. Графики замен изделий, находящихся в «зоне риска»

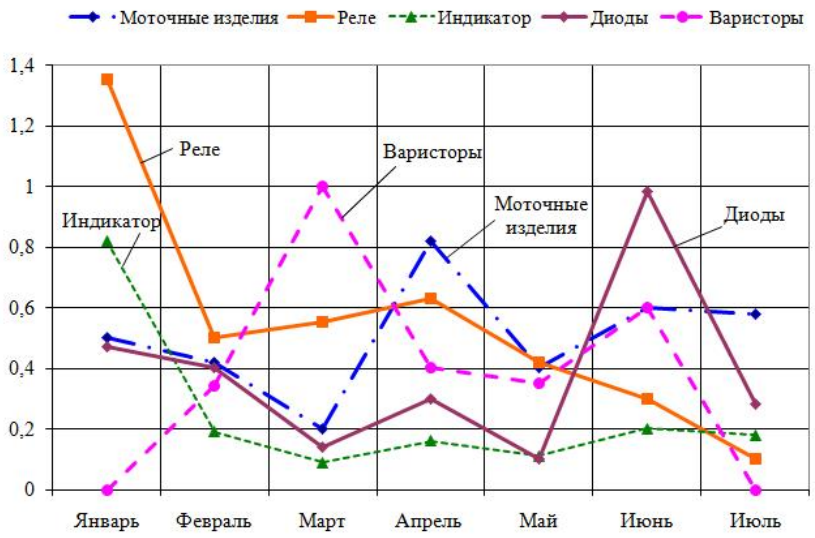

Рис. 4. Графики замен изделий, находящихся в «зоне риска»

Приведенные графики позволяют определить характер (случайный или систематический) отказов элементов тех или иных типов и номиналов, выпущенных различными предприятиями или приобретенными у разных поставщиков. Для моточных изделий данный метод контроля позволяет обратить внимание изготовителей на те или иные скрытые недостатки выпускаемых ими изделий, которые нельзя выявить на входном контроле.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Захаров, О. Г. Замены комплектующих элементов в цифровых устройствах релейной защиты / Все о релейной защите. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: http://rza.org.ua, свободный. – Загл. с экрана.

2. Захаров, О. Г. Надежность цифровых устройств в цифрах и диаграммах. / Все о релейной защите. [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа: http://rza.org.ua, свободный. – Загл. с экрана.

АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ СИСТЕМ ДАЛЬНЕГО РЕЗЕРВИРОВАНИЯ НА ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ С ОТВЕТВЛЕНИЯМИ НАПРЯЖЕНИЕМ 6-110 КВ

Янина Д. С. – магистрант
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

При автоматической ликвидации повреждений возможны случаи отказа в действии релейной защиты или выключателей. Такие случаи относительно редки. Но последствия таких аварийных ситуаций вследствие длительного прохождения токов короткого замыкания (КЗ) и снижения напряжения сети могут привести к большому материальному ущербу (массовое повреждение оборудования, которое не рассчитано на длительное прохождение тока КЗ, и нарушение снабжения потребителей). Поэтому в соответствии с п. 3.2.15 ПУЭ «...следует предусматривать резервную защиту, предназначенную для обеспечения дальнего резервирования».

Для снижения последствий аварийных ситуаций из-за отказа в действии релейной защиты или выключателей необходимо, наряду с принятием мер по повышению надежности и безотказности действия релейной защиты и выключателей, применять резервирование отключения повреждений.

Существует два способа резервирования:

1) резервирование, осуществляемое защитами смежных участков (дальнее резервирование);

2) резервирование, осуществляемое защитами и выключателями той подстанции, где произошел отказ (ближнее резервирование).

Во втором случае способы ближнего резервирования защит в зависимости от полноты или эффективности резервирования разделяются на наиболее полное, полноценное и условно ближнее резервирование. При наиболее полном

ближнем резервировании производится дублирование защит элемента, их цепей, каналов связи и источников питания: трансформаторов тока, трансформаторов напряжения, аккумуляторных батарей. При этом отказ одной из защит не приводит к дополнительным потерям по сравнению со случаем нормального функционирования обеих защит, и одновременный отказ их маловероятен. Характерным для этого способа резервирования является также дублирование электромагнитов отключения выключателей. Полноценным ближним резервированием защит называется такое выполнение двух отдельных защит, при котором в случае отказа срабатывания одной из них обеспечивается селективное отключение поврежденного элемента, за исключением случаев полного отказа постоянного тока на объекте (работает дальнее резервирование), отказа электромагнита отключения или цепей управления выключателей (работает УРОВ). При условно ближнем резервировании защит применяется система из двух отдельных защит, при которых в случае отказа срабатывания одной из них обеспечивается отключение повреждения при возможном в некоторых случаях неселективном отключении смежных участков сети. Условно ближнее резервирование защит линии выполняется с помощью системы из двух ступенчатых защит, при этом к одной из них – резервной – не предъявляется в целях упрощения требование обязательного сохранения полной селективности при отказе срабатывания основной защиты.

Под дальним резервированием (дальним резервным действием защит) понимается такой способ резервирования, при котором в случае отказа срабатывания или неработоспособности защиты или отказа в отключении выключателя поврежденного элемента КЗ ликвидируется действием защит элементов, смежных с поврежденным, на отключение выключателей этих элементов. В отличие от ближнего резервирования защит в сочетании с УРОВ дальнее резервирование – более простой и дешевый способ резервирования (в ряде случаев даже не требует специальной затраты средств и аппаратуры) и по сравнению с выполняемыми в настоящее время способами выполнения ближнего резервирования может обладать принципиально большей полнотой резервирования. Принципиальным преимуществом дальнего резервирования является его высокая надежность. Она обусловлена расположением резервируемых и резервирующих защит и выключателей в разных точках сети. С другой стороны, по сравнению с ближним резервированием оно имеет принципиальные недостатки, заключающиеся в основном в большем числе отключаемых элементов сети, большем времени отключения, трудностях обеспечения чувствительности. В сложных сетях применение защит дальнего резервирования осложняется наличием протяженных и сильно загруженных линий, параллельных ветвей, мощных подпиток и так называемых линий с отпайками. В таких случаях трудно осуществить требуемую чувствительность, что обусловлено сопоставимостью токов короткого замыкания с токами нагрузки воздушных линий.

Дальнее резервирование является одним из наиболее простых и дешевых технических решений по повышению эффективности функционирования

элементов электрических систем. Однако возникают проблемы дальнего резервирования, обусловленные недостаточной чувствительностью резервных защит линий, при наличии на них отпаечных подстанций с трансформаторами малой мощности, например мощностью 2,5…10 МВА. Недостаточная чувствительность защит вызвана тем обстоятельством, что для указанных трансформаторов токи на стороне высшего напряжения при коротком замыкании на стороне низшего напряжения сопоставимы с токами нагрузки (токами перетока) по рассматриваемой линии. Для решения проблем чувствительности и выбора наиболее эффективного технического решения необходим анализ известных ранее технических решений и сопоставлений их по чувствительности. В качестве параметра, по которому может оцениваться чувствительность, предлагается использовать кратность тока перетока (мощность перетока), то есть такое отношение тока перетока к номинальному току трансформатора отпаечной подстанции (мощность трансформатора), при котором обеспечивается селекция режима КЗ за трансформатором от максимально нагрузочных режимов. Проведем анализ эффективности отдельных защит системы дальнего резервирования.

1. *Максимальная токовая защита (МТЗ)*

Ток срабатывания данной защиты определяется по выражению

$$I_{\text{ср}} = K_{\text{отс}} K_{\text{з}} I_{p\max} \big/ K_{\text{в}} = K_{\text{отс}} K_{\text{з}} S_{\sum} \big/ \sqrt{3} U , \qquad (1)$$

где $K_{\text{отс}}$, $K^{\text{з}}$, $K_{\text{в}}$ – коэффициенты отстройки, запаса и возврата соответственно.

Значение тока при трехфазном КЗ за трансформатором минимальной мощности $S_{\text{тр min}}$ равно

$$I_{\text{КЗ}\min} = S_{\text{тр.min}} \big/ \sqrt{3} U U_{k\max} , \qquad (2)$$

где $S_{\text{тр.min}}$ – минимальная мощность трансформатора отпаечной подстанции, рассматриваемой линии; $U_{k\max}$ – максимальное напряжение короткого замыкания трансформатора в относительных единицах (при нахождении контактов устройства РПН в крайнем положении).

Тогда коэффициент эффективности $K_{\text{эф}}$ будет равен

$$K_{\text{эф}} = I_{\text{КЗ}} \big/ K_{\text{ч}} I_{\text{ср}} = K_{\text{в}} S_{\text{тр.min}} \big/ U_{k\max} S_{\sum} K_{\text{ч}} K_{\text{з}} K_{\text{отс}} . \qquad (3)$$

Для эффективного действия защиты необходимо выполнение условия $K_{\text{эф}} \geq 1$.

При двухфазном КЗ за трансформатором с группой соединений Y/Δ токи в двух фазах на стороны высшего напряжения равны половине тока трехфазного КЗ, а в третьей фазе ток равен току трехфазного КЗ, и поэтому, если защита выполнена в двухрелейном исполнении, то ее чувствительность будет ниже в два раза, и, соответственно, будет ниже коэффициент эффективности. Поэтому МТЗ рассматривается в трехрелейном исполнении.

Численные значения коэффициента эффективности представлены для двухобмоточных и трехобмоточных трансформаторов в таблице.

Значения коэффициента эффективности

Тип трансформатора	Номинальное значение U_k	Максимальное значение U_k	Значение $K_{эф}$ при минимальном и максимальном значении $K_з$
Двухобмоточный	0,105		5,07/4,48
Двухобмоточный		0,1236	4,53/4,00
Трехобмоточный	0,164		3,20/2,86
Трехобмоточный		0,1950	2,70/2,38

2. *Дистанционная защита с различными характеристиками*

Коэффициент эффективности для дистанционной защиты с круговой характеристикой определяется:

$$K_{эф} = Z_{ср.max} / Z_{тр.max}\,, \tag{4}$$

где $Z_{ср.max}$ – сопротивление срабатывания дистанционной защиты; $Z_{тр.max}$ – сопротивление срабатывания реле сопротивления при КЗ за трансформатором наименьшей мощности.

$$Z_{ср.max} = \sqrt{3}UU \Big/ K_{отс} K_з K_в S_{\sum} \cos\Delta\varphi_1; \tag{5}$$

$$Z_{тр.max} = \sqrt{3}\left(UU_{k\,max}\right)^2 \Big/ S_{тр.min} \cos\Delta\varphi_2\,, \tag{6}$$

где $\Delta\varphi_1 = \varphi_{м.ч} - \varphi_{нг.min}$ – угол максимальной чувствительности и минимальный угол нагрузки соответственно; $\Delta\varphi_2 = \varphi_{тр} - \varphi_{м.ч}$ – угол между током и напряжение при КЗ за трансформатором минимальной мощности.

Дистанционная защита будет эффективна при $K_{эф} \geq 1$:

$$S_{\sum} \Big/ S_{тр.min} = \cos\Delta\varphi_2 / K_{отс} K_з K_ч K_в \cos\Delta\varphi_1. \tag{7}$$

Численное значение $K_{эф}$ = 5,23-8,26 при $\varphi_{нг}$ = 30°.

Сопротивление срабатывания защиты с эллиптической характеристикой определяется:

$$Z_{ср} = Z_{нг.min}\left(C^2 + S^2/\varepsilon^2\right) \Big/ K_{отс} K_з K_в\, C\,, \tag{8}$$

где ε = *b*/*c*; где *b* – малая полуось эллипса; с – большая полуось эллипса; $C = \cos(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нг})$; $S = \sin(\varphi_{м.ч} - \varphi_{нг})$.

Для оценочного расчета можно принять, что угол максимальной чувствительности близок к углу $\varphi_{тр}$, тогда коэффициент эффективности равен

$$K_{эф} = \left(C^2 + S^2/\varepsilon^2\right) \Big/ K_{отс} K_з K_в\, CU_{k\,max}\,. \tag{9}$$

Численные значения коэффициента эффективности при углах нагрузки $\varphi_{нг}$ = 30° – 50° и ε = 0,5 равны $K_{эф}$ = 12,20-7,79.

3. *Токовая направленная защита с реле направления мощности с «узкой угловой характеристикой»*

Для данной защиты справедливо

$$\varphi_{\text{КЗ}\min} = \text{arctg}(S_{\text{тр.min}} / U_k S_{\sum}), \quad (10)$$

где $\varphi_{\text{КЗ min}}$ – угол между вектором напряжения и вектором тока.

С учетом условия отстройки от углов нагрузки можно записать:

$$\varphi_{\text{нг.max}} K_{\text{отс}} = \varphi_{\text{КЗ}} = \text{arctg}(S_{\text{тр.min}} / U_k S_{\sum}); \quad (11)$$

$$\text{tg}(\varphi_{\text{нг.max}} K_{\text{отс}}) = S_{\text{тр.min}} / U_k S_{\sum}; \quad (12)$$

$$S_{\sum} / S_{\text{тр.min}} \le 1 / U_k \text{tg}(\varphi_{\text{нг.max}} K_{\text{отс}}). \quad (13)$$

Численное значение коэффициента эффективности для угла нагрузки $\varphi_{\text{нг}} = 50°$ для двух-, трехобмоточных трансформаторов составляет 2,96-4,67, для угла нагрузки $\varphi_{\text{нг}} = 30°$ увеличивается до уровня 5,69-8,98.

Можно сделать вывод, что наиболее эффективными для целей дальнего резервирования линий с односторонним питанием являются защиты, построенные с использованием реле сопротивления с эллиптическими характеристиками. Однако данные реле также не лишены недостатков, заключающихся в значительном падении коэффициента эффективности при нагрузках с малыми углами. При этом коэффициент эффективности резко падает и становится сопоставим с коэффициентом эффективности реле направления мощности с «узкой угловой характеристикой». Техническая реализация на указанных реле более проста и поэтому более целесообразна.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рубинчик, В. А. Резервирование отключений коротких замыканий в электрических сетях / В. А. Рубинчик. – М. : Энергоатомиздат, 1998. – 120 с.

2. Шабад, М. А. Защита трансформаторов распределительных сетей / М. А. Шабад. – Л. : Энергоатомиздат. Ленингр. отд., 1981. – 136 с.

3. Клецель, М. Я., Никитин, К. И. Анализ чувствительности резервных защит распределительных сетей энергосистем / М. Я. Клецель, К. И. Никитин. – Электричество. – № 2.

4. Правила устройства электроустановок. – 7-е изд. – М. : Энергоатомиздат, 2016.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОЯВЛЕНИЯ МЁРТВЫХ ЗОН В РЕЛЕЙНЫХ ЗАЩИТАХ

Янина Д. С. – магистрант
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Рассматриваются виды защит, в которых возможно появление «мертвых зон» и причины, вызывающие несрабатывание защит. Проведем анализ каждой защиты в отдельности.

Мертвая зона поперечной дифференциальной защиты – это один из недостатков поперечной дифференциальной защиты. Мертвая зона образуется в конце поврежденной линии электропередачи (ЛЭП), работающей параллельно с другой ЛЭП, когда ток недостаточен для срабатывания релейной защиты. Это происходит при следующих определяющих соотношениях токов I_1 и I_{11} на поврежденной и неповреждённой линиях соответственно. Они направлены по смежным ветвям к точке короткого замыкания (КЗ) К и распределяются противоположно их сопротивлениям Z_1 и Z_{11}, где $Z_1 = Z_л - Z_{ВК}$, а $Z_{11} = Z_л + Z_{ВК}$. Когда точка *К* перемещается к подстанции (ПС) В, то первое сопротивление возрастает, второе уменьшается, а токи изменяются обратно пропорционально сопротивлениям. Тогда ток в РЗ $I_р = I_1 - I_{11}$ будет снижаться и в пределе при КЗ на шинах В станет равным нулю (рис. 1, б). Это значит, что ток реле $I_р$ станет ниже тока срабатывания защиты, и она не будет действовать. Точка КЗ, расположенная на расстоянии *m* от шин противоположной месту установки защиты ПС, является граничной для работы релейной защиты. Для отключения КЗ в мертвой зоне необходима дополнительная защита, например, основанная на другом принципе действия.

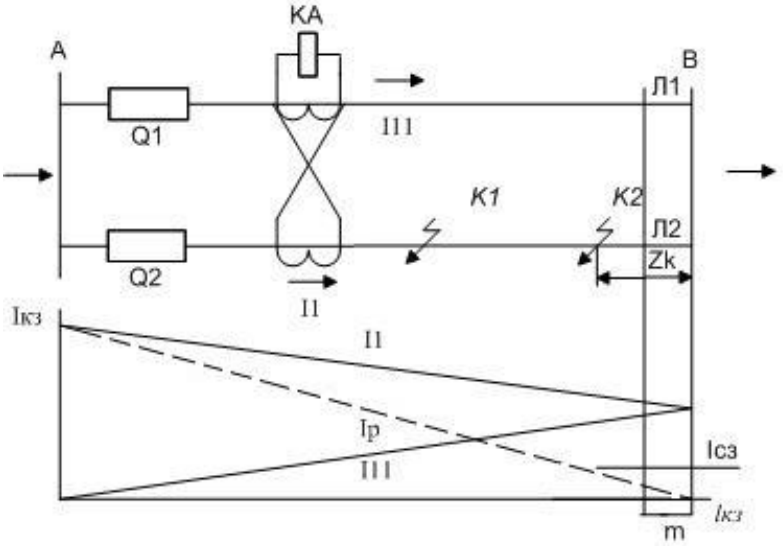

Рис. 1. Мертвая зона *m* токовой поперечной защиты:
$Z_л$ и $l_л$ – сопротивление и длина ЛЭП;
$Z_{АК}$ и $Z_{ВК}$ – сопротивления от шин *А* и *В* до точки КЗ

Мертвая зона в дистанционной защите. В дистанционной защите это явление возникает при КЗ, приближенных к защите, когда напряжение на шинах практически равно нулю и результирующий момент от напряжения незначительнее противодействующего момента пружины (рис. 2).

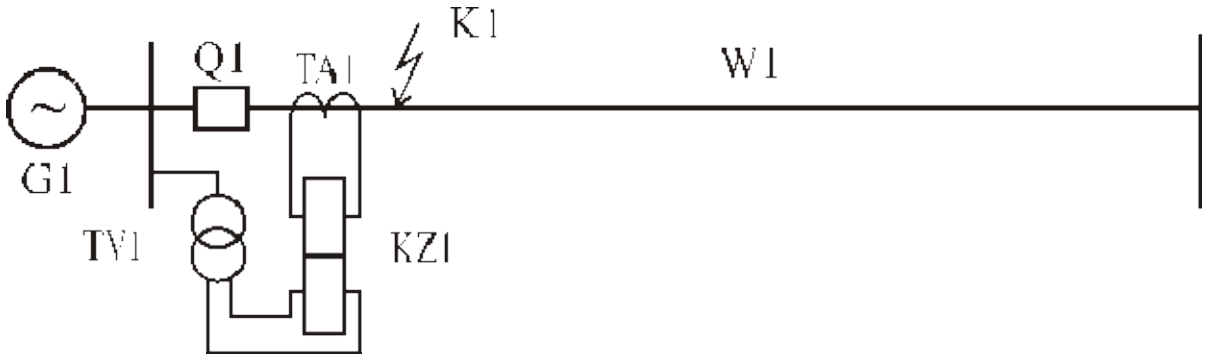

Рис. 2. Участок сети с КЗ, приближенным к месту установки дистанционной защиты

Отличным примером возникновения мертвой зоны является работа реле ДЗ-2. В ней через реагирующий орган проходит тормозной ток примерно 9-16 мкА, гарантирующий селективную работу защиты при КЗ на шинах «за спиной». Как раз он приводит к смещению характеристики реле в первую четверть плоскости (рис 3), что ведет за собой последующее появление «мертвой зоны».

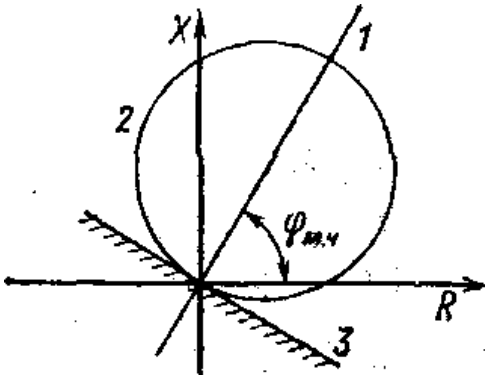

Рис. 3. Характеристики реле сопротивления ДЗ-2 в комплексной плоскости:
1 – прямая максимальной чувствительности; 2 – круговая характеристика защиты;
3 – граничная прямая срабатывания защиты при не удаленных двухфазных замыканиях в режиме направления мощности

Мертвая зона в защите генератора. Защита генератора имеет мертвую зону при однофазных КЗ на землю, приближенных к нейтрали генератора, так как ток КЗ зависим от числа витков, замкнутых на землю. На выводах генератора устанавливают защиту с трансформаторами тока ТТНП, реагирующую на ток нулевой последовательности. Это применяется потому, что ток КЗ на землю обмотки гораздо меньше рабочего тока генератора. Мертвая зона возникает также при двойном КЗ на землю в роторе. Это происходит вблизи от первой точки К1, а также если КЗ произошло вблизи конца обмотки.

Эти нарушения редкие, поэтому на станциях ставится один комплект РЗ, подключаемый к генератору, имеющий замыкание на корпус.

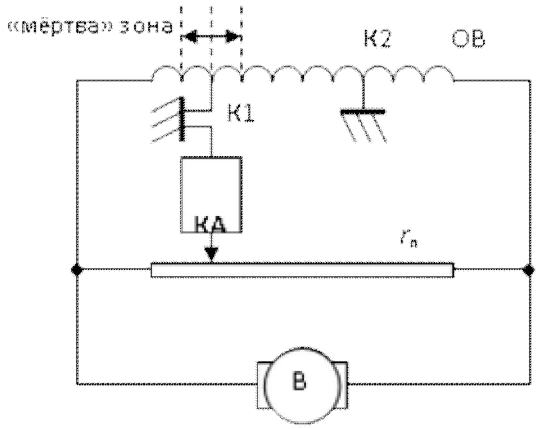

Рис. 4. Мертвая зона в роторе: КА – реле, К2 – точка со вторым замыканием, где нарушается равновесие плеч, что приводит к отключению защиты

Мертвая зона между выключателем и трансформатором тока появляется на небольшом участке волоконно-оптической линии связи, потому что защита не перекрывает его своим действием. Это первоочередная проблема релейной защиты при сохранении динамической способности генерирующего устройства (рис. 5). Трансформаторы тока предусматриваются только в одном комплекте с одной стороны от выключателя, причем так, чтобы выключатель входил в зону защиты шин (по ПУЭ п. 3.2.127).

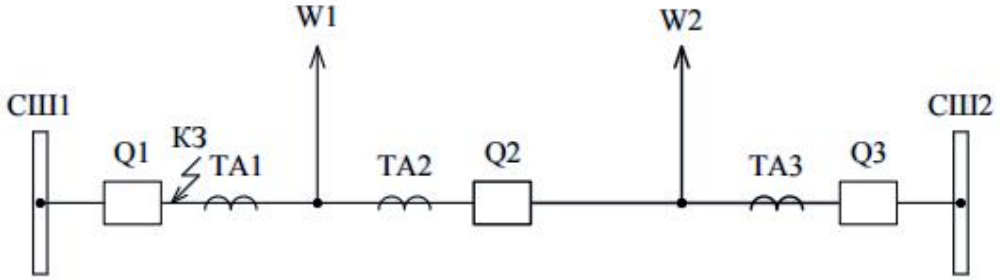

Рис. 5. Короткое замыкание в мертвой зоне ОРУ

Существует несколько способов борьбы с этой проблемой, а именно: применение запатентованного устройства РЗМЗ, работающей по типу «отключение от внешнего сигнала», то есть отключение элемента со всех сторон или же возможного добавления дополнительного выносного трансформатора с каждой стороны выключателя.

Таким образом, проведенный анализ показывает, что мертвые зоны могут появляться в защитах, основанных на разных принципах действия. Их возникновение обусловлено:

• низким уровнем токов, проходящих через защиту, – в поперечной дифференциальной защите линий и генераторов, защите генератора от однофазных КЗ на землю;

• низким уровнем напряжений в месте установки защиты – в дистанционной защите.

Отдельная проблема возникает в случае возникновения КЗ между выключателем и трансформатором тока, поскольку точка КЗ не входит в зону действия релейной защиты.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Андреев, В. А. Релейная защита и автоматика систем электроснабжения / В. А. Андреев. – М. : Высшая школа, 2006. – 639 с.

2. Алексеев, В. С. Реле защит / В. С. Алексеев. – М. : Энергия, 1976. – 464 с.

3. ПУЭ «Правила устройства электроустановок. Издание 7». – М. : Госторгиздат, 2015. – 144 с.

4. Лебедев, В. Д. Техническое описание РЗМЗ / В. Д. Лебедев. – 2014. – 6 с.

5. Мертвая зона дистанционной защиты [Электронный ресурс] – http://refac.ru/mertvaya-zona-distancionnoj-zashhity/

КОМПЛЕКСНОЕ ИННОВАЦИОННОЕ РЕШЕНИЕ ПО ЗАЗЕМЛЕНИЮ НЕЙТРАЛИ В СЕТЯХ 6-35 КВ

Громов К. В. – магистрант
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В распределительных сетях 6-35 кВ существует высокая повреждаемость изоляции относительно земли, которая ведет к однофазным замыканиям на землю (ОЗЗ). Один из основных параметров тока ОЗЗ – это емкостная составляющая, величина которой зависит от суммарной протяженности линий электропередачи. Ежегодно сети развиваются преимущественно за счет увеличения числа присоединений к действующим подстанциям, что усложняет работу существующих защит от ОЗЗ. К тому же эксплуатация большинства электроустановок превышает нормативные сроки, а это увеличивает вероятность повреждения изоляции.

На сегодняшний день в условиях постоянного ухудшения состояния изоляции электроустановок распределительных сетей из-за отсутствия средств на замену и восстановление изношенного электрооборудования актуальность этой проблемы еще больше возрастает. Поскольку надёжных средств защиты от дуговых перенапряжений нет, то решением данной проблемы будет выбор комплексных решений по заземлению нейтрали.

Рассмотрим достоинства и недостатки существующих способов заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ.

Изолированная нейтраль. Достоинства: отсутствие необходимости в отключении первого однофазного замыкания на землю; небольшой ток в месте повреждения. Недостатки: возможность возникновения дуговых перенапряжений при перемежающемся характере дуги с малым током в месте ОЗЗ; возможность

возникновения многоместных повреждений; необходимость выполнения изоляции электрооборудования относительно земли на линейное напряжение; сложность обнаружения места повреждения.

Нейтраль, заземленная через дугогасящий реактор. Достоинства: отсутствие необходимости в отключении первого ОЗЗ; малый ток в месте короткого замыкания; возможность самоликвидации ОЗЗ, возникшего на воздушной линии или ошиновке. Недостатки: возможность возникновения многоместных повреждений при длительном существовании дугового замыкания в сети; возможность перехода однофазного замыкания в двухфазное; сложность обнаружения места повреждения.

Нейтраль, заземленная через резистор. Достоинства: отсутствие дуговых перенапряжений высокой кратности и многоместных повреждений в сети; отсутствие необходимости в отключении первого ОЗЗ; отсутствуют повреждения трансформаторов напряжения; нет перехода ОЗЗ в многофазное. Недостатки: увеличение тока в месте повреждения; необходимость в отключении однофазных замыканий.

Рассмотрим опыт использования комплексного решения заземления нейтрали с использованием дугогасящего реактора (ДГР) и высокоомного резистора. В настоящее время эксплуатирующие организации, внедрившие для заземления нейтрали ДГР и резисторы, отмечают снижение аварийных отключений и сокращение выхода из строя оборудования.

ПС 110/35/10 кВ «Рудничная». До использования ДГР и высокоомного резистора: 12-15 аварийных отключений в год. За 2000-2003 гг. при ОЗЗ произошли: один случай с возгоранием на 1-й секции 10 кВ в ячейке ТН-10, выгорели цепи вторичной коммутации с погашением секции; два случая повреждения трех ячеек МВ-10 (всего 6). После: 5,3 отключений в год (с 2003 г. за 7 лет зафиксировано 37 аварийных отключений, в том числе из-за ОЗЗ). Повреждений ячеек МВ-10 кВ и другого оборудования не было, рис. 1.

ПС 110/35/10 кВ «Южная». До использования ДГР и резистора: 10-12 аварийных отключений в год. За 2000-2003 гг. при ОЗЗ произошли два случая повреждения ячеек МВ-10 и двух соседних (всего 4). После: 3,3 аварийных отключения в год (с 2003 г. за 7 лет зафиксировано 23 аварийных отключения, в том числе из-за ОЗЗ). Повреждений ячеек МВ-10 кВ и другого оборудования не было, рис. 1.

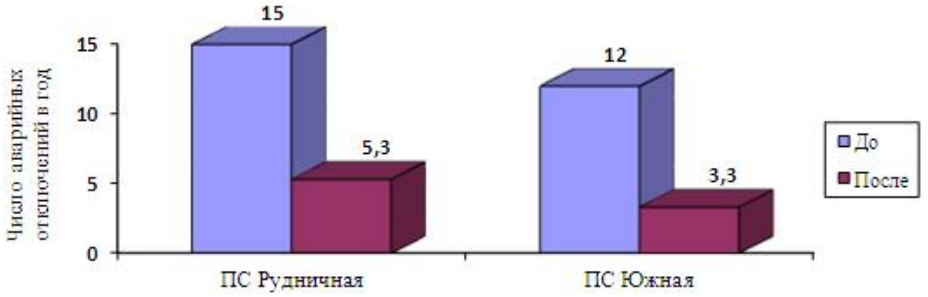

Рис. 1. Диаграмма аварийных отключений до и после применения ДГР и высокоомного резистора на ПС «Рудничная» и ПС «Южная»

ПС 110/35/6 кВ «Макаракская». До использования ДГР и высокоомного резистора: при ОЗЗ неоднократно возникал режим с перекосом фаз и появлением на нейтрали напряжения до 18-20 кВ, срабатывала сигнализация «земля». После: Сеть 35 кВ симметрирована, при ОЗЗ с обрывом фазного провода зимой сеть проработала 20 часов при –40 °С без вторичных повреждений.

После установки высокоомных резисторов параллельно ДГР в кабельных сетях 35 кВ Омских ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4 показало, что за периоды в 5 лет до установки и после среднегодовая повреждаемость оборудования снизилась с 14,7 до 5,5 ед., а переходы ОЗЗ в междуфазные замыкания отсутствовали, рис. 2.

Рис. 2. Диаграмма повреждаемости оборудования до и после применения ДГР и высокоомного резистора на Омских ТЭЦ-3 и ТЭЦ-4

Таким образом, комплексное заземление нейтрали с использованием дугогасящих реакторов и высокоомных резисторов успешно используют на практике генерирующие и электросетевые компании. Комплексное заземление нейтрали повышает надежность электроустановок и продлевает срок их службы, что позволяет с меньшими затратами производить реконструкцию устаревшего оборудования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Титенков, С. С. Четыре режима заземления нейтрали в сетях 6-35 кВ. Изолированную нейтраль объявим вне закона / С. С. Титенков // Новости Электротехники. – 2003. – № 5(23).

2. Беляков, Н. Н. Исследование перенапряжений при дуговых замыканиях на землю в сетях 6 и 10 кВ с изолированной нейтралью / Н. Н. Беляков // Электричество. – 1957. – № 5.

3. Ширковец, А. И. Комбинированное заземление нейтрали. Фактор повышения эксплуатационной надежности сетей 6-35 кВ / А. И. Ширковец // Новости Электротехники. – 2016. – № 6(102).

4. Вильгейм, Р., Уотерс, М. Заземление нейтрали в высоковольтных системах / Р. Вильгейм, М. Уотерс. – М.–Л. : Госэнергоиздат, 1959.

АНАЛИЗ МЕТОДОВ СНИЖЕНИЯ ПОТЕРЬ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ СЕТЯХ

Гринченко М. В. – магистрант
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

По результатам изучения существующих мероприятий снижения потерь электрической энергии в распределительных сетях рассмотрим следующие основные методы.

Выбор оптимальных электрических схем электроснабжения и их режимов работы. Сначала проводят анализ существующих схем для построения городских и поселковых сетей электроснабжения. Далее ведется подсчет потерь электроэнергии в элементах электроснабжения, воздушных и кабельных линиях и трансформаторах. Затем составляется баланс активной и реактивной мощностей в узловых точках сети. По проведенным электротехническим расчетам выявляется объем возможных работ для проведения модернизации или изменения конфигурации электрических распределительных сетей с целью обеспечения наиболее приемлемых электрических потерь. На сегодняшний день данный метод необходим для поднастройки отдельных участков и распределительных сетей в целом к постоянно изменяющимся и неуклонно увеличивающимся электрическим нагрузкам, выявления возможных перегрузок сети реактивной составляющей мощности, а также надежности и увеличения качества поставки электроэнергии потребителю.

Компенсация реактивной мощности (КРМ). Основной задачей является размещение устройств компенсации реактивной мощности в непосредственной близости у потребителя, что напрямую оказывает влияние на потери и показатели качества электроэнергии как товара. В последнее время характер коммунально-бытовой нагрузки по причине широкого распространения разных типов электрических приемников (кондиционеров, микроволновых печей, компьютеров и т. д.), потребляющих достаточно большую реактивную мощность, кардинально изменился. Поэтому с 2007 г. в РФ было усилено требование к коэффициенту мощности, например для электрической сети он стал равняться: $\cos\varphi = 0{,}944$ ($\mathrm{tg}\varphi = 0{,}35$). Как показывает практика, применение КРМ позволяет в значительной степени улучшить технико-экономические показатели работы распределительных сетей при увеличении пропускной способности понижающих трансформаторов и уменьшении потерь активной мощности.

Автоматизация и дистанционное управление электрическими распределительными сетями. Автоматические устройства, в том числе и коммутационные аппараты, а также их приводы, выполняют так, чтобы возможность повторного подключения линий и другого оборудования на короткое замыкание была исключена не только при выходе из строя различных контактов в рассматриваемой схеме, но и при нормальной работе устройств автоматики. Все

коммутационные аппараты должны использоваться с программируемым процессорным управлением для обеспечения функций автоматического повторного включения и автоматического ввода резерва. Данный метод позволяет своевременно обнаруживать и оперативно устранять ненормальные и аварийные режимы работы распределительных сетей, не допуская массового отключения потребителей, что в значительной мере влияет и на потери электроэнергии.

Переход участков электрической сети на более высокий класс напряжения. Во время выполнения электрических расчетов при учете возрастающих нагрузок имеется необходимость рассмотрения перевода участков сети на более высокий класс напряжения, одновременно с режимами работы нейтралей. При появлении современных многоэтажных зданий, удельное потребление на квартиру в которых составляет от 20 (кВт) и более, возникает вопрос электроснабжения этих зданий по схеме глубокого ввода. Тарифный (расчетный) уровень напряжения играет немаловажную роль при определении стоимости электроэнергии и мощности для потребителей. Следовательно, чем выше расчетный уровень напряжения потребителя, тем ниже тариф, применяемый поставщиком электроэнергии для расчета поставленной мощности и стоимости электрической энергии.

Применение современного электротехнического оборудования, отвечающего требованиям энергосбережения. Необходимо производить замены токоограничивающих реакторов на более современные, с достаточно большим индуктивным сопротивлением к токам КЗ и меньшими потерями, силовых трансформаторов, обладающих большими потерями электроэнергии, на трансформаторы с меньшими потерями (трансформаторы с сердечниками из аморфной стали). В настоящее время ведется применение измерительных трансформаторов тока и напряжения с высоким классом точности, вольтодобавочных трансформаторов и электронных счетчиков, которые позволят получать более полную информацию о потерях в электрических распределительных сетях, а также снижать величину потерь электроэнергии.

Регулирование напряжения в линиях электропередачи. Задача регулирования напряжений в распределительных электрических сетях является весьма важной. Например, в местных распределительных сетях, называемых еще сетевыми районами, электроэнергия к потребителям распределяется от центров питания. Активные воздействия на режим напряжения в сетевом районе оказываются весьма ограниченными из-за массовости сетевых районов. Другая причина состоит в отсутствии точной исходной информации о параметрах режимов сетей, которая может быть получена либо эксплуатационным персоналом при наблюдении за показывающими и регистрирующими приборами, либо автоматически от устройств телемеханики. К сожалению, оба данных способа получения информации практически нереальны ввиду большого количества узлов сетевого района. Поэтому регулирование напряжения на центрах питания необходимо осуществлять по принципу встречного регулирования. Для обеспечения нормального уровня напряжения и снижения потерь электроэнергии необходимо устанавливать конденсаторные батареи с автоматическим регулированием напряжения.

Уменьшение расхода электроэнергии на «собственные нужды» электроустановок. Применение нагревательных элементов с аккумуляторами тепла для обогрева зданий и сооружений подстанций. Использование электроэнергии на обогрев в ночной период графика нагрузок, что позволит частично сократить потребление на собственные нужды на электросетевых объектах. В настоящее время применение нашли такие виды мероприятий, как: окраска поверхностей помещений в светлые тона для увеличения коэффициента использования естественного освещения, соблюдение правил по эксплуатации электрооборудования, использование светильников с режимом «дежурного света».

В заключение хотелось бы отметить, что все вышеперечисленные мероприятия необходимы для обнаружения и предотвращения очагов максимальных потерь в каждом элементе электрической сети при передаче электрической энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Воротницкий, В. Э., Заслонов, С. В. Технические потери мощности и электроэнергии в распределительных сетях 6-10 кВ / В. Э. Воротницкий, С. В. Заслонов // Электрические станции. – 1999. – № 8. – С. 38-42.

2. Овчинников, А. Потери электроэнергии в распределительных сетях 6 (10) кВ / А. Овчинников // Новости Электротехники. – 2003. – № 1. – С. 15-17.

3. Галанов, В. П. Качество электроэнергии и его влияние на уровень потерь в электрических сетях / В. П. Галанов // Электрические станции. – 2001. – № 5. – С. 54-63.

4. Железко, Ю. С. Мероприятия по снижению потерь электроэнергии в электрических сетях / Ю. С. Железко. – М. : Энергоатомиздат, 1989. – 176 с.

АНАЛИЗ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЕЖНОСТИ ПАРОВЫХ ТУРБИН И ПРОГНОЗ РЕМОНТА ОБОРУДОВАНИЯ ТЭЦ ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ СОСТОЯНИЮ

Иваненко Ю. П., Петряков С. А. – магистранты
Султанов М. М. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Теплоэнергетика является базовой отраслью российской экономики, обеспечивающей электрической и тепловой энергией внутренние потребности народного хозяйства и населения.

Главная задача энергосистемы – производство, передача и распределение электроэнергии соответствующего качества потребителю.

Надежность работы энергосистемы включает понятие отказа (технологического нарушения) в работе оборудования энергетического предприятия [1].

В современных условиях, когда большая часть теплотехнического оборудования электростанции и тепловых сетей превысила нормативный срок эксплуатации, важно оптимизировать вложения в ремонтно-эксплуатационную составляющую расходов.

Одной из основных проблем современной и перспективной деятельности электроэнергетики является быстрое нарастание износа оборудования.

Поиск мероприятий по повышению надежности паротурбинных установок, находящихся в эксплуатации, должен выполняться на основе анализа статистики повреждений однотипного оборудования, анализа надежности работы аналогичных узлов оборудования разных типоразмеров, результатов диагностирования элементов оборудования в процессе эксплуатации и ремонта.

Для анализа будем использовать статистические данные энергетического оборудования Волжской ТЭЦ (ВТЭЦ) [2], табл. 1.

Таблица 1

Краткая характеристика паротурбинного оборудования ВТЭЦ

Ст. №	Тип оборудования	Единичная мощность, производительность, МВт	Год изготовления	Год ввода в эксплуатацию	Давление пара, кгс/см^2	Расход пара, т/ч номинальный/максимальный
1	ПТ-65/75-130/13	65	1999	2002	115	396/400
2	ПТ-65/75-130/13	65	1998	1998	115	396/400
3	Р-50-130	50	1963	1964	115	470/480
4	Р-50-130	50	1963	1964	115	470/480
5	Т-50-130	50	1967	1967	115	265/280
6	Т-100-130	100	1970	1971	115	465/485
7	Т-100-130	100	1971	1972	115	465/485
8	ПТ-135-130	135	1972	1974	115	740/760

По данным из табл. 1, 50 % оборудования тепловой электростанции отработало от 30 до 50 лет, а 25 % – более 50 лет.

Старение оборудования сопровождается снижением его надежности, ростом количества повреждений. Для поддержания надежности требуется проведение ремонтов и технического обслуживания. Мировой опыт показывает, что диагностика состояния, устранение выявленных дефектов, замена и реконструкция отдельных узлов требуют значительно меньших затрат по сравнению с вводом новых мощностей.

Были произведены расчеты параметров потока отказов и коэффициент неплановых простоев [3]. Параметр потока отказов определяется по формуле

$$W = \frac{1000\, n_{\text{В}}}{T_{\text{Р}} n_{\text{ТА}}}. \qquad (1)$$

Коэффициент неплановых простоев вычисляется по формуле

$$k_{\text{пр}} = \frac{T_{\text{В}}^{\text{ср}} n_{\text{В}}}{T_{\text{год}}\, n_{\text{ТА}}} \cdot 100. \qquad (2)$$

Результаты расчетов коэффициента неплановых простоев и параметра потока отказов представлены в табл. 2 и 3.

Таблица 2

Параметр потока отказов (отк/1000 ч)

Турбина	Годы										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ПТ-65-130 ст. № 1	0,13	0,04	0,00	0,00	0,10	0,50	0,20	1,30	0,10	0,10	0,10
ПТ-65-130 ст. № 2	0,00	0,019	0,07	0,06	0,05	0,07	0,05	0,04	0,06	0,80	0,30
Р-50-130 ст. № 3	0,00	0,60	0,20	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Т-50-130 ст. № 5	0,00	3,80	0,00	0,00	0,00	3,70	0,04	0,40	0,03	0,20	0,70
Т-100-130 ст. № 6	0,00	0,03	0,04	0,19	0,04	0,04	0,05	0,09	0,09	0,02	0,34
Т-100-130 ст. № 7	0,12	0,04	0,03	0,05	0,04	0,11	0,16	0,12	0,19	0,16	0,29
ПТ-135-130 ст. № 8	0,04	0,01	0,03	0,08	0,15	0,06	0,13	0,27	0,10	0,37	0,29
По станции	0,12	0,05	0,05	0,07	0,05	0,09	0,11	0,18	0,10	0,16	0,20

Таблица 3

Коэффициент неплановых простоев (%)

Турбина	Годы										
	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015
ПТ-65-130 ст. № 1	0,09	0,02	0,00	0,00	0,02	0,03	0,04	0,06	0,04	0,10	0,10
ПТ-65-130 ст. № 2	0,00	0,01	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,02	0,02	0,06	0,06
Р-50-130 ст. № 3	0,00	0,04	0,05	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Т-50-130 ст. № 5	0,00	0,01	0,00	0,00	0,00	0,02	0,01	0,07	0,01	0,05	0,01
Т-100-130 ст. № 6	0,00	0,02	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,04	0,04	0,01	0,10
Т-100-130 ст. № 7	0,09	0,02	0,01	0,03	0,02	0,02	0,04	0,04	0,04	0,04	0,06
ПТ-135-130 ст. № 8	0,01	0,01	0,03	0,05	0,04	0,04	0,07	0,10	0,04	0,07	0,09
По станции	0,82	0,33	0,33	0,49	0,33	0,3	0,28	0,12	0,27	0,22	0,37

На основе статистических данных параметр потока отказов и коэффициент неплановых простоев можно формировать и качественно планировать программы капитальных ремонтов.

Анализ данных по показателям надежности оборудования показывает «узкие» места формирования планов ремонта оборудования. С целью повышения

надежности энергетического производства и снижения параметров потока отказов необходим наиболее оптимальный вариант выполнения программы капитального ремонта паровых турбин на Волжской ТЭЦ.

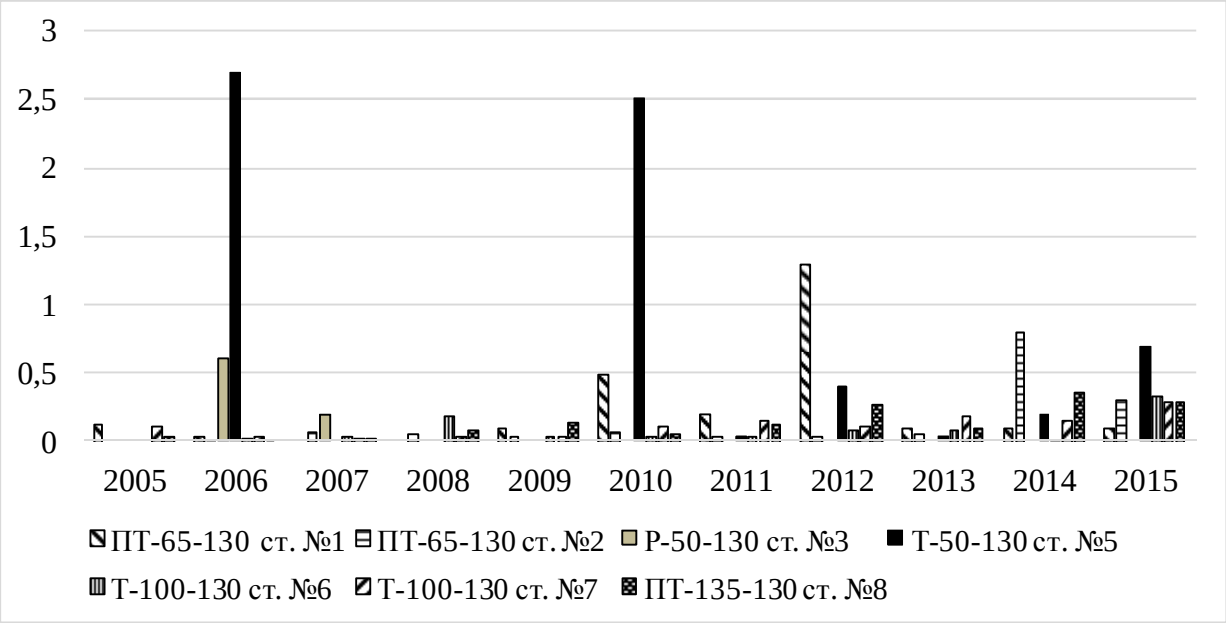

Рис. 1. Динамика изменения параметра потока отказов
для турбоагрегатов ВТЭЦ в период 11 лет

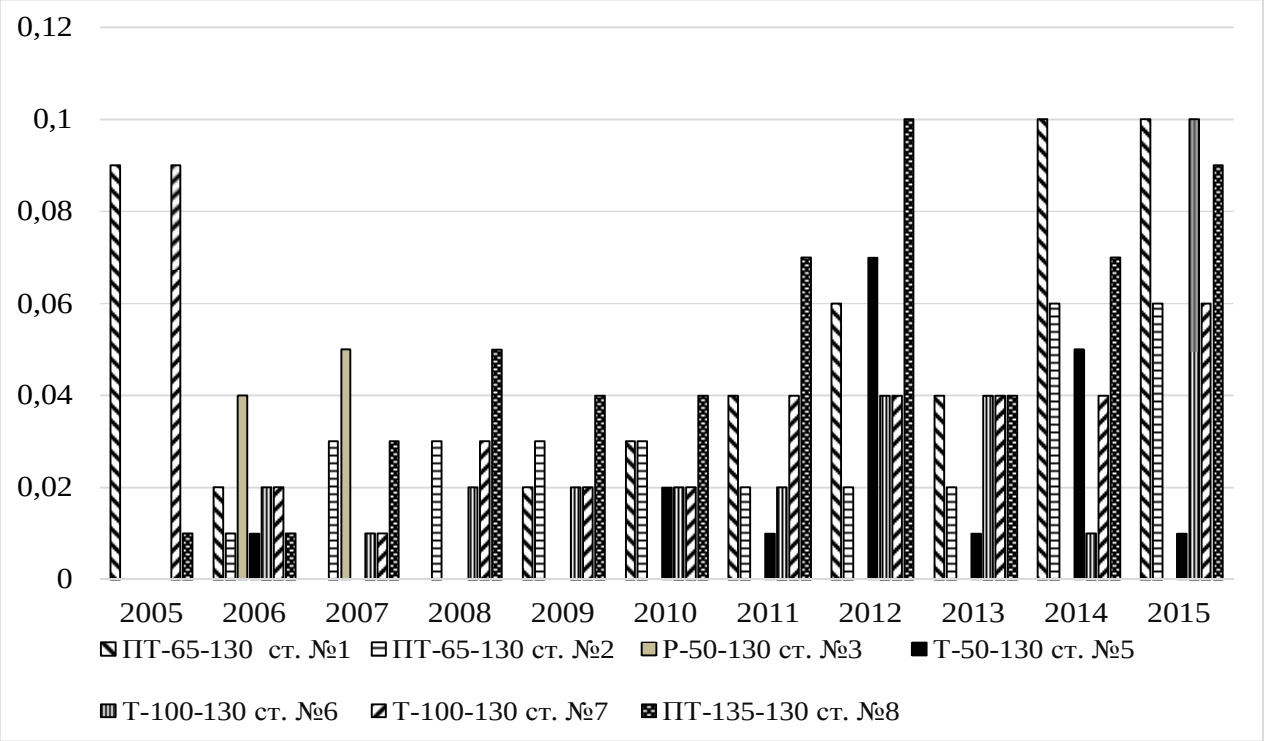

Рис. 2. Динамика изменения коэффициента неплановых простоев
для турбоагрегатов ВТЭЦ в период 11 лет

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Труханов, В. М. Надежность в технике / В. М. Труханов. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Издательский дом «Спектр», 2017. – 635 с.: ил.

2. Инструкция по водно-химическому режиму Волжской ТЭЦ, 2008. – С. 32.

3. Султанов, М. М. Оценка надежности, продление ресурса и оптимизация ремонта оборудования ТЭС и энергетических систем : Учебное пособие / М. М. Султанов. – Волжский : Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском, 2016. – 100 с.

ИЗУЧЕНИЕ УСЛОВИЙ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБЕНТОВ МАРКИ АПТ В СХЕМАХ ВОДОПОДГОТОВКИ В ТЕПЛОЭНЕРГЕТИКЕ

Савич С. С. – магистрант
Просвирова А. С. – инженер
Гончарова Л. К. – канд. хим. наук, ст. науч. сотрудник
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В настоящее время практически на всех химобессоливающих установках эксплуатируются традиционные технологические схемы, разработанные в 60-70 гг. прошлого века, включающие стадию предочистки воды на осветлителях со взвешенным слоем (разработанные ВТИ и ЦНИИ) и фильтрацию на механических фильтрах, загруженных зернистым материалом (гидроантрацит или кварцевый песок), и последующую стадию двухступенчатого химического умягчения (натрий-катионирования), или двух- или трёхступенчатого обессоливания (Н–ОН-ионирования). Естественно, эксплуатация существующих ВПУ, не соответствующих уровню техники XXI века, приводит к высоким эксплуатационным затратам по сравнению с зарубежными аналогами (расход химических реагентов, водопотребление, стоки, энергозатраты, ремонт оборудования и др.).

На стадии предочистки осветление вод проводится в осветлителях, а доосветление – на механических (осветлительных) фильтрах. Примеси вод, не удалённые на этих этапах, поступают на ионитную часть водоподготовительных установок и накапливаются на сильноосновных анионитах II и III ступеней химического обессоливания.

В связи с вышеизложенным практический интерес представляет оценка варианта удаления растворенного железа на стадии доосветления вод на механических фильтрах.

Обзор патентной и технической информации по фильтрующим материалам для очистки от железа и способах их получения показал, что в качестве основы для материалов используются зернистые материалы природного происхождения, которые обрабатываются реагентами для получения на поверхности каталитически активного слоя, который состоит из оксидов марганца и железа. В отличие от известных зарубежных аналогов эти материалы не требуют обработки такими сильными окислителями, как перманганат калия, озон и др.

Получаемые оксидные соединения марганца и железа на поверхности зернистого материала вступают во взаимодействие с соединениями железа, растворенными в воде, с образованием нерастворимых соединений, которые осаждаются на поверхности зернистого материала.

Фильтрующие материалы этого типа эффективно удаляют железо и марганец из питьевой (с 0,76 до 0,10 мг/дм^3), поверхностной (с 1,09 до 0,08 мг/дм^3) и подземной (с 6,7-14,0 до 0,05-0,30 мг/дм^3) воды.

На водоподготовительных установках ТЭС и промышленных предприятиях для очистки природных вод и осветленных вод после коагуляции солями алюминия или известкованием коагуляцией эксплуатируются механические (осветлительные) фильтры насыпного типа различного диаметра и конструкции, и их основным назначением является снижение содержания взвешенных веществ до 1 мг/дм^3. В зависимости от содержания взвешенных веществ и окисляемости для загрузки фильтров применяют загрузку антрацитом, кварцевым песком или двухслойную загрузку кварцевым песком и антрацитом. При двухслойной загрузке принимают 1/3 высоты слоя кварцевого песка и 2/3 слоя антрацита.

При децентрализованной подготовке воды питьевого качества, например при коттеджном строительстве, используются каталитические загрузки для обезжелезивания и удаления марганца из исходной воды как зарубежного, так и отечественного производства. Эти материалы также имеют природную основу и работают на водах с pH от 6 до 9.

В последнее десятилетие на рынке фильтрующих материалов для удаления взвешенных веществ, наряду с различными марками антрацита, появилось несколько марок материала на угольной основе – Пуролат, а также инновационные разработки «Академии перспективных технологий» России – марки АПТ, в том числе АПТ-1 и АПТ-1 Керамопро, предназначенные для удаления железа и взвешенных веществ из вод различного происхождения.

«Академией перспективных технологий» на кафедру были предоставлены образцы двух материалов: АПТ-1 Керамопро и АПТ-1.

Экспериментальная часть включала в себя отработку методики определения железа сульфосалициловой кислотой, оценку чистоты проб для экспериментов, их очистку от железа и определение уровня удаления железа в статическом и динамическом режимах.

Полученные данные по удалению железа в динамических условиях представлены на рисунке. Как видно из рисунка, проскок железа в фильтрат у антрацита начинается с момента запуска колонки в работу, а Пуролат-стандарт и АПТ-1 Керамопро сначала полностью поглощают железо из раствора, а затем начинается проскок железа в фильтрат, причем более интенсивно в случае Пуролат-стандарта.

По данным таблицы был выполнен расчет рабочей обменной емкости этих материалов до проскока ионов железа в фильтрат – $E_р$.

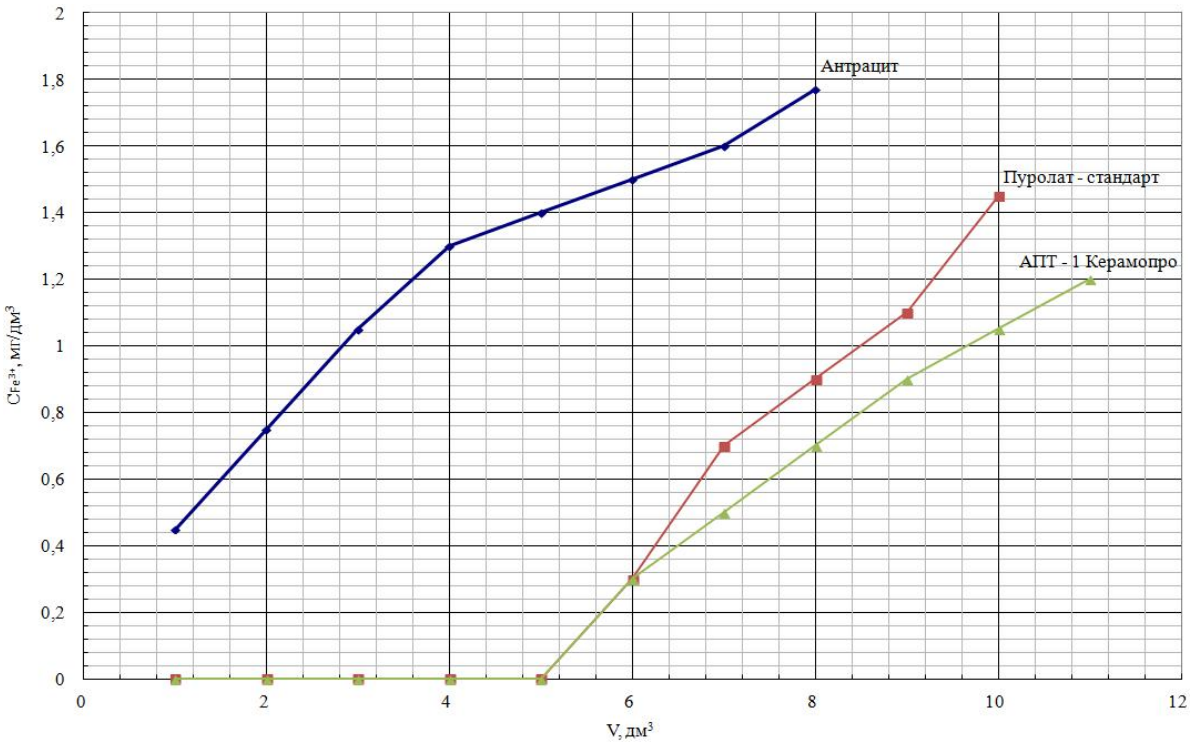

Рисунок. Зависимость содержания Fe^{3+} в фильтратах
от объема пропущенного раствора $FeCl_3$

Оптическая плотность фильтратов и содержание железа в них

Объем фильтрата *V*, дм^3			Оптическая плотность фильтратов, А			Содержание железа в фильтратах, мг/дм^3		
Ан-тра-цит	Пуро-лат-стандарт	АПТ-1 Керамо-про	Ан-тра-цит	Пуро-лат-стандарт	АПТ-1 Керамо-про	Ан-тра-цит	Пуро-лат-стандарт	АПТ-1 Керамо-про
1	1	1	0,09	0,00	0,00	0,45	0,00	0,00
2	2	2	0,14	0,00	0,00	0,75	0,00	0,00
3	3	3	0,17	0,00	0,00	1,05	0,00	0,00
4	4	4	0,22	0,01	0,01	1,30	0,00	0,00
5	5	5	0,24	0,02	0,02	1,40	0,00	0,00
6	6	6	0,25	0,06	0,06	1,50	0,30	0,30
7	7	7	0,26	0,11	0,08	1,60	0,70	0,50
8	8	8	0,31	0,16	0,12	1,77	0,90	0,70
	9	9		0,18	0,14		1,10	0,90
	10	10		0,25	0,17		1,45	1,05
		11			0,21			1,20

$$E_{\text{р}} = \frac{V_{\text{р-ра}} C_{\text{р-ра}}}{V_{\text{сорб}}},$$

где $V_{\text{р-ра}}$ = 5 дм^3; $V_{\text{сорб}}$ = 0,03 дм^3;

$$E_{\text{р}} = \frac{5 \cdot 1{,}75}{0{,}03} = 291{,}67 \text{Fe}^{3+} \frac{\text{мг}}{\text{дм}^3}.$$

Рабочая обменная емкость Пуролат-стандарта и АПТ-1 Керамопро в условиях эксперимента составляет 291,6 мг/дм^3, и эта величина согласуется с данными для аналогичных сорбентов. Оптимальным вариантом для удаления железа из различных вод будет двухслойная загрузка осветлительных фильтров материалами Пуролат-стандарт и АПТ-1 Керамопро. Но это требует дальнейшего экспериментального подтверждения.

Вывод

Установлено, что фильтрующие материалы Пуролат-стандарт и АПТ-1 Керамопро полностью удаляют до 300 мг/дм^3 железа из модельных растворов, а затем происходит проскок ионов железа в фильтрат.

На основании полученных экспериментальных данных предлагается вариант двухслойной загрузки механических фильтров материалами Пуролат-стандарт и АПТ-1 Керамопро в соотношении объемов 2 : 1.

ОСОБЕННОСТИ РАЗРАБОТКИ АЛГОРИТМОВ ВЫПОЛНЕНИЯ РАСЧЕТНЫХ ЗАДАЧ В СОСТАВЕ ФУНКЦИЙ АСУ ТП НА ОБЪЕКТНО-ОРИЕНТИРОВАННОМ ЯЗЫКЕ ПРОГРАММИРОВАНИЯ

Евсеев К. В. – студент
Болдырев И. А. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В энергетике и промышленности применяются задачи расчёта различных параметров, в том числе расчет технико-экономических показателей, оценка пуска/останова оборудования, анализ водно-химического режима и т. д. Некоторые программно-технические комплексы содержат подсистемы для реализации подобных алгоритмов. Однако функциональность таких подсистем не всегда позволяет оптимально выполнять задачи написания, отладки или исполнения алгоритмов расчета. Рассмотрим реализацию алгоритмов для выполнения расчетных задач на примере анализа ведения пуска котлоагрегата энергоблока ГРЭС в формате отдельного программного продукта.

Исходными данными являются значения технологических параметров оборудования энергоблока, полученные с множества датчиков, экспортированные из архивной станции программно-технического комплекса. Основные функции, использующиеся при анализе ведения пуска оборудования, приведены в табл. 1.

В табл. 1: Tin – время начала расчёта; Tfin – время завершения расчёта; N – нормальное значение параметра; limit задаёт границу для функций SojournTimeHigher и SojournTimeLower.

Поскольку информацию в расчётной задаче можно разделить на входные данные, нормативно-справочную, предварительные расчёты, статистическую обработку и оценку за режим, то целесообразно применить объектно-ориентированное программирование и создать класс Data(Данные), который включает в себя следующие поля и методы, табл. 2.

Таблица 1

Перечень основных функций

Имя функции	Аргументы	Описание
GetDataValue		Возвращает значение параметра
MinValue, AveValue, MaxValue	Tin, Tfin	Вычисление наименьшего значения параметра на указанном временном промежутке
Rate	Tin, Tfin	Вычисление скорости изменения параметра, ед./мин
SojournTimeHigher	limit, Tin, Tfin	Расчёт длительности пребывания параметра выше заданной границы
SojournTimeLower	limit, Tin, Tfin	Расчёт длительности пребывания параметра ниже заданной границы
DeviationHigher	N, Tin, Tfin	Расчёт количества отклонений параметра от нормального значения в сторону «больше»
DeviationLower	N, Tin, Tfin	Расчёт количества отклонений параметра от нормального значения в сторону «меньше»

Таблица 2

Структура класса Data

Поля		
Наименование	**Тип**	**Описание**
address	string	Адрес параметра
name	string	Имя параметра
dimension	string	Размерность параметра
Методы		
GetDataInfo()	string	Возвращает адрес, имя, размерность параметра в виде строки

Класс Data является базовым классом для всех типов информации, используемых в задаче. Классы InputData(Входные данные), ReferenceData(Нормативно-справочная информация), OutputData(Выходные данные) наследуют поля и методы класса Data, таким образом, все три класса приобретают поля имени, адреса и размерности и метод GetDataInfo(), который позволяет вывести на дисплей информацию об объекте. Кроме наследования уже имеющихся полей и методов, классы имеют собственные, табл. 3-5.

В табл. 3 поле values представляет собой лист объектов класса Value, содержащего значения времени и параметра.

Таблица 3

Структура класса InputData

Наименование	Тип	Описание
1	**2**	**3**
Поля		
address	string	Адрес параметра
name	string	Имя параметра
dimension	string	Размерность параметра
values	List<Value>	Значение параметра
signalStamp	string	Марка сигнала

Окончание таблицы 3

1	2	3
numberOfValues	int	Количество значений
Методы		
GetDataInfo()	string	Возвращает адрес, имя, размерность параметра в виде строки
GetDataValue()	double	Возвращает значение параметра
MinValue(Tin, Tfin)	double	Возвращает наименьшее значение параметра на промежутке от Tin до Tfin
AveValue(Tin, Tfin)	double	Возвращает среднее значение параметра на промежутке от Tin до Tfin
MaxValue(Tin, Tfin)	double	Возвращает наибольшее значение параметра на промежутке от Tin до Tfin
Rate(Tin, Tfin)	double	Возвращает скорость изменения значения параметра, ед./мин на промежутке от Tin до Tfin
SojournTimeHigher (limit, Tin, Tfin)	TimeSpan	Возвращает время пребывания параметра выше заданной границы на промежутке от Tin до Tfin, мин
SojournTimeLower (limit, Tin, Tfin)	TimeSpan	Возвращает время пребывания параметра ниже заданной границы на промежутке от Tin до Tfin, мин
DeviationHigher (N, Tin, Tfin)	int	Возвращает количество отклонений параметра от нормального значения в сторону «больше»
DeviationLower (N, Tin, Tfin)	int	Возвращает количество отклонений параметра от нормального значения в сторону «меньше»

Таблица 4

Структура класса ReferenceData

Поля		
Наименование	**Тип**	**Описание**
address	string	Адрес параметра
name	string	Имя параметра
dimension	string	Размерность параметра
value	double	Значение параметра
Методы		
GetDataInfo()	string	Возвращает адрес, имя, размерность параметра в виде строки
GetDataValue()	double	Возвращает значение параметра

Таблица 5

Структура класса OutputData

Поля		
Наименование	**Тип**	**Описание**
address	string	Адрес параметра
name	string	Имя параметра
dimension	string	Размерность параметра
value	double	Значение параметра
Методы		
GetDataInfo()	string	Возвращает адрес, имя, размерность параметра в виде строки
GetDataValue()	double	Возвращает значение параметра

Пусть дан массив данных технологического параметра «Относительное расширение РВД, мм» (табл. 6); необходимо определить параметр «Минимальное значение относительного теплового расширения РВД, мм».

Таблица 6

Массив данных параметра «Относительное расширение РВД, мм»

Время	Значение
12.11.2009 14:00:40	1.9
12.11.2009 14:04:06	2
12.11.2009 14:04:21	1.9
12.11.2009 14:05:06	1.9
12.11.2009 14:05:40	1.9
12.11.2009 14:10:40	1.9
12.11.2009 14:15:14	1.9
12.11.2009 14:15:40	1.8
12.11.2009 14:20:40	1.8

Таким образом, чтобы получить, например, длительность пребывания относительного расширения РВД в диапазоне ≥ 1.9, необходимо создать объект, присвоив ему значения адреса, имени, размерности и объект с исходными данными, вызывающий нужный метод из табл. 1. В результате получим объект, содержащий результат вызываемого метода, и с помощью метода GetDataValue() это значение можно использовать в дальнейшем (рис. 1).

```
InputData raw = new InputData("1.1", "Относительное расширение РВД",
    "мм", values, "50MAD11CG001");
OutputData exampleSojHi = new OutputData("2.1", "Длительность пребывания параметра в " +
    "диапазоне >= 1.9"
    , "Время", raw.SojournTimeHigher(1.9D, "12.11.2009 14:00:40", "12.11.2009 14:20:35"));
Console.WriteLine(exampleSojHi.GetDataInfo());
Console.WriteLine(exampleSojHi.GetDataValue());
```

Рис. 1. Пример реализации алгоритма расчёта параметра

Результатом написанного выше решения будет вывод в консоль двух строк: информация о параметре и его значение (рис. 2).

```
Адрес: 2.1, Имя: Длительность пребывания параметра в диапазоне >= 1.9, Размернос
ть: Время
00:15:00
```

Рис. 2. Результат расчёта

Таким образом, может быть произведено любое вычисление параметра (в рамках поставленной задачи); результатом вычисления будет являться значение, которое возвращает метод класса InputData, вызываемый объектом этого же класса, что позволяет избежать его имплементации другими классами и обеспечивает типобезопасность программы [1].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Джозеф Альбахари. C# 6.0. Справочник. Полное описание языка / Джозеф Альбахари, Бен Альбахари. – O′Reilly, 2017. – 1040 с.

МЕТОДЫ ПОВЫШЕНИЯ РЕСУРСОВ АККУМУЛЯТОРНЫХ БАТАРЕЙ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ПОДСТАНЦИИ

Сысоева Ю. В. – студент
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Волжском

На подстанции при организации электропитания оборудования широко применяются аккумуляторные установки. Они служат для бесперебойного и качественного электропитания оборудования связи, обеспечивают запуск и работу автоматики собственных электростанций и агрегатов при перерывах внешнего электроснабжения. В аккумуляторных установках в основном применяют стационарные свинцово-кислотные элементы и моноблоки.

Обнаружить различие напряжения на отдельных батареях в режиме заряда и постоянного заряда, выявить короткое замыкание и нагрев аккумулятора выше допустимого значения; проконтролировать уровень электролита – это задачи повышения ресурса аккумуляторных батарей, которые ставятся для обеспечения нормального функционирования и предотвращения неисправностей аккумуляторных батарей.

Основные подходы решения этих задач

1. Для определения нагрева батареи выше допустимого значения все аккумуляторы должны быть оборудованы термодатчиками со схемой управления. Эти датчики формируют аварийный сигнал при превышении заданного порогового уровня. В качестве термодатчиков можно использовать терморезисторы с отрицательным температурным коэффициентом (они имеют высокую чувствительность, компактность и дешевы).

2. При контроле уровня электролита можно использовать оптические датчики уровня. Оптические датчики основываются на направлении луча света на фотоприемник таким образом, что при отсутствии жидкости луч не формирует выходной сигнал. Аккумуляторные установки имеют прозрачный корпус, и луч света, проходящий под углом в жидкой среде и в воздухе, будет испытывать разное преломление.

3. Для контроля напряжения и обнаружения короткого замыкания применяется измерительная схема, к которой поочередно подключаются батареи при помощи реле времени. Такая схема контролирует напряжение, которое при коротком замыкании стремится к нулю, а в остальных режимах находится в пределах режима работы аккумуляторной батареи. Измеряемое напряжение может контролироваться с использованием компараторов или микропроцессорных устройств при номинальной нагрузке.

4. Еще одним решением задач методов повышения аккумуляторных батарей является доработка зарядно-выпрямительного устройства. Так, например, зарядка знакопеременным током с соотношением зарядного и разрядного тока 10:1 существенно снижает сульфатацию пластин.

Сульфатация пластин (износ) – это появление на пластинах крупнокристаллического сернокислого свинца. Кристаллы сульфата свинца оказывают немалое влияние на протекание химических реакций внутри аккумуляторной батареи и, как следствие, – снижение ее емкости.

Основными причинами износа аккумуляторной батареи являются:

1) температура свыше 40 градусов Цельсия;
2) высокая нагрузка при низкой температуре;
3) единичный долгий перезаряд или частые недолгие перезаряды;
4) частая недозарадка батарей;
5) длительное хранение в разряженном состоянии;
6) глубокий разряд (ниже 10,5 В).

Рассмотрим способы и методы восстановления свинцово-кислотных аккумуляторных батарей.

Восстановление емкости аккумуляторов. Самым простым и распространенным способом является многократная зарядка малым током с перерывами между зарядами. Напряжение на батарее повышается к концу первого и последующих зарядов, и аккумулятор перестает воспринимать заряд. Во время перерыва происходит выравнивание электродных потенциалов на поверхности и в глубине активной массы пластин; в это время более плотный электролит диффундирует из-под пластин в межэлектродное пространство, тем самым снижая напряжение на батарее. В процессе циклического заряда происходит набор емкости, и плотность электролита повышается. Когда плотность будет находиться в пределах нормируемого значения для данного аккумулятора и напряжение на одной секции достигнет пределов 2,5-2,7 В, заряд необходимо прекратить.

Восстановление аккумуляторных батарей кратковременным импульсом тока большой величины. Если пластины одной из банок батареи каким-либо образом замкнулись и их заряд становится невозможным, то причину замыкания можно устранить путем выжигания проблемного участка. С этой целью аккумуляторную батарею необходимо подключить к источнику с высоким током, не менее 100 А (например, сварочный аппарат с выпрямительным диодом на выходе), и замкнуть цепь на время, равное 1-2 секунды. За это время из-за сильного перегрева причина замыкания исчезает.

Восстановление обслуживаемых аккумуляторных батарей. Рассмотрим суть данного способа. Необходимо вылить весь электролит и залить в аккумуляторную батарею дистиллированную воду до уровня покрытия пластин. После этого подключить к батарее постоянное напряжение (примерно 14 В) и оставить на время, равное 1-2 часам. По истечении времени прислушиваемся к аккумулятору и, если слышим, что он бурлит, немного снижаем напряжение. Оставляем батарею на полчаса и повторяем предыдущие действия, при этом ставится задача поддержания такого напряжения на батарее, чтобы газовыделение было минимально. Через одну неделю необходимо заменить дистиллированную воду новой и продержать под таким же напряжением еще одну неделю. Если за это время плотность электролита не меняется, то можно прекратить

дисульфатацию, заменить дистиллированную воду электролитом нормальной плотности и зарядить аккумуляторную батарею зарядным током до номинальной емкости согласно рекомендациям в паспорте.

Быстрый способ восстановления емкости аккумуляторной батареи. Такой способ имеет высокую эффективность и оперативность. Разряженный аккумулятор предварительно заряжают. Из заряженного аккумулятора сливают электролит, промывают 2-3 раза водой и заливают аммиачный раствор трилона Б. Время такой десульфатации раствором 40-60 мин. Этот процесс сопровождается выделением газов и возникновением на поверхности раствора мелких брызг. Если газоведеление прекратилось, то процесс завершается, батарею промывают не менее трех раз дистиллированной водой, заполняют электролитом нормальной плотности и заряжают аккумуляторную батарею зарядным током до номинальной емкости согласно рекомендациям в паспорте.

На практике наибольшее распространение получил метод доработки зарядно-выпрямительного устройства или же замена устройства на более эффективное. А наиболее перспективный способ с точки зрения восстановления емкости аккумуляторной батареи – это быстрой способ восстановления емкости батареи с применением аммиачного раствора, так как он имеет высокую эффективность и оперативность.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ 26881-86. Аккумуляторы свинцовые стационарные. Общие технические условия. – М. : Изд-во стандартов, 1986. – 166 с.

2. РД 30.50.502-91. Инструкция по эксплуатации стационарных свинцово-кислотных аккумуляторных батарей. – М. : Изд-во стандартов, 1991. – 29 с.

3. Таганова, А. А. Свинцовые аккумуляторные батареи: стационарные, тяговые, для портативной аппаратуры: Справочник / А. А. Таганова, А. Е. Семенов. – СПб. : Химиздат, 2014.

4. Ершов, Ю. А. Релейная защита и автоматика электрических систем. Расчет релейной защиты объектов электроэнергетической системы : Учебное пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина. – Красноярск, КГТУ, 2012. – 126 с.

ПОВЫШЕНИЕ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ ТУРБОАГРЕГАТОВ

Лёгкий А. Д. – аспирант
Злобин В. Н. – канд. техн. наук, доцент
ИАиС ВолгГТУ, г. Волгоград

В настоящие время на Волжской ТЭЦ-2 в турбоагрегате ПТ-140/165-130/15-3 используется семь нерегулируемых отборов пара, хотя заводом-изготовителем для данной установки было рассчитано и сконструировано восемь нерегулируемых отборов. Это не дает в полной мере использовать весь потенциал данного оборудования.

Турбина паровая теплофикационная ПТ-140/165-130/15-3 с конденсационной установкой и регулируемыми отборами пара предназначена для непосредственного привода турбогенератора типа ТВВ-160-2УЗ мощностью 165 МВт с частотой вращения ротора 50 $с^{-1}$ (3000 об./мин.) и используется для отпуска пара и тепла для нужд производства и отопления.

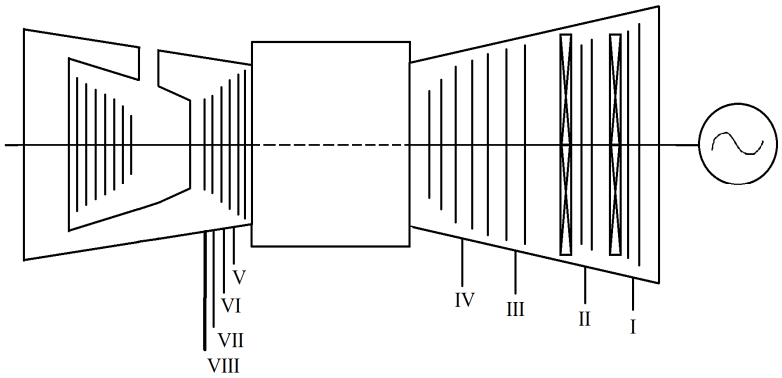

Рис. 1. Схема ПТ-140/165-130/15-3

Также она имеет два нерегулируемых теплофикационных отбора пара – верхний и нижний, предназначенные для ступенчатого подогрева сетевой воды в сетевых подогревателях турбоустановки и добавочной воды в станционных теплообменниках. Регулируемый производственный отбор пара имеет номинальное давление 1,47 МПа.

Помимо этого, турбина имеет 7 нерегулируемых (регенеративных) отборов пара, предназначенных для подогрева конденсата и подпиточной воды в подогревателях низкого давления (с I по IV) и даэраторе, подогревателях высокого давления (с V по VII) и нерегулируемый отбор пара после 7-й ступени (VIII отбор) для внешнего теплопотребления производительностью 90 т/ч.

Градирня предназначена для охлаждения циркуляционной воды, нагретой в конденсаторах турбин, маслоохладителях и газоохладителях турбогенераторов и питательных насосов. Охлаждение воды в градирне происходит за счет испарения части воды теплом, отнимаемым от основной массы воды, вследствие чего температура неиспарившейся воды снижается. Термическим пределом охлаждения воды является температура конденсации водяных паров в воздухе, то есть температура по мокрому термометру.

Башенная вантовая градирня состоит из вытяжной башни, несущего пилона, водоохладительного устройства и водосбросного бассейна. Вытяжная башня выполнена в металле с вантовым каркасом в виде гиперболоида вращения, обшита алюминиевым профилированным листом. Конструкция вантового каркаса подвешена за металлический пилон высотой 40,5 м. Оросители водоохладительного устройства установлены на железобетонные стенки. Натяжение вантового каркаса осуществляется весом железобетонного нижнего кольца массой 400 т. Движение кольца происходит свободно по направляющим металлическим колоннам. Водосбросный бассейн имеет глубину 1,6 м. Резервуар бассейна выполнен из монолитного железобетона.

Площадь орошения – 1200 м^2.

Средняя гидравлическая нагрузка – 10 050 м^3/ч.

Средняя плотность орошения – 8,4 м^3/м^2.

Оросительное устройство градирни выполнено двухъярусным из плоских асбоцементных листов. Оросители блочного типа.

Водораспределительное устройство расположено по радиально-секторной схеме и состоит из двух водораспределительных колец и стальных труб Ду-800 мм, Ду-600 мм. Двенадцать радиальных, магистральных и рабочих труб расположены в тангенциальном направлении относительно водораспределительных труб.

В зимний период работы оборудования при отрицательных температурах наружного воздуха происходит обмерзание шиберов, створок градирни и несущих конструкций ввиду высокого перепада температур воды в чаше градирни и температуры наружного воздуха, вследствие чего створки градирни и поры покрываются толстым слоем льда, что приводит к ухудшению коэффициента теплоотдачи циркуляционной воды, снижению КПД градирни и излишнему напряжению конструкции градирни в целом.

Предлагается наиболее оптимальный метод модернизации градирни путем установки паровых форсунок по периметру градирни и местоположению шиберов, а также подвода пара к этим форсункам, от восьмой нерегулируемой ступени паровой турбины ПТ-140/165-130/15-3 для предотвращения обледенения градирни.

Для подвода пара к паровым форсункам градирни при площади орошения 1200 м^2 необходимо давление пара на форсунку 0,16-0,2 МПа. Давление в VIII нерегулируемом отборе пара составляет 3,2 МПа, что требует дополнительной редукционной установки от отбора турбины к паровым форсункам.

Регулятор давления, управляемый автоматически задатчиком или вручную на щите управления, поддерживает необходимое давление на выходе из РУ. Сеточное устройство обеспечивает снижение дваления пара после РД, рис. 2.

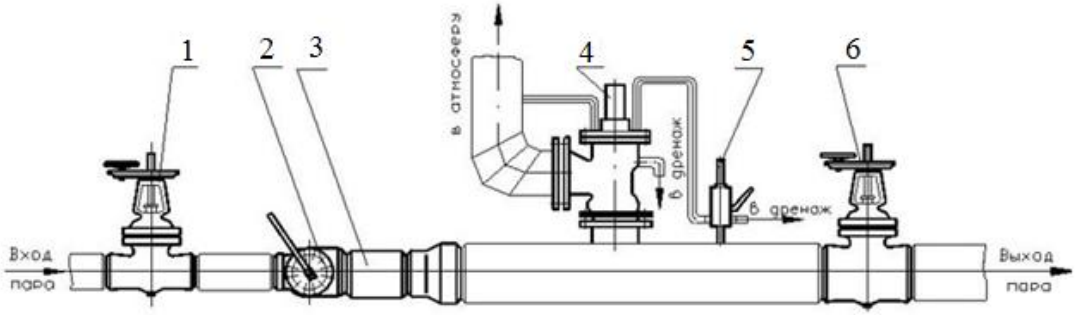

Рис. 2. Схема редукционной установки (РУ):
1 – задвижка на входе пара с VIII отбора турбины; 2 – регулятор давления (РД);
3 – сеточное устройство; 4 – предохранительный сбросной клапан; 5 – дросель;
6 – задвижка на выходе из РУ

При повышении давления в РУ срабатывает предохранительный сбросной клапан.

Преимуществом этого метода является то, что данная модернизация обеспечивает необходимое давление пара на входе в паровые форсунки и разгружает давление в цилиндре паровой турбины при максимальных нагрузках.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ПТЭ ПТ-140/165-130/15-3 ст. № 2. г. Волжский, 2016 год.
2. ПТЭ по эксплуатации градирни № 1. № 2. г. Волжский, 2016 год.
3. Правила эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей. Правила техники безопасности при эксплуатации теплопотребляющих установок и тепловых сетей потребителей. Начальник Госэнергонадзора Б. П. Варнавский. 7 мая 1992 года.
4. Стационарный паровые турбины / А. Д. Трухний; С. С. Лосев. – М. : Энергроиздат, 1981.
5. Фокин, В. М. Основы энергосбережения и энергоаудита / В. М. Фокин. – М. : Машиностроение-1, 2006. – 256 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА МЕТОДОВ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОХЛАЖДЕНИЯ БАШЕННОЙ ГРАДИРНИ

Бунин Д. С. – магистрант
Одоевцева М. В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В соответствии с основными положениями «Энергетической стратегии России на период до 2035 года» и ФЗ-261 «Об энергосбережении и повышении энергетической эффективности», приоритетными направлениями развития энергетики являются повышение энергоэффективности, надежности и экологичности генерирующих производств [1, 2].

Одной из проблем снижения выработки электроэнергии электростанциями, снижения их установленной мощности и ухудшения экологичности является недостаточное охлаждение конденсаторов энергоблоков вследствие неэффективности работы систем оборотного водоснабжения (СОВС).

Известно, что потери вырабатываемой энергии в значительной степени возникают за счет неэффективного тепломассообмена, обусловленного неоптимальной динамикой взаимодействия гидравлических и аэродинамических потоков в градирных теплообменниках. Следствием этого является недоохлаждение оборотной воды в градирне и недостаточный уровень вакуума в конденсаторе, что отражается в целом на КПД станции.

В связи с этим разработка совокупности методов и подходов, направленных на повышение надежности и эффективности эксплуатации системы оборотного водоснабжения электростанций, является актуальной.

Действующая схема циркуляционной воды Волжской ТЭЦ приведена на рис. 1.

На Волжской ТЭЦ действуют две автономные системы техводоснабжения 1-й и 2-й очереди.

В состав 1-й очереди входят:

• градирни № 1, 2;

• цирк. водоводы с арматурой и колодцами: всасывающий А и Б и сбросной А и Б – с узлом подпитки от коллекторов сырой воды А и Б;

• циркуляционные насосы (ЦН) типа Д6300-27-3 – 2 шт.;

• циркуляционные насосы (ЦН) типа 32Д-19 – 4 шт.;

• насосы технической воды (НТВ) типа 12 НДС – 3 шт., типа 200Д60 – 1 шт.;

• насосы газоохладителей (НГО) типа К290-30 – 2 шт.;

• насосы газоохладителей (НГО) типа 8К-I2 – 4 шт.

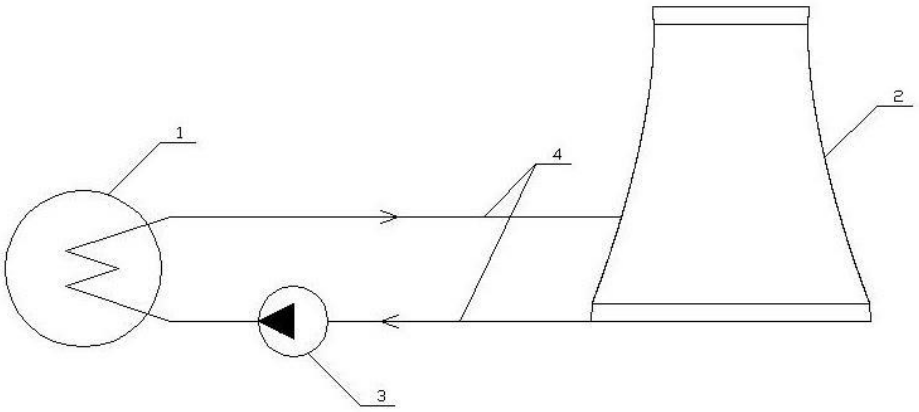

Рис. 1. Принципиальная схема СОВС:
1 – конденсатор; 2 – градирня башенного типа;
3 – группа циркуляционных насосов; 4 – водоводы

Градирни № 1, 2 брызгальные, башенные, каждая с площадью орошения 1280 м^2, производительностью 9200 м^3/ч каждая и охлаждающей способностью 8 °С. Высота градирни 49,5 м, диаметр вписанной окружности бассейна 40 м.

Градирни предназначены для охлаждения циркуляционной воды, нагретой в конденсаторах турбин, маслоохладителях и газоохладителях турбогенераторов и питательных насосов. Охлаждение воды в градирнях происходит за счет испарения части воды теплом, отнимаемым от основной массы воды, вследствие чего температура неиспарившейся воды снижается.

При обследовании оборудования выявлено [4], что на градирнях отсутствуют оросительные устройства; около 50 % из установленных сопел разрушены или имеют засорения; происходит перелив охлаждающей воды через центральный водораспределительный; трубопроводы системы водораспределения частично засорены и подвержены коррозии; отсутствуют водоулавливающие устройства; отсутствуют ветровые перегородки; разрушены и негерметичны поворотные щиты, управление щитами осуществляется вручную.

На основании результатов обследования и с учетом выявленных конструктивных недостатков оборудования целесообразно провести мероприятия

по модернизации градирен первой очереди на Волжской ТЭЦ, включающие: замену системы водораспределения; монтаж оросительного устройства; монтаж водоулавливающего устройства; монтаж водоотбойного экрана по периметру градирен; монтаж воздухорегулирующего устройства.

Анализ температуры охлаждающей воды в среднем по месяцам за 2016 год первой очереди Волжской ТЭЦ представлен на рис. 2.

Водораспределительное устройство является технологическим элементом градирни, во многом определяющим ее эффективную и надежную работу. Оно должно обеспечивать равномерное распределение воды по оросителю при небольших энергозатратах, не создавая ощутимых препятствий проходу и распределению потока воздуха.

От способа разбрызгивания и конструкции разбрызгивающих сопел во многом зависит величина активной поверхности оросителей, охлаждающая эффективность градирни, энергозатраты собственных нужд на преодоление гидравлического сопротивления.

Замена системы водораспределения позволит увеличить скорость выброса и обеспечит: очистку системы; устойчивую работу в широком диапазоне изменения давления воды перед соплами (от 0,3 до 4 м вод. ст.); оптимальный состав капельной фракции разбрызгиваемой воды, снижающий ее унос; эффективное и равномерное распределение воды по всей поверхности оросителя градирни.

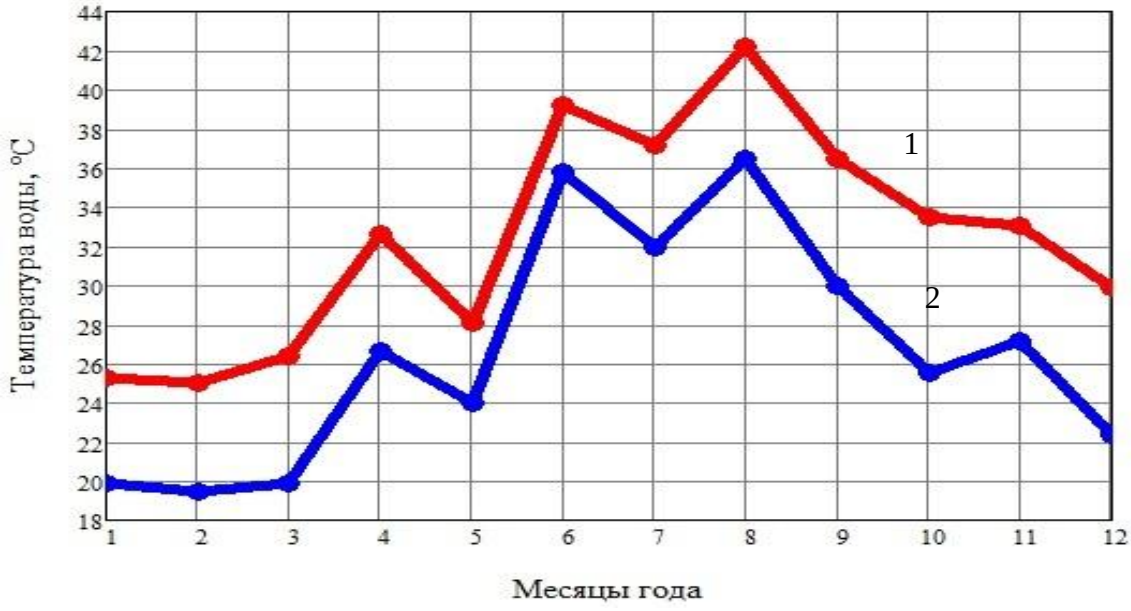

Рис. 2. График температур циркуляционной воды первой очереди за 2016 год, где 1 – температура циркуляционной воды на входе в градирню; 2 – температура циркуляционной воды на выходе из градирни

Оросители являются основным конструктивным элементом градирни, определяющим ее охлаждающую способность. Конструкция оросителя должна обеспечивать получение достаточной площади поверхности охлаждения при оптимальном аэродинамическом сопротивлении. Отсутствие оросительного

устройства приводит к значительному снижению охлаждающей эффективности градирен 3,0-4,5 °С.

При проектировании систем оборотного водоснабжения для определения расхода добавочной воды (для восполнения ее потерь) исходили из предположения, что все тепло отнимается от воды только за счет испарения и тогда можно написать

$$G_{\text{и}} r \approx G_{\text{ж}} \Delta t c_{\text{ж}}, \tag{1}$$

где $r = 2493$ кДж/кг – удельная теплота парообразования.

Отсюда количество испарившейся воды в процентах от общего расхода циркуляционной воды будет определяться формулой

$$P_1 = \frac{G_{\text{и}}}{G_{\text{ж}}} 100 = \frac{\Delta t c_{\text{ж}}}{r} 100 = a \Delta t, \tag{2}$$

где $a = \frac{c_{\text{ж}}}{r} 100$ [3].

При испарении 1 % воды температура оставшейся массы понижается на 5,48 °С.

Количество испарившейся воды в процентах от общего расхода циркуляционной воды для существующей градирни

$$P_1 = 0{,}1489 \cdot (30 - 25) = 0{,}74\,\%.$$

Количество испарившейся воды в процентах от общего расхода циркуляционной воды для модернизированной градирни

$$P_2 = 0{,}1489 \cdot (30 - 22) = 1{,}2\,\%.$$

Для существующей градирни температура воды за счет испарения уменьшалась на 4 °С. Для модернизированной градирни температура воды за счет испарения уменьшится на 6,58 °С.

$$\Delta T = T_2 - T_1 = 6{,}58 - 4 = 2{,}58\,°C. \tag{3}$$

За счет испарения и прохождения воды по оросителю температура воды дополнительно охладится на 2,58 °С.

При охлаждении воды в градирнях происходит потеря воды за счет испарения и уноса капельной влаги с уходящим воздухом. Восходящий поток влажного воздуха при прохождении через градирню увлекает мелкие капли и выносит их за ее пределы. Вынос капель воды вызывает увлажнение расположенных поблизости от градирен сооружений, а также потери воды в системе оборотного водоснабжения предприятия. Для снижения потерь воды вследствие уноса капельной влаги с уходящим воздухом в градирнях всех типов предусматриваются водоуловители. Капельный унос с градирни составляет около 1 % от общего расхода циркуляционной воды для существующей градирни без водоулавливающего устройства.

После модернизации градирни и установки водоуловителя капельный унос будет составлять 0,01 % от общего расхода циркуляционной воды, что снизит потери воды в системе и сократит количество подпиточной воды.

Рассчитаем потери воды и экономический эффект при условии, что будут работать две градирни 8760 часов, то есть целый год.

Потери воды рассчитываются по формуле

$$П_{у} = yD/100t_{р}, \quad (4)$$

где y – капельный унос, %; D – расход через градирню; $t_{р}$ – время работы градирни за год.

$$П_{у_1} = y_1 D/100t_{р} = 2 \cdot 1 \cdot 8000/100 \cdot 8760 = 1\,401\,600 \text{ т.}$$

После установки водоуловителей и модернизации градирни потери составят

$$П_{у_2} = y_2 D/100t_{р} = 2 \cdot 0{,}01 \cdot 8000/100 \cdot 8760 = 14\,016 \text{ т.}$$

Экономия воды составит

$$\Delta П = П_{у1} - П_{у_2} = 1\,401\,600 - 14\,016 = 1\,387\,584 \text{ т.} \quad (5)$$

При цене на речную воду 4,99 руб./т в 2018 г. экономический эффект составит

$$Э_{Э} = \Delta П \cdot Ц = 1\,387\,584 \cdot 4{,}99 = 6\,924\,044 \text{ руб.} \quad (6)$$

Дополнительная выработка электроэнергии ΔN турбиной ст. № 1 (2) составит 405 кВт согласно [5]. Планируемая средняя продолжительность работы турбоагрегата ст. № 1 (2) составляет 8760 ч.

Дополнительная выработка электроэнергии за счет модернизации

$$\Delta Э = \Delta N_2\, t_2 = 405 \cdot 8760 = 3547{,}8 \text{ МВт/год.} \quad (7)$$

Экономия условного топлива за год

$$\Delta B = \Delta Э \cdot b_{к} = 3547{,}8 \cdot 407{,}653/1000 = 1446{,}27 \text{ т у.т./год,} \quad (8)$$

где $b_{к} = 407{,}653$ г/кВт·ч – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии по конденсационному циклу средний за год.

При цене за 1 т у.т. в 2018 г. 4516,18 руб./т у.т. годовая экономия топлива составит

$$Э_{Т} = \Delta B \cdot Ц_{Т} = 1446{,}27 \cdot 4516{,}18 = 6\,531\,616 \text{ руб.} \quad (9)$$

Суммарная экономия за счет модернизации градирен составит [6]:

$$Э_{год} = Э_{Т} + Э_{Э} = 6\,531\,616 + 6\,924\,044 = 13\,455\,660 \text{ руб.} \quad (10)$$

Термический КПД градирни

$$\eta_{\text{Т}} = \Delta t/(\Delta t + \delta), \qquad (11)$$

где Δt – перепад температур в градирне, °С; δ – разность температуры охлажденной воды и температуры воздуха по смоченному термометру, °С.

Термический КПД до модернизации градирни

$$\eta_{\text{Т}} = 5/25 \cdot 100 = 20\,\%.$$

Термический КПД после модернизации градирни

$$\eta_{\text{Т}} = 8/22 \cdot 100 = 36{,}4\,\%.$$

Результаты расчетов приведены в таблице.

Величина	**Ед. изм.**	**После модернизации**
Экономия воды	т/год	1 387 584
	руб./год	6 924 044
Экономия топлива	т у.т./год	1446,27
	руб./год	6 531 616
Суммарная экономия	руб./год	13 455 660
Термический КПД градирни	%	36,4

Комплексная реконструкция градирен № 1, 2 первой очереди Волжской ТЭЦ позволит увеличить охлаждающую эффективность до 8 °С, снизить капельный унос до 0,01 % от общего расхода воды и увеличить КПД всей станции в целом. Экономия воды в год будет составлять 1 387 584 т, или 6 924 044 руб. Экономия топлива в год будет составлять 1446,27 т у.т., или 6 531 616 руб. Термический КПД после модернизации градирни вырастет и будет составлять 36,4 %. Экономия денежных средств в целом для станции за год составит 13 455 660 руб.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : https://minenergo.gov.ru/node/1920, свободный. – Загл. с экрана.

2. [Электронный ресурс]. – Режим доступа : http://base.garant.ru/12171109/, свободный. – Загл. с экрана.

3. Пособие по проектированию градирен (к СНиП 2.04.02-84). – М. : ЦИТП Госстроя СССР, 1987.

4. Технический отчет «Испытания систем технического водоснабжения 1 и 2 очереди Волжской ТЭЦ».

5. «Нормативно-техническая документация по топливоиспользованию филиала ОАО «ЮГК ТГК-8» «Волгоградская генерация» Волжской ТЭЦ.

6. РД 153-34.1-09.321-2002 «Методика экспресс-оценки экономической эффективности энергосберегающих мероприятий на ТЭС».

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПОДГОТОВКИ ОБЕССОЛЕННОЙ ВОДЫ МЕТОДОМ ОБРАТНОГО ОСМОСА

Гурин А. А., Ковалёв А. А. – магистранты
Одоевцева М. В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В настоящее время при создании новых систем водоподготовки отдается предпочтение мембранным методам, в том числе и обратному осмосу [1].

К преимуществам обратного осмоса относятся: расход энергии только на работу насосного оборудования; незначительное применение реагентов; небольшие габариты установки; высокое качество очистки (до 96-99 %); возможность высокой степени автоматизации при практически непрерывной работе обессоливающей установки. Эффективность эксплуатации установок обратного осмоса зависит от качества исходной воды. Обратноосмотические мембраны чувствительны к загрязнениям. Качество обессоленной воды изменяется от температуры, загрязнения, срока и качества обслуживания мембран [2]. Компенсация колебаний качества пермеата выполняется за счет включения в схемы подготовки воды резервных установок и высоких расходов воды на собственные нужды. Анализ опыта эксплуатации уже существующих систем очистки, работающих в данном регионе, позволит сократить количество ошибок при проектировании водоподготовок на базе мембранных установок и получить обессоленную воду требуемого качества.

Схема действующей установки обессоливания воды приведена на рис. 1.

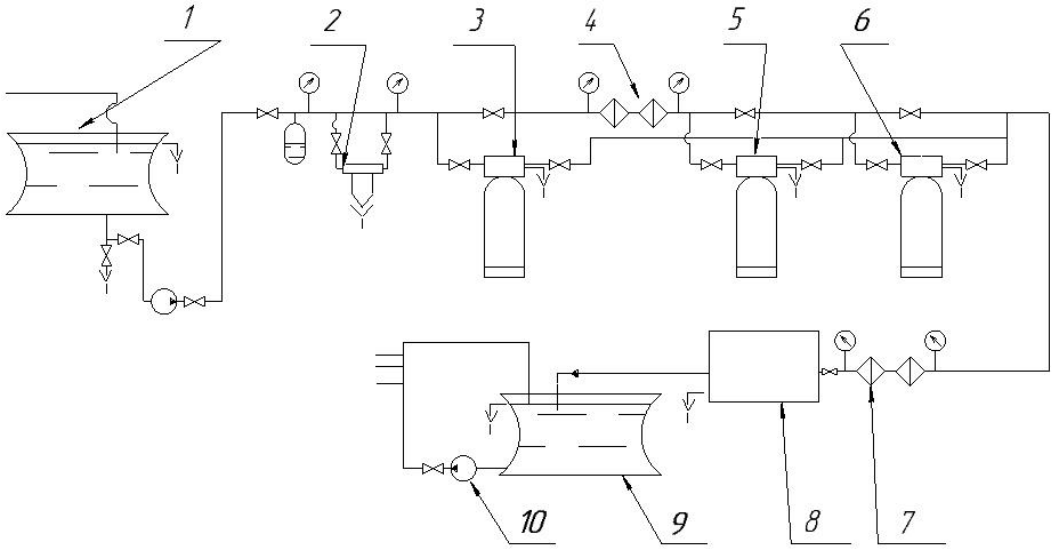

Рис. 1. Схема действующей установки обессоливания воды:
1 – емкости водопроводной воды; 2 – самопромывной фильтр 100 мкм;
3 – песчано-гравийный фильтр BIRM; 4 – фильтры 50 и 20 мкм;
5 – Na-катионитный фильтр; 6 – угольный фильтр; 7 – фильтры 5 и 1 микрон;
8 – установка обратного осмоса; 9 – емкость пермеата; 10 – насос пермеата

Водопроводная вода, предварительно прошедшая грубую очистку на сетчатом фильтре, насосом направляется на сетчатый 100 мкм фильтр и далее на песчано-гравийный фильтр BIRM. Фильтр обеспечивает задержание окисленного железа и других нерастворимых примесей. После фильтра обезжелезивания вода поступает на фильтр, загруженный активированным углем. Здесь происходит удаление органических соединений, растворенных газов и свободного хлора.

Для умягчения водопроводной воды в схеме предусмотрен Na-катионитный фильтр. Установка умягчения воды предназначена для обмена катионов Ca^{2+}, Mg^{2+} на катионы Na^{+}, для чего предварительно катионит регенерируют поваренной солью NaCl.

Одноступенчатое Na-катионирование обеспечивает остаточную жесткость воды до 0,1 мг-экв/дм^3. После натрий катионитовых фильтров умягченная вода поступает на патронный фильтр тонкой очистки 10 микрон и далее непосредственно на одноступенчатую УОО.

Умягченная вода подается по трубопроводу на вход установки обратного осмоса (УОО). УОО состоит из трех мембранных модулей, соединенных последовательно. УОО предназначена для получения частично-обессоленной воды. В аппаратах обратного осмоса установлено по одной мембране Filmtec TW30-4040. Производитель мембран – DOW Chemical, США; диаметр 4 дюйма; давление 15 бар; производительность 9,1 м^3 в сутки (2400 галлон); срок использования 12-36 мес.; селективность 99,5 %; конверсия 54-75 % в зависимости от качества исходной воды [3].

После УОО пермеат поступает в бак. Из бака обессоленная вода направляется на технологические нужды. Ввиду высоких требований к качеству пермеата установки обратного осмоса подключаются последовательно. Оценка эффективности работы баромембранной установки осуществлялась по величинам: конверсия и электропроводность пермеата УОО в период с 2012 по 2016 год.

По результатам исследования (рис. 2, 3, 4) можно заключить, что действующая установка работает с достаточно высоким показателем конверсии – 74 % в летние месяцы. Высокое значение конверсии в первый год эксплуатации УОО не повлияло на качество пермеата. Однако в 2016 году качество пермеата ухудшилась в два раза (до 10 мкСм/см).

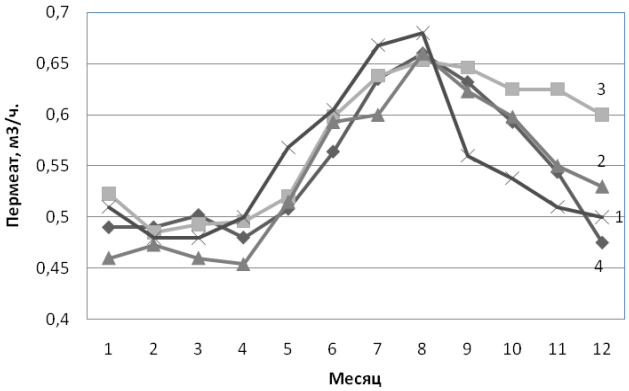

Рис. 2. Изменение расхода пермеата за 2013-2016 гг.:
1 – 2013 г., 2 – 2014 г., 3 – 2015 г., 4 – 2016 г.

Эффективность эксплуатации установки обратного осмоса оценивалась с применением программы Hydranautics. Были исследованы действующий и предлагаемые режимы (табл. 1, 2). Величина производительности УОО по пермеату принималась постоянной.

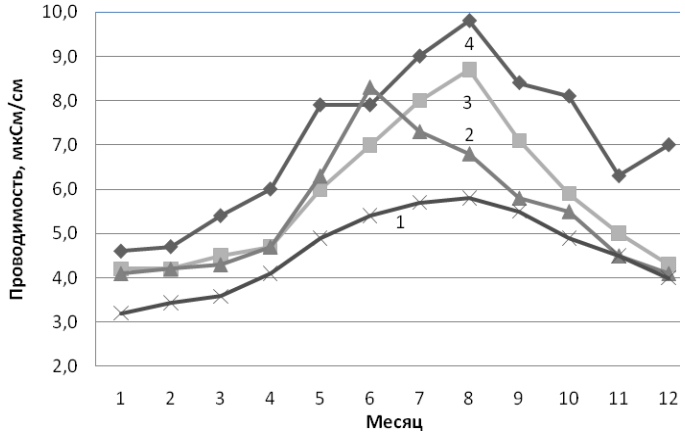

Рис. 3. Изменение проводимости пермеата за 2013-2016 гг.:
1 – 2013 г., 2 – 2014 г., 3 – 2015 г., 4 – 2016 г.

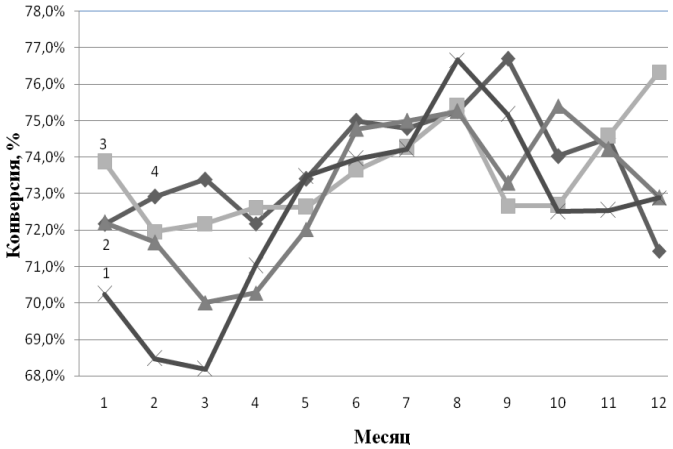

Рис. 4. Изменение конверсии за 2013-2016 гг.:
1 – 2013 г., 2 – 2014 г., 3 – 2015 г., 4 – 2016 г.

Таблица 1

Технологические параметры установки обратного осмоса в действующем и предлагаемых режимах

Показатели	Действующий режим	Режим 1	Режим 2
$pH_{исх}$	7,6	7,6	7,6
$G_{перм}$, м^3/ч	0,57	0,57	0,57
$G_о$, м^3/ч	0,8	1,1	1,8
$G_{конц}$, м^3/ч	0,2	0,6	1,3
t, °С	10	10	10
Конверсия, %	74	50	31
Количество мембран	3	3	3
Индекс Ланжелье	0,2	–0,6	–1,0

Таблица 2

Рассчитанные показатели качества пермеата и концентрата установки обратного осмоса при действующем и предлагаемых режимах

Показатели, ионы	Исходная вода	Действующий		Режим 1		Режим 2	
		П	К	П	К	П	К
Ca^{2+}, мг/дм^3	2,000	0,006	7,700	0,005	4,000	0,004	2,900
Na^{+}, мг/дм^3	119,6	1,8	454,8	1,3	238,0	1,2	173,0
HCO_3^-, мг/дм^3	164,7	3,7	622,8	2,7	327,0	2,5	238,0
SO_4^{2-}, мг/дм^3	72,0	0,2	276,0	0,2	144,0	0,15	104,0
Cl^-, мг/дм^3	31,9	0,4	100,0	0,3	63,5	0,3	46,0
Сс, мг/дм^3	396,0	6,2	1506,0	4,5	788,0	4,0	572,0
КП		1,76		1,29		1,13	

Ужесточение режима работы установки сопровождается ухудшением качества пермеата. Величина электропроводности пермеата каждый год увеличивается на 15 %, что обусловлено ростом значения концентрационной поляризации и, вероятно, изменением структуры и сокращением срока эксплуатации мембран.

При режиме 1 конверсия остается достаточно высокой – 50 %; индекс Ланжелье отрицательный, что свидетельствует об отсутствии условий осадкообразования на мембранах; качество пермеата на 27 % лучше, чем при действующем режиме.

При режиме 2 снижение конверсии до 31 % обеспечивает улучшение качества пермеата на 35 %. Солесодержание концентрата снижается до 573 мг/дм^3. В полученном концентрате преобладает содержание ионов натрия (173 мг/дм^3). Качество концентрата (табл. 2) позволяет использовать его повторно для регенерации Na-катионитных фильтров и частично подмешивать в питьевую воду на стадии её умягчения. Повышенный расход воды можно компенсировать повторным использованием концентрата в бытовой петле, а в летнее время – добавлением концентрата в систему полива.

Для улучшения показателей и продления срока эксплуатации установки необходимо снижать величину конверсии до 30 %, что обеспечит требуемое качество пермеата при надежной работе мембранной установки обессоливания воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Свитцов, А. А. Введение в мебранную технологию / А. А. Свитцов. – М. : ДеЛи Принт, 2007. – 208 с.

2. Карелин, Ф. Н. Обессоливание воды обратным осмосом / Ф. Н. Карелин. – М. : Стройиздат, 1988. – 211 с.

3. Характеристика мембраны TW30-4040. Режим доступа: http://www.nano-filtr.ru/katalogtovarov/promyshlennaya-vodoochistka/promyshlennye-membrany/4040/membrana-tw30-4040/.

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ОБУЧАЮЩЕЙ УСТАНОВКИ МЕМБРАННОГО ОБЕССОЛИВАНИЯ ВОДЫ НА АО «ВОЛЖСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД»

Макаренко Е. А. – магистрант
Одоевцева М. В. – канд. техн. наук, доцент
Дорофеев Ю. Н., Спиридонов Д. А. – студенты
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Одним из главных факторов, влияющих на стабильность, эффективность и продолжительность работы мембран, является их загрязнение неорганическими, органическими и биологическими отложениями [1].

Химическая очистка обратноосмотических установок является неотъемлемой частью технологии обратного осмоса. Особенно значимой она является в условиях изменяющегося качества исходной воды, нестабильной работы системы предподготовки, а также в многоступенчатых системах обратного осмоса, работающих с высококонцентрированными растворами солей [2].

Конкретный выбор технологии очистки для заданных условий эксплуатации УОО определяется эмпирическим способом. Процедура подбора технологий очистки для обратноосмотических систем в условиях крупного промышленного предприятия является достаточно трудоёмкой и дорогостоящей задачей [3]. В связи с этим представляет интерес применение тестовых установок. Тестовые установки фирмы «Медиана-фильтр» позволяют:

– определить преимущественные отложения на мембранных элементах;

– подобрать оптимальные очищающие растворы;

– определить порядок и рабочие параметры цикла очистки и число их повторений [4].

Гидравлическая схема тестовой двухступенчатой установки обратного осмоса приведена на рис. 1.

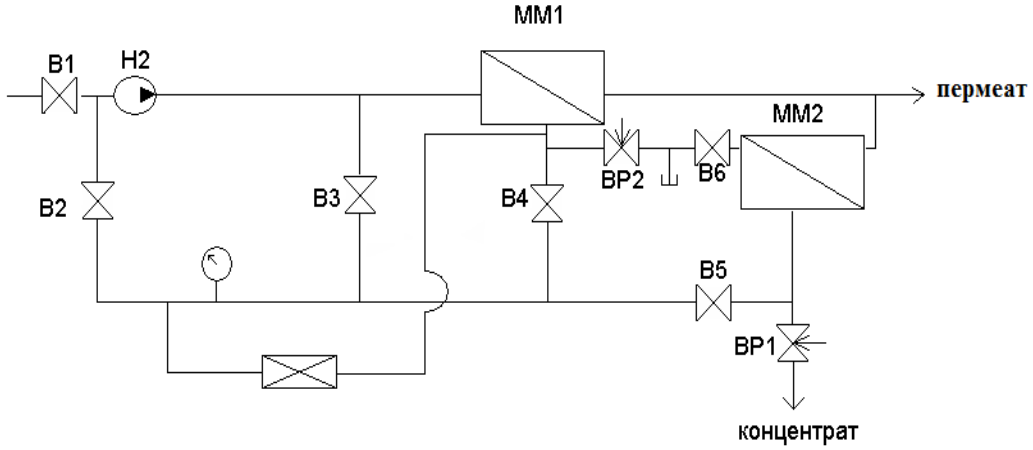

Рис. 1. Гидравлическая схема двухступенчатой установки обратного осмоса. Насос Н2 панели управления; регулирующий клапан ВР1 для установки давления питающего раствора на мембранных аппаратах ММ1и ММ2

Лабораторно-тестовая установка работала параллельно с производственной установкой обратного осмоса АО «Волжского трубного завода» ТПЦ-3 по 8-9 часов в рабочие дни в течение трех недель. В качестве исходного раствора для тестовой установки использовался концентрат с первой ступени мембранного оборудования ТПЦ-3. Результаты исследований приведены в табл. 1.

Критериями к проведению химической мойки являлись: снижение производительности по пермеату на 15 %; снижение селективности мембранного элемента и ухудшение качества пермеата.

Таблица 1

Результаты тестовых испытаний

Показатели	**Концентрат после первой ступени установки ТПЦ-3**	**Пермеат с тестовой установки**	**Концентрат с тестовой установки**
$Ж_о$, мг-экв/дм^3	18,00	0,14	23,00
$Ж_{Ca}$, мг-экв/дм^3	14,00	0,10	17,00
$Ж_{Mg}$, мг-экв/дм^3	4,00	0,04	6,00
$Щ_о$, мг-экв/дм^3	13,0	0,5	18,0
Хлориды, мг/дм^3	128,5	2,2	155,0
Солесодержание, мг/дм^3	1260,0	12,5	1680,0
pH	7,55	5,85	7,80
Расход на тестовой установке, л/ч	–	10,2	26,2
Конверсия мембранного элемента, тестовой установки, %	–	28,7	
Селективность, %	98,2		

Для реализации химической мойки мембранный элемент подключали к станции химической мойки (рис. 2).

Рис. 2. Станция химической мойки

Химическую мойку проводили в несколько этапов:

– циркуляция кислотного раствора MF-B-L20 ЗАО «НПК *Медиана-Фильтр*» через мембранный элемент;

– замачивание мембранного элемента с последующей циркуляцией кислотного раствора через мембрану;

– циркуляция щелочного раствора MF-A-T10 ЗАО «НПК *Медиана-Фильтр*» через мембранный элемент;

– отмывка мембран дистиллированной водой до значений pH = 6-7 после циркуляции кислотного и щелочного растворов.

После химической мойки селективность мембран и качество пермеата восстановились.

Результаты исследований проб растворов после химической мойки приведены в табл. 2.

Таблица 2

Состав загрязнений моющих растворов после химической мойки мембран

Состав загрязнений	**Единицы измерений**	**Кислотный раствор**	**Щелочной раствор**
Кальций	мг/дм^3	–	–
Сульфаты	мг/дм^3	26	–
Железо	мг/дм^3	0,24	–
SiO_2	мг/дм^3	–	3,2

По результатам исследований проб растворов после химической мойки выявлено, что на мембранных элементах тестовой установки и, следовательно, на мембранах оборудования подготовки воды ТПЦ-3 преобладают отложения оксида кремния. Полученные результаты свидетельствуют о целесообразности сокращения химических очисток мембран кислотными растворами. Такое сокращение продолжительности контакта мембран с моющими растворами обеспечит повышение продолжительности их работы на водоподготовительном оборудовании ТПЦ-3 при стабильном качестве обессоленной воды.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев, А. А. и др. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке : Учебное пособие / А. А. Пантелеев и др. – М. : ДеЛи плюс, 2012. – 429 с.

2. Кочаров, Р. Г. Теоретические основы обратного осмоса : Учебное пособие / Р. Г. Кочаров. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. – 143 с.

3. Свитцов, А. А. Мембранные технологии в России / А. А. Свитцов // The chemical journal. – 2010. – № 82. – С. 22-26.

4. Громов, С. Современные технологии водоподготовки в промышленности и энергетике / С. Громов, А. Пантелеев, А. Сидоров // Водоподготовка, промышленная водоподготовка, обратный осмос, ультрафильтрация, очистка промышленный сточных вод. – URL: http://www.mediana-filter.ru/index.html (дата обращения: 9.12.2017).

ОЦЕНКА ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ МОДЕРНИЗАЦИИ МЕМБРАННОЙ УСТАНОВКИ НА АО «ВОЛЖСКИЙ ТРУБНЫЙ ЗАВОД»

Макаренко Е. А. – магистрант
Одоевцева М. В. – канд. техн. наук, доцент
Шимоняк А. А., Лушникова А. Р. – студенты
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Для восполнения потерь в оборотных системах на АО «Волжский трубный завод» используется обессоленная вода. Сегодня в энергоцехе на участке водоподготовки эксплуатируются две установки химического и мембранного обессоливания воды (УОО). За период эксплуатации этих установок существенно изменились стоимостные показатели, формирующие цену обессоленной воды. Так, используемые в ионитном обессоливании смолы повысились в цене на 15-20 %, кислота и щелочь – на 25-30 %. Одновременно с ростом цен на реагенты значительно поднялась плата за водопользование (в 2,0-2,5 раза) и сброс минерализованных стоков [1]. За эти же годы имело место снижение цен на мембранные элементы обратного осмоса на 10-15 %. В связи с этим затраты на 1 м^3 воды, обработанной с применением мембранной технологии, снижается [2].

Однако качество обессоленной воды с действующей установки обратного осмоса АО «Волжский трубный завод» не соответствует требованиям РД 24.032.01.-91 «Нормы качества питательной воды и пара, организация водно-химического режима и химического контроля паровых стационарных котлов – утилизаторов и энерготехнологических котлов». В связи с этим задачей исследований стала разработка более дешевой, эффективной и надежной технологической схемы на базе действующей производственной установки обратного осмоса.

Действующая установка обратного осмоса состоит из двух стадий. На первой стадии установлено 6 аппаратов и на второй стадии – 3 аппарата с 5 мембранными элементами в каждом аппарате (рис. 1).

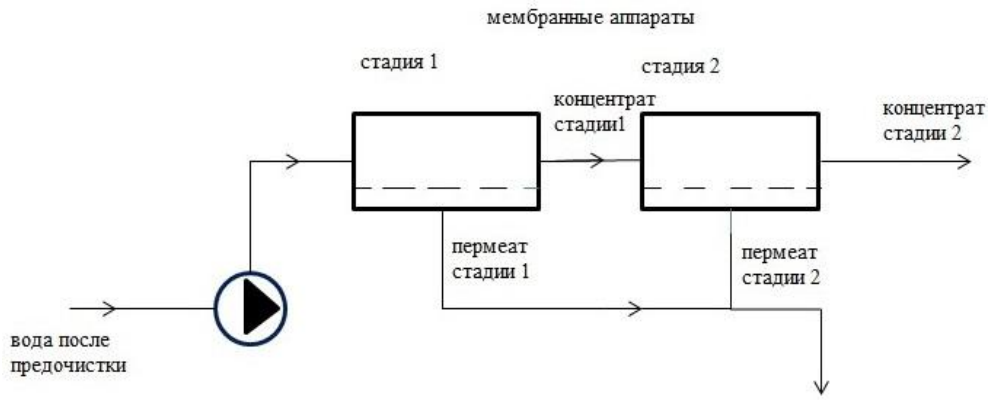

Рис. 1. Схема действующей обратноосмотической установки

Из данных табл. 1 видно, что режим работы действующей УОО реализован неэффективно. Требуемая производительность по пермеату – 50 м^3/ч обеспечивается при величине конверсии 80 %. При такой величине конверсии паспортное соотношение пермеата к концентрату 1/5 не соблюдается. Это приводит к ухудшению качества пермеата, интенсивному загрязнению мембран (величина индекса Ланжелье – 1,2), необходимости проведения учащенных химических промывок и, как следствие, к сокращению срока эксплуатации мембран. Однако при действующем режиме имеется резерв за счет низкого на 20-35 % количества пермеата с единицы поверхности мембраны, который не используется. В связи с этим является актуальным регулирование режима и (или) моделирование предлагаемой схемы УОО.

Таблица 1

Технологические параметры действующей и предлагаемой установки обратного осмоса

Показатели	Действующая установка	Предлагаемая	
		1 ступень	2 ступень
pH	5,8	5,0	8,0
$G_{перм}$, м^3/ч	50	67	51
$G_о$, м^3/ч	78	79	
$G_{конц}$, м^3/ч	15,6	29,0	16,8*
t, °C	5		
Конверсия, %	80	70	75
Количество блоков	2	1	
Количество аппаратов / мембран	9/5	11/5	5/5
Индекс Ланжелье	1,2	0,3	–
Солесодержание осветленной воды, мг/дм^3	274		
Солесодержание пермеата, мг/дм^3	4,1	1,4	0,1
Солесодержание концентрата, мг/дм^3	1346,5	746,0	6,0*
Часовой расход электроэнергии, кВт/ч	43	255	

*концентрат после второй ступени смешивается с осветленной водой и повторно возвращается в цикл установки.

Моделирование предлагаемой схемы УОО осуществлялось с помощью программы Hydranautics Membrane Solutions Design Software, v. 2017 фирмы IMSdesign. В моделируемой установке обратного осмоса планируется установить на первой ступени 11 аппаратов; на второй ступени – 5 аппаратов с 5 мембранными элементами. Предлагаемая схема обратноосмотической установки приведена на рис. 2.

По результатам расчетов (табл. 1): конверсия предлагаемой схемы 70 % на первой ступени и 75 % на второй ступени, количество пермеата – 51 м^3/ч при незначительном увеличении потребления осветленной воды. Качество пермеата предлагаемой схемы возрастет в 4 раза.

Неотъемлемой частью технологии обратного осмоса является химическая очистка обратноосмотических установок. Особенно значимой она является при нестабильном качестве исходной воды и нестабильной работе системы предподготовки воды [4], характерных для условий эксплуатации производственной установки АО «Волжский трубный завод».

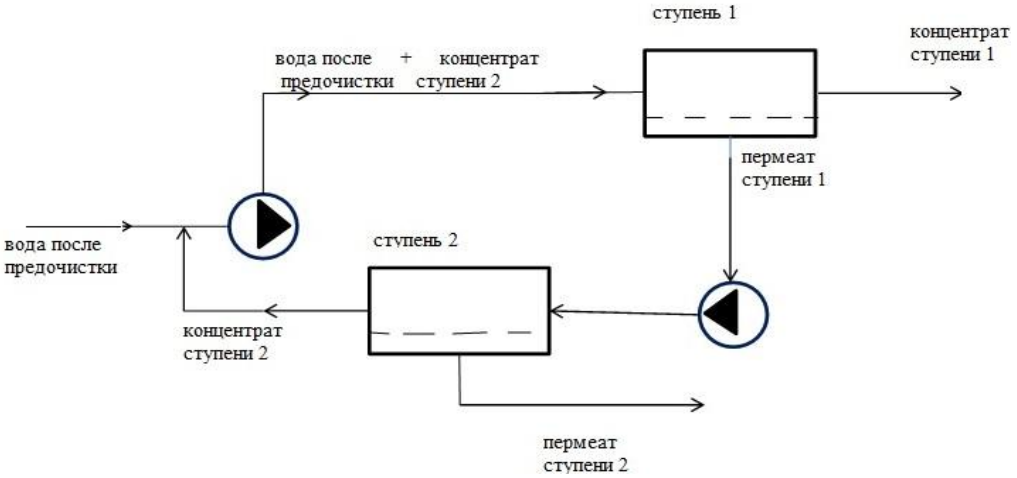

Рис. 2. Предлагаемая схема обратноосмотической установки

Направленный выбор технологии очистки обратноосмотической системы осуществлялся с применением тестовой установки фирмы «Медиана-фильтр». По результатам тестовых испытаний выявлено, что на мембранных элементах тестовой установки преобладают отложения оксида кремния. Полученные результаты свидетельствует о целесообразности сокращения химических очисток мембран кислотными растворами. Такое сокращение времени контакта мембран с моющими растворами обеспечит повышение продолжительности их работы на водоподготовительном оборудовании ТПЦ-3 при стабильном качестве обессоленной воды [5].

От внедрения результатов тестовых испытаний на действующей УОО АО «Волжский трубный завод» следует ожидать:

– увеличения межпромывочного интервала оборудования до 6-7 месяцев;

– снижения потребления реагентов на 15-20 %;

– увеличения ресурса эксплуатации мембран до 6-7 лет.

Затраты на замену мембранных элементов и реагенты приведены в табл. 2.

Таблица 2

Затраты на замену мембранных элементов и реагенты

Показатели	Действующая установка	Предлагаемая
Расходы на замену мембранных элементов	775 641 руб.	525 650 руб.
Затраты на моющие растворы	61 800 руб./год	15 458 руб./год

Экономический эффект от модернизации действующей установки обессоливания воды составит 847 650 руб./год. Срок окупаемости проекта составит 3 года.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пантелеев, А. А. и др. Технологии мембранного разделения в промышленной водоподготовке ; Учебное пособие / А. А. Пантелеев. – М. : ДеЛи плюс, 2012. – 429 с.

2. Иванов, М. На рынке мембран и мембранных модулей / М. Иванов // Аква-Терм. – 2010. – № 5. – С. 15-18.

3. http://www.hydranauticsprojections.net/imsd/downloads/

4. Кочаров, Р. Г. Теоретические основы обратного осмоса : Учебное пособие / Р. Г. Кочаров. – М. : РХТУ им. Д. И. Менделеева, 2007. – 143 с.

5. Макаренко, Е. А и др. Опыт применения экспериментально-обучающей установки мембранного обессоливания воды на АО «Волжский трубный завод» / Е. А. Макаренко и др. // Межрегиональная конференция «Ресурсоэнергосбережение и эколого-энергетическая безопасность промышленных городов», 2018.

СОВРЕМЕННЫЕ ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА РАСЧЕТА УСТАВОК РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ

Гладков В. А. – студент
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ» в г. Волжском

В энергетических системах могут возникать повреждения и ненормальные режимы работы электрооборудования электростанций и подстанций, линий электропередачи. Из-за таких повреждений происходит увеличение тока и снижение напряжения в элементах энергосистемы.

Резкое увеличение тока происходит из-за короткого замыкания в системе. Понижение напряжения нарушает нормальную работу потребителей электрической энергии. Результатами таких ненормальных режимов могут быть отклонения напряжения, тока, частоты от допустимых значений.

Для обеспечения нормального режима работы энергосистемы необходимо своевременно отключить поврежденный участок сети от неповрежденного. Это можно осуществить с помощью релейной защиты, без которой невозможна надежная работа ЭЭС. Релейная защита осуществляет непрерывный контроль режима работы и состояния всех элементов энергосистемы, также реагирует на возникновение повреждений или подает сигнал оперативному персоналу.

За последнее время происходит внедрение микропроцессорных устройств защиты – устройств, управляющая часть которых реализована на базе микропроцессорных элементов (микроконтроллера). Такое внедрение выявило ряд новых задач, которые связаны с многочисленными разработками методических указаний и созданием автоматизированных программных средств расчета уставок защиты.

Уже существующие методики рассчитаны на аналоговые защиты и не учитывают особенность цифровых устройств, а также методики расчета уставок групп измерительных органов (ИО).

В настоящее время уже созданы методические указания по расчету параметров срабатывания для всего перечня защит оборудования и части защит линий электропередачи. Методические указания соответствуют стандартам РФ и рекомендациям производителей, содержат необходимую и достаточную информацию на этапе проектирования и ввода в эксплуатацию.

Одним из этапов ввода в работу устройств релейной защиты является расчет уставок ИО защиты для различных режимов работы защищаемого объекта. Данные расчеты являются комплексом операций, не обеспеченных достаточным набором инструментальных средств. Эти действия производятся вручную, что приводит к возможным ошибкам в вычислениях. В связи с этим возникает необходимость в автоматизации трудоемких этапов расчета, выбора уставок, методических условий, формул, значений коэффициентов.

Для таких задач были разработаны программные средства расчета, которые отличаются между собой структурой, набором функций, возможностей и т. п.

Рассмотрим три программных комплекса расчета уставок и произведем сравнительный анализ этих программ (таблица).

В качестве современных программных средств расчета будем использовать следующие три комплекса:

• ПК «PSC»;

• ПК «АРМ СРЗА»;

• ПВК АРУ РЗА.

Все сравниваемые программные комплексы содержат набор функциональных возможностей, минимально необходимых для построения расчетной модели сети, графического отображения, расчета ТКЗ, и самое главное – расчет и выбор параметров устройств РЗА. В каждой программе имеются в наличии встроенные данные, а именно: паспортные параметры оборудования, значения необходимых коэффициентов для расчета и т. п. Каждая программа имеет принципиальные отличия в рассмотренных функциях или отсутствие их вовсе.

Рассмотренные программные комплексы обновляются достаточно часто, а это значит, что они усовершенствуются, добавляются новые возможности и новые модули расчета.

Таким образом, применение программных средств расчета уставок релейной защиты позволяет сократить время на подготовку и ввод необходимых исходных данных. Помимо этого, ускоряется процесс создания и формирования бланков и документации, также максимально снижается ошибка «человеческого фактора» при расчетах и повышается надежность результатов.

Сравнительный анализ программных средств расчета

Признак сравнения	ПК «PSC»	ПК «АРМ СРЗА»	ПВК АРУ РЗА 3.0
Графическое представление модели	отсутствует (в обновленной версии присутствует)	позволяет создавать модель электрической сети с неограниченным объемом узлов и связей	позволяет создавать схему электрической сети неограниченного размера
Заложенные алгоритмы программы	основаны на методических указаниях с учетом рекомендаций производителей защит, руководящих указаниях по расчету уставок и ПУЭ		
Расчет при различных повреждениях в сети	при многих повреждениях	при повреждениях любой сложности	при различных множественных повреждениях в сети
Графическое согласование (отображение характеристик срабатывания)	присутствует	присутствует	присутствует
Модуль расчета уставок РЗ дистанционных защит	присутствует	присутствует	присутствует
Модуль расчета уставок РЗ дифференциальной защиты	ДЗТ	отсутствует	ДЗШ, ДЗЛ, ДФЗ
Модуль расчета уставок РЗ других защит	МТЗ, ТЗНП	МТЗ, ТЗНП, МФТ,	МТЗ, ТЗНП, ТЗОП
Расчет параметров линий	отсутствует	отсутствует	присутствует
Встроенная база паспортных параметров оборудования	присутствует	присутствует	присутствует
Проверка электроэнергетического оборудования РЗ	проверка ТТ	проверка ТТ	на термическую и динамическую стойкость КЗ, проверка ТТ
Последнее обновление программы	19.09.2017	15.06.2017	30.11.2017

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. «PSC» – автоматизированный расчет уставок защит 6-35, 110-220, 330-750 кВ: [Электронный ресурс] // Релематика – Надежные и нужные защиты. – М., 2008-2017. URL: https://relematika.ru/produkty/injenernoe_po/programma_avtomatizirovannogo_rascheta_ustavok_psc/. (Дата обращения: 25.11.2017).

2. ПВК «АРУ РЗА»: [Электронный ресурс]. – М., 2008-2017. URL: http://arurza.ru/. (Дата обращения: 25.11.2017).

3. АРМ СРЗА: [Электронный ресурс]. – М., 2008-2017. URL: http://www.pk-briz.ru/. (Дата обращения: 25.11.2017).

4. Ершов, Ю. А. Релейная защита и автоматика электрических систем. Расчет релейной защиты объектов электроэнергетической системы ; Уч. пособие / Ю. А. Ершов, О. П. Халезина. – Красноярск : КГТУ, 2012. – 126 с.

5. Шабад, М. А. Расчеты релейной защиты и автоматики распределительных сетей [Текст] / М. А. Шабад. – СПб. : ПЭИПК, 2012. – 350 с.

УПРАВЛЕНИЕ КОТЕЛЬНОЙ ПО ЭФФЕКТИВНОСТИ ЕЕ РАБОТЫ

Дедков А. К. – магистрант
Болдырев И. А. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Повышение степени автоматизации управления современным производством, усложнение технологических процессов, увеличение объемов информации, подлежащей обработке, привело к необходимости контролировать все более и более сложные параметры технологических и производственных процессов, так называемые технико-экономические показатели. Особенностью этих показателей является то, что зачастую не существует датчиков или приборов, позволяющих непосредственно получить их значения, в связи с чем оценка значения технико-экономического параметра осуществляется посредством косвенных измерений. Существующие алгоритмы управления в большинстве своем базируются на поддержании определенного технологического параметра и не стремятся управлять по обобщенным критериям, характеризующим эффективность работы всего объекта в целом или его технологической части. Поэтому в разработку алгоритма управления процессом требуется положить не только требуемые технологией критерии качества, но и принцип максимальной экономичности процесса.

Котельные представляют собой сложное техническое сооружение, состоящее из котельного агрегата и вспомогательного оборудования и предназначенное для производства пара или горячей воды, или того и другого одновременно.

Задачей энергетического обследования котельной является определение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при осуществлении основного технологического процесса – выработки тепловой энергии посредством сжигания органического топлива. Для проведения анализа и последующего определения эффективности использования ТЭР составляется энергетический баланс котельной для каждого вида энергетического ресурса.

Любой энергетический баланс (энергобаланс) состоит из приходной и расходной частей. Приходная часть энергобаланса содержит количественный перечень энергии, поступающей посредством различных энергоносителей (природный газ, вода, воздух, электрическая энергия). Расходная часть энергобаланса определяет расход энергии всех видов во всевозможных её проявлениях: потери при преобразовании энергии одного вида в другой, при её транспортировке, а также при преобразовании её в энергию, накапливаемую в специальных устройствах. При этом приходная и расходная часть энергобаланса должны быть равны. Таким образом, энергетический баланс показывает соответствие, с одной стороны, суммарной подведённой энергии и, с другой стороны, суммарной полезно используемой энергии и её потерь.

Суммарной подведённой энергией является теплота сгорания использованного топлива $Q_{\text{сг.т}}$, суммарной полезной используемой энергией – тепловая энергия, отпущенная в тепловую сеть, $Q_{\text{отп.ТС}}$. Потери тепловой энергии

в котельной можно разбить на две группы: потери в котлоагрегатах при выработке тепловой энергии и затраты на собственные нужды котельной $Q_{\text{пот.КА}}$ и $Q_{\text{СН}}$. Тогда уравнение теплового баланса в котельной в математическом виде может быть записано в виде уравнения

$$Q_{\text{сг.т}} = Q_{\text{отп.ТС}} + Q_{\text{пот.КА}} + Q_{\text{СН}}, \tag{1}$$

где $Q_{\text{сг.т}}$ – тепловая энергия сгоревшего топлива; $Q_{\text{отп.ТС}}$ – тепловая энергия, отпущенная в тепловую сеть; $Q_{\text{пот.КА}}$ – тепловые потери в котлоагрегатах; $Q_{\text{СН}}$ – тепловая энергия на собственные нужды.

Для оценки эффективности работы любой технической системы используется обобщённый физический показатель – коэффициент полезного действия (КПД) системы, физический смысл которого есть отношение величины полученной полезной работы (энергии) к затраченной работе (энергии). Так, применительно к котельной: полезная энергия – тепловая энергия, отпущенная в тепловую сеть, $Q_{\text{отп.ТС}}$; затраченная энергия – теплота сгоревшего топлива $Q_{\text{сг.т}}$. Тогда коэффициент полезного действия котельной $\eta_{\text{кот}}$ можно вычислить, используя выражение

$$\eta_{\text{кот}} = \frac{Q_{\text{отп.ТС}}}{Q_{\text{сг.т}}}. \tag{2}$$

В настоящее время на каждой котельной, использующей в качестве топлива природный газ, установлены счётчики расхода – расходомеры потребляемого газа и теплосчётчики для определения величины отпускаемой тепловой энергии в сеть. Таким образом, $Q_{\text{отп.ТС}}$ можно определить в результате прямого измерения тепловой энергии теплоносителя посредством применения теплосчётчика. Величина теплоты сгоревшего топлива может быть определена косвенным путём – через теплотворную способность топлива $Q_{\text{н}}$ и его расход – объём использованного топлива $B_{\text{т}}$:

$$Q_{\text{сг.т}} = Q_{\text{н}} B_{\text{т}}. \tag{3}$$

Таким образом, вычислить среднее значение $\eta_{\text{кот}}$ для наперёд заданного периода времени – сутки, месяц, отопительный период, год – при организации соответствующего учёта показаний используемых приборов не составляет труда. Коэффициент полезного действия котельной полностью определяют две величины – коэффициент полезного действия котлоагрегата и затраты энергии на собственные нужды. Наглядно это можно показать, преобразовав выражение (1). Разделим все его части на величину $Q_{\text{сг.т}}$. Получим

$$\frac{Q_{\text{сг.т}}}{Q_{\text{сг.т}}} = \frac{Q_{\text{отп.ТС}}}{Q_{\text{сг.т}}} + \frac{Q_{\text{пот.КА}}}{Q_{\text{сг.т}}} + \frac{Q_{\text{СН}}}{Q_{\text{сг.т}}}; \tag{4}$$

$$1 = \frac{Q_{\text{отп.ТС}}}{Q_{\text{сг.т}}} + \frac{Q_{\text{пот.КА}}}{Q_{\text{сг.т}}} + \frac{Q_{\text{СН}}}{Q_{\text{сг.т}}}. \tag{5}$$

При учёте соответствующих обозначений получаем выражение:

$$1 = \eta_{кот} + K_{пот.КА} + K_{СН}; \quad (6)$$

$$\eta_{кот} = 1 - \left(K_{пот.КА} + K_{СН}\right), \quad (7)$$

где $\eta_{кот}$ – КПД котельной; $K_{пот.КА}$ – коэффициент потерь котлоагрегатов; $K_{СН}$ – коэффициент затрат тепла на собственные нужды.

Таким образом, для определения КПД котельной достаточно определить величину потерь в котлоагрегатах и количество тепла, которое идёт на собственные нужды. Однако вычисление потерь в котлоагрегатах представляет определённые трудности. Уравнение теплового баланса котлоагрегата имеет вид:

$$Q_{сг.т} = Q_{выр} + Q_{пот.КА}, \quad (8)$$

где $Q_{выр}$ – тепловая энергия, выработанная котлоагрегатами; $Q_{пот.КА}$ – тепловые потери в котлоагрегатах.

Разделив обе части уравнения (8) на $Q_{сг.т}$ – теплоту сгоревшего топлива и сделав преобразования, получим следующее выражение:

$$K_{пот.КА} = 1 - \eta_{КА}. \quad (9)$$

Из уравнения (9) следует, что коэффициент потерь в котлоагрегатах и КПД котлоагрегатов однозначно взаимосвязаны. Вычислив один показатель, вычисляем и второй. КПД котельной можно определить в режиме реального времени, получив значения с датчиков и обработав их в контроллере. Точность вычислений возрастает при увеличении объема накопления данных от датчиков, и поэтому чем больше измерений, тем лучше. Однако чем больше измерений, тем дольше происходит накопление информации, тем дальше оптимальный режим «уплывает» и тем больше возрастают потери при управлении. Поэтому существует компромисс между увеличением объема выборки и и скорости дрейфа. Разрешение данного компромисса и дает оптимальный режим функционирования алгоритма управления (рисунок).

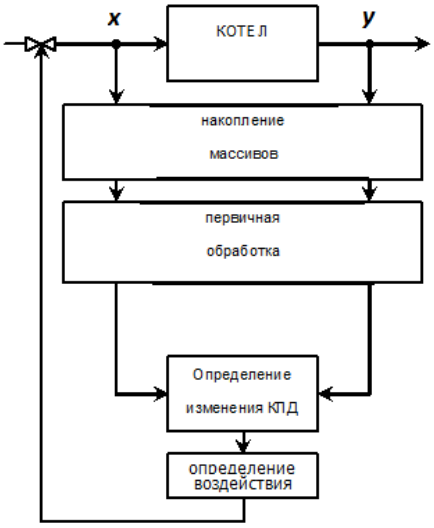

Рисунок. Структурная схема алгоритма управления

АНАЛИЗ МЕТОДОВ ВЫЯВЛЕНИЯ КОРОТКОГО ЗАМЫКАНИЯ НА КАБЕЛЬНО-ВОЗДУШНЫХ ЛИНИЯХ

Громов К. В. – магистрант
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Annotation. In this article methods of short circuit detection on cable-air lines are considered. The advantages and disadvantages of each method are determined and optimal methods are chosen.

При возникновении короткого замыкания (КЗ) на кабельно-воздушных линиях необходимо устранить его последствия. Для этого требуется найти место возникновения КЗ. Рассмотрим методы поиска места КЗ и проанализируем их достоинства и недостатки.

Топографические методы используют непосредственно на участке кабельной линии. Поиск повреждения производится прохождением технического персонала вдоль трассы с приборами для обнаружения места замыкания.

Индукционный метод используется для нахождения кабельных линий при помощи магнитного поля, которое создается током в кабеле. При установлении наличия магнитного поля устанавливают месторасположение кабельной линии, а с помощью измерения поля находят её месторасположение, место КЗ и глубину прокладки кабеля. Поиск индукционным методом осуществляется при помощи поисковых комплектов, таких как КП-500К (рис. 1).

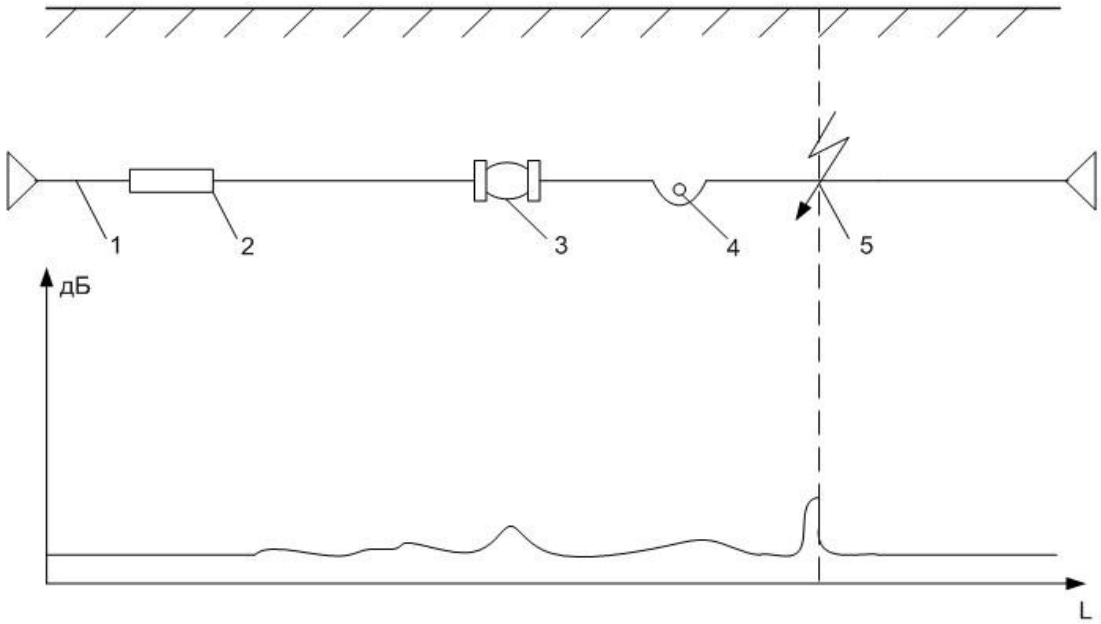

Рис. 1. Установление места повреждения кабеля индукционным методом:
1 – кабель; 2 – кабель в трубе; 3 – соединительная муфта;
4 – водопровод; 5 – место КЗ

Акустический метод основан на измерении на поверхности земли звуковых колебаний приёмными устройствами. Для создания звуковых колебаний в месте повреждения создаются мощные электрические разряды путем накопления в высоковольтных конденсаторах.

Акустическим методом выявляют однофазные и междуфазные замыкания, обрывы жил. Поиск акустическим методом осуществляется при помощи поисковых комплектов, таких как КП-500К, ПА-1000А (рис. 2).

Недостатком акустического метода является то, что при значениях переходного сопротивления менее 40 Ом и металлических замыканиях на оболочку акустический метод не применяется.

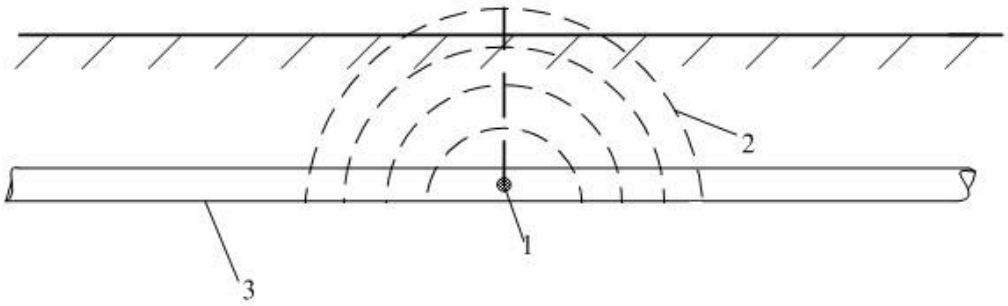

Рис. 2. Установление места повреждения кабеля акустическим методом:
1 – место повреждения; 2 – акустическое поле; 3 – кабель

Сущность *потенциального (шагового) метода* заключается в пропускании по кабелю тока, вырабатываемого генератором. Таким образом, между двумя расположенными в земле точками создается разность потенциалов, о которой можно судить по утечке тока в месте КЗ. Поиск точки с пониженным сопротивлением изоляции сводится к тому, чтобы установить контактные штыри-зонды: первый – над пролегающим проводником, второй – под прямым углом в 1 м от первого. Место повреждения будет находиться под первым штырем при условии максимального сигнала.

В основе *электромеханического метода* лежит фиксация механических усилий, созданных за счет тока КЗ. Электромеханические указатели ставятся стационарно на опорах воздушных линий. При протекании тока КЗ у указателя выпадает блинкер, состояние которого проверяют после аварии при обходе линии.

Наиболее перспективным методом является акустический метод. Он наиболее универсален, определяет замыкания различного характера, точен в определении места повреждения.

Достоинством топографического метода является то, что приборы поиска позволяют определить трассу, глубину залегания и точное местонахождение повреждения кабельной линии. Основной недостаток топографических методов в том, что при неизвестной зоне нахождения места повреждения для точного его определения потребуется пройти с трассоискателем вдоль всей трассы, что требует больших затрат, особенно для протяженных кабельных линий или в случае нахождения кабеля в труднодоступных местах.

В отличие от топографических методов *дистанционные методы* подразумевают использование приборов, установленных на подстанциях, показывающих расстояние до повреждения.

Суть *импульсного метода* заключается в регистрации интервалов времени распространения электромагнитных волн в линии. С помощью данного метода определяют вид и измеряют расстояние до повреждения. Поиск импульсным методом осуществляется при помощи прибора, такого как Рейс-305.

Локационный метод основан на регистрации времени между моментом посылки в линию зондирующего электрического импульса и моментом прихода к началу линии импульса, отраженного от места повреждения. За измеренное время импульсы проходят путь, равный двойному расстоянию до места повреждения. Сущность метода заключается:

1) в зондировании кабеля (двухпроводной линии) импульсами напряжения;

2) в приеме импульсов, отраженных от места повреждения и неоднородностей волнового сопротивления;

3) в выделении отражений от места повреждений на фоне помех;

4) в определении расстояния до повреждения по временной задержке отраженного импульса относительно зондирующего.

В основе *петлевого метода* лежит измерение сопротивлений при помощи моста постоянного тока. Метод применяется при повреждении одной или двух жил кабеля и наличии одной «здоровой жилы». Если повреждены три жилы, можно использовать жилу проложенного рядом кабеля. Для этого необходимо поврежденную жилу накоротко соединить с целой с одной стороны кабеля, тем самым образуется петля. С противоположной стороны к концам жил присоединяют регулируемые сопротивления моста.

Недостатки петлевого метода: большие затраты времени на измерение, меньшая точность измерения, необходимость установки закороток. Поэтому петлевой метод сейчас вытесняется импульсным методом.

Емкостный метод применяется для определения расстояния от конца линии до места обрыва одной или нескольких жил кабельной линии путем измерения емкости кабеля. Метод основан на измерении емкости оборванной жилы с помощью моста переменного или постоянного тока, так как емкость кабеля зависит от его длины.

При обрыве жилы кабеля без заземления измеряется емкость оборванной жилы с обоих концов. После определения зоны повреждения в этот район направляется оператор для определения места повреждения. Для этого используют акустический или индукционный метод.

Наиболее перспективным методом является локационный метод. Он удобен для практического использования, так как для измерения необходим доступ только с одного конца линии.

Достоинства дистанционных методов – это быстрое определение места повреждения при любом характере повреждения.

Таким образом, в настоящее время для определения мест повреждения на линиях 6…10 кВ используют два метода: топографический и дистанционный. Для быстрого и точного определения места повреждения целесообразно применять сразу оба метода. Сначала дистанционным методом определяют зону поврежденного участка линии, а затем топографическим методом устанавливают точное место повреждения.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Аржанников, Е. А., Чухин, А. М. Методы и приборы определения места короткого замыкания на линиях : Учебное пособие / Е. А. Аржанников, А. М. Чухин. – Иваново : Ивановский государственный энергетический университет, 1998. – 74 с.

2. Шалыт, Г. М. Определение мест повреждения в электрических сетях / Г. М. Шалыт. – М. : Энергоиздат, 1982.

3. Айзенфельд, А. И., Шалыт, Г. М. Определение мест короткого замыкания на линиях с ответвлением / А. И. Айзенфельд, Г. М. Шалыт. – М. : Энергия, 1977.

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕПЛОВЫХ ПРОЦЕССОВ В ПРОВОДАХ И ТРОСАХ ЛИНИИ ЭЛЕКТРОПЕРЕДАЧИ

Васильева И. Л. – доцент
Морозова А. А. – ст. преподаватель
Смольянинова А. С. – студент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Изучение процессов теплообмена всегда играло важную роль в развитии техники и естествознания. За последние десятилетия сфера интенсивного исследования и применения явлений теплообмена чрезвычайно расширилась. Она включает как ведущие направления техники (химическая технология, металлургия, строительное дело, нефтеразработка, машиностроение, электроэнергетика и т. д.), так и основные естественные науки. Теоретическое исследование процессов теплообмена в настоящее время в значительной степени базируется на их численном моделировании. Численное моделирование этих процессов в настоящее время приобретает все более значительную роль, в связи с тем что для современной науки и техники необходим достоверный прогноз процессов, экспериментальное изучение которых в лабораторных или натурных условиях очень сложно и дорого, а в некоторых случаях просто невозможно.

Зимой ледообразование на линиях электропередачи представляет серьезную опасность для надежной работы энергосистем. Из-за нагрузки от льда проводники, стальные опоры и арматура подвергаются определенным механическим повреждениям. В случае серьезного ледообразования линия может оборваться, опора упасть, что может вызвать перебой в энергоснабжении и большие экономические потери.

Гололедно-изморозевые отложения на проводах и тросах воздушной линии (ВЛ) происходят при температуре воздуха около –5 °С и скорости ветра 5...10 м/с. Полная масса гололедно-изморозевых отложений приводится к форме полого цилиндра льда с толщиной стенки, равной *b* (рис. 1).

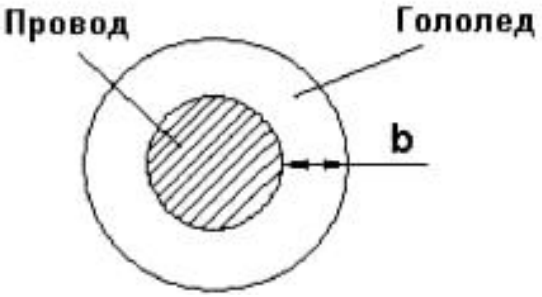

Рис. 1. Идеализированное представление гололеда на проводах

Отложения гололеда, изморози и мокрого снега на ВЛ могут вызывать разрегулировку проводов и тросов и их сближение между собой; сближение проводов и тросов при подскоке вследствие неодновременного сброса гололеда; интенсивную пляску, вызывающую короткие замыкания между проводами и между проводами и тросами; ожоги проводов и тросов, а в некоторых случаях – повреждения линейной арматуры и креплений; значительную перегрузку проводов и тросов и их обрывы, особенно при ожогах проводов и тросов электрической дугой; перегрузку и поломку траверс; разрушение опор в результате обрыва проводов и тросов при перегрузке от гололеда, когда возникающие неуравновешенные тяжения на опоры от оставшихся целыми проводов и тросов значительно превышают расчетные, а также при сочетании гололеда с сильным ветром.

Ледяную корку на высоковольтных линиях ликвидируют, нагревая провода постоянным или переменным током частотой 50 Гц до температуры 100-130 °С. Плавка гололеда позволяет удалить гололед на десятках километров линий в течение 0,5-1,0 ч, предупредить опасную перегрузку и ликвидировать пляску проводов.

Ввиду того что плавка гололеда на переменном токе требует очень большой теплоты и линия на переменном токе имеет реактивное сопротивление, мощность источника питания для плавки, требуемая для удаления гололеда с линий 220 кВ и ниже, в 5-10 раз превышает фактическую мощность плавки для таких линий. Для удаления гололеда с линий электропередачи сверх- и ультравысокого напряжения 500 кВ и выше переменного тока требуемая мощность источника питания для плавки в 10-20 раз превышает фактическую мощность плавки. Проблема недостаточной мощности источников питания для удаления гололеда обычно сопряжена с методом плавки на переменном токе.

Рекомендуется начинать плавку при достижении расчетных нагрузок и продолжающемся нарастании гололеда. Для своевременного предупреждения об опасных нагрузках от гололеда при возникновении метеорологических условий, способствующих его образованию, должны вестись специальные наблюдения. Плавку гололеда следует производить возможно большими токами, что позволяет

быстрее завершить ее и восстановить нормальную схему работы сети. Время плавки гололеда зависит от величины тока, размеров и плотности гололедно-изморозевых образований, их формы, скорости ветра и температуры воздуха.

В сравнении с традиционным методом плавки трехфазным КЗ на переменном токе удаление гололеда на постоянном токе также происходит за счет КЗ, но используется постоянный ток, и питание осуществляется с низковольтной стороны силового трансформатора. В данном методе эквивалентное полное сопротивление линии в основном зависит от активного сопротивления и намного меньше полного сопротивления линии при удалении гололеда КЗ на переменном токе. Требуемая мощность источника питания плавки невелика.

Несмотря на то что способы борьбы известны давно, эффективность решения часто бывает низкой в силу множества причин, в числе которых и слабая оснащенность средствами диагностики и автоматизации процессов плавки.

Степень нагрева проводов током в весьма значительной степени зависит от метеорологических условий – от температуры воздуха и от ветра. При низких температурах, и особенно при сильных ветрах, охлаждение проводов происходит значительно интенсивнее, вследствие чего для нагрева проводов до температуры, при которой плавится гололед, требуются большие силы тока, пропускаемого по проводам.

Для определения параметров системы нагрева и режимов работы необходим анализ процессов в системе «провод – ледяная оболочка – окружающая среда».

С учетом допущений о симметричном расположении ледяной оболочки, о постоянной скорости движения воздуха теплообмен может быть описан дифференциальным уравнением в частных производных с граничными и начальными условиями.

Нестационарный перенос тепла теплопроводностью описывается следующим уравнением:

$$\rho c_P \frac{\partial t}{\partial \tau} + \lambda \Delta t - q_v = 0, \qquad (1)$$

где λ – теплопроводность материала, Вт/м·К; q_v – количество теплоты, отдаваемое внутренним источником тепла на поверхность исследуемого материала (плотность теплового потока), Вт/м^3; ρ – плотность материала, кг/м^3; C_P – теплоёмкость материала при постоянном давлении, Дж/ кг·К; $\partial\tau$ – интервал времени, с; Δt – оператор Лапласа.

Это уравнение устанавливает связь между временными и пространственным изменениями температуры в любой точке тела.

Формулу (1) можно применять не для осесимметричной задачи с учетом того, что в ходе расплавления ледяной оболочки происходит ее смещение относительно провода под действием силы тяжести. Правильнее говорить не о расплавлении оболочки, а о проплавлении канала. Вода, образующаяся при плавлении льда, частично просачивается через трещины и стекает на землю, а частично перемещается вверх относительно провода. Учитывая большую, чем у

льда, плотность, вода не полностью окружает провод, что наряду со смещением приводит к несимметрии геометрии. В конце процесса провод просто проходит насквозь, и оболочка падает на землю.

Решение данного уравнения в частных производных в декартовой системе координат представляется в виде

$$\rho c_P \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(\lambda \frac{\partial T}{\partial z}\right) + q_v . \qquad (2)$$

Сформулированное уравнение (2) с соответствующими краевыми условиями (начальными и граничными) решается численно.

При решении дифференциального уравнения в частных производных наиболее часто используется метод конечных разностей (МКР). Вместо производных в дифференциальном уравнении используются их конечноразностные аппроксимации. При использовании МКР для задач теплопроводности твердое тело представляют в виде совокупности узлов. Аппроксимируя (заменяя) частные производные дифференциального уравнения (2) конечными разностями, получают систему линейных алгебраических уравнений для определения температуры как локальной характеристики в каждом узле сетки. Полученная система является незамкнутой, для ее замыкания используют разностное представление граничных условий. В результате получают замкнутую систему линейных алгебраических уравнений, которую решают численными методами с помощью ЭВМ.

Переходим к плоской двумерной задаче, приняв изменение по координате *z* за единичное. Геометрия расчетной области представлена на рис. 2.

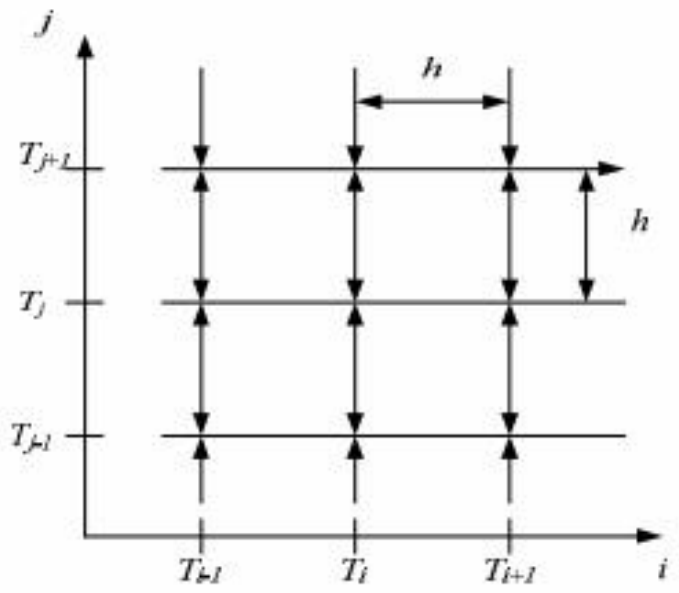

Рис. 2. Разностная сетка области решения

Заменим дифференциальные операторы в уравнении на их конечно-разностные аналоги:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{T_{i,j} - T^0_{i,j}}{\Delta \tau}; \tag{3}$$

$$\Delta t = \frac{\partial^2 t}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 t}{\partial y^2} = \frac{T_{i+1,j} - 2T_{i,j} + T_{i-1,j}}{h^2} + \frac{T_{i,j+1} - 2T_{i,j} + T_{i,j-1}}{h^2}, \tag{4}$$

где $h = \dfrac{n}{a-1}$ – разбиение сетки; n – размер сетки; a – шаг сетки; $T_{i,j}$ – температура в текущий момент времени; $T^0_{i,j}$ – температура в предыдущий момент; $T_{i+1,j}$, $T_{i-1,j}$, $T_{i,j-1}$, $T_{i,j+1}$ – температуры в узлах, расположенных в окрестности точки $T_{i,j}$, К.

Подставляя уравнения (3) и (4) в уравнение (2) и решая его относительно $T_{i,j}$, получим

$$T_{i,j} = \frac{\lambda\left(\dfrac{T_{i,j+1} + T_{i,j-1} + T_{i+1,j} + T_{i-1,j}}{h^2}\right) + \dfrac{\rho C_P T0_{i,j}}{\Delta \tau} + q_v}{\left(\dfrac{4\lambda}{h^2} + \dfrac{\rho C_P}{\Delta \tau}\right)}. \tag{5}$$

Для решения данной задачи был смоделирован процесс нагрева алюминиевого провода. Мощность внутренних источников локализована в проводнике. Исходя из принятой математической модели, для решения данной задачи в качестве краевых условий принимаем условия первого рода.

Несмотря на сравнительно небольшой диапазон температур, предусмотрены зависимости всех коэффициентов от температуры. Это объясняется тем, что, кроме процесса расплавления гололеда, возможен нагрев участков голого провода, который приведет к перегреву. Результаты численного моделирования процесса нагрева провода представлены на рис. 3.

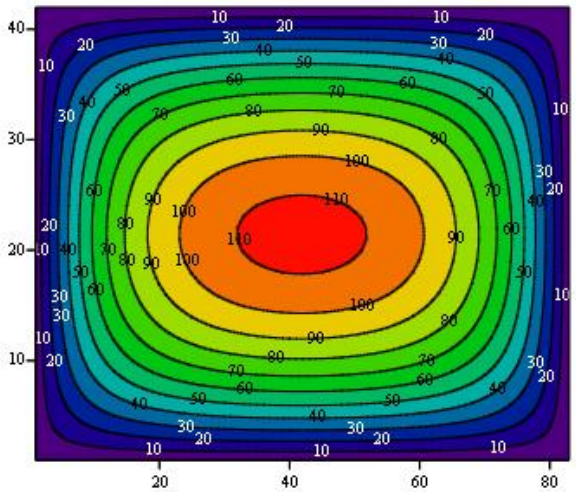

Рис. 3. Графическая интерпретация результатов моделирования

По полученным результатам можно сделать вывод о величине наибольших допустимых токов плавки, требуемой мощности, времени плавки гололеда, представить наглядно распределение температур в сечении проводника, в зависимости от значения тока, размеров и плотности гололедно-изморозевых образований, их формы, скорости ветра и температуры воздуха. Кроме того, проведение математических исследований процессов плавки гололеда на проводах в различных погодных условиях при разных токах нагрузки в линии позволит подобрать оптимальные режимы дополнительной загрузки линии реактивными токами для эффективной плавки при допустимой перегрузке трансформаторов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Базаров, А. А. Система плавки гололеда на проводах линий электропередачи без отключения нагрузки / А. А. Базаров, А. И. Данилушкин, В. С. Осипов // Вестник Самарского государственного технического университета. Сер. Технические науки // Электротехника. – 2015. – № 3 (47). – С. 109-117.

2. Кузнецов, Г. В., Шеремет, М. А. Разностные методы решения задач теплопроводности : учебное пособие / Г. В. Кузнецов, М. А. Шеремет. – Томск : Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.

АНАЛИЗ ПРОБЛЕМ В ТЕХНОЛОГИЧЕСКОМ ИСПОЛНЕНИИ И ЭКСПЛУАТАЦИИ ОПЕРАТИВНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ БЛОКИРОВОК ПС-35-110 КВ

Гринченко М. В. – магистрант
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Оперативная электромагнитная блокировка (ОЭМБ) используется в закрытых и открытых типах распределительных устройств, имеющих сложные схемы электрических соединений. Она устанавливается на щите управления для связи со схемой дистанционного управления выключателями. В конструктивном плане она выполнена с применением неповоротных одноключевых замков открытого исполнения типа ЗЭ. Назначение её заключается в исключении возможности возникновения опасных ситуаций (включение заземляющих ножей на участке линии под напряжением, отключение или включение под нагрузкой разъединителя, подача напряжения на заземленный участок линии) и в обеспечении определенной последовательности при включении и отключении коммуникационных аппаратов (рис. 1).

Различают несколько видов ОЭМБ:

1) оперативная электромагнитная блокировка разъединителей (рис. 2);

2) модернизированная электромагнитная блокировка ЗБ-1М.

На рис. 2 показаны разъединители, оснащенные заземляющими ножами.

Механическая блокировка на приводе имеется у основных и заземляющих ножей каждого из разъединителей, следовательно, заземляющий нож нельзя будет включить, если замкнут основной, и наоборот.

Без этого условия электромагнитная блокировка получилась бы чрезмерно сложной даже для такой простой первичной цепи. В случае срабатывания блокировки имеется необходимость исключения возможности ошибочного включения на заземленный участок цепи выключателя. Данное требование удовлетворяется таким построением схемы ЭМБ, что включение заземляющего ножа с одной стороны выключателя допускается лишь при отключенном разъединителе с другой стороны.

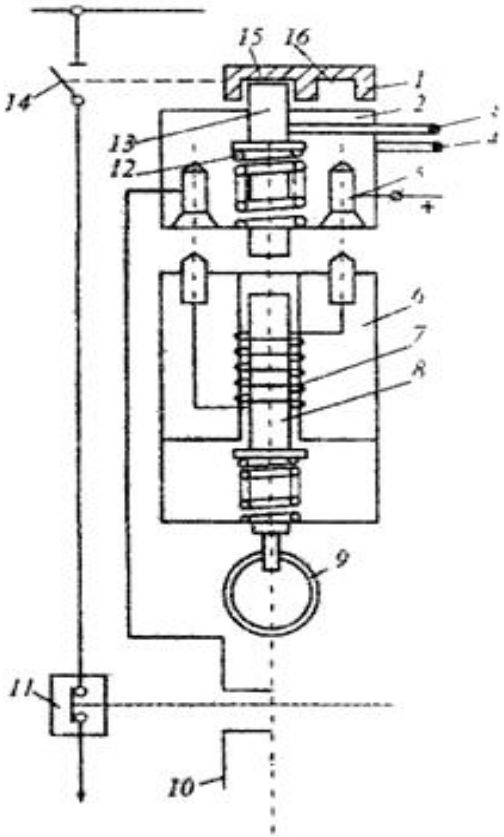

Рис. 1. Схема электромагнитной блокировки:
1 – привод; 2 – замок; 3 – шрифт; 4 – пушка; 5 – контактные гнезда; 6 – ключ; 7 – электромагнит; 8 – намагниченные стержни; 9 – кольцо; 10 – блок-контакт; 11 – выключатель; 12 – пружина; 13 – стальной стержень; 14 – шинный разъединитель; 15, 16 – отверстия

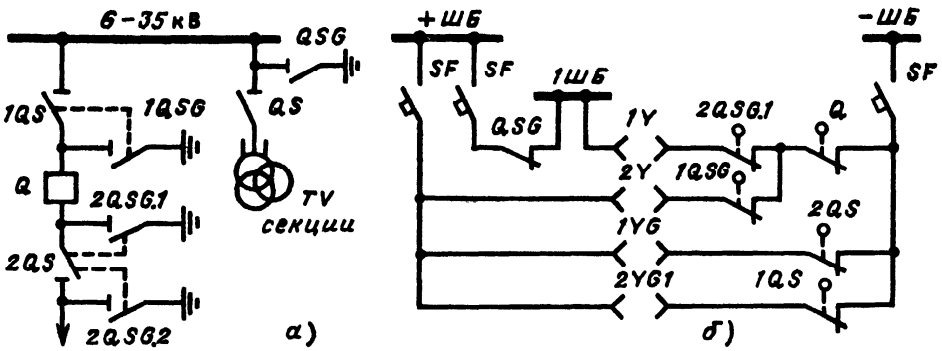

Рис. 2. Электромагнитная блокировка разъединителей
в цепи линии, присоединенной к РУ с одной системой сборных шин:
а) схема первичных соединений; б) электрическая схема блокировки

Схема блокировки позволяет:

– операции с разъединителем 1*QS* при отключенном выключателе *Q*, отключенных заземляющих ножах 2*QSG*1 и отключенных заземляющих ножах системы шин *QSG*;

– операции с разъединителем 2*QS* при отключенном выключателе *Q*, а также при отключенных заземляющих ножах 1*QSG*;

– операции с заземляющими ножами 1*QSG* (2*QSG*1) при отключенном разъединителе 2*QS* (1*QS*), а также с учетом наличия механической блокировки, о которой сказано выше.

Модернизированная ЭМБ ЗБ-1М с ключом КЭЗ-1М и магнитным ключом КМ-1М применима к высоковольтным разъединителям и заземлителям взамен применяемой ЗБ-1 и ключа КЭЗ-1 для предотвращения неправильных действий обслуживающего персонала при проведении работ с высоковольтными аппаратами. Блокировка ЗБ-1М имеет ряд преимуществ:

1) корпус из силуминового сплава имеет высокую прочность, устойчив к факторам воздействия окружающей среды;

2) корпусы ключей выполнены из ударопрочной пластмассы;

3) разработана конструкция для установки на открытом воздухе;

4) увеличено удерживающее усилие ключей на 20 %;

5) предусмотрена фиксация штока электромагнитного ключа в разблокированном положении.

При модернизации ОЭМБ на электрических подстанциях для обеспечения надежности работы блокировки и выполнения требований к объёму передаваемых режимов параметров с объекта предусмотрена замена КСА на герконовые.

Моменты, на которые следует обратить внимание при внедрении новых систем телемеханики и программируемой электромагнитной блокировки энергообъекта, заключаются в следующем:

– при получении запроса о выбранном объекте телеуправления и готовности привода аппарата к переключению система блокировки блокирует все прочие разрешительные сигналы на управление на время выполнения операции;

– начатая операция по переключению коммутационного аппарата должна быть доведена до конца в любом случае;

– подача исполнительного и разрешительного сигнала производится одновременно и только на время переключения;

– при различных режимах управления система блокировки должна обеспечивать надежную логику:

• удаленное – с уличных шкафов управления подстанции;

• местное – непосредственно с приводов, используя моторный привод;

• местное – в ручном режиме с помощью рукоятки привода.

Отказы традиционной электромагнитной блокировки, как правило, обусловлены ненадежностью замыкания и размыкания блок-контактов типа КСА, повторяющих положение заземляющих ножей и разъединителей, а также:

• наличием большого количества последовательно соединенных контактов;

• воздействием окружающей среды на контакты;

• наличием длинных кабельных связей, соединяющих последовательно необходимые блок-контакты коммутационных аппаратов, что увеличивает вероятность повреждения кабелей;

• использованием большого количества блок-контактов одного и того же привода для различных цепей подачи питания ±220 В на электромагнитные замки приводов;

• отсутствием мониторинга состояния блок-контактов, что увеличивает время на поиск неисправности, производство переключений и восстановление нормальной схемы электроснабжения.

Если же блокировка не разрешает проведение какой-либо операции, необходимо прекратить переключения и проверить:

• правильность выбранного присоединения;

• положение коммутационных аппаратов, участвующих в переключениях;

• исправность предохранителей в цепях питания блокировки или включенное положение автоматов;

• исправность электромагнитного ключа.

При обнаружении неисправности оперативной блокировки необходимо сообщить лицу, отдавшему распоряжение о переключениях. Самостоятельно деблокировать оперативную блокировку оперативному персоналу запрещается.

Разрешение на снятие пломб выдаёт лицо, имеющее на это право, закреплённое приказом по предприятию (обычно старший диспетчер, начальник ПС и главный инженер). Бланк переключений переписывается заново, в него вносится запись о деблокировке. И в завершение релейный персонал направляется на поиск неисправности.

Для повышения надежности работы электромагнитной блокировки разъединителей с применением программно-технического комплекса ПТК ТМИУС КП руководствуются следующими критериями:

• надежность;

• гибкость и универсальность, для создания системы с распределенной архитектурой;

• поддержка широкого набора проводных и беспроводных каналов связи;

• большая номенклатура модулей УСО с возможностью их комбинаций;

• возможность интеграции с другим оборудованием, использующим открытые стандарты;

• широкая линейка моделей для различных условий эксплуатации;

• удобство обслуживания, ремонтопригодность, заменяемость и масштабируемость.

Всеми данными параметрами в полной мере обладает представленный программно-технический комплекс ПТК ТМИУС КП, предназначенный для решения задач управления электромагнитной блокировкой разъединителе и телемеханизации энергообъектов.

Проведенный анализ показал, что не менее важными и пока не решенными недостатками ОЭМБ являются: во-первых, необходимость проведения работы над непрерывной передачей радиосигналов с датчиков положения, так как при определенном количестве коммутационных аппаратов из-за загруженного эфира в радиообмене между датчиком и приемным устройством могут наблюдаться сбои, особенно в жестких условиях электромагнитной обстановки энергообъектов. В результате непрерывной работы передатчиков предъявляются требования к мощности источников питания. Во-вторых, устройство предполагает наличие протяженных линий от логической схемы к каждому блок-замку, что существенно снижает надежность устройства из-за нарушения изоляции линий.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Алгоритмы оперативной блокировки разъединителей ПС-35 кВ для различных главных схем г. Нижний Новгород, 2012 г.

2. Герасимова, В. Г. Электротехнический справочник. Том 3 / В. Г. Герасимова, А. Ф. Дьякова, Н. Ф. Ильинский, В. А. Лабунцова, В. П. Морозкина, И. Н. Орлова (главный редактор), А. И. Попова, В. А. Строева. – М. : Энергоатомиздат, 1988. – С. 679-681.

3. http://www1.fips.ru/wps/wcm/connect/content_ru/ru/inform_resources/inform_retrieval_system/

4. РД 34.35.512 Союзтехэнерго, 1979 г. Автор инженер Б. С. Гельман. Инструкция по эксплуатации оперативных блокировок безопасности в распределительных устройствах высокого напряжения.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНОГО РЕЖИМА РАБОТЫ ПАРОВЫХ КОТЛОВ ТЭЦ НА ОРЭМ

Абрамов П. А., Абрамова Ю. В. – студенты
Султанов М. М. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Неизменной целью энергетической политики России является максимально эффективное использование природных энергетических ресурсов и всего потенциала энергетического сектора для устойчивого роста экономики и качества жизни населения страны и содействия укреплению ее внешнеэкономических позиций.

Энергетическая стратегия определяет цели и задачи долгосрочного развития энергетического сектора страны на предстоящий период; приоритеты и ориентиры, а также механизмы государственной энергетической политики на отдельных этапах ее реализации, обеспечивающие достижение намеченных целей.

В соответствии с Энергетической стратегией России на период до 2020 года (Стратегия-2020) снижение энерго- и электроемкости экономики и повышение эффективности использования энергоносителей являются важнейшими стратегическими направлениями.

На данный момент в России и в мире сложилась крайне неблагоприятная экологическая обстановка, обусловленная тем, что деятельность человека формирует существенное превышение допустимых нагрузок на природные комплексы.

Энергетическая стратегия России на период до 2030 года (Стратегия-2030), являясь преемственной по отношению к Стратегии-2020, обеспечивает расширение временного горизонта до 2030 года в соответствии с новыми задачами и приоритетами развития страны.

Положения Стратегии-2030 используются при разработке и корректировке энергетических стратегий и программ субъектов Российской Федерации [1].

Обслуживание высокопроизводительного котла обходится недешево. Любая организация, использующая такие котлы, выбирает оптимальный режим работы котла, при котором имеется максимально возможный КПД.

КПД брутто котлов, %, по обратному балансу определяется по формуле

$$\eta_{\text{К}}^{\text{бр(обр)}} = 100 - q_2 - q_3 - q_4 - q_5^{(\text{н})} - q_{6\text{шл}}^{(\text{н})} - q_{6\text{охл}}^{(\text{н})}, \qquad (1)$$

где q – потери тепла в %: q_2 – с уходящими газами; q_3 – из-за химического недожога горючих газов (CO, H_2, CH_4); q_4 – с механическим недожогом; $q_5^{(\text{н})}$ – от наружного охлаждения.

Фактические потери тепла от наружного охлаждения котла $q_5^{(\text{н})}$ с физическим теплом шлака $q_{6\text{шл}}^{(\text{н})}$ и потери $q_{6\text{охл}}^{(\text{н})}$, связанные с охлаждением конусов горелок, мазутных форсунок, леток, течек дробеочистки, панелей и балок топки, в эксплуатационных условиях не измеряются. Поэтому при определении фактического КПД брутто котла используются номинальные значения упомянутых потерь.

В инструкции к котлу указывается номинальный КПД, составляющий 92-95 %, реальный показатель ниже. Также КПД снижается из-за теплопотерь [2].

Изменение КПД котельных агрегатов представлено на рисунке.

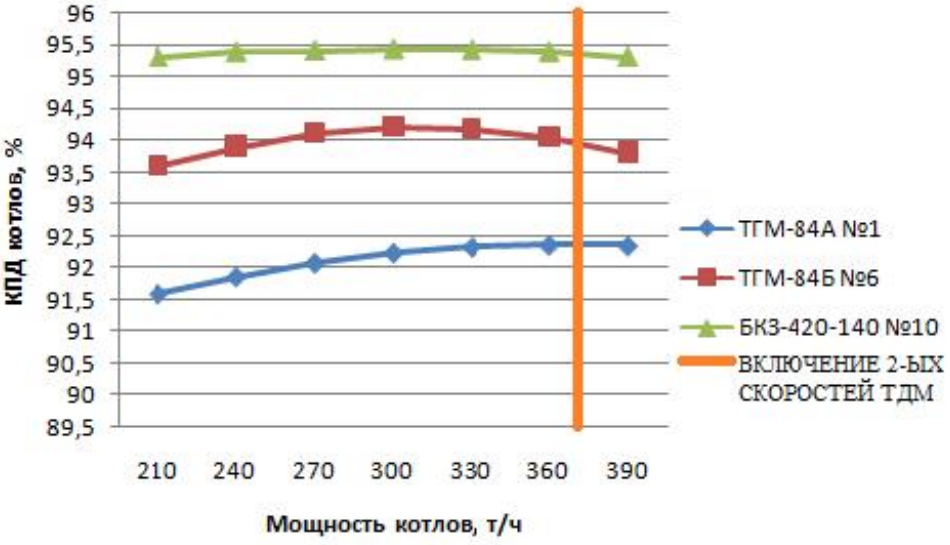

Рисунок. Зависимость коэффициента полезного действия котлов от тепловой мощности

Из рисунка видно, что при повышении нагрузки свыше 370 т/ч и включении вторых скоростей тягодутьевых механизмов на каждый котельный агрегат данное переключение воздействует по разному. На котлоагрегатах № 6

и 10 КПД начинает уменьшаться, а на котлоагрегате № 1 практически остаётся неизменным, но, в свою очередь, КПД котла № 1 является не столь высоким в сравнении с двумя другими рассматриваемыми котлами. Становится необходимым поиск решения по оптимальному выбору работающего состава котельного оборудования ТЭЦ в рамках ВСВГО.

Задачи, поставленные в исследовании:

– анализ опытов и направлений развития рынков электроэнергии в мировой практике с позиции решения задачи ВСВГО;

– разработка алгоритма выбора состава включенного котельного оборудования на основе нелинейной оптимизации с использованием характеристик относительного прироста расхода топлива (ХОП) и метода «динамических переходов».

Результатом исследования является внедрение системы эффективного выбора работающего состава котельного оборудования ТЭЦ в рамках ВСВГО.

КПД брутто котлов, %, по прямому балансу определяется по формуле

$$\eta_{\text{К}}^{\text{бр(пр)}} = \frac{Q_{\text{К}}^{\text{бр}}}{BQ_{\text{ут}} + Q_{\text{вн}}} \cdot 10^2, \qquad (2)$$

где $Q_{\text{К}}^{\text{бр}}$ – выработка тепла брутто, Гкал; B – количество топлива, т; $Q_{\text{ут}}$ – теплота сгорания условного топлива, Гкал/т; $Q_{\text{вн}}$ – количество тепла, Гкал [3].

Параметры паровых котлов ТЭЦ представлены в таблице.

Сравнение характеристик котельных агрегатов

Наименование котельных агрегатов	Паропроизводительность котла, т/ч							
	210	240	270	300	330	360	390	420
	КПД котла брутто							
ТГМ-84А № 1	91,25	91,59	91,86	92,08	92,24	92,33	92,36	92,35
ТГМ-84Б № 5	92,99	93,23	93,41	93,56	93,7	93,77	93,85	93,88
ТГМ-84Б № 6	92,25	93,60	93,90	94,10	94,2	94,18	94,05	93,80
ТГМ-84Б № 7	92,97	93,60	93,98	94,17	94,28	94,28	94,08	93,50
ТГМ-84Б № 8	92,88	93,15	93,40	93,52	93,50	93,23	92,80	92,25
ТГМ-84Б № 9	91,60	92,10	92,60	92,75	92,84	92,91	92,63	92,50
БКЗ-420-140 № 10	95,21	95,31	95,39	95,41	95,43	95,42	95,39	95,31
	Расход газа (по прибору), м^3/ч							
ТГМ-84А № 1	16 500	18 000	19 900	21 600	23 500	25 400	27 400	29 300
ТГМ-84Б № 5	15 000	17 000	19 400	21 500	24 000	26 100	28 400	30 500
ТГМ-84Б № 6	16 700	19 000	21 000	23 000	25 400	27 600	30 000	32 500
ТГМ-84Б № 7	17 000	19 200	21 000	23 000	25 400	27 600	30 000	32 500
ТГМ-84Б № 8	16 800	19 000	21 200	23 100	25 300	26 900	30 200	32 800
ТГМ-84Б № 9	15 100	17 400	19 000	21 200	23 500	26 400	27 800	29 200
БКЗ-420-140 № 10	15 800	16 000	19 950	22 200	24 000	26 200	28 200	30 250

При анализе таблицы выявлены закономерности параметров: зависимость расхода топлива и КПД котлов от тепловой нагрузки. По полученным в исследовании значениям разрабатывается методика нагрузки паровых котлов, что приведёт к значительной выгоде вследствие экономии топлива.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Машиностроение. Котельные установки. [Электронный ресурс] / Ю. А. Рундыгин, Е. Э. Гильде, А. В. Судаков ; Под ред. Ю. С. Васильева, Г. П. Поршнева. – М. : Машиностроение, 2009.

2. Султанов, М. М. Оптимизация режимов работы оборудования ТЭЦ по энергетической эффективности: дис. … канд. техн. наук / М. М. Султанов. – М., 2010. – 173 с.

3. Чалбышев, А. В. Оптимизация режимов работы ТЭЦ с учетом современных условий их функционирования в составе электроэнергетической системы: дис. … канд. техн. наук. – Иркутск, 2015. – 158 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ КОНСТРУКЦИИ СОВРЕМЕННЫХ НЕИЗОЛИРОВАННЫХ СТАЛЕАЛЮМИНЕВЫХ ПРОВОДОВ

Зерщиков А. И., Абрамова Ю. В., Абрамов П. А. – студенты
Курьянов В. Н. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в. г. Волжском

Увеличение потребления электрической энергии ставит задачу увеличения пропускной способности с одновременным сохранением максимальной прочности провода при одновременном уменьшении диаметра, увеличения стойкости металлического сердечника для неизолированных проводов в высокопрочном и высокотемпературном исполнении [1].

Современные неизолированные сталеалюминиевые провода марки АСВП изготавливаются в семи конструктивных исполнениях, различных по количеству и диаметрам проволок стального сердечника и алюминиевой части провода.

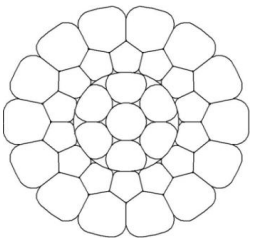

Рисунок. Конструкция провода марки АСВП исполнения I

Вариант конструктивного исполнения I – 1×35(К(1+6)+К(14+14)) провода марки АСВП представлен на рисунке. К – процесс пластического обжатия. Иными словами, К – это отношение наружного диаметра необжатого провода к наружному диаметру обжатого провода.

В работе проведен сравнительный анализ и расчет разрывного усилия проводников АС 240/56 и АСВП 277/79, характеристики которых приведены в таблице.

Характеристики проводов АС 240/56 и АСВП 277/79

Марка провода	Номинальное сечение провода, мм^2	Диаметр необжатого провода, мм	Диаметр обжатого провода, мм	Диаметр стального сердечника, мм	Диаметр проволоки стального сердечника, мм	Диаметр 1-го слоя сердечника, мм	Диаметр 2-го слоя алюминиевой проволоки, мм	Диаметр 3-го слоя алюминиевой проволоки, мм
АС 240/56	241,0/56,3	22,4	22,4	9,60	3,2	3,20	3,20	3,20
АСВП 277/79	277,3/78,8	25,5	22,4	10,75	4,0	3,75	2,90	4,10

Для определения разрывного усилия рассчитываем площадь поперечного сечения проволок каждого слоя по формуле

$$S = \frac{\pi d^2}{4}. \quad (1)$$

Для провода АСВП 277/79:

– площадь поперечного сечения проволоки стального сердечника

$$S_{\text{пров.ст.серд}} = \frac{3{,}14 \cdot 4{,}0^2}{4} = 12{,}566 \text{ мм}^2; \quad (2)$$

– площадь поперечного сечения проволоки 1-го слоя сердечника

$$S_{1\text{слоя серд}} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}75^2}{4} = 11{,}045 \text{ мм}^2; \quad (3)$$

– площадь поперечного сечения 2-го слоя алюминиевой проволоки

$$S_{2\text{слоя ал.пров}} = \frac{3{,}14 \cdot 2{,}90^2}{4} = 6{,}605 \text{ мм}^2; \quad (4)$$

– площадь поперечного сечения 3-го слоя алюминиевой проволоки

$$S_{3\text{слоя ал.пров}} = \frac{3{,}14 \cdot 4{,}10^2}{4} = 13{,}203 \text{ мм}^2. \quad (5)$$

Так как провод АС 240/56 состоит из проволок одинакового диаметра, то площадь поперечно сечения проволок каждого слоя будет равна

$$S_{\text{пров.АС}} = \frac{3{,}14 \cdot 3{,}2^2}{4} = 8{,}038 \text{ мм}^2. \quad (6)$$

Разрывное усилие многопроволочного провода, согласно «ГОСТ 839-80 Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия», определяется по формуле [2]:

$$F = \sum_{i=1}^{n_a} Fa_i + \sum_{i=1}^{n_s} Fs_i \,, \tag{7}$$

где Fa_i – разрывное усилие одной алюминиевой проволоки; n_a – количество алюминиевых проволок; Fs_i – разрывное усилие одной алюминиевой проволоки; n_s – количество алюминиевых проволок.

По табл. Приложения 4 ГОСТ 839-80 выбирается временное сопротивление разрыву для алюминиевых проволок диаметром 2,90; 3,20 и 4,10 мм:

$$\sigma_{2,9} = 170\,\frac{\text{мн}}{\text{м}^2};\quad \sigma_{3,20} = 165\,\frac{\text{мн}}{\text{м}^2};\quad \sigma_{4,10} = 160\,\frac{\text{мн}}{\text{м}^2}.$$

По формуле временного сопротивления разрыву определяется усилие $F_{\max}$:

$$F_m = \sigma_i S\,. \tag{8}$$

Для провода АСВП 277/79:

– разрывное усилие проволоки диаметром 2,90 мм

$$F_{m(2,9)} = \sigma_{2,9} S = 170 \cdot 10^6 \cdot 6{,}605 \cdot 10^{-6} = 1122{,}85\ \text{Н}\,; \tag{9}$$

– разрывное усилие проволоки диаметром 4,10 мм

$$F_{m(4,10)} = \sigma_{4,10} S = 160 \cdot 10^6 \cdot 13{,}203 \cdot 10^{-6} = 2112{,}48\ \text{Н}\,. \tag{10}$$

Для провода АС 240/56:

– разрывное усилие проволоки диаметром 3,20 мм

$$F_{m(3,20)} = \sigma_{2,9} S = 165 \cdot 10^6 \cdot 8{,}038 \cdot 10^{-6} = 1326{,}27\ \text{Н}\,. \tag{11}$$

Разрывное усилие для стальной проволоки, согласно ГОСТ 830-80, рассчитывается по напряжению при 1%-ном удлинении.

Для этого записываем формулу относительной продольной деформации:

$$\varepsilon_{\text{прод}} = \frac{\Delta l}{l}\,, \tag{12}$$

где Δl – удлинение; l – начальная длина проволоки.

Записываем формулу модуля упругости:

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{\dfrac{F_{\max}}{S}}{\dfrac{\Delta l}{l}} = \frac{F_m l}{\Delta l S}\,. \tag{13}$$

Отсюда

$$F_m = \frac{E \Delta l S}{l}\,. \tag{14}$$

Модуль упругости для стали $E = 206 \cdot 10^9 \ \frac{\text{Н}}{\text{м}^2}$.

Длина образца проволоки, согласно ГОСТ 9850 [3]: l = 0,2 м.

Для провода АСВП 277/79:

– разрывное усилие для стальной проволоки сердечника диаметром 4,0:

$$F_{m(4,0)} = \frac{206 \cdot 10^9 \cdot 0{,}002 \cdot 12{,}566 \cdot 10^{-6}}{0{,}2} = 25\,885{,}9 \text{ Н}; \quad (15)$$

– разрывное усилие для стальной проволоки сердечника диаметром 3,75:

$$F_{m(3,75)} = \frac{206 \cdot 10^9 \cdot 0{,}002 \cdot 11{,}045 \cdot 10^{-6}}{0{,}2} = 22\,752{,}7 \text{ Н}. \quad (16)$$

Для провода АС 240/56:

$$F_{m(3,20)} = \frac{206 \cdot 10^9 \cdot 0{,}002 \cdot 8{,}038 \cdot 10^{-6}}{0{,}2} = 16\,558{,}3 \text{ Н}. \quad (17)$$

Подставив полученные значения в выражение (7), произведем расчет разрывного усилия провода АСВП 277/79:

$$F_{\text{АСВП}} = 207\,696{,}9 \text{ Н}.$$

Аналогично для провода АС 240/56:

$$F_{\text{АС}} = 155\,696{,}2 \text{ Н}.$$

На основании полученных результатов можно сделать вывод о том, что повышение разрывного усилия провода достигается за счет увеличения площади поперечного сечения при неизменном наружном диаметре путем пластического обжатия стальных и алюминиевых проволок, что обеспечивает возможность увеличения пропускной способности проводника и уменьшения стрел провеса ВЛЭП.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гордон, С. В. Сооружение линий электропередачи / С. В. Гордон. – М. : Энергоатомиздат, 1984.

2. ГОСТ 839-80 «Провода неизолированные для воздушных линий электропередачи. Технические условия».

3. ГОСТ 9850-72 «Проволока стальная оцинкованная для сердечников проводов. Технические условия».

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОКАЗАТЕЛЕЙ НАДЁЖНОСТИ И ЭФФЕКТИВНОСТИ ФУНКЦИЙ РЕЛЕЙНОЙ ЗАЩИТЫ И АВТОМАТИКИ

Толстоноженко Н. М., Артёмов А. А. – студенты
Курьянов В. Н. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в. г. Волжском

Повышение эффективности работы объектов генерации электрической энергии и электросетевых комплексов в настоящее время невозможно без эффективного функционирования устройств релейной защиты и автоматики, особенно с применением цифровых устройств релейной защиты (ЦРЗ), что может быть достигнуто лишь при правильном понимании и применении функций ЦРЗ и в первую очередь функций сложных защит. Это обусловлено тем, что ЦРЗ обладает рядом существенных особенностей по сравнению с предыдущими поколениями устройств релейной защиты. Это относится прежде всего к самой структуре построения ЦРЗ, где не существует физических блоков, соответствующих отдельным защитным функциям. Следовательно, необходимо менять подходы и к проверке ЦРЗ: подведением определенных комбинаций входных величин следует убедиться не только в действии проверяемых функций, но и в недействии других функций.

В табл. 1 сведены значения настройки микропроцессорных устройств, применяемых в ЦРЗ.

Таблица 1

Описание работы устройства или каналов обработки информации и принятия решения

Наименование	Значение
Ток срабатывания ЗП по стороне ВН, А (от 0,1 до 100,00 с шагом 0,01)	120
Ток срабатывания ЗП по стороне НН1, А (от 0,1 до 100,00 с шагом 0,01)	1,8
Ток срабатывания ЗП на стороне НН2, А (от 0,1 до 100,00 с шагом 0,01)	1,8
Задержка на срабатывание ЗП, с (от 0,05 до 27,00 с шагом 0,01)	7,00
Защита от перегрузки по стороне № 1 (ВН) (не предусмотрена, предусмотрена)	не предусмотрена
Защита от перегрузки по стороне № 3 (НН1) (не предусмотрена, предусмотрена)	предусмотрена
Защита от перегрузки по стороне № 4 (НН2) (не предусмотрена, предусмотрена)	предусмотрена

Другим фактором является существенное увеличение в цифровых защитах числа параметров, установка которых производится пользователем, и наличие в сложных защитах большого числа сообщений различного вида.

Это в определенной степени усложняет обслуживание и требует наличия квалифицированного персонала.

В табл. 2 приведены сведения интенсивности отказов релейной защиты в электрических сетях 35/10/6кВ Волгоградской области.

Таблица 2

Интенсивность отказов релейной защиты различных видов

Параметр / Вид реле	**Электромеханические**		**Статистические**		**Микропроцессорные**	
	2011	2012	2011	2012	2011	2012
Общее количество реле в эксплуатации	2312		2754		3787	
Количество повреждений	1	4	8	8	43	51
Относительное количество повреждений, %	0,043	0,173	0,291	0,291	1,135	1,347
Среднегодовое относительное количество повреждений, %	0,11		0,29		1,24	
Годовая интенсивность отказов	1,0		2,6		11,3	

Как показывает статистика, общий процент неправильных действий ЦРЗ, особенно сложных устройств, в начальный период эксплуатации не снижается по сравнению с электромеханическими и статическими устройствами защиты, а в некоторых случаях даже возрастает. Это определяется не отказами аппаратуры, а в первую очередь ошибками при проектировании и обслуживании, связанными с неправильным использованием отдельных функций защит, ошибками при выборе и установке их параметров и уставок. Эффективным средством снижения ошибок является использование программ расчета уставок и автоматизированных средств проверки. Важным также является обеспечение допустимой электромагнитной обстановки на объекте для снижения влияния помех и исключения возможности повреждения ЦРЗ [1].

Главным преимуществом цифровых устройств релейной защиты является возможность интегрирования их в автоматические системы управления технологическими процессами на энергетических объектах (АСУ ТП) [2]. Чаще всего кроме функции непосредственно релейной защиты цифровое устройство выполняет роль автоматики управления коммутационным аппаратом (выключателем).

Целью работы является разработка модели функционирования систем РЗА на современной элементной базе, что позволит выявить такие составляющие эффективности работы систем релейной защиты в современных условиях, как надёжность программного обеспечения, защищённость от внешних электромагнитных и других воздействий, человеческий фактор.

Для достижения поставленной цели рассматриваются следующие задачи.

1. Анализ факторов, влияющих на надёжность систем РЗА, выявление их достоинств и недостатков.

2. Определение количества и схем резервирования систем РЗА по информации о неправильных действиях конкретных типов защит.

3. Развитие теории надёжности в отношении систем РЗА энергосистем.

4. Разработка алгоритмов и программ имитационного моделирования системы РЗА с целью оценки её надёжности.

5. Разработка алгоритма и программы для расчёта на ЭВМ показателей надёжности систем РЗА.

Устройства релейной защиты и автоматики обеспечивают защиту подстанционного оборудования и заходящих на подстанцию линий от коротких замыканий, выполняют регистрацию событий и сбоев в текущем режиме работы, повышают надежность работы энергообъекта.

Исследуют отечественные инновационные разработки, призванные повысить надежность электроснабжения потребителей. Принципиальное отличие новых устройств релейной защиты – универсальность и высокая эффективность при минимальной себестоимости. Комплекс автоматических устройств позволяет идентифицировать повреждения электросетевого оборудования для обеспечения нормальной работы сети.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Линт, М., Александр, Б. Проблемы перевода РЗА на цифровую основу / Михаил Линт, Александр Булычев // Энергетика, 01.11.2010.

2. Захаров, О. Г. Надежность цифровых устройств в цифрах и диаграммах / О. Г. Захаров // Вести в электроэнергетике. – 2013. – № 4.

ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ МЕТОДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛНИИ

Молчанов М. В., Ярда Н. А. – студенты
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ НИУ «МЭИ» в г. Волжском, Россия

Задача исследования и моделирования образования физических процессов при грозовых разрядах и прогнозирования указанного явления является актуальной при обоснованном выборе средств защиты объектов наземных (включая электроэнергетические комплексы) и летательных аппаратов. На ряд моментов не имеется единой точки зрения. Интерес представляют два показателя: возможное количество разрядов молнии в защищаемое оборудование или вблизи него и величины токов в разрядах молнии. Определение первого из них выполняется путем анализа многолетних метеорологических наблюдений и использованием средних характеристик грозовой деятельности. Решение второй задачи оказывается более проблематичным в связи со сложностью прямых измерений (определение места удара молнии, большой порядок величин и соответствующие повышенные требования к оборудованию).

Для горных местностей и высоких зданий (сооружений) наиболее характерны восходящие разряды. Нисходящие молнии обычно встречаются на равнинных

территориях с невысокими конструкциями. Между высотой сооружения и вероятностью попадания в него молнии имеется прямая зависимость.

При ударе молнии во всех проводниках около канала молнии возникают наведенные токи импульсом от единиц до сотен ампер. Эти токи могут повреждать аппаратуру и провода из-за своей большой величины. От них практически всегда необходима защита, так как опасность может возникнуть даже при ударе молнии в нескольких сотнях метров в стороне. Среднегодовое количество ударов молнии на 1 км^2 составляет 1-3 для средней полосы и 3-6 для южных и горных районов. Наибольшие наводки наблюдаются во фронте волны, где скорость изменения тока наибольшая. При моделировании разряда молнии для обеспечения насколько возможно большей надежности и минимизации непредвиденных обстоятельств принимают наихудшие параметры фронта.

В [1] по результатам данных Международного Совета по большим электрическим системам (CIGRE) приводятся параметры тока молнии, в предположении, что они подчиняются логарифмически нормальному распределению. По указанной в документе функции распределения может быть определена вероятность появления любого значения каждого параметра.

Системы молниеприемников подвергаются механическим и термическим воздействиям, при этом через молниеприемник протекает большая доля тока молнии. Наиболее опасному влиянию подвергаются соединительные элементы. Оценивается эрозия под воздействием электрической дуги [1]. В [1] описываются основные элементы системы молниезащиты и влияние молнии на них.

В [2] для наиболее точной имитации протекания тока молнии по заземляющему устройству предлагается проводить измерение следующих величин:

• уровни помех, передаваемые на входы аппаратуры, измеряемые непосредственно в местах установки МП аппаратуры. Рассматриваемые помехи будут автоматически учитывать все факторы: разности потенциалов точек заземления измерительных трансформаторов, емкостные и индуктивные наводки. При наличии экранов, заземленных с двух сторон, будет автоматически учитываться ослабление помех. Измерения, проводимые с помощью имитационных (проложенных по тем же трассам, что и контрольные цепи) и резервных кабелей (с незаземленными экраном), позволят определить коэффициенты ослабления помех как экранами, так и кабельными конструкциями;

• перенапряжения, приложенные к изоляции кабелей (или к изоляции в клеммниках и прочих электроустановочных изделиях) – в местах сближения с молниеотводами. Измеряются непосредственно в интересующих точках (клеммных шкафах, местах концевой разделки и т. п.);

• разность потенциалов, приложенная к слою грунта между молниеотводом и трассой прокладки вторичной цепи (измеряется по СО 34.35.311-2004 для определения соответствия требованиям научно-технической документации по условию обратного перекрытия).

Существует следующая классификация математических моделей для исследования разряда молнии [3, с. 1381]:

• газодинамические (гидродинамические, физические). Позволяют установить параметры начально развивающегося канала молнии, приводящего к появлению ударной волны. Исследуется пробой в замкнутых системах, заполненных жидкостью: на вход подаётся ток канала, на выходе измеряются давление, температура, плотность жидкости [7, с. 261-262]. Недостатки метода: необходимость применения экспериментальных образцов жидкости с ухудшением их свойств в ходе эксперимента, подбор материалов с соблюдением требований к их параметрам для соответствия реальным условиям, проведение измерений различными инструментами определенной точности ряда параметров жидкости для получения достоверных результатов. Достоинства: отсутствие испытаний действующего энергооборудования в полевых условиях, связь модели с точными (не эмпирическими) расчетными выражениями Максвелла;

• электродинамические модели. Позволяют исследовать основные эффекты от грозовых разрядов при помощи уравнений Максвелла. Выделяют два основных подхода к определению электромагнитных полей молнии:

– посредством численного (приближенного) решения точных уравнений, например, на базе метода конечных разностей во временной области (finite-difference timedomain method – FDTD), который ранее применялся для определения перенапряжений в линии; интегральным уравнением электрического поля (EFIE), методом моментов (MoM);

– посредством использования упрощенных уравнений.

Эти методы лишены недостатков описанного далее метода, поскольку в нем отсутствуют ограничения и не используются приближения (волна не ограничивается перемещением в одном направление и т. п.). Учитывается эффект тока обратного хода, источником возникновения которого считается динамическое изменение переходной проводимости. Также достоинством является удобство при расчете наведенных полей, хорошо согласующемся на расстоянии до нескольких десятков километров. Недостатки метода: сложность получения точных значений из-за необходимости принятия допущений, выбора места размещения источника тока молнии; учет ряда параметров сред, в которых происходит распространение волн;

• математические модели, в основе которых лежит рассмотрение переходных процессов в линии с распределенными электрическими параметрами R, L, C. Методы, в том числе на основе модернизированного телеграфного уравнения, удобны при изучении особенностей обратных разрядов молнии, для применения на практике. Предполагается, что линия заряжается прямым каналом молнии, а затем насыщается, начинается обратный разряд. Параметры линии – функции пространства-времени. Метод имеет недостатки: в нем рассматривается режим поперечного распространения волны тока обратного хода, однако большую долю занимает компонента вдоль фронта волны; условия, при которых

метод справедлив, зачастую не в полной мере соответствуют действительным линиям. Метод в основном ориентирован на невысокие объекты[1];

• инженерные математические модели на основе различного рода уравнений (упрощенные, приближенные методы). Не предусматривают расчет обратных ударов. Результатами облегчения принятия тех или иных значений, форм выражений являются удобоприменимость расчетов с возможностью проведения на ЭВМ с меньшей производительностью, но при этом получаемые выводы являются менее достоверными.

Определить наиболее опасные траектории молний с целью применения соответствующих мер защиты при экстремальных условиях позволяет связь двух явлений: длинная искра и молния. Различия между ними существенны, несмотря на общность процессов. На основании данного сравнения сформирована вероятностная форма имитационного моделирования разряда молнии. Метод позволяет путём математических описаний определить статистически и аналитически процессы формирования и воздействия удара молнии на защищаемый объект.

Со стороны физической имитации в основу модели длинного разряда входит использование глобальной системы координат, с траекторией – ступенчатое перемещение лидера, с пренебрежением неравномерности распределения заряда по длине канала лидера. Расчёт начинается с задания координат X, Y, Z вершины молниезащиты и определения границ расчётной области. Производится формирование ступеней облачного лидера. Точка старта начальной ступени задаётся произвольно, как и длина ступени L с линейным зарядом $\tau_л$ в соответствии с законом нормального распределения с граничными условиями, соответствующими природным наблюдениям. Значения заряда, переносимого молнией на землю, принимаются постоянными, отрицательными (что, согласно результатам исследований, в большинстве случаев справедливо) на протяжении всего процесса развития молнии.

Моделирование большого числа разрядов (более 10 000) позволяет сформировать карту распределения плотности вероятностного поражения молнией заданной площади зоны. Построение производится в виде ячейки, в которой находятся координаты пересечения ступеней лидера с данным слоем (вид – квадродерева). При создании карты плотности вероятностного распределения оперируют числом пробоев на квадратный метр площади.

Опытная реализация разработанных математических моделей реализовывалась на крупномасштабной модели с длинной искрой. Сравнительная оценка полученных результатов позволяет сделать вывод о целесообразности применения данного способа имитационного моделирования и эффективности применяемых проектных решений, даже при наличии указанных ранее допущений. К недостаткам метода относится, что ясно из описания, объем вычислений, пусть и в основном однотипных.

[1] Границы применения метода относительно высоты объектов авторам установить не удалось, поскольку задача является многофакторной и в каждом отдельно рассматриваемом случае требуется установление критических значений.

Разработана электрогеометрическая модель молнии. Канал молнии разбивается на ступени в зависимости от расстояния до земли. Полагается, что полный канал разряда сформирован, когда какой-либо объект или земля располагается от канала пробоя на расстоянии, меньшем удлинения канала молнии при прохождении очередной ступени. Недостатком метода является неучет зависимости скорости и направления канала в зависимости от электрического поля.

Описаны элементы методики, в которой с помощью теории фракталов[2] учитываются отношения высот зданий (сооружений) к их длинам, угол падения и полярность молнии, особенности местности и наличие областей локального усиления электрического поля [6]. Вероятность пробоя определяется как E^{η}, однако нет пояснений относительно значений параметра η. Достоинством модели является его проработанность с учетом геометрических особенностей наземных объектов и канала самой молнии. Указанный недостаток может быть устранен в результате проведения узкоспециализированных исследований.

В [5] моделирование проводится из тех соображений, что растут лишь те стримеры, время распространения которых не меньше среднего. Скорость лидера принимается постоянной (10 000 м/с), в то время как последняя определяется разностью потенциалов головки и точки падения молнии (уровень лидерного канала изменялся от 480 до 790 кВ, то есть модель самопротиворечива).

Указанные выше недочеты учтены в модели максимальных радиусов защиты одиночных молниеотводов от поражения лидером отрицательной молнии [4]. Модель, по результатам её применения, адекватно согласуется с нормируемыми значениями для молниеотводов высотой до 150 м. В ней принимается, что молния переносит к земле отрицательный заряд, однако модель может быть применена и в обратном случае; учитываются физические особенности развития канала (изменение его размеров, изменение сопротивления и скорости стримеров, решающая роль стримерной зоны нисходящего лидера в скорости нарастания тока и длительности фронта импульса тока у земли т. д.).

Вывод

В настоящий момент разработано большое количество теоретических методов моделирования молнии (часть которых даже не вошла в объем данной работы по существующим ограничениям), но глубокое изучение и применение для реальных расчетов показывают их неполноту, сложность в практических целях или заметную неточность за счет большого количества различных коэффициентов и учитываемых факторов. Необходимо дальнейшее изучение особенностей распространения каналов молнии в различных условиях с выявлением универсальных признаков и принципов, позволяющих сделать разрабатываемые имитационные модели в одинаково достаточной степени приближенности к действительности и применимыми в программных целях, поскольку использование более достоверных практических методов имитации разрядов молнии

[2] Множество, обладающее свойством самоподобия (объект, в точности или приближённо совпадающий с частью себя самого).

в полевых условиях не всегда доступно по ряду соображений, в частности, финансовых и материальных, связанных с наличием инструментов. Для расширения же возможностей установки электрооборудования при предсказанном увеличении энергопотребления оказывается полезным изучение и моделирование шаровых молний, существование которых в научной среде было принято не так давно, почему явление недостаточно обосновано.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. ГОСТ Р МЭК 62305-1-2010. Менеджмент риска. Защита от молнии. Часть 1. Общие принципы.

2. Матвеев, М. В. Имитационное моделирование растекания тока молнии по ЗУ ПС и ЭС / М. В. Матвеев, М. Б. Кузнецов // Энергоэксперт. – 2009. – № 4(15). – С. 95-101.

3. Потапенко, А. Н. Возможный подход для оценки систем молниезащит ракетносителей на космодромах / А. Н. Потапенко, В. Курей, Т. А. Потапенко // Известия Самарского науч. центра Рос. академии наук, т. 14. – 2012. – № 4(5). – С. 1380-1385.

4. Резинкина, М. М. Статистическая модель процесса ориентировки лидера молнии на наземные объекты [Текст] / М. М. Резинкина, В. В. Князев, В. И. Кравченко // Журнал технической физики. – 2005. – Т. 75, № 9. – С. 44-51.

5. Agoris D. P., Gharalambakov V. P., Pyrgioty E., Grzybowski S. // 26th Intern. Conf. on Lighting Protection. Cracow, 2002. P. 270-274.

6. Petrov N. I., Petrova G. N., D'Alessandro F. // IEEE Trans. on Diel. and Electr. Ins. 2003. Vol. 10. N 4. P. 641-654.

7. Udaya K, Rosy BR, Dileepkumar KP. Direct Time Domain Modelling of First Return Stroke of Lightning. 29th International Conference on Lightning Protection (ICLP-2008): Upp-sala, Sweden 2008.

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИМИТАЦИОННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ МОЛНИИ

Молчанов М. В., Ярда Н. А. – студенты
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ НИУ «МЭИ» в г. Волжском, Россия

В результате многолетних исследований и экспериментов накоплено большое количество данных по физическим характеристикам разрядов молний, режимам работы молниезащитных средств и защищаемого оборудования, используемых сегодня не в полной мере. Существует немалое количество практических и теоретических моделей молний и связанных с ними процессов в наземных объектах. Многообразие методик не раскрывает все интересующие проектировщиков и исследователей вопросы или вовсе приводит к неполным или ошибочным выводам.

Суть полевых методов заключается в подаче импульса, аналогичного по форме импульсу тока молнии, на заземление конструкции с молниеприемником и определении разности потенциалов между отдельными точками.

В РД-153-34.0-20.525-00[3] приведено несколько электрических схем для выдачи больших токов. Особенности подключения прибора и выполнения измерений оказываются пригодны как для опор ВЛ, так и для любых молниеотводов, однако не нормируются особенности применения метода, а используемый прибор ИК-1, выдающий импульсы с формой 8/20 мкс, не соответствует требованиям проведения имитационных измерений (IEC 62305, СО153-34.21.122-2003 устанавливают импульс 10/350 мкс или 0,25/100 мкс) [3, с. 95-96]. В СО 34.35.311-2004 не нормируются ясно параметры испытательного импульса генератора, требования являются расплывчатыми [3, с. 96]. Таким образом, может сложиться ситуация, при которой различные исследовательские лаборатории получили значительно отличающиеся результаты при соблюдении требований научно-технической документации.

Наилучшим методом экспериментального (не расчетного) исследования растекания тока молнии по заземлителям считается применение мощных генераторов [3, с. 97]. Среди недостатков метода можно отметить его большую затратность и возможность нарушений в работе вторичного оборудования. Поэтому представляется выгодным использование повсеместно применимых портативных генераторов с относительно малыми токами на выходе. При этом определяющим является стабильность выдаваемых генератором импульсов, то есть независимость временных параметров импульса от условий конкретного оборудования. Подобные генераторы разработаны: например, экспериментальный генератор ЛУГ-1М компании ООО «ЭЗОП», являющийся, в сущности, системой автоматического регулирования выдаваемого в нагрузку тока до эталонного сигнала 10/350 мкс [1, с. 97-98]. Схема подключения прибора зависит от измеряемого параметра. Пример схемы экспериментального определения параметров молнии представлен на рис. 1.

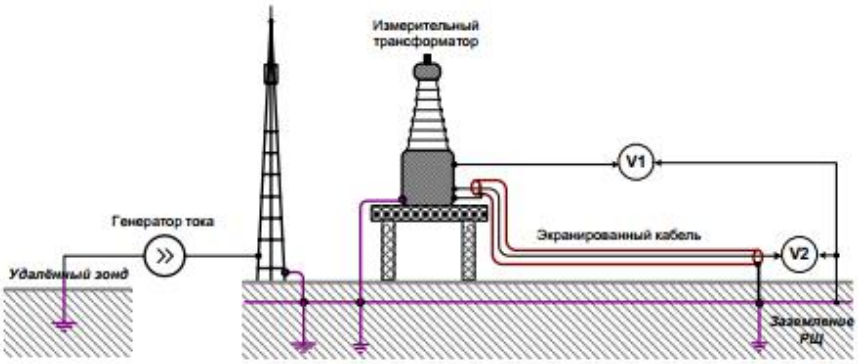

Рис. 1. Схема измерения импульсной разности потенциалов (V1) и помехи на входе аппаратуры (V2)

Для создания канала высокой проводимости в атмосфере, способного коммутировать молнию, газ должен быть нагрет до температуры 4000-8000 К, при которой начинается процесс термической ионизации – главный механизм

[3] Указанный документ регулирует ряд вопросов, связанных с параметрами выдаваемых схемами имитации молнии сигналов, содержит перечень основных определений.

создания разряда в канале. Поэтому стримерный механизм при наличии высокой концентрации электронов в канале с низкой температурой не может привести непосредственно к пробою [2]. Согласно [4], для создания в сухом воздухе проводящего канала диаметром 1 см с температурой 4000 К верхний уровень энергии излучения в импульсе (радиоимпульс) должен составлять для длины канала: 4 м – 6,48 кДж; 20 м – 32,4 кДж; 40 м – 64 кДж; 41 284 м – 677,922 МДж.

Одним из приоритетных подходов к формированию токопроводящих каналов в атмосфере может стать применение технологии лазерного пуска «Импульсар» [1]. Способ включает перемещение в среде оптической фокусирующей системы и направление на нее излучения импульсно-периодического лазера. Частота повторения импульсов 10 кГц – 1 МГц. В воздушной среде создается смесь аэрозоля (металлофуллерены на основе щелочных металлов, фуллериды меди, которые являются высокотемпературными сверхпроводниками, и пр.) с атмосферным воздухом, которая в дальнейшем ионизируется.

Для возбуждения триггерных молний используют запуск небольших ракет (длиной около 1 м) с металлическим или диэлектрическим корпусом. Поднимая со скоростью 200 м/с на высоту 200-300 м стальную или медную взрывную проволоку (ВП) диаметра 200 мкм, когда напряженность электрического поля у поверхности земли составляет 4-10 кВ/м, проволоку взрывают; в 60-70 % случаев образуется канал отрицательной молнии (в расчетах обычно принимают E = 10 кВ/м). Из описания очевидно, что недостатком является ненадёжность способа. Электрический взрыв проволоки осуществляется быстрее происходящего за счет химических реакций.

Схема эксперимента по инициированию пробоя в ВП приведена на рис. 2.

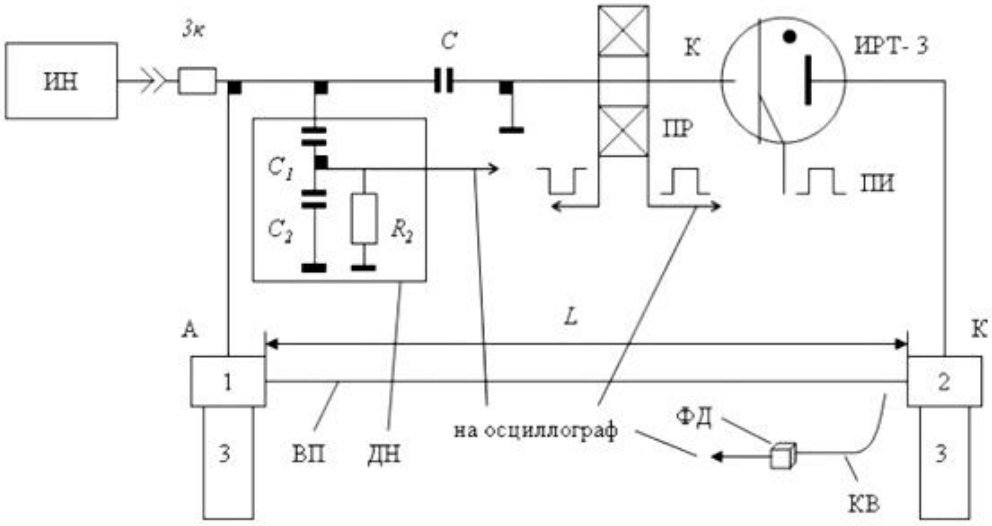

Рис. 2. Схема эксперимента по инициированию пробоя во взрывной проволоке (а), фотографии пробоя взрывной проволоки (б) и триггерной молнии, инициируемой запуском ракеты (Camp Blanding Florida) (в); 1, 2 – латунные электроды; 3 – эбонитовые изоляторы; ИРТ-3 – игнитрон, коммутатор; ПР – пояс Роговского; ДН – делитель напряжения; ПИ – пусковой импульс; ВП – взрывающаяся проволока; ФД – фотодиод; КВ – кварцевое волокно; А – анод; К – катод; ИН – источник зарядного напряжения

Спектральная чувствительность канала позволила регистрировать излучение также в ультрафиолетовом (УФ) диапазоне, которое доминирует на стримерной стадии; потери на излучение и поглощение в УФ диапазоне малы. Форма напряжения на разрядном промежутке измеряется с помощью делителя напряжения, подключаемого к аноду батареи конденсаторов. Сопротивление R_2, шунтирующее емкость, выбирается из условия допустимого искажения измеряемого напряжения по времени. Плечи делителя имеют отличные друг от друга постоянные времени.

Ранее разработанные методы имитационного моделирования не позволяют производить оценку возможного диапазона расположения истинной величины разряда. Был описан метод нахождения неопределённости измерений напряжений на заземляющем устройстве (ЗУ) и напряжения в кабелях вторичных цепей при имитации ударов молнии в молниеотводы подстанций с открытым распределительным устройством (ОРУ) 110 кВ. Одним из способов является имитация ударов молнии в молниеотводы подстанции генератором апериодических импульсов (ГАИ). Форма тока ГАИ пропорциональна току молнии, но имеет меньшую величину. Измерение напряжения осуществляется импульсным вольтметром (ВИ) с приведением результатов измерений к действительной величине тока молнии.

Приведение определяемого напряжения к реальному осуществляется по формуле

$$U_{\text{ВЛ}} = \frac{(U_{\text{изм}} - U_{\text{изм.ф}})(1 + \delta U_{\text{изм}} + \delta U_{\text{изм.т}})}{I_{\Gamma}(1 + \delta I_{\Gamma})} I_{\text{М}}, \qquad (1)$$

где $U_{\text{изм}}$ – измеряемая величина напряжения при имитации удара молнии, В; $U_{\text{изм.ф}}$ – то же фонового напряжения, В; $\delta U_{\text{изм}}$ – неопределённость, обусловленная погрешностью ВИ, о.е.; $\delta U_{\text{изм.т}}$ – то же, обусловленная температурной нестабильностью отношения измеренной величины напряжения к измеренной величине тока, о.е.; l_{Γ} – измеренная величина импульса тока ГАИ, А; δI_{Γ} – неопределённость, обусловленная погрешностью ГАИ, о.е.; $I_{\text{М}}$ – ток молнии, определяемый классом молниезащиты объекта, А.

Аналогично производится расчёт по методике выполнения измерений напряжений, возникающих в кабелях вторичных цепей при ударах молнии в молниеотводы подстанции.

Основным методом определения наводимого в кабелях вторичной цепи напряжения является имитационное моделирование удара молнии в молниеотвод генератором высокочастотных импульсов (ГВЧИ) и измерение напряжения в проводниках посредством вольтметра ВИ-6М.

Величина реального наведённого напряжения вычисляется по формуле

$$U_{\text{ИН.ВЛ}} = \frac{(U_{\text{к}} - U_{\text{фк}})(1 + \delta U_{\text{п}})}{I_{\Gamma}(1 + \delta I_{\Gamma})} I_{\text{М}}, \qquad (2)$$

где $U_к$ и $U_{фк}$ – амплитуды измеренного в кабеле напряжения при включённом и отключённом ГВЧИ, В; $\delta U_п$ – погрешность ВИ-6М, о.е.; $I_Г$ – амплитуда тока ГВЧИ, А; $\delta I_Г$ – погрешность измерения ГВЧИ, о.е.

Промежуток, в котором располагается неопределённость реального определяемого напряжения, представляется путём использования опытных данных метеорологических исследований.

Графическое представление канала разряда молнии имитационным моделированием позволяет отразить физику процесса. Импульсный ток в 1 мкс неравномерен на длине разряда в десятки метров и является линией с волновыми эффектами.

Результаты значений реального напряжения данной методики показывает близость имитационных разрядов к действительным параметрам удара молнии в пропорциональной зависимости, что позволяет сделать вывод о повышении достоверности оценки электромагнитных влияний на защищаемые объекты.

Вывод

В последнее время перспективными являются более дорогостоящие по сравнению с теоретическими, но в то же время позволяющие получить более достоверные (за исключением необходимости подбора большого количества коэффициентов и точных исходных данных) результаты практические испытательные схемы и установки. Такие схемы, даже будучи прописаны в стандартах, имеют определенные недостатки, поэтому актуальными являются пути совершенствования имеющихся установок и разработки новых. В качестве одного из путей минимизации стоимости и увеличения возможности применения методов предлагается рассматривать их объединение с теоретическими моделями, что позволит частично сократить недостатки обоих методов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ создания токопроводящих каналов в непроводящей среде. Патент РФ № 2400005. Аполлонов В. В., Аполлонова З. П., Вагин Ю. С., Вагина Т. Г. Заявка № 2009118874/06 от 20.05.2009. Бюл. № 26, 20.09.2010.

2. Базелян, Э. М., Райзер, Ю. П. Искровой разряд / Э. М. Базелян, Ю. П. Райзер. – М. : МФТИ, 1997. – 320 с.

3. Матвеев, М. В. Имитационное моделирование растекания тока молнии по ЗУ ПС и ЭС / М. В. Матвеев, М. Б. Кузнецов // Энергоэксперт. – 2009. – № 4(15). – С. 95-101.

4. Paustian, P. J. Microwave facilitated atmospheric energy projection system // Patent No. 6,054, 694, US, Appl. No: 08/834,421, Filed: Apr.16, 1997, Date of Patent: Apr. 25, 2000.

ВНЕДРЕНИЕ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ НА ПОСТОЯННЫХ МАГНИТАХ В СИСТЕМУ СОБСТВЕННЫХ НУЖД ГИДРОЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

Молчанов М. В. – студент
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ НИУ «МЭИ» в г. Волжском, Россия

Применение в системе собственных нужд гидроэлектростанции электродвигателей на постоянных магнитах для обеспечения эффективной и надёжной работы со снижением уровня отклонений принимаемой энергии от поставщика (Генератора) является актуальной задачей.

Постепенное развитие и усложнение системы электроснабжения собственных нужд станций способствует внедрению устройств управления распределением и потреблением электроэнергии на базе современной вычислительной техники. Схема электроснабжения собственных нужд (СН) гидроэлектростанции (ГЭС) делится на схему агрегатных нужд и общестанционных нужд. В каждом направлении имеется вспомогательное оборудование, работа которого обеспечивается устаревшими электродвигателями. В числе потребителей СН ГЭС имеются электродвигатели единичной мощностью в 250 кВт для насосных станций технического водоснабжения, системы осушения проточного тракта гидроагрегатов и водосбросов ГЭС, пожаротушения. Для компрессорных станций устанавливаются электродвигатели по 200 кВт мощности.

В данной работе проанализированы особенности характеристик и конструкции электродвигателя на постоянных магнитах, намечены возможные пути совершенствования системы СН ГЭС для обеспечения большой эффективности и надёжности в работе.

Электроприёмниками СН гидроагрегатов даже больших мощностей являются исключительно электродвигатели малой мощности в непосредственной близости к ним. В таком случае питание рассчитывается на напряжение 0,4 кВ. В качестве привода маслонапорной установки (МНУ) СН ГЭС используются асинхронные двигатели с короткозамкнутым ротором относительно небольшой мощности (110 кВт) и напряжением 380 В.

В последнее время наиболее перспективным становится применение электродвигателей на постоянных магнитах (PMMS). Разработка нового типа машины направлена на использование в приводах различной мощности с практически полным исключением дополнительных источников питания. Как правило, сфера применения определяет собственные требования к типу конструкции соответствующих двигателей (по мощности, габаритам, манёвренности).

Выработка электрической энергии в двигателях на постоянных магнитах основана на применении магнитного поля ферромагнетиков. Постоянные магниты изготавливаются в основном из соединений металлов (неодим, бор, железо). Для улучшения магнитных свойств магниты выполняют «спечёнными». Электродвигатель состоит из неподвижного статора и вращающегося ротора

с магнитами постоянного типа, размещёнными в радиальных пазах. Конструкция статора состоит из сердечника и обмотки. Цепь возбуждения представляется обыкновенными постоянными магнитами без установки токосъёмного узла ротора. Принцип работы основан на взаимодействии вращающегося магнитного поля обмотки статора с полем рабочего возбудителя в пазах ротора. Система обеспечивает электрическое переключение направления тока. При приближении статора к ротору на минимальное расстояние возникает переменное отталкивание и притяжение в магнитах. Угловое положение ротора определяется посредством фиксирования показателей магнитного поля при помощи датчиков. В результате закона электромагнитной индукции проводники генераторных катушек направляют ток в цепь потребителя. Запуск и торможение обеспечивает система статор – магниты. В комбинированной конструкции по катушкам электромагнитов пропускают постоянный ток. Возбуждение данным способом позволяет улучшить регулировочную характеристику напряжения и частоты вращения, а также снизить объёмы магнитной системы [1].

Данное оборудование имеет ряд преимуществ перед классическими электродвигателями. Основным достоинством является возможность получения оптимального режима работы при воздействии реактивной энергии путём автоматической регулировки тока. К преимуществам следует отнести: повышение надёжности за счёт применения постоянных магнитов; значительное уменьшение габаритных размеров и веса конструкции при сохранении мощности с повышением КПД; поддержание высокой перегрузочной способности; синхронная скорость вращения остаётся постоянной при различной нагрузке.

К недостаткам следует отнести: усложнение конструкции и повышение стоимости; отсутствует регулирование возбуждения. Двигатель на время пуска невозможно отключить. Возникает тормозной момент, и образуется провал в пусковой характеристике двигателя. Опасность воздействий оценивается застреванием электродвигателя на малых скоростях вращения.

Выбор электродвигателя на постоянных магнитах в системе собственных нужд гидроэлектростанции обосновывается стандартными показателями, присущими конструкциям асинхронных и синхронных двигателей. Необходимо произвести выбор конструкции постоянного магнита, что позволит скомпенсировать размагничивающее действие реакции якоря. При двух парах полюсов используют тангенциальную или кольцевую конструкцию, при большем числе пар полюсов – радиальную с полюсными наконечниками из магнитотвёрдого материала. Важно отметить выбор технологии магнитного охлаждения устройства.

Наиболее распространено применение асинхронных двигателей, что целесообразно в плане экономии на приводах механизмов. Ротор под действием нагрузки скользит относительно магнитного поля и отстаёт от него. Степень проскальзывания увеличивается под действием трения элементов двигателя, что в итоге достигает 5 % из опыта эксплуатации в военной промышленности. Для компенсации эффекта скольжения предполагается использовать частотный

преобразователь, который снижает показатель отставания частоты на 10 % от номинального значения.

Параметры номинального напряжения и мощности асинхронного электродвигателя на постоянных магнитах аналогичны действующим конструкциям на станциях. На первом этапе внедрение нужно провести на приводах МНУ.

При построении схем собственных нужд следует учитывать, что многие ГЭС работают в пиковой или полупиковой части графика системы с несколькими пусками и остановками в течение суток, когда коммутации, связанные с переходом с рабочих на пускорезервные трансформаторы собственных нужд и обратно, весьма нежелательны [2].

Зависимость максимума собственного потребления от величины перетоков через автотрансформаторы связи является следствием возникновения значительных потерь. Существенный расход на систему возбуждения и потери вызывает включение шунтирующего реактора. Собственное потребление станции возрастает вследствие наличия в сети большой величины реактивной мощности. Возникает необходимость планомерной организации всего комплекса собственных нужд с учётом возможных потерь.

Годовые отчёты данных по региональному часу максимума потребления электроэнергии, выпускаемые различными ГЭС, периодически фиксируют значения, превышающие нормативные показатели. Основные нормативы устанавливает комиссия НП «Совет рынка».

Генераторы должны разгружаться со скоростью не меньше скорости роста потребления. Графически представим отставание выдаваемой нагрузки во времени между поставщиком и потребителем до замены электродвигателя и после (рисунок). В результате построения характеристик получаем, что установка электродвигателя на постоянных магнитах позволяет обеспечить выравнивание графика генерации относительно графика потребления СН ГЭС.

Рынок обязывает Генераторов нести дополнительные издержки за счёт предоставления системой услуги. Заменяемое оборудование должно быть более простым в управлении и обеспечить более высокую надёжность перетоков электроэнергии на нужды собственного потребления.

На современных ГЭС группа режимов на основании анализа соответствующих параметров ГЭС с учётом складывающихся гидрологических условий выявляет отклонения от определённых максимальных фактических месячных значений собственного потребления за последние пять лет ежегодно по конкретному месяцу работы.

Работа в пиковом режиме значительно увеличивает собственное потребление станции. Таким образом, основной причиной превышения устанавливаемых нормативов является ярко выраженный пиковый график загрузки в период месяца. Работа со значимым параметром максимальной загрузки и несение обязательств по запрашиваемому поддержанию уровня поставок мощности со стороны ГЭС являются актуальными при условии оплаты по факту.

Перспектива использования электродвигателей на постоянных магнитах в составе привода вспомогательного оборудования гидроэлектростанций считается рациональной. Преимущества снижения потребления электроэнергии до 40 % предполагают повышение срока окупаемости до 12 месяцев и надёжности применения данного типа двигателя в системе собственных нужд на первоначальном этапе обновления состава оборудования станций. Снижение затрат на электроэнергию в системе собственных нужд в 2,1 раза позволит установить необходимый уровень потребления станции.

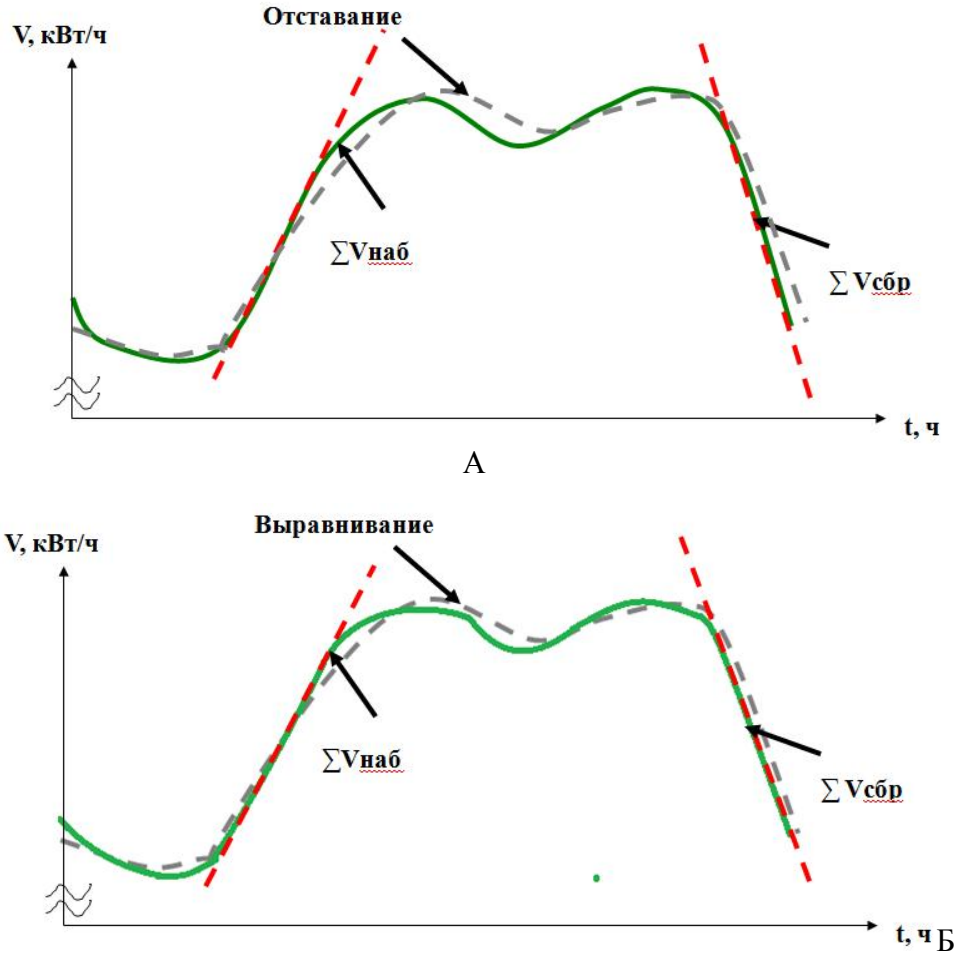

Рисунок. Соотношение нагрузки во времени между Генератором (поставщиком энергии) и потребителем: А – отставание графика генерации от графика потребления ГЭС из-за недостаточной скорости набора/сброса нагрузки генераторов при использовании электродвигателя (до замены); Б – выравнивание графика генерации относительно графика потребления СН ГЭС при использовании электродвигателя на постоянных магнитах

В целях повышения эффективности энергопотребления на приводах можно использовать в качестве электромеханического преобразователя подшипник на основе постоянного магнита.

Стратегическая задача развития ЕЭС России на ближайшие годы заключается во внедрении новых технологий в обеспечении безаварийной работы оборудования электрической части станций.

Основными направлениями поддержания системы СН ГЭС является применение новых конструкций электродвигателей. Возможность применения электродвигателей на постоянных магнитах в текущий период на ГЭС является перспективной на новом этапе обновления парка оборудования. Предполагаемый подход к внедрению электродвигателей на постоянных магнитах позволит обеспечить надёжность работы, улучшит регулировочную характеристику напряжения и частоты вращения за счёт преобразователей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Семёнов, В. В., Сидоренко, Н. С. Энергетическая установка на постоянных магнитах / В. В. Семёнов, Н. С. Сидоренко // Молодой учёный. – 2017. – № 6. – С. 86-88.

2. СТО 17330282.27.140.020-2008 Системы питания собственных нужд ГЭС. Условия создания. Нормы и требования.

3. Зайцев, А. И., Лядов, Ю. С. Регулируемый электропривод и его роль в энергосбережении [Электрон. ресурс] / А. И. Зайцев, Ю. С. Лядов // Журнал «Электротехнические комплексы и системы управления». – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.v-itc.ru/electrotech, № 2/2006.

4. Черновец, А. К., Лапидус, А. А. Режим работы электрооборудования станций и подстанций / А. К. Черновец, А. А. Лапидус. – Спб. : Изд-во Политехн. ун-та, 2005.

5. Собственные нужды ПАО «РусГидро» [Электрон. ресурс]. – Электрон. дан. – Режим доступа: http://www.rushydro.ru.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОПОТРЕБЛЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА СЧЕТ УТИЛИЗАЦИИ ТЕПЛА СБРОСНОГО ПАРА

Жилина В. И. – д-р экон. наук, профессор
Илясов Д. В. – студент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В связи с вступлением в силу Федерального закона от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Закон № 261-ФЗ) [1] перед организациями поставлены новые задачи, связанные с обеспечением рационального использования энергетических ресурсов.

Одно из основных требований, которое в настоящее время предъявляется к организациям в сфере энергосбережения и повышения энергетической эффективности, – это требование по снижению объема потребляемых энергетических ресурсов и использование потенциала вторичных энергоресурсов, полученных в виде отходов производства и потребления или побочных продуктов в результате осуществления технологического процесса или использования оборудования, функциональное назначение которого не связано с производством соответствующего вида энергетического ресурса [1], [2].

За несоблюдение этого требования в законодательстве предусмотрена административная ответственность в виде штрафа как для юридических лиц, так

и для должностных. В этой связи соблюдение установленных требований становится одной из первостепенных задач в деятельности организаций.

С другой стороны, ежегодный рост цен на энергоносители подводит к тому, что тема рационального использования вторичных энергоресурсов становится все более актуальной.

В настоящее время пароснабжение АО «ВТЗ» осуществляется в основном от внешнего источника (выработка – ТЭЦ-2, передача – тепловые сети). Кроме того, имеется внутренний источник пара – пароиспарительная система печи с шагающими балками ТПЦ-3 (до 15 тн/ч). Основное потребление пара происходит в процессе выплавки стали при режиме вакуумации и в системе ГВС. В некоторых технологических процессах также применяется пар, но доля его в общем объеме незначительна.

Для вакуумации стали используется только покупной пар в связи с его более высокой температурой (до 210 °С) и необходимым расходом (до 45 тн/ч). Влажный пар собственной выработки (170-180 °С) используется в основном для выработки горячей воды в бойлерах и, частично, для нужд отопления в зимний период. В весенний, летний и осенний периоды расход пара на заводе снижается, и невостребованное количество пара из межцехового паропровода сбрасывается в атмосферу через свечу. Существующая схема пароснабжения показана на рис. 1.

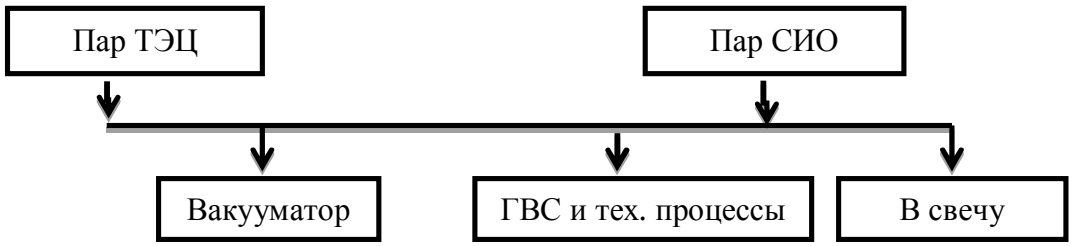

Рис. 1. Существующая схема пароснабжения предприятия

Для утилизации тепла сбросного пара в межсезонье предлагается установка паровинтовой машины для выработки собственной электроэнергии и теплообменника (конденсатора) с целью возврата обессоленной воды в схему водоподготовки (рис. 2).

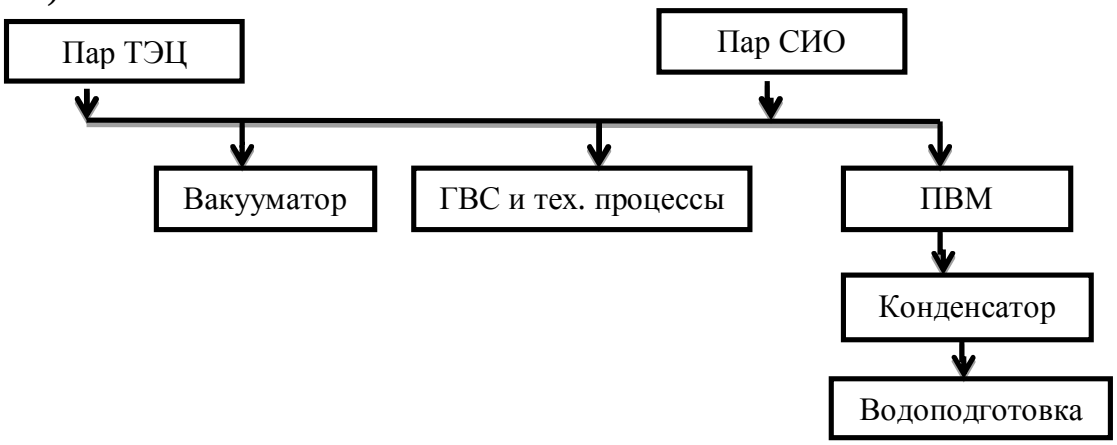

Рис. 2. Предлагаемая схема использования сбросного пара

Устройство и принцип действия паровинтовой машины (ПВМ)

ПВМ является машиной объемного типа действия. Она содержит ведущий и ведомый роторы (рис. 3) в виде шнеков специального профиля. Выходной вал ведущего ротора подсоединен к электрогенератору. Винтовые роторы турбины вращаются в противоположные стороны и находятся в зацеплении через шестерни связи, исключающие касание роторов между собой.

Рис. 3. Конструкция роторов ПВМ

Принцип действия ПВМ показан на рис. 4. Сбрасываемый пар поступает в ПВМ через впускное окно в корпусе с одного торца роторов. После заполнения паром канавки между зубьями происходит отсечка пара, и при дальнейшем вращении роторов в канавке (парной полости) происходит объемное расширение порции пара. В конце расширения канавка сообщается с выпускными окнами в корпусе на другом торце роторов. Выпускной пар поступает в конденсатор и далее в виде деминерализованной воды возвращается в схему водоподготовки [3, 4].

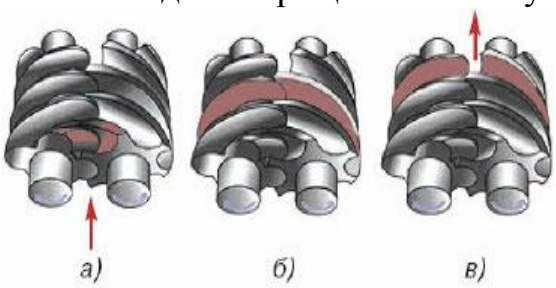

Рис. 4. Принцип действия ПВМ:
а) начальное заполнение паровой полости; б) расширение пара;
в) выпуск отработанного пара

Основные преимущества паровинтовой машины перед лопаточной паровой турбиной

ПВМ в отличие от лопаточной паровой турбины может работать на паре любой влажности. При малой скорости потока между винтами отсутствует эрозионный износ поверхностей рабочих органов; высокая маневренность при изменении режима работы, быстрый пуск и останов; высокий межремонтный ресурс (15 тыс. ч) обусловлен отсутствием взаимного касания роторов и соответственно отсутствием механического износа; габариты ПВМ в 1,5-2 раза

меньше, чем у турбины. Это важно при размещении ПВМ в здании; вращение роторов в противоположные стороны обеспечивает уравновешенную работу машины, минимизирует вибрацию и силовые воздействия на фундамент.

Энергоустановка с ПВМ может быть трех типов: для автономного режима, для режима параллельно сети, а также для привода исполнительных механизмов, например водяных насосов. Стоит заметить, что при работе в параллельном режиме энергоустановка работает на сеть предприятия, покрывая часть его собственных нужд в электроэнергии и уменьшая тем самым ее потребление из сети. Обороты и частота переменного тока энергоустановки жестко привязаны к частоте сети. Мощность установки определяется перепадом давления и расходом пара через машину и регулируется дроссельным клапаном на входе в ПВМ.

Подключение энергоустановки в режиме работы параллельно с электрической сетью можно вести по упрощенной схеме в связи с тем, что в состав энергоустановки входит асинхронный генератор (АГ) [5].

Ожидаемая экономия энергоресурсов составит:

– выработка электроэнергии:

$$500 \text{ кВт} \times 183 \text{ дн.} \times 24 \text{ ч} \times 2{,}45 \text{ руб.} = 5\,380\,200 \text{ руб./год};$$

– экономия на возврате деминерализованной воды:

$$10 \text{ т/ч} \times 183 \text{ дн.} \times 24 \text{ ч} \times 124 \text{ руб.} = 5\,446\,080 \text{ руб./год}.$$

Внедрение предлагаемой схемы позволит получить дополнительный источник электроэнергии (например, на нужды вспомогательного оборудования: насосы, вентиляторы, зарядные станции), исключив потери (и, соответственно, затраты на передачу электроэнергии, которые составляют значительную долю в цене покупной электроэнергии), а также обеспечит возврат обессоленной воды в схему водоподготовки. В среднем срок окупаемости установки с монтажом составляет 1 год.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Федеральный закон от 23.11.2009 г. № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности и о внесении изменений в отдельные законодательные акты Российской Федерации» (Закон № 261-ФЗ).

2. Пилипенко, Н. В., Сиваков, И. А. Энергосбережение и повышение энергетической эффективности инженерных систем и сетей : Учебное пособие / Н. В. Пилипенко, И. А. Сиваков. – СПб. : НИУ ИТМО, 2013. – 2074 с.

3. Трохин, И. С. Мини-ТЭЦ с паровыми моторами – реальность XXI века / И. С. Трохин // Энергосбережение. – 2012. – № 2. – С. 62-68.

4. Дубинин, В. С. Применение паропоршневых технологий в котельных в качестве альтернативы внешнему электропитанию / В. С. Дубинин, К. М. Лаврухин, М. Ю. Алексеевич, С. О. Шкарупа // Энергобезопасность и энергосбережение. – 2010. – № 6. – С. 17-20.

5. Торопцев, Н. Д. Асинхронные генераторы автономных систем / Н. Д. Торопцев. – М. : Знак, 1997. – 288 с.

ОПТИМИЗАЦИЯ РАБОТЫ ОБЪЕКТА СОБСТВЕННОЙ ГЕНЕРАЦИИ ПУТЕМ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИМИ ПРОЦЕССАМИ

Павликов Ю. В., Кравченко И. В. – магистранты
Жилина В. И. – д-р экон. наук, профессор
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Мини-ТЭЦ являются объектами собственной генерации, предназначенными для обеспечения собственных нужд тепловой и электрической энергией предприятий, многоэтажных жилых домов, различных строительных комплексов.

Как и теплоэлектроцентрали, объекты собственной генерации стремятся оптимизировать свое производство, повышая тем самым его эффективность, безопасность, улучшая качество продукции, снижая затраты на топливо. В качестве стратегии по оптимизации предлагается автоматизация производства.

Одним из основных видов систем автоматизации является автоматизированная система управления технологическим процессом (АСУ ТП).

АСУ ТП позволяет управлять процессом включения и выключения котлов и газопоршневых установок (пуск, остановка); регулировать и поддерживать в заданном режиме характеристики теплоносителя, мощности оборудования; оповещать об аварийной ситуации путем включения сигнализации; контролировать показания индикаторов и датчиков, определяющих температуру (воздуха и теплоносителя), давление воды и насосов [1]. В результате этого происходит уменьшение износа теплоэнергетического оборудования (увеличение межремонтных промежутков, снижение расходов на ремонт), снижение расхода топлива.

Применение АСУ ТП облегчает труд человека, существенно уменьшая степень его участия в производственном процессе, что позволит произвести сокращение рабочего персонала.

Рассмотрим объект собственной генерации, в состав которого входит водогрейный котел мощностью 1 МВт, две газопоршневые установки мощностью 200 кВт каждая с системой утилизации тепла (когенерации).

Функциональная схема автоматики представлена на рисунке.

Для сбора технологических параметров от датчиков давления и температуры и преобразования сигналов используются два аналоговых модуля ввода и модуль ввода дискретных сигналов. Программируемые логические контроллеры (ПЛК1 и ПЛК2) следят за изменениями параметров (температуры и давления) и реагируют на их изменение в соответствии с заданными параметрами управления. Для отображения технологических параметров системы, вывода информации и сигнализации о нештатных ситуациях и ввода настроечных параметров и значений аварийных установок системы утилизации тепла используется графическая панель оператора ГПО. В системе используется модем МП, служащий для обеспечения передачи информации по каналам GPRS на рабочее место оператора в режиме реального времени.

Для управления газопоршневыми установками и коммутационной аппаратурой генераторов используются модули синхронизации генераторов МСГ, которые связаны с контроллером ПЛК1 по протоколу Modbus RTU.

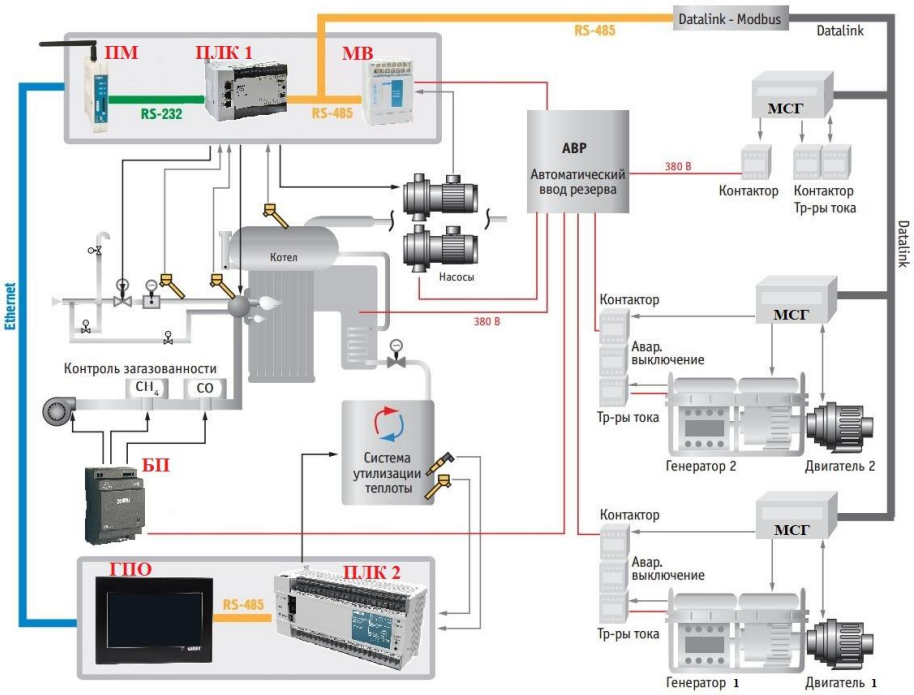

Рисунок. Функциональная схема автоматики

В таблице приведен экономический эффект после внедрении АСУ ТП и его срок окупаемости для рассматриваемого объекта собственной генерации.

В таблице $C_{к.в}$ – стоимость комплексного внедрения АСУ ТП (проектирование АСУ ТП, производство шкафов автоматики, разработка ПО для АСУ ТП, пусконаладка АСУ ТП); $C_{об}$, $C_{тр}$ – стоимость оборудования и его транспортировки; B_1, B_2 – затраты на топливо за год до внедрения АСУ ТП и после; $З_1$, $З_2$ – расходы на зарплату рабочему персоналу до внедрения АСУ ТП и после; r – ставка дисконтирования.

Параметр	Формула	Результат
Капитальные затраты, руб.	$К.З = C_{к.в} + C_{об} + C_{тр}$	263 000
Снижение затрат на топливо, руб./год	$Э_{топ} = B_1 - B_2$	75 300
Снижение затрат на оплату труда, руб./год	$Э_{тр} = З_1 - З_2$	120 000
Экономический эффект, руб./год	$Э = Э_{топ} + Э_{тр}$	195 300
Обычный срок окупаемости, лет	$T_{ок} = \frac{К.З}{Э}$	1,35
Дисконтированный срок окупаемости, лет	$DPP = \sum_{t=1}^{n} \frac{CF_t}{(1+r)^t} \le C_{эф}$	1,51

АСУ ТП позволит оптимизировать работу объекта собственной генерации, обеспечивая гибкую работу газопоршневых установок и генераторов с учетом потребляемой мощности, работу водогрейного котла в автоматическом режиме, снижая расход топлива путем его рационального использования, сокращая затраты на обслуживание мини-ТЭЦ.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Гаврилов, А. Н. Средства и системы управления технологическими процессами : Учебное пособие / А. Н. Гаврилов, Ю. В. Пятаков. – М. : Лань, 2016. – 376 с.

РАЗРАБОТКА ОБУЧАЮЩЕГО ТРЕНАЖЕРА ПО УПРАВЛЕНИЮ ГРУНТОВЫМ ТЕПЛОВЫМ НАСОСОМ

Купоносова В. С. – магистрант
Болдырев И. А. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

На данный момент времени одной из наиболее актуальных проблем является энергосбережение. Внедрение тренажерной подготовки в структуру образовательного процесса, которая наглядно демонстрирует реальный процесс управления энергетическими объектами, способствует формированию навыков и умений, необходимых для обеспечения надежности и безопасности персонала и объекта управления [1].

В филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском создан Полигон для исследования эффективности функционирования комбинаций нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии [2], который дает возможность демонстрировать учащимся работу действующего оборудования. При помощи Полигона появляется возможность проведения лабораторных работ, но при этом вывод оборудования на все режимы невозможен по технологическим причинам и в связи с непостоянным характером метеоусловий. Во избежание подобных проблем одним из вариантов является построение виртуальных тренажеров, моделирующих работу Полигона.

Предлагается следующая структура тренажера, представленная на рис. 1.

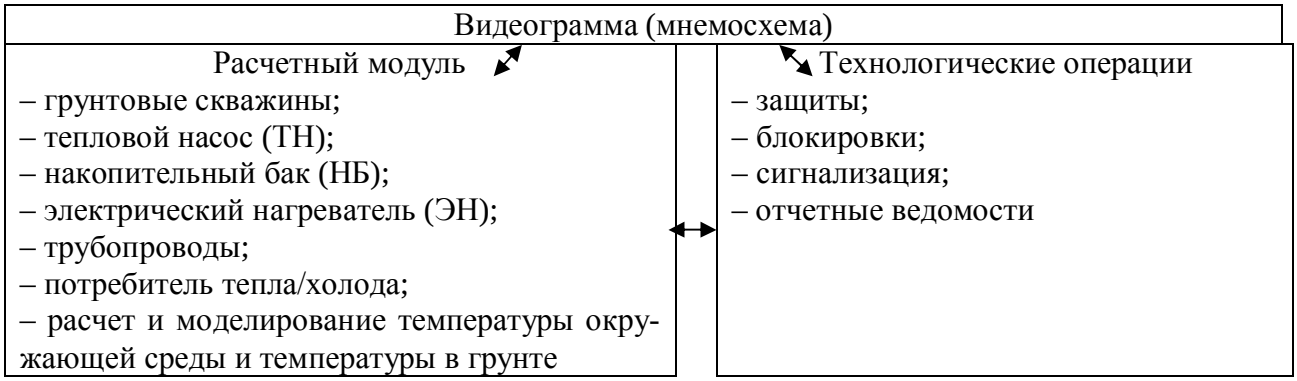

Рис. 1. Структура тренажера

Одним из этапов разработки тренажера является построение математической модели ТН типа «грунт – вода». Были получены математические модели компонентов системы на основании результатов проведенных экспериментов.

Графики переходных процессов по каналам «обогрев помещения – температура в накопительном баке (НБ)», «нагрев ТН – температура в НБ», «нагрев электрическим нагревателем (ЭН) – температура в НБ» представлены на рис. 2.

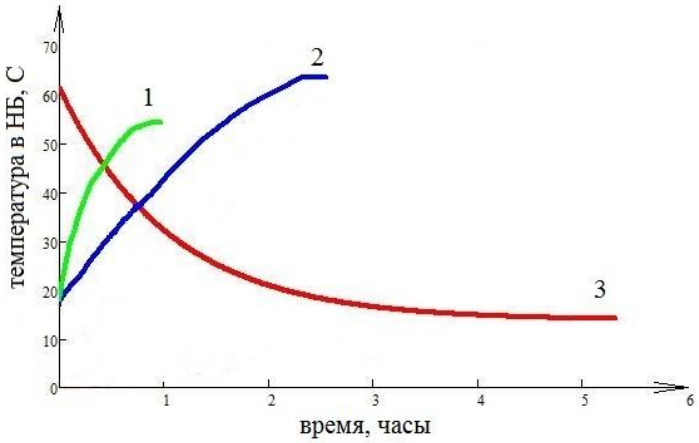

Рис. 2. Графики переходного процесса по каналам:
1 – канал «нагрев ТН – температура в НБ»; 2 – канал «нагрев ЭН – температура в НБ»;
3 – канал «обогрев помещения – температура НБ»

Передаточные функции по каналам «нагрев ТН – температура в НБ» (1), «нагрев ЭН – температура в НБ» (2) были получены путем аппроксимации экспериментальных данных [3]:

$$W(p) = \frac{1}{0{,}49p^2 + 1161p + 1}. \quad (1)$$

$$W(p) = \frac{1}{3100p}. \quad (2)$$

Для получения передаточной функции по каналу «нагрев ЭН – температура в НБ» (3) использовался графоаналитический метод аппроксимации. На графике экспериментальной переходной характеристики находят точку максимальной скорости изменения выходной величины, являющуюся точкой перегиба. В этой точке проводят касательную к кривой. Угол наклона касательной зависит от времени объекта управления. Время подбирается таким образом, чтобы касательная проходила через эту точку.

$$W(p) = \frac{1}{3799p + 1}. \quad (3)$$

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Энергобезопасность и тренажерная подготовка // Сборник статей под редакцией д-ра техн. наук, профессора Магида С. И. – Краснодар-Москва : ТЭСТ, 2007. – 222 с.

2. Кузеванов, В. С. Исследование эффективности функционирования комбинации нетрадиционных и возобновляемых источников электрической и тепловой энергии / В. С. Кузеванов // Альтернативная энергетика и экология. – 2013. – № 49-51. – С. 54-58.

3. Шамигулов, П. В. Использование программы MathCad для решения задач теории автоматического управления : Учебное пособие по дисциплине «Теория автоматического управления» / П. В. Шамигулов. – Волжский : Филиал ГОУВПО «МЭИ (ТУ)» в г. Волжском, 2004. – 38 с.

АНАЛИЗ ЗАЩИТЫ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ СЕТЕЙ ОТ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ ПОСРЕДСТВОМ ОГРАНИЧИТЕЛЕЙ ПЕРЕНАПРЯЖЕНИЙ

Попов К. А., Хлынов Д. С. – студенты
Зенина Е. Г. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

За всё время существования электрических сетей оставалась актуальной проблема перенапряжения при неноминальных условиях работы. Для решения этой проблемы создавались всевозможные устройства защиты.

Перенапряжением называют всякое превышение напряжением амплитуды наибольшего рабочего напряжения. Оно может быть в виде импульса или волны напряжения с наложением на номинальное сетевое напряжение. Как правило, на появление перенапряжений могут повлиять грозовые явления или коммутационные процессы. Длительность перенапряжения может составлять от единиц микросекунд до нескольких часов. Воздействие перенапряжения на изоляцию может привести к ее пробою. При перенапряжениях создаются тяжелые условия для работы изоляции, так как они могут во много раз превышать максимальное рабочее напряжение. Перенапряжения характеризуются максимальным значением, кратностью перенапряжения, которая равна отношению максимального значения перенапряжения к амплитуде наибольшего рабочего напряжения, временем нарастания перенапряжения, широтой охвата сети, повторяемостью перенапряжения, параметрами импульсов в перенапряжении (рисунок).

Для исключения повреждения изоляции применяются различные виды ограничителей перенапряжения (ОПН). Среди ограничителей перенапряжения имеются различные виды ОПН. Одним из них является простейшее защитное устройство – искровой промежуток (ИП), включенный параллельно изоляционной конструкции. Его вольт-секундная характеристика должна лежать ниже вольт-секундной характеристики защищаемой изоляции. При выполнении этого требования появление опасных для изоляции электроустановок перенапряжений

невозможно, так как при набегании импульса напряжения происходит пробой ИП с последующим срезом напряжения.

Рисунок. Параметры импульса перенапряжения

Фарфоровые ОПН представляют собой колонку варисторов, прижатую к боковой поверхности стеклопластиковой трубы, расположенной внутри фарфоровой покрышки. Их преимуществами является большая механическая прочность и независимость от температурных колебаний, но они имеют большую массу и габариты, а также высокую взрывоопасность.

Полимерные ОПН состоят из колонки варисторов, заключенных в высокопрочный полимерный корпус из высокомолекулярного каучука. Пространство между стеклопластиковой трубой и колонкой резисторов заполняется низкомолекулярным каучуком, а сама стеклопластиковая труба имеет расчетное количество отверстий для обеспечения взрывобезопасности конструкции при прохождении токов короткого замыкания, что обеспечивает более высокую безопасность при их применении. Полимерные ОПН превосходят по качеству и безопасности фарфоровые.

В настоящее время развиваются одноколонковые и многоколонковые ОПН, потому что они имеют ряд преимуществ. Многоколонковые ОПН представляют собой несколько блоков (модулей), которые образуются из определенного числа колонок, соединенных либо последовательно, либо параллельно между собой. Это позволяет использовать данный вид ОПН при высоких классах напряжения сети. Такая конструкция существенно повышает надежность работы ОПН при увлажнении и загрязнении поверхности аппарата.

Одноколонковые ОПН конструктивно состоят из одной колонки варисторов и имеют преимущества над всеми видами ОПН. Они выпускаются с длиной пути утечки внешней изоляции, которая соответствует степеням загрязнения: II*, III, IV. По сравнению с ОПН в фарфоровых корпусах и многоколонковыми ОПН в полимерном исполнении одноколонковые аппараты

в полимерных корпусах имеют такие преимущества, как габариты, которые меньше в 10-20 раз, что допускает их установку непосредственно на выводах трансформаторов и электродвигателей в ячейках комплектного распределительного устройства (КРУ). В одноколонковых ОПН применяются оксидноцинковые варисторы (ОЦВ). Это дает возможность обеспечить особенно глубокое ограничение перенапряжений и существенно более высокую надежность работы высоковольтного оборудования. Высокая механическая прочность и малая масса позволяют устанавливать их не только на подстанциях, но и непосредственно на линиях электропередачи без усиления конструкции опор. Появляется возможность ограничения грозовых перенапряжений на отдельных опорах высоковольтных сетей, например, на изолирующей подвеске переходов через водные препятствия большой ширины, на пересечениях двух линий, когда приходится применять опоры увеличенной высоты, либо в случаях, когда сопротивление заземления отдельных опор имеет повышенное значение по сравнению с другими опорами.

В ходе проделанной работы можно прийти к выводу, что наиболее надёжным и эффективным средством защиты являются ограничители перенапряжений, имеющие возможность глубокого ограничения коммутационных, дуговых и феррорезонансных перенапряжений, малые габариты, позволяющие использовать их в качестве опорных изоляционных колонн и имеющие большую пропускную способность. Об этом свидетельствуют высокие технические характеристики, вольт-секундные зависимости и возможность монтажа различного рода на электроустановках с широким диапазоном номинальных и допустимых рабочих напряжений.

Конкретно стоит отметить одноколонковые ОПН в полимерном исполнении, которые имеют ряд преимуществ над любыми видами ОПН. В будущем необходимо при окончании сроков эксплуатации у других видов ОПН заменять их на одноколонковые, а на новых линиях электропередачи (ЛЭП) их необходимо применять с самого начала эксплуатации, это позволит уменьшить габариты опор и металлоемкость. Их применение положительно отразится на технической и экономической составляющей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Электрические сети. «Параметры ограничителей перенапряжения» [электронный ресурс] – URL http://leg.co.ua/info.html

2. Защита сетей 6-35 кВ от перенапряжений / Ф. Х. Халилов, Г. А. Евдокунин, В. С. Поляков, Г. В. Подпоркин, А. И. Таджибаев. – СПб. : Энергоатомиздат. Санкт-Петербургское отделение, 2002. – 272 с.

3. Дмитриев, М. В. Применение ОПН в электрических сетях 6-750 кВ / М. В. Дмитриев. – СПб., 2007.

4. Интернет-ресурсы: http://baltenergo.spb.ru/articles_2.php; http://baltenergo.spb.ru/articles_5.php

ОБЗОР ПРИМЕНЕНИЯ ДАТЧИКОВ ИК- И УФ-СПЕКТРА ДЛЯ ДИАГНОСТИКИ ОБЪЕКТОВ ЭЛЕКТРОСЕТЕВОГО КОМПЛЕКСА

Песоцкий С. В. – студент
Стрижиченко А. В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Датчики инфракрасного (ИК) диапазона широко применяются в различных областях техники. В практических областях, где требуется обнаружить, распознать объекты, максимум теплового излучения приходится на длинные волны (8-12 мкм) диапазона ИК-спектра.

Принцип работы тепловых детекторов основан на изменении электрических характеристик материала приемника за счет энергии поглощенного теплового излучения. Классификация инфракрасных детекторов представлена на рис. 1.

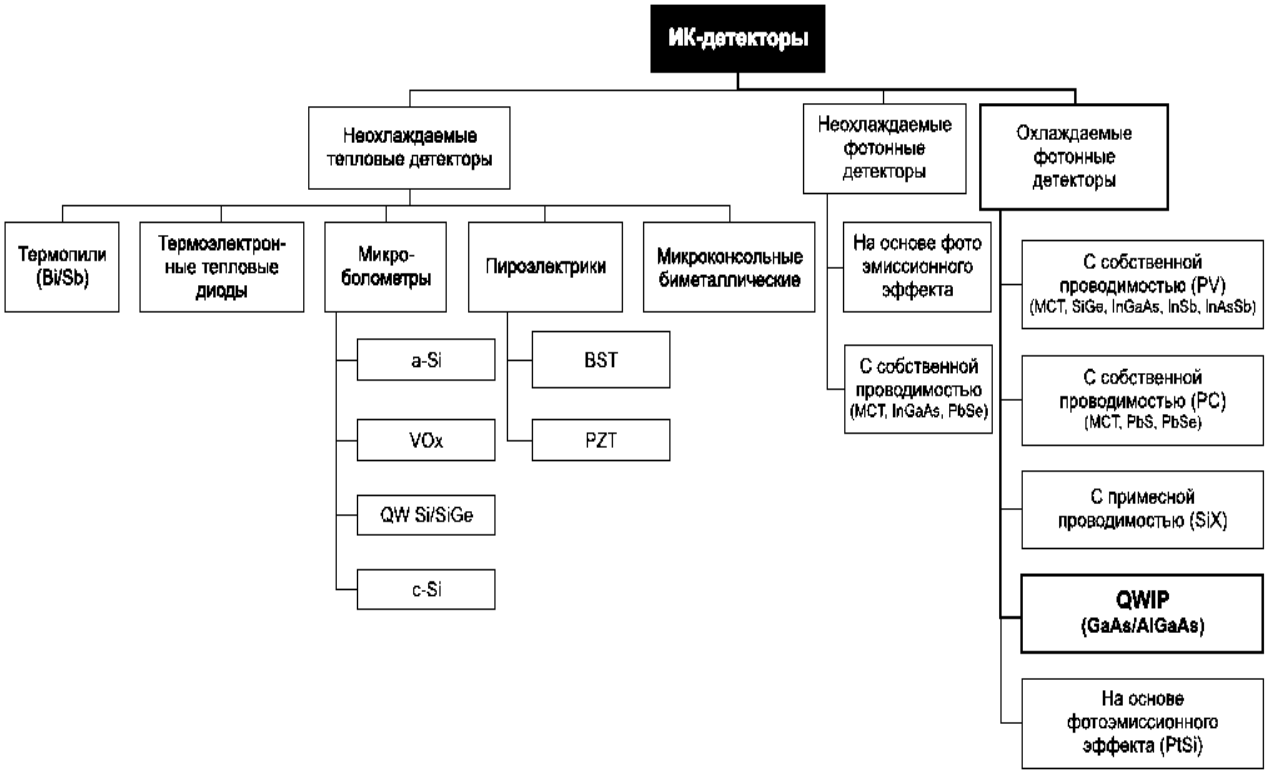

Рис. 1. Классификация инфракрасных детекторов

Тепловизионное обследование электроустановок применяется для контроля состояния контактов закрытых и открытых распределительных устройств, а также линий электропередачи и изоляторов. В качестве критерия отбраковки для ряда объектов могут быть приняты рекомендации Международной электротехнической комиссии. При диагностике контактов рекомендуют следующие значения критериев отбраковки в пересчете на нагрузку, составляющую 50 % от номинальной:

– перегрев до 5 °С означает нормальный контакт;

– при перегреве на 5…35 °С контакт подлежит обслуживанию при плановом ремонте;

– при перегреве на 35…85 °С контакт подлежит обслуживанию при текущем ремонте;

– при перегреве более 85 °С необходим внеплановый ремонт контакта.

Также для оценки состояния контактного соединения может быть использован коэффициент дефектности – отношение измеренного превышения температуры контактного соединения к превышению температуры, измеренной на целом участке шины (провода), отстоящем от контактного соединения на расстоянии не менее 1 м.

В последние годы в мире повысился интерес к датчикам ультрафиолетового (УФ) излучения. Они могут применяться в системах мониторинга высоковольтных линий электропередачи для выявления неисправных изоляторов, утечек тока, фоновых излучений. Так, ООО «АвиаИнжиниринг» проводит обследования состояния ЛЭП путем облета. Оборудование, включающее в себя монофотонный детектор УФ-излучения, промышленную видеокамеру Baumer HXG20c, спутниковые приемники Garmin 19x, ПК с установленным технологическим ПО и источник питания, размещается на борту самолета Cessna-172.

Мониторинговое оборудование (УФ-детектор и видеокамера) располагается на внешней части фюзеляжа на месте люка багажного отделения самолета. Оптические оси УФ-детектора и видеокамеры направлены вниз параллельно друг другу. Поле обзора прибора представляет собой конус с полным углом раствора 30 градусов. Данная конфигурация позволяет вести одновременную съемку в видимом и УФ-диапазоне с последующим совмещением изображений с полным перекрытием полей обзора приборов. Съемка с высоты 100 м над поверхностью земли позволяет непрерывно наблюдать полосу поверхности шириной около 50 м.

В последнее время разрабатываются системы мониторинга, построенные на одновременном использовании ИК- и УФ-датчиков. Данные системы содержат УФ-датчики, ИК-датчики, обеспечивающие круговой обзор, устройство сбора данных, видеокамеру и аппаратуру спутниковой навигации (ГЛОНАСС) для привязки источников излучения к местности и позволяют провести визуализацию предаварийного состояния оборудования и дистанционную регистрацию утечки тока, включая анализ временной пульсации тока. Обработка данных проводится в оперативном центре, где определяются все найденные точки излучения (рис. 2), сопоставляются с картой местности и аэрофотоснимками местности и проводится идентификация места аварии. Дается предварительное заключение об аварийной ситуации с рекомендациями по устранению. По найденным точкам отправляется наземная бригада для устранения неполадки.

Системы мониторинга, построенные с применением ИК- и УФ-датчиков, позволяют выявлять коронные разряды, определять места недопустимого нагрева мест соединения проводов, осуществлять раннюю диагностику

аварийности потенциальных объектов за счет регулярности контроля с необходимой частотой повтора.

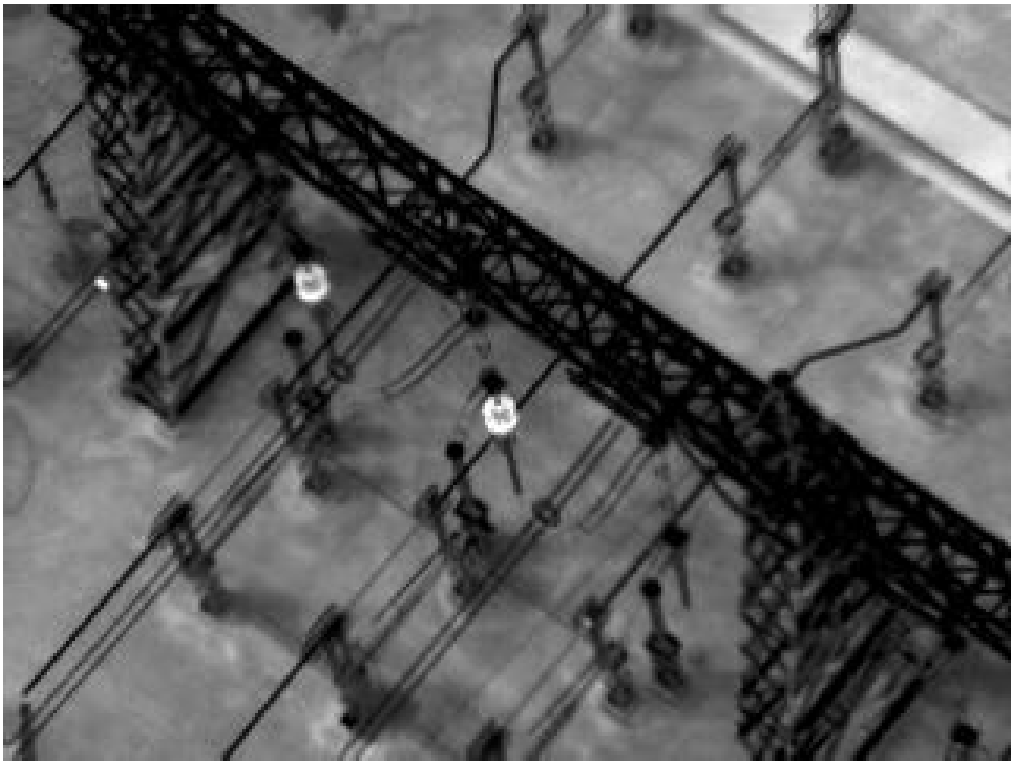

Рис. 2. Результаты мониторинга электрооборудования

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рогальский, А. Инфракрасные детекторы / А. Рогальский. – Новосибирск : Наука, 2003. – С. 202.

2. Букингем, М. Шумы в электронных приборах и системах / М. Букингем. – М. : Мир, 1986. – С. 75.

3. Робинсон, Ф. Н. Х. Шумы и флуктуации в электронных схемах и цепях / Ф. Н. Х. Робинсон. – М. : Атомиздат, 1980.

4. Белов, А. А. Монофотонный сенсор ультрафиолетового диапазона «Скорпион» / А. А. Белов, А. П. Калинин, И. В. Крысюк, М. А. Порохов, А. И. Родионов, И. Д. Родионов, В. В. Русанов // Датчики и системы. – 2010. – С. 47-50.

5. Белов А. А., Калинин А. П., Крысюк И. В., Родионов И. Д., Родионов А. И. Патент № 2351034 Российской Федерации МКИ H01J 37/00. Устройство для генерирования световых импульсов ультрафиолетового излучения / Заявл. 05.04.2007. Опубл. 27.03.2009.

6. Вдовико, В. П. Частичные разряды в диагностировании высоковольтного оборудования / В. П. Вдовико // Новосибирск : Наука, 2007. – 155 с.: ил.

7. Непобедимый, С. Н. Дистанционная диагностика коронного разряда монофотонным детектором в ультрафиолетовом диапазоне / С. Н. Непобедимый, А. А. Белов, А. П. Калинин, И. В. Крысюк, А. И. Родионов, И. Д. Родионов, С. Н. Степанов // Доклады РАН, 2009.

ВЛИЯНИЕ НЕСИММЕТРИИ НАПРЯЖЕНИЙ СЕТИ 0,4 КВ НА РАБОТУ ЭЛЕКТРОДВИГАТЕЛЕЙ МАЛОЙ МОЩНОСТИ

Губин М. Д. – магистрант
Карпенко И. А. – студент
Стрижиченко А. В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Качество электроэнергии существенно влияет на работу электрооборудования промышленных предприятий. Документом, регламентирующим нормы качества электроэнергии, является ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения». Одним из важных параметров качества электроэнергии является несимметрия напряжений в сети. Несимметрия напряжений обуславливает увеличение потребляемой электродвигателями мощности и уменьшение срока их службы.

Влияние несимметрии напряжения сети 0,4 кВ на работу асинхронного электродвигателя рассматривалось на примере электродвигателя АИР80А6. Тормозной момент на валу двигателя создавался ленточным тормозом, который включает в себя тормозной шкив, установленный на валу двигателя, тормозную ленту, два пружинных динамометра, стойку тормоза. Измерение скорости вращения двигателя осуществлялось виброанализатором СД-12. Измерение потребляемой мощности, фазных токов и напряжений производилось анализатором качества электроэнергии «Энергомонитор 3.3Т1».

Снятие характеристик электродвигателя производилось для симметричного и несимметричного режимов работы. В случае работы электродвигателя в симметричном режиме потребляемая из сети электрическая мощность преобразуется в механическую с минимальными внутренними потерями, распределение электрического тока и потребляемой мощности по фазам равномерное (рис. 1).

На рис. 2 представлена зависимость коэффициента мощности в симметричном режиме от механической мощности на валу электродвигателя. В несимметричном режиме фазные напряжения составляли: U_a = 220 В, U_b = 240 В, U_c = 200 В.

При внесении несимметрии в режим работы электродвигателя было отмечено неравномерное распределение мощности по фазам, что приводит к увеличенным потерям активной мощности на нагрев обмоток статора (рис. 3).

На рис. 4 представлена зависимость коэффициента мощности в несимметричном режиме от механической мощности на валу электродвигателя.

Из графиков видно, что при наличии несимметрии в сети потребляемая активная мощность в фазах будет различной. По закону сохранения энергии доля активной мощности, не затрачиваемая на механическую работу и потери на трение, преобразуется в тепло, тем самым нагревая изоляцию и корпус двигателя. Это приводит к потерям мощности, а также уменьшению срока службы двигателя, что обусловлено ускоренным старением изоляции обмоток.

В аварийном несимметричном режиме работы появляются нехарактерная вибрация и шум двигателя, а также увеличивается температура нагрева, что приводит к ускоренному износу изоляции обмоток.

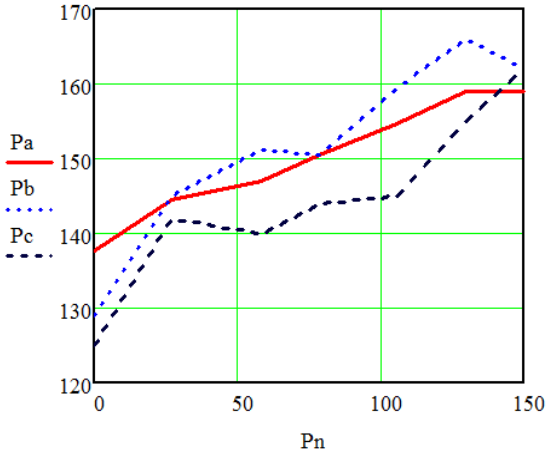

Рис. 1. Зависимость потребляемой активной мощности в симметричном режиме от механической мощности на валу электродвигателя, Вт

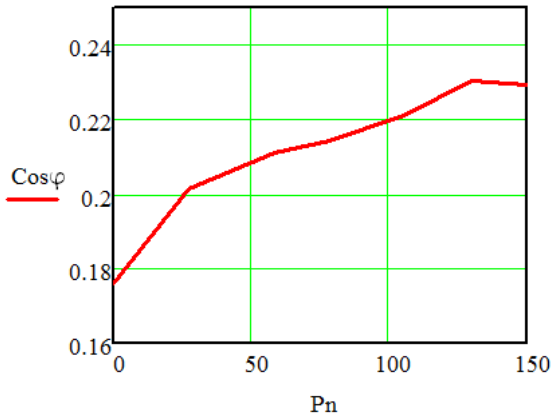

Рис. 2. Зависимость коэффициента мощности в симметричном режиме от механической мощности на валу электродвигателя, Вт

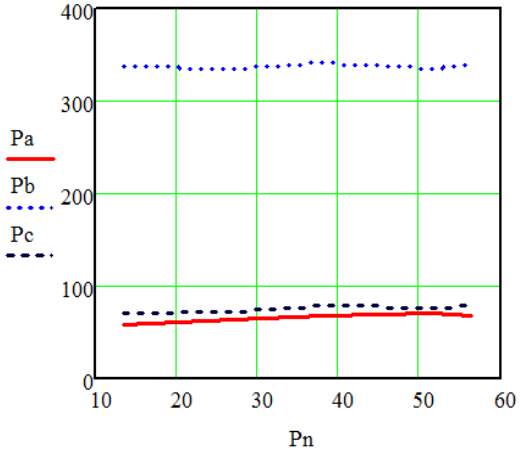

Рис. 3. Зависимость потребляемой активной мощности в несимметричном режиме от механической мощности на валу электродвигателя, Вт

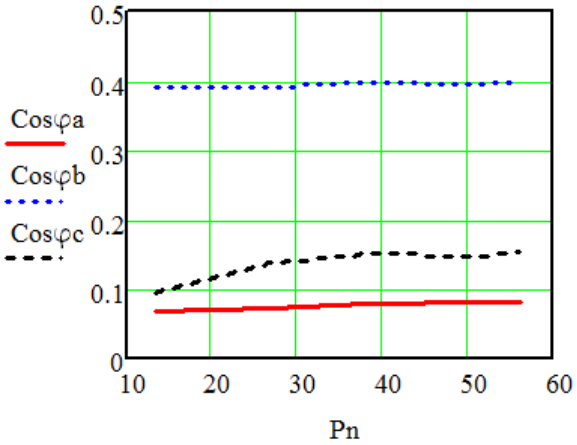

Рис. 4. Зависимость коэффициента мощности в несимметричном режиме от механической мощности на валу электродвигателя, Вт

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стрижиченко, А. В. Оценка влияния несинусоидальности и несимметрии токов и напряжений на дополнительные потери мощности в линиях и трансформаторах / А. В. Стрижиченко // Управление качеством электроэнергии: сборник трудов Международной научно-практической конференции, Москва, 23-25 ноября 2016 г. – М. : ООО «Центр полиграфических услуг «Радуга», 2017. – 300 с.: ил.

ОСОБЕННОСТИ ЛЕТНЕ-ЗИМНЕГО ПЕРИОДА ГРАДИРНИ ТИПА ATW 48-4G-2 ДЛЯ ОХЛАЖДЕНИЯ КОМПРЕССОРОВ ВЫСОКОГО ДАВЛЕНИЯ НА КОМРЕССОРНОЙ СТАНЦИИ ВЕРХОВОГО ПИРСА ФИЛИАЛА ПАО «РУСГИДРО» – «ВОЛЖСКАЯ ГЭС»

Рябов А. Ю. – магистрант
Попов К. А. – студент
Стрижиченко А. В. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Компрессорная станция верхового пирса была построена на территории Волжской ГЭС в 2006 г. Низкое давление составляет 0,8 МПа, высокое давление – 7,0 МПа. Эта станция по поставке сжатого воздуха предназначена для маслонапорных установок и поддержания рабочего давления в воздухосборниках и станционных воздушных магистралях (7,0 МПа), для обеспечения сжатым воздухом режима «СК» (синхронного компенсатора) генераторов, систем торможения реконструированных гидроагрегатов и собственных нужд ГЭС (пескоструйные установки, отбойные молотки и др. пневмоинструмент) (0,8 МПа).

Для охлаждения компрессоров (бустеров) высокого давления с помощью раствора этиленгликоля установлены градирни модели ATW 48-4G-2. Охлаждение бустеров осуществляется двумя способами: малый или большой круг охлаждения. Малый круг охлаждения используется в зимний период для предотвращения замерзания раствора в трубопроводах. Большой круг охлаждения используется в летний период и проходит через градирни. Для каждого компрессора имеется градирня. С помощью окружающего воздуха, вентиляторов на градирне и насосов-разбрызгивателей этиленгликоль охлаждается и снова поступает в бустер.

Процесс циркуляции охлаждаемой жидкости происходит внутри змеевиков теплообменника градирни с закрытой циркуляцией. Тепло, выделяемое в результате процесса охлаждения жидкости, передается воде внешнего контура, поступающей каскадно в межтрубное пространство теплообменника. В то же время атмосферный воздух, поступающий через решетки воздухозаборника, нагнетается центробежным вентилятором, попадает в пространство градирни и движется навстречу потоку раствора. Теплый влажный воздух проходит каплеулавливающие жалюзи и выбрасывается в атмосферу. Этиленгликоль внешнего контура, пройдя межтрубное пространство теплообменника, поступает в резервуар охлаждения, расположенный в нижней части градирни. Рециркуляция раствора внешнего контура осуществляется центробежным насосом. Пройдя насос, он попадает на форсунки орошения, расположенные над верхней частью секций теплообменника внутреннего контура жидкости.

Для того чтобы происходило охлаждение в малом контуре, нужно периодически открывать задвижки в сторону большого контура для обеспечения оптимальной температуры, но если дежурный упустил момент, происходит замерзание раствора, и потребуются длительные действия для приведения его

температуры в диапазон заданных значений. При увеличении температуры охлаждающей жидкости срабатывает автоматика, и компрессор отключается. Для предотвращения перегрева охлаждающей жидкости возможно применение пластинчатого теплообменника.

Пластинчатый теплообменник состоит из некоторого числа теплообменных пластин, которые размещаются между несущими балками теплообменника и удерживаются на месте между опорной (или рамной) и прижимной плитами, образуя с ними единый узел. Все пластины имеют уплотняющие прокладки, которые обеспечивают герметичность каналов для прохождения рабочих жидкостей. Система прокладок обуславливает прохождение сред по единственным для них каналам, благодаря чему все время обеспечивается течение жидкостей контуров в режиме противотока. Конструкция и конфигурация уплотняющих прокладок исключают возможность смешивания этих жидкостей. Теплообменные пластины с обеих сторон имеют гофрированную (рифленую) поверхность, что обеспечивает турбулентность течения каждой жидкости по каналам. Сочетание высокой турбулентности течения жидкости с подходящим соотношением объема среды и размера теплообменника позволяет получить высокий коэффициент теплопередачи. Этот же конструктивный принцип используется и в паяных теплообменниках. Однако в теплообменнике данного типа с целью герметизации каналов для сред вместо эластомерных прокладок применяются специальные технологии пайки, которые обеспечивают требуемый результат. Конструкция пластинчатого теплообменника представлена на рисунке.

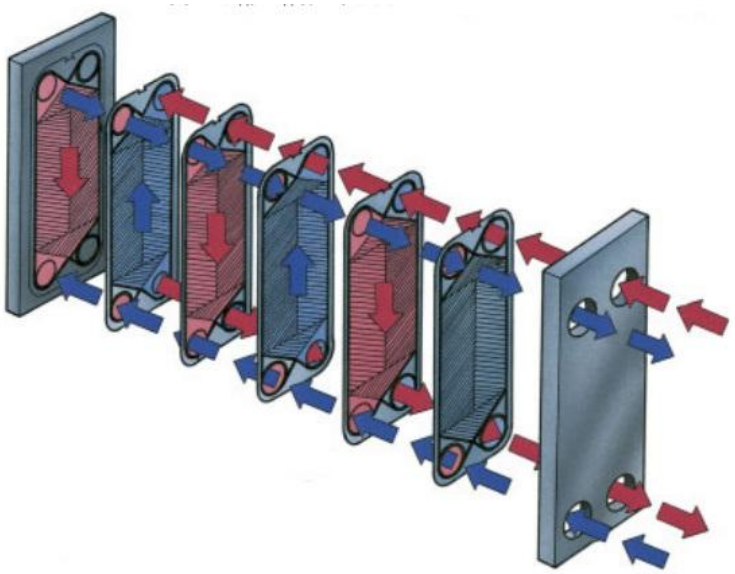

Рисунок. Конструкция пластинчатого теплообменника

Таким образом, при установке теплообменника в малый контур охлаждения в компрессорной станции верхового пирса исключается перегрев бустера, а также замерзание раствора при открытии большого контура.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Инструкция по эксплуатации оборудования компрессорной станции верхового пирса и воздушных магистралей ГЭС давлением 70 и 8 кгс/см^2.

2. Инструкция по промышленной безопасности стационарных компрессорных установок.

3. Барановский, Н. В. Пластинчатые и спиральные теплообменники / Н. В. Барановский, Л. М. Коваленко, А. Р. Ястребенецкий. – М. : Машиностроение, 1973. – 288 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОДХОДОВ ДОСТИЖЕНИЯ И ОБЕСПЕЧЕНИЯ ВЫСОКОГО УРОВНЯ НАДЕЖНОСТИ И БЕЗОПАСНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Султанов М. М.[1] – канд. техн. наук, доцент
Стружинская Ю. А.[1, 2] – ассистент, аспирант
[1]Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
[2]ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», г. Москва

Электроэнергетика занимает важное место в российской экономике. Почти весь производственный потенциал электроэнергетики страны объединен в Единую энергетическую систему России (ЕЭС России), которая охватывает всю обжитую территорию страны и является одним из крупнейших в мире централизованно управляемых энергообъединений. Энергосистема осуществляет производство, передачу и распределение потребителю электроэнергии соответствующего качества. Устойчивое развитие и надежное функционирование отрасли определяют энергетическую безопасность страны и являются важными факторами ее успешного экономического развития.

Для обеспечения надежного функционирования предприятия, выдерживая наименьшее число отказов энергетического оборудования, снижая недоотпуск электроэнергии потребителю и минимизируя экономический ущерб в работе, при принятии решения об изменении финансирования, составлении ремонтно-эксплуатационных программ, определении тарифной политики необходимо брать во внимание качество работы энергетического оборудования.

Вопросы надежности и безопасности сложных технических систем являются особенно актуальными на современном этапе создания, производства и эксплуатации энергетического оборудования.

К настоящему времени энергетическое оборудование вышло за установленные сроки эксплуатации. Но для страны требуется дополнительное увеличение теплоэнергетики и электроэнергетики в связи с ростом промышленности и экономики. С развитием рыночных отношений в электроэнергетической отрасли возрастает экономическая ответственность энергетических компаний за нарушение нормального режима работы энергосистемы и снижение качества электроэнергии, поставляемой потребителю.

Посредством сбора и обработки информации о надежности оборудования решаются следующие задачи: определение причин отказов; выявление тех

деталей и узлов оборудования, которые лимитируют его надежность; оптимизация норм расхода запасных частей и системы планово-предупредительных ремонтов; выявление условий и режимов эксплуатации, влияющих на надежность; определение экономической эффективности мероприятий по повышению надежности.

Надежность работы энергосистемы включает понятие отказа (технологического нарушения) в работе оборудования электросетевого предприятия. Неполнота надежности электроэнергетической системы всегда дает потери выходного эффекта ее работы, на практике – это недоотпуск электроэнергии потребителям.

Появляется необходимость разработки новых подходов, методов и математических моделей достижения и обеспечения высокого уровня надежности и безопасности энергетического оборудования на всех этапах их жизненного цикла от проектирования до снятия с эксплуатации.

В процессе эксплуатации энергетического оборудования требуемый уровень надежности обеспечивается системой планово-предупредительных ремонтов. Для основного оборудования ТЭС сроки проведения текущих и капитальных ремонтов определены Правилами организации технического обслуживания и ремонта оборудования, зданий и сооружений электростанций и сетей. В ходе анализа системы организации ремонта оборудования в условиях электростанций, а также в условиях заводов-изготовителей выявлен ряд проблемных вопросов, которые требуют дальнейшей углубленной проработки и совершенствования. Например, разработка, апробация и реализация комплексной системы мониторинга состояния энергоустановок, которая позволит обоснованно перейти к организации ремонта оборудования по техническому состоянию.

Создание новых алгоритмов сбора статистических данных и моделирование процессов капитального ремонта позволят формировать процесс восстановления оборудования, получить и провести анализ соответствующих показателей надежности при эксплуатации оборудования и на этой основе принять решения, направленные на оптимизацию объемов и сроков ремонтных работ, приведут к качественному выбору режимов эксплуатации и прогнозированию наработки оборудования электростанций.

Расчет проектной надежности изделия должен включать в себя три этапа жизненного цикла: этап приработки со своей интенсивностью отказов; этап эксплуатации до капитального ремонта со своей интенсивностью отказов; этап старения и износа после срока эксплуатации со своей интенсивностью отказов. Интенсивности отказов на каждом этапе выбирают по статистическим данным изделий-аналогов или по справочным данным. Такой подход к проектному расчету надежности позволит более объективно оценить уровень надежности и безопасности объекта на всех этапах его жизненного цикла.

ВЛИЯНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК ТОПЛИВА НА СТАБИЛЬНОСТЬ ПАРАМЕТРОВ КИПЯЩЕГО СЛОЯ

Спасенова С. А. – магистрант
Иваницкий М. С. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В современной теплоэнергетике при изучении перспектив использования твердого топлива, в частности для энергоблоков нового поколения на основе циркулирующего кипящего слоя (ЦКС), рассматривается экономичное и малоэмиссионное горение топлива.

Котлы с ЦКС, по сравнению с пылеугольными котлами, работают в более тяжелых условиях, имеют повышенный расход электроэнергии на привод высоконапорных вентиляторов для подачи воздуха через газораспределительную решетку в зону горения и создания кипящего слоя [1, 2].

На основе проведенного анализа предложены режимно-технологические мероприятия, обеспечивающие выбор наиболее рациональных режимов горения комбинаций топлива на основе моделирования режимов двухфазного потока и составления критериальных уравнений, описывающих стадии развития и изменения параметров (гидравлического сопротивления, порозности, скорости псевдоожижения и витания частиц) кипящего слоя.

На рис. 1 представлена расчетная зависимость гидравлического сопротивления от высоты псевдоожиженного слоя при сжигании древесных пеллетов в котле с ЦКС, полученная в результате численного эксперимента.

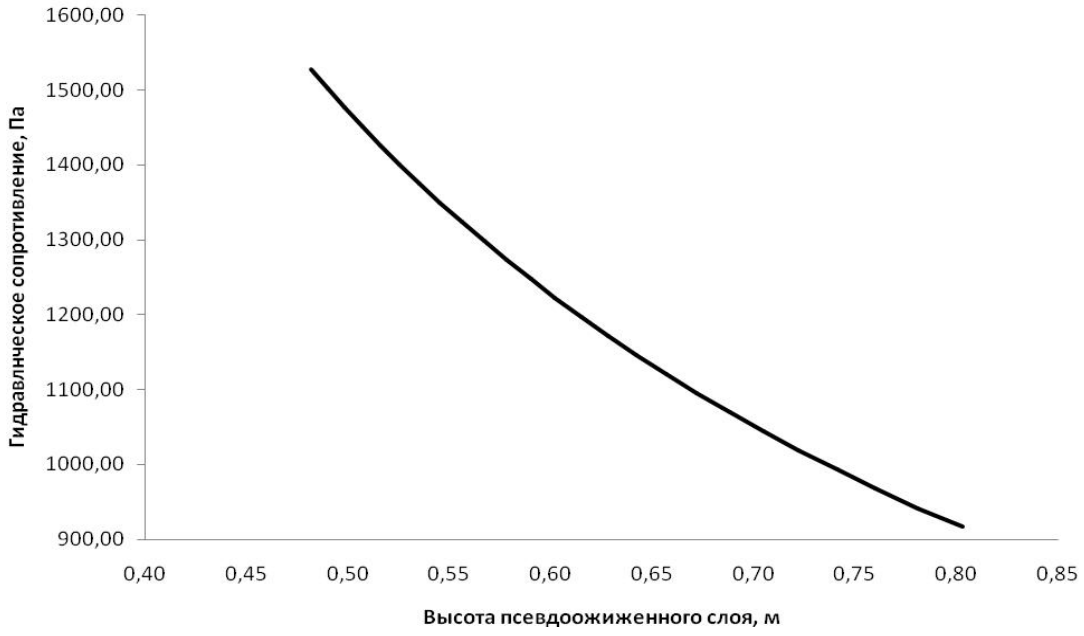

Рис. 1. Зависимость гидравлического сопротивления
от высоты псевдоожиженного слоя
при сжигании древесных пеллетов в котле с ЦКС

Отметим, что для обычного состояния слоя в процессе псевдоожижения величина сопротивления, при фиктивной скорости фильтрации не более 0,5 м/с, равна 900-1200 Па. Полученные результаты согласуются с экспериментальными данными [1].

В ЦКС эффективно сжигаются твердые топлива с высоким содержанием породы, большим содержанием золы и влаги, меняющегося качества и трудно зажигаемые топлива. При этом топливо не требует мелкого размола, что исключает необходимость использования мельниц и повышает экологическую безопасность электростанции. Отсутствие отдельных серо- и азотоочистки обеспечивает компактность этих энергоустановок, возможность монтажа в ячейки демонтированных котлов, что делает их привлекательными для реконструкции действующих современных тепловых электростанций [1, 2].

На рис. 2 показана зависимость изменения гидравлического сопротивления слоя от скорости начала псевдоожижения при горении древесных пеллетов.

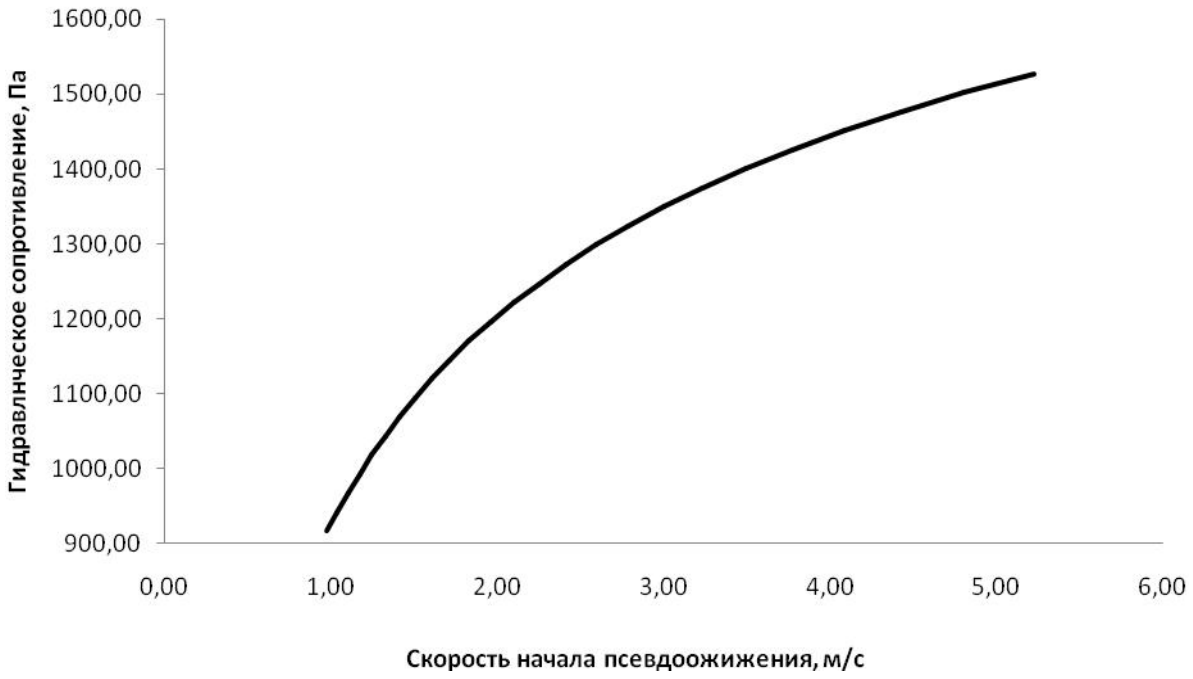

Рис. 2. Зависимость изменения гидравлического сопротивления слоя от скорости начала псевдоожижения при горении древесных пеллетов

Результаты численного эксперимента показывают, что диапазону характерных значений потерь давления в слое сжигаемых древесных пеллетов соответствуют значения скорости начала процесса псевдоожижения, равные 1-2 м/с.

Приведенные данные можно применять при разработке мероприятий по совершенствованию топочного процесса и технико-экономических показателей работы котельных установок с ЦКС, использующих различные виды топлива и их комбинации (лузга подсолнечника, кородревесные отходы, древесные пеллеты),

позволит повысить энергетическую эффективность процесса генерирования тепловой и электрической энергии на отечественных электростанциях.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Рябов, Г. А. Перспективы использования технологии ЦКС при техническом перевооружении ТЭС России / Г. А. Рябов, О. М. Фоломеев, Д. С. Литун, Д. А. Санкин, И. Г. Дмитрюкова // Теплоэнергетика. – 2009. – № 1. – С. 28-36.

2. Спасенова, С. А. Исследование технологии сжигания топлива в котлах с ЦКС для повышения технико-экономических показателей работы энергоблока / С. А. Спасенова // Материалы 23-й международной научно-технической конференции студентов и аспирантов «Радиоэлектроника, электротехника и энергетика» : Тезисы докладов. – Москва, 2017. – Т. 3. – С. 113.

ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРЕИМУЩЕСТВА ПРИМЕНЕНИЯ БИОГАЗОВЫХ УСТАНОВОК ДЛЯ УТИЛИЗАЦИИ ОТХОДОВ ЖИВОТНОВОДСТВА И ПТИЦЕВОДСТВА

Срослов М. С.
Трохимчук К. А. – канд. техн. наук, ст. преподаватель
ФГАОУ ВО «Волгоградский государственный университет»

В Российской Федерации наблюдается динамичное развитие агропромышленного комплекса, влекущее не только увеличение производства целевой продукции, но и увеличение количества отходов. Ежегодно в российском животноводстве и птицеводстве образуется около 150 млн т органических отходов.

Самым распространенным методом утилизации органических отходов животноводства, используемым в настоящее время, является вывоз на поля. Однако согласно ветеринарно-санитарным правилам подготовки к использованию в качестве органических удобрений навоза, помета и стоков при инфекционных и инвазионных болезнях животных и птицы, перед применением в качестве удобрения помет животных должен быть выдержан в специально построенных резервуарах. Причем резервуары должны быть герметичны и исключать попадание стоков в грунтовые и поверхностные воды в течение определенного времени, зависящего от температуры окружающей среды. Соблюдение данных условий необходимо для исключения попадания возбудителей инвазионных болезней птиц и скота в окружающую среду.

При использовании данной схемы переработки отходов животноводства достигаются две цели: первая – уничтожение возбудителей различных инвазионных и инфекционных заболеваний животных и птиц; вторая – обеспечение готовности удобрения к непосредственному внесению в почву.

Стоит отметить, что при «традиционном» способе переработки отходов в атмосферу выделяются газы, которые не только влияют на состояние окружающей среды (парниковые газы), но могут быть полезны и использованы для энергообеспечения нужд животноводческих и птицеводческих комплексов,

например при применении биогазовых реакторов [1, 2, 3]. Принципиально биогазовый реактор состоит из накопителя (для сбора отходов), загрузчика (возможна комбинация с измельчителем), бункера-ферментатора (с системой подогрева при необходимости), газгольдера для сбора наработанного газа, установки для фильтрации и сжижения при необходимости, бункера для сбора биогумуса.

Биогазовые установки совмещают в себе несколько положительных моментов: с одной стороны, вырабатывается метан, а переработанный субстрат является сельскохозяйственным удобрением, с другой – предотвращается загрязнение воздушного и водного бассейнов, почвы и посевов благодаря утилизации и дезодорации навозных стоков мелких и крупных животноводческих комплексов.

Для выделения определенного количества газа из различных органических материалов требуется специфическая для каждого из них продолжительность процесса брожения, причем выход газа в единицу времени сначала резко увеличивается, а затем, по достижении максимума, постепенно уменьшается.

К выгодам хозяйств от строительства биогазовых установок, на основании денежного дохода, который они получат от использования продуктов переработки отходов по сравнению с затратами на установку, можно оценить следующие:

– затраты, сэкономленные за счет замены других источников энергии на биогаз;

– затраты, сэкономленные на замене минеральных удобрений биоудобрениями;

– увеличение урожая за счет использования биоудобрений;

– доходы с продаж биоудобрений;

– экономия времени на сбор и подготовку ранее использовавшихся источников энергии.

Таким образом, внедрение биогазовых реакторов не только повышает автономность мелких и энергообеспечение крупных животноводческих и птицеводческих комплексов, но и решает экологические проблемы, связанные с утилизацией отходов животноводства. Окупаемость одной «малой» биогазовой установки, перерабатывающей до 100 тонн отходов в год (производит до 5400 $м^3$ в год газа) для мелкого хозяйства составляет около полутора-двух лет, но при увеличении объёмов переработки время окупаемости снижается до года и менее.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Биогаз: и греет и варит // Моделист-Конструктор, 1987. – № 1. – С. 10.

2. Мариненко, Е. Е. Основы получения и использования биотоплива для решения вопросов энергосбережения и охраны окружающей среды в жилищно-коммунальном и сельском хозяйстве : Учебное пособие / Е. Е. Мариненко. – Волгоград : ВолгГАСА, 2003. – 100 с.

3. Стребков, Д. С., Ковалев, А. А. Биогазовые установки для обработки отходов животноводства / Д. С. Стребков, А. А. Ковалев // Техника и оборудование для села. – 2006. – № 11. – С. 28-30.

ОПТИМИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ЭНЕРГОСНАБЖЕНИЯ ПРЕДПРИЯТИЯ ЗА СЧЕТ ВНЕДРЕНИЯ МИНИ-ТЭЦ

Тихонов Н. С. – магистрант
Губанов Л. С., Бондарева П. А. – студенты
Трохимчук М. В. – канд. геол.-минерал. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В последнее время в промышленности и жилищно-коммунальном хозяйстве становится целесообразным комбинированное производство электрической и тепловой энергии на паровых мини-теплоэлектроцентралях (мини-ТЭЦ), которые в силу своих технологических особенностей располагаются в непосредственной близости от конечного потребителя энергии [1]. Это связано с постоянным удорожанием электроэнергии, учащением случаев возникновения аномальных заморозков, приводящих к снижению надежности линий электропередачи (обрыву проводов) централизованного электроснабжения. Опыт показывает, что разумный подход к гарантированному обеспечению потребителей дешевой электрической и тепловой энергией – это создание собственных энергетических комплексов с резервированием питания от централизованных электрических сетей.

Современная мини-ТЭЦ – это комбинированная электростанция, которая помимо производства электроэнергии вырабатывает еще и тепло. Другими словами, мини-ТЭЦ предназначены для выработки электроэнергии посредством механической работы двигателей, приводящих в движение генераторы [2]. В ходе этой работы вырабатывается много тепла, которое преобразуется в тепловую энергию, необходимую для отопления производственных и бытовых помещений [3].

В конструкции когенерационных установок используются четыре вида силовых агрегатов, приводящих в движение генераторы.

– газотурбинные установки (ГТУ);
– двигатели внутреннего сгорания (ДВС);
– силовые установки, построенные на сочетании паровых котлов и турбин;
– микротурбины.

Мини-ТЭЦ имеет ряд достоинств, позволяющих обеспечивать высокую экономическую эффективность выработки электроэнергии и тепла, такие как: низкая стоимость вырабатываемой электроэнергии, быстрое строительство и окупаемость, компактность, экономичный расход топлива, высокая степень надежности и экологическая безопасность. Состоит из следующих основных узлов и агрегатов:

– силовая установка (двигатель) генератора;
– генератор;
– котлы-утилизаторы, позволяющие утилизировать отработанные газы;
– теплообменники, которые способствуют сбору и переработке тепла системы охлаждения двигателя;

– технологически необходимые катализаторы;

– различные системы управления выработки энергии и тепла, а также контроля за работой всего оборудования.

В настоящее время строительство мини-ТЭЦ является оптимальным решением в самых различных ситуациях благодаря модели «генерация-и-перепродажа», при которой сгенерированная энергия, превосходящая мгновенную собственную потребность, реализуется в энергосистему.

Внедрение объектов малой децентрализованной энергетики в систему потребления повысит надежность и устойчивость энергоснабжения предприятий малого и среднего бизнеса, позволит увеличить ее экономичность. Существует как минимум две проблемы, из-за которых применение именно такой системы выработки энергии жизненно необходимо:

– централизованные источники электроэнергии или тепла не могут обеспечивать возрастающее их потребление даже в случае увеличения мощностей;

– очень низкое количество или же недостаточное качество получаемой энергии от существующих её источников и др.

Актуальным вопросом, решаемым отечественными энергетическими компаниями, является расширение масштабов использования автономных систем по снабжению потребителей тепловой и электрической энергией для большей независимости населения от работы ТЭС и АЭС.

Авторами предлагается к внедрению разработанный проект по строительству мини-ТЭЦ на Волжском трубном заводе. Собственная генерация для предприятий экономически обоснована и необходима с точки зрения повышения надежности. На основе произведенных расчетов, согласно [4, 5, 6], можно сделать вывод о том, что установка мини-ТЭЦ на Волжском трубном заводе окупится в течение 9 лет и 3 месяцев, что позволит за счет утилизации пара использовать нагретую сетевую воду для промышленных целей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Петрущенков, В. А., Васькин, В. В. Тепловые схемы мини-ТЭЦ на базе противодавленческих паровых турбин, применяемые в рабочих проектах / В. А. Петрущенков, В. В. Васькин // Новости теплоснабжения. – 2004. – № 8. – С. 22-26.

2. Петрущенков, В. А., Васькин, В. В. Сравнительные характеристики тепловых схем мини-ТЭЦ на базе противодавленческих паровых турбин / В. А. Петрущенков, В. В. Васькин // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 2.

3. Петрущенков, В. А., Васькин, В. В. Регулирование режимов работы мини-ТЭЦ с противодавленческими турбинами при работе на отопительную нагрузку / В. А. Петрущенков, В. В. Васькин // Новости теплоснабжения. – 2005. – № 4.

4. СНиП 2.04.07-86* «Тепловые сети» (новая редакция СНиП 41-02-2003).

5. СП 41-101-95 «Проектирование тепловых пунктов».

6. Таблицы теплофизических свойств воды и водяного пара: Справочник. – М. : Издательство МЭИ, 1999. – 168 с.

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ВОЗНИКНОВЕНИЯ КОРОНЫ НА ПРОВОДАХ РАЗНЫХ МАРОК

Свитачев Д. Ю. – студент
Курьянов В. Н. – канд. техн. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

На проводах ВЛ помимо неровностей всегда встречаются повреждения поверхности, загрязнения, и могут эпизодически появляться атмосферные отложения. Это приводит к возникновению местной короны в отдельных участках провода. Целью данного исследования стало определение напряжения возникновения короны на проводах различных марок и выбор оптимального провода с наименьшими потерями на корону и, значит, лучшим качеством.

Корона бывает местной и общей. Местная корона возникает на неровностях провода систем шин, она допустима. А вот общая корона, которая возникает по всему периметру провода, недопустима по следующим причинам:

1) она приводит к большим потерям;
2) приводит к коррозии провода;
3) вызывает радиопомехи и акустический шум.

Ограничивать корону на проводах секций (систем) шин рекомендуется уже на стадии проектирования. Эффекты короны количественно возрастают по мере увеличения соотношения максимального значения расчетного напряжения на проводе к начальному напряжению зажигания короны.

Авторами проведен эксперимент по определению напряжения возникновения короны для проводов АСВП 197/55, АСВП 197/56, АСВП 214/60, АСВТ 197/56, АСВТ 218/62, АС 150 /19, АС 185/29, АС 240/32.

Для этого использовалась установка, схема которой приведена на рис. 1.

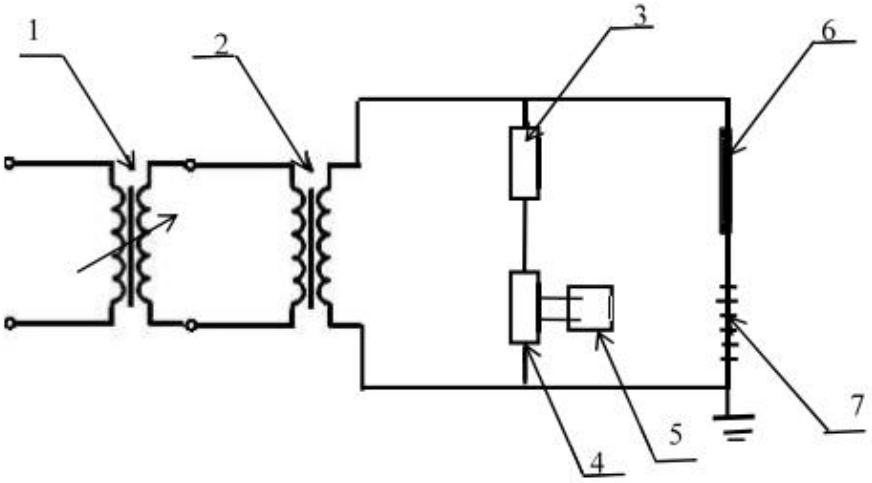

Рис. 1. Схема испытательной установки:
1 – регулятор напряжения; 2 – испытательный трансформатор 200 кВ;
3 – высоковольтное плечо емкостного делителя; 4 – низковольтное плечо емкостного делителя;
5 – MUT-9; 6 – испытываемый провод; 7 – полимерный изолятор 220 кВ

Эксперимент проводился в испытательном центре АО «НТЦ ФСК ЕЭС».

Испытания проводились в закрытом помещении в темное время суток. Температура воздуха – 180 °С, относительная влажность – 56 %, атмосферное давление – 101,2 кПа.

Испытательное напряжение составляет $U_{\text{исп}} = 1{,}2\dfrac{U_{\text{н.р}}}{\sqrt{3}}$, где $U_{\text{н.р}}$ – наибольшее рабочее напряжение. Для класса напряжения 220 кВ $U_{\text{н.р}} = 252$ кВ, $U_{\text{исп}} = 174$ кВ.

На образец провода подается напряжение, равное 175 кВ, и выдерживается в течение 5 минут. Затем напряжение снижается до значения, равного 50 кВ (~30 % от испытательного напряжения), и далее поднимается до 175 кВ ступенями, равными 5 кВ. На каждой ступени напряжения, начиная со 100 кВ, фиксируется:

– величина приложенного напряжения прибором MUT-9;

– количество очагов коронного разряда прибором ФИЛИН-3.

Для каждого образца провода фиксируется количество очагов коронного разряда на каждой ступени приложенного напряжения. Напряжение возникновения коронного разряда фиксируется при помощи прибора ФИЛИН-3. Количество точечных очагов коронного разряда заносится в таблицу. Строятся графики зависимости количества точечных очагов коронного разряда от приложенного напряжения. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты измерений

Приложенное напряжение, кВ	**Количество очагов коронного разряда, шт., в зависимости от приложенного напряжения и марки провода**							
	АС 150	**АС 185**	**АС 240**	**АСВП 197/55**	**АСВП 197/56**	**АСВП 214/60**	**АСВТ 197/56**	**АСВТ 218/62**
100	0	0	0	0	0	0	0	0
105	0	0	0	0	0	0	0	0
110	0	0	0	0	0	0	0	0
115	0	0	0	0	0	0	0	0
120	0	0	0	0	0	0	0	0
125	0	0	0	0	0	0	0	0
130	2	0	0	0	0	0	0	0
135	6	2	0	0	0	0	0	0
140	9	4	0	0	0	0	0	0
145	10	6	0	2	2	0	2	0
150	14	8	0	4	3	2	2	1
155	16	10	2	6	6	4	5	4
160	20	11	5	9	8	7	7	6
165	21	14	6	11	10	9	11	10
170	24	15	7	13	13	10	12	12
175	26	18	8	15	14	12	15	14

Напряжения возникновения коронного разряда для образцов проводов приведены в табл. 2.

Таблица 2

Напряжения возникновения коронного разряда

АС 150/19	АС 185/29	АС 240/32	АСВП 197/55	АСВП 197/56	АСВП 214/60	АСВТ 197/56	АСВТ 218/62
130,8 кВ	134,5 кВ	154,5 кВ	142,2 кВ	142,3 кВ	149,2 кВ	142,5 кВ	149,3 кВ

$$\frac{P}{r_0^{\,2}E} = F\left(\frac{E}{E_{\text{н}}}\right), \qquad (1)$$

где r_0 – радиус провода; E – напряженность на поверхности провода; $E_{\text{н}}$ – начальная напряженность короны.

Представим наглядно результаты исследования в виде графика (рис. 2).

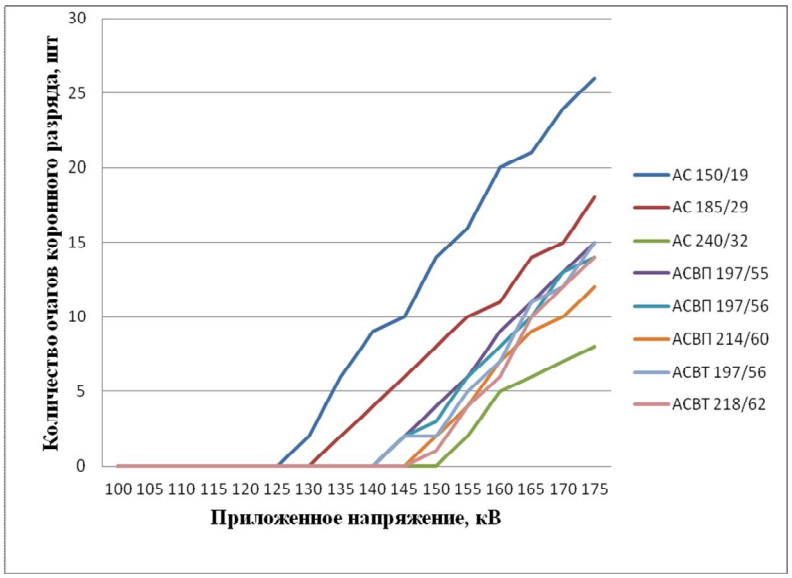

Рис. 2. Зависимость количества очагов коронного разряда в зависимости от приложенного напряжения

Потери на корону на шинопроводе можно записать в следующем виде:

$$\Delta W_{\text{к}} = \sum_{j=1}^{n} l_j \sum_{i=1}^{4} \Delta P_{\text{к}} t_i, \qquad (2)$$

где $\Delta P_{\text{к}}$ – удельные потери мощности на корону; l – протяженность шинопровода; n – количество шинопроводов, в которых рассчитывают потери энергии на корону; t_i – продолжительность i-го вида погоды: изморози, снега, дождя и хорошей погоды в расчетном периоде i.

Уточненная формула имеет вид:

$$\Delta W_{\text{к}} = \sum_{j=1}^{n} l_j \left(\frac{U_{\text{ср}\,j}}{U_{\text{ном}\,j}}\right) \sum_{i=1}^{4} \Delta P_{\text{к}} t_i, \qquad (3)$$

где $U_{ср}$ – среднее значение фактического напряжения на шинопроводе в течение расчетного периода; $U_{ном}$ – номинальное напряжение шинопровода.

Представим потери на корону в виде следующего выражения:

$$\Delta P_{кор} = I_{кор} E_{кор} R = I_{кор} U \sqrt{\frac{S}{\pi}}, \quad (4)$$

Подставляя выражение (3) в (2), получаем:

$$\Delta W_к = \sum_{j=1}^{n} l_j \left(\frac{U_{ср\,j}}{U_{ном\,j}} \right) \sum_{i=1}^{4} I_{кор} U_{кор} \sqrt{\frac{S}{\pi}} t_i \,. \quad (5)$$

Из уравнения видно, что $\Delta W_к \cong l$ и $\Delta W_к \cong \sqrt{\frac{S}{\pi}}$.

В результате экспериментов проведено исследование процесса возникновения короны на проводах разных марок в электросетевом комплексе, получены данные по напряжению возникновения короны.

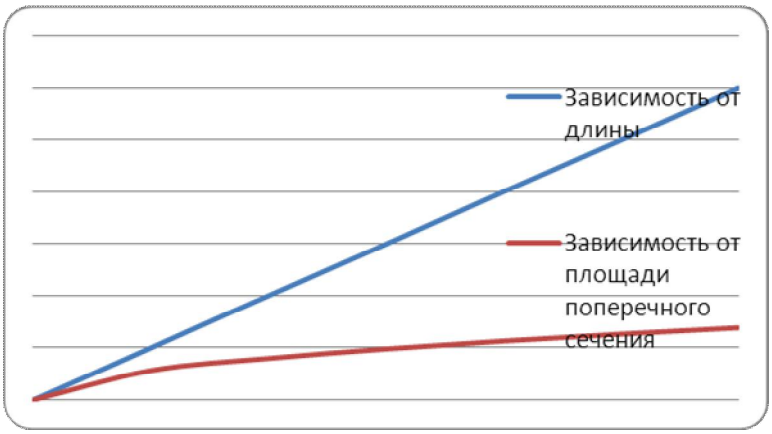

Рис. 3. Зависимость потерь электроэнергии на корону от длины и площади поперечного сечения провода

По результатам проведенных сравнительных испытаний установлено, что для проводов одинакового диаметра напряжение возникновения коронного разряда на проводе АСВП выше напряжения возникновения коронного разряда на проводе марки АС. На напряжение зажигания короны влияет множество факторов: температура, давление и влажность воздуха; шероховатость поверхностей проводов; конструктивное решение фазы; положение фазы относительно других фаз.

Полученные результаты позволяют сделать вывод о применимости высокотемпературных проводов АСВП в случаях, когда необходимо существенно повысить токовые нагрузки на линии электропередачи не увеличивая сечения, а также в районах с высокими температурами окружающей среды.

Учитывая тот факт, что существующие на данный момент ЛЭП, ошиновки находятся в эксплуатации более 25-40 лет и исчерпали свой ресурс, замена их на новые крайне необходима. В расчете на 1 км провода сети 110 кВ для

Волгоградской области дисконтированный срок окупаемости замены стандартного провода не превышает 5 лет.

По результатам проведенных сравнительных испытаний установлено, что для проводов одинакового диаметра (Ø18,8 мм) напряжение возникновения коронного разряда на проводе АСВП производства ООО «Энергосервис» выше напряжения возникновения коронного разряда на проводе марки АС.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Белоедова, И. П. Расчет электрических полей устройств высокого напряжения : учебное пособие / И. П. Белоедова, Ю. В. Елисеев, Е. С. Колечицкий и др. – М. : Издательский дом МЭИ, 2008. – 248 с.

2. Патент на полезную модель № 132241 РФ. Сталеалюминевый провод для воздушной линии электропередачи / В. А. Фокин. – Опубл. 10.09.2013.

3. Гуревич, Л. и др. Моделирование электромагнитных потерь в сталеалюминевых проводах различной конструкции / Л. Гуревич и др. // Электроэнергия. Передача и распределение, сентябрь-октябрь 2014. – № 5 (26). – С. 72-75.

5. Kuryanov, V. N. Innovative high-efficiency wires of energy grids power transmission lines / V. N. Kuryanov, M. M. Sultanov, V. A. Fokin. // Энергия единой сети. – 2016. – Special Issue. – С. 96-103.

4. Курьянов, В. Н. Инновационные высокоэффективные провода для линий электропередачи / В. Н. Курьянов, М. М. Султанов, В. А. Фокин, Л. В. Тимашова // Энергия единой сети. – 2016. – № 4 (27). – С. 70-78.

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ И СПОСОБОВ ДИАГНОСТИКИ ПОТЕРЬ ЭНЕРГИИ В ТЕПЛОВЫХ СЕТЯХ

Лепилкин М. С. – студент
Трохимчук М. В. – канд. геол.-минерал. наук, доцент
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Тепловые сети являются одним из ключевых элементов городского хозяйства. В настоящее время теплотехнические системы требуют капитального ремонта. При этом, как правило, отсутствует объективная информация о реальном состоянии теплосетей, на основе которой можно было бы сформировать систему технических, финансовых и управленческих решений по эффективному планированию и оптимизации плановых и аварийных ремонтных работ [1]. Существующие наземные методы контроля, хотя и характеризуются довольно высокой точностью определения аварийных мест, обладают двумя существенными недостатками: низкой производительностью и высокой стоимостью. Кроме того, существует проблема отсутствия кондиционных схем расположения подземных теплотрасс.

Целью данной работы является анализ методов и способов диагностики потерь энергии в Волгоградской области, которая включает подбор вида прокладки трубопроводной системы.

Выполнен анализ различных видов прокладки трубопроводов на примере типового населённого пункта Волгоградской области (надземная прокладка, подземная однотрубная канальная прокладка, подземная бесканальная прокладка). Выявлено, что наиболее целесообразно при рыхлых осадочных породах, занимающих 70 % территории Волгоградской области, использование подземной бесканальной прокладки.

Выполнен анализ шести основных методов технической диагностики, реально применяемых на различных тепловых сетях (рисунок): метод акустической диагностики, ультразвуковое сканирование, шурфовка, опрессовка на прочность повышенным давлением, метод магнитной памяти металла, метод магнитной томографии металла теплопроводов с поверхности земли.

Рисунок. Алгоритм анализа фактического состояния тепловых сетей [3]

По результатам расчета на выявление тепловых потерь в трубопроводной системе по экономическим показателям был выбран метод акустической диагностики. Суть метода акустической диагностики в следующем: при движении теплоносителя по трубе всегда есть пульсации давления различной частоты [2]. Коррозионный дефект в виде утончения стенки трубы – своеобразная мембрана с собственной частотой колебаний. При близком значении частот возникают резонансные колебания, которые распространяются по металлу трубы и воде. Работа заключается в размещении в точках доступа (коллекторы, смотровые колодцы, подвалы домов) по концам диагностируемого участка виброаккустических датчиков, сигналы от которых записываются на магнитный носитель.

Таким образом, нужен доступ к трубопроводу по обоим концам участка, нужны зачищенные «пятна» металла на трубопроводе размером около 10×10 сантиметров. Запись сигналов длится 2 минуты. Затем акустические записи обрабатываются на компьютере с использованием специально разработанного пакета прикладных программ.

Однако у данного метода есть некоторые ограничения. Применять его можно только во время отопительного сезона, так как обязательно наличие тока (движения) воды и давление не менее 2,5 кгс/см^2. Кроме того, длина диагностируемого участка должна быть от 40 до 150 метров. Не должно быть сильных внешних шумов. Метод неприменим для трубопроводов в ППУ-изоляции (пенополиуретан). Достоинство же заключается в том, что можно непрерывно диагностировать сразу оба трубопровода на большие расстояния по теплотрассе, а это позволяет определять не только координаты коррозионных повреждений, но и величину утончения металла, позволяет обнаруживать течи.

Данный метод акустической диагностики достаточно новый, и его применение на тепловых объектах на сегодняшний день не дало однозначных результатов. Однако этот тип диагностики перспективен – он станет хорошей информационной составляющей в комплексе мониторинга состояния действующих теплопроводов и хорошо вписывается в процесс эксплуатации и конструктивные особенности прокладок тепловых сетей. Метод используется для планирования капитального ремонта, замены и продления ресурса тепловых сетей.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кравченко, Г. М. Спецкурс по теплоснабжению : учебное пособие / Г. М. Кравченко. – Ростов-на-Дону: Ростовский государственный строительный университет, 2009. – 72 с.

2. Соколов, Е. Я. Теплофикация и тепловые сети. – 7-е изд., стереот. / Е. Я. Соколов. – М. : Издательский дом МЭИ, 2001. – 472 с.

3. Диагностика теплосетей: индивидуальный подход / А. Хейфец, Д. Чуйко // Теплоснабжение. – 2009. – № 7.

АНАЛИЗ И ОПТИМИЗАЦИЯ УЧЕТА ТЕПЛОВОЙ ЭНЕРГИИ В УСЛОВИЯХ ТСЖ

Дружинин И. В. – магистрант
Жилина В. И. – д-р экон. наук, профессор
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ в г. Волжском, Россия

В современных условиях развития нашей страны, когда происходит стремительное истощение сырьевых и энергетических ресурсов, а нормы экологической безопасности и использования окружающей среды становятся все более строгими, основной тенденцией в области устройства систем учета и регулирования тепловой энергии, теплоносителя составляет развитие и совершенствование систем централизованного теплоснабжения, повышения их сбалансированности, энергетической эффективности, экологичности. Проблема экономного

расходования тепловой энергии в системах отопления многоквартирных домов в связи с ростом цен на энергоносители и, соответственно, платы за предоставление тепла приобретает все более весомое значение. При этом уровень оснащения систем теплоснабжения приборами технологического и коммерческого учета тепловой энергии и теплоносителей, средствами локальной и комплексной автоматизации является недостаточным. Решение этой проблемы требует единого методического подхода к анализу действующих систем учета тепловой энергии, а также поиска путей их оптимизации с учетом разнообразия территориальных условий и параметров потребителей.

Учет тепловой энергии – один из способов контроля его расхода, а также реализации способов увеличения эффективности его использования. Чтобы обеспечить максимально точную и своевременную информацию о необходимых цифровых показателях, зафиксировать какие-либо изменения, для дальнейшего анализа необходимо использовать специальные приборы. На источнике энергии должны знать, сколько тепла было произведено и отпущено; транспортирующая компания (теплосеть) должна знать, сколько получено и сколько отдано потребителям. Каждый потребитель должен знать, сколько реально энергии он потребил. То есть каждому из них становятся нужны приборы учета – теплосчетчики.

Теплосчетчик – это средство измерений, состоящее, как правило, из преобразователей расхода, температуры, давления, а также тепловычислителя. Общие принципы работы теплосчетчиков – по информации от датчиков микропроцессорный вычислитель тепла каждое мгновение определяет расход тепла на здание и интегрирует его по времени. В общем, в самом простом случае текущий расход тепла Q (Гкал/час) определяется как:

$$Q = G\,c\,(t_1 - t_2),$$

где t_1 – температура теплоносителя в подающем трубопроводе, °С; t_2 – температура теплоносителя в обратном трубопроводе, °С; G – расход теплоносителя на объект теплоснабжения, т/ч; c – теплоемкость теплоносителя, Гкал/ (т·°С).

Таким образом, учет тепловой энергии приводит к правильной эксплуатации теплотехнического оборудования и использованию тепла и теплоносителя как у поставщика, так и у потребителя, стимулируя как того, так и другого к проведению энергосберегающих мероприятий и внедрению энергосберегающего оборудования и технологий. Расчеты потребителей тепловой энергии с энергоснабжающими организациями за полученное ими тепло осуществляются на основании показаний приборов, систем учета и контроля параметров теплоносителя, установленных у потребителя и допущенных в эксплуатацию в качестве коммерческих.

Анализируя существующие решения в сфере учета тепловой энергии нужно выделить основные проблемы. Одна из главных – это огромный парк приборов учета, а также отсутствие нормативной базы. «Правила учета тепловой энергии и теплоносителя», принятые в 1995 году, можно назвать устаревшими и потерявшими актуальность, а потому по большей части они не соблюдаются.

Следующая проблема состоит в большом разнообразии типов теплосчетчиков. Каждый теплосчетчик может реализовывать любой алгоритм по выбору пользователя, а также иметь аппаратную, информационно-программную несовместимость для обеспечения систем автоматического сбора данных, обработки информации, автоматизированного контроля и управления потреблением энергоресурсов. В такой ситуации нельзя говорить о единстве учета. Решение этой проблемы обеспечат: мониторинг энергопотребления, оперативное выявление источников нерационального расхода теплоносителя и воды, оперативный контроль правильности работы приборов учета, объективный расчет за потребленные энергоресурсы, базу для дальнейшего создания и широкого распространения приборов.

Сюда же можно отнести вопросы фальсификаций при приборном учете. Часто невозможно проверить и подтвердить достоверность данных, которые теплосчетчик заносит в свои архивы. Причем результаты учета могут искажаться как по злому умыслу производителя, скрывающего метрологическое несовершенство своего продукта, так и путем подбора такой комбинации настроек прибора, которая выгодна его пользователю.

Таким образом, все перечисленные проблемы влияют на возможность повсеместного внедрения современных, автоматизированных систем учета тепловой энергии.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Анисимов, Д. Л. Теплосчетчики: о фальсификациях и спекуляциях. Совершенствование измерений расхода, регулирование и коммерческий учет энергоносителей / Д. Л. Анисимов // Труды 3-го Международного научно-практического форума. – СПб., 2003.

2. Лачков, В. И. Современные теплосчетчики от котельной до квартиры / В. И. Лачков // Энергосбережение. – 2002. – № 6.

3. Лупей, А. Г., Каргапольцев, В. П. О некоторых методах «экономии» при ведении коммерческого учета воды и тепла / А. Г. Лупей, В. П. Каргапольцев // Труды 3-го Международного научно-практического форума. – СПб., 2003.

АНАЛИЗ ФУНКЦИОНИРОВАНИЯ ОБОРУДОВАНИЯ В РЕЖИМАХ ТЕСТИРОВАНИЯ ТЭЦ С ВЫВОДОМ НА МАКСИМАЛЬНУЮ МОЩНОСТЬ

Константинов А. А. – ассистент
Курьянова Е. В. – магистрант, ассистент
Султанов М. М., Курьянов В. Н. – канд. техн. наук, доценты
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Приведены показатели работы Волжской ТЭЦ в режимах тестирования оборудования с выходом на максимальную мощность.

Для оценки возможности обеспечения надежности электроснабжения энергетической системы от Волжской ТЭЦ (ВТЭЦ) были использованы данные

тестирования оборудования. Тестирование проводилось в 2012 и 2013 гг. как в летний, так и в зимний период. В период тестирования включалось в работу все оборудование, готовое к выполнению обязательств по поставке мощности на ОРЭМ, – оптовый рынок электроэнергии и мощности. На рис. 1 представлен график фактического разворота оборудования и вывод его на максимальную мощность.

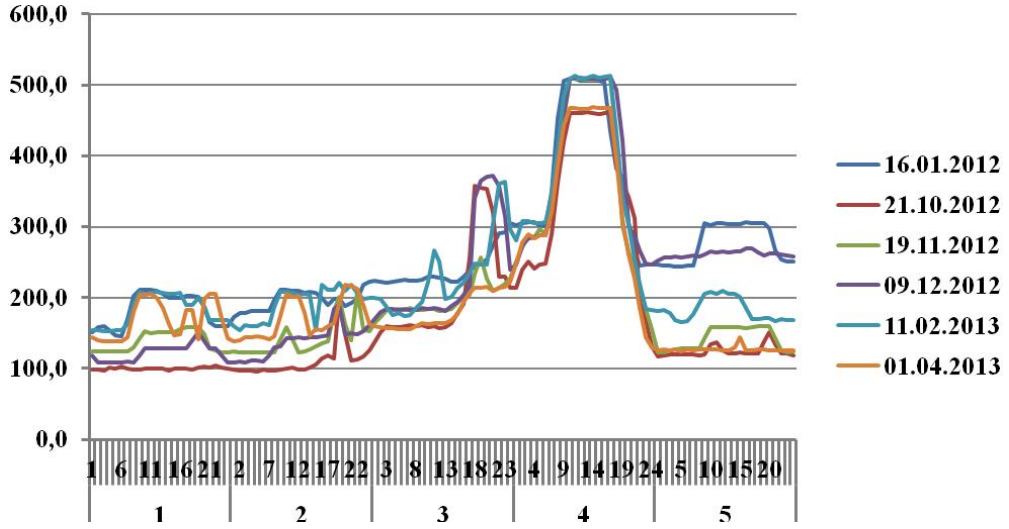

Рис. 1. Графики отпуска электрической энергии при развороте оборудования и выводе его на максимальную мощность

При анализе эффективности работы оборудования следует учитывать и выработку тепловой энергии в рассматриваемые периоды (рис. 2).

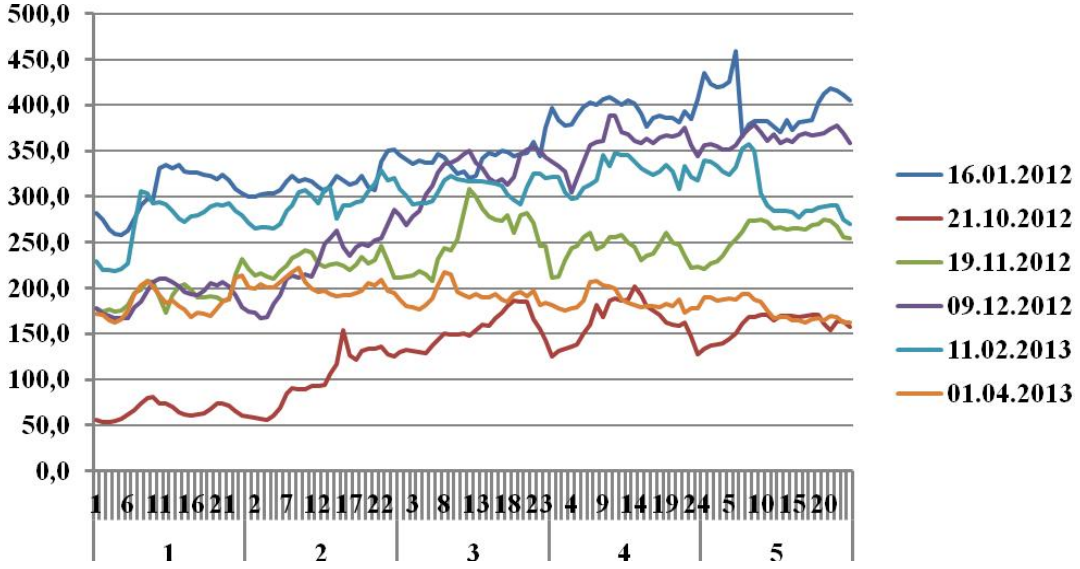

Рис. 2. Графики отпуска тепловой энергии в период тестирования

В период тестирования проводились испытания оборудования на скорость набора/снижения нагрузки до располагаемой мощности/технологического

минимума, способность оборудования к несению максимальной мощности/ технологического минимума в течение длительного времени. При таких режимах эксплуатации оборудования главной целью является не оптимальное распределение электрической и тепловой нагрузки между включенным оборудованием с целью снижения удельных затрат, а выполнение требований Системного Оператора по готовности оборудования к выработке электрической энергии.

Удельные расходы топлива (УРУТ) на выработку электрической энергии в рассматриваемые периоды отражены на рис. 3.

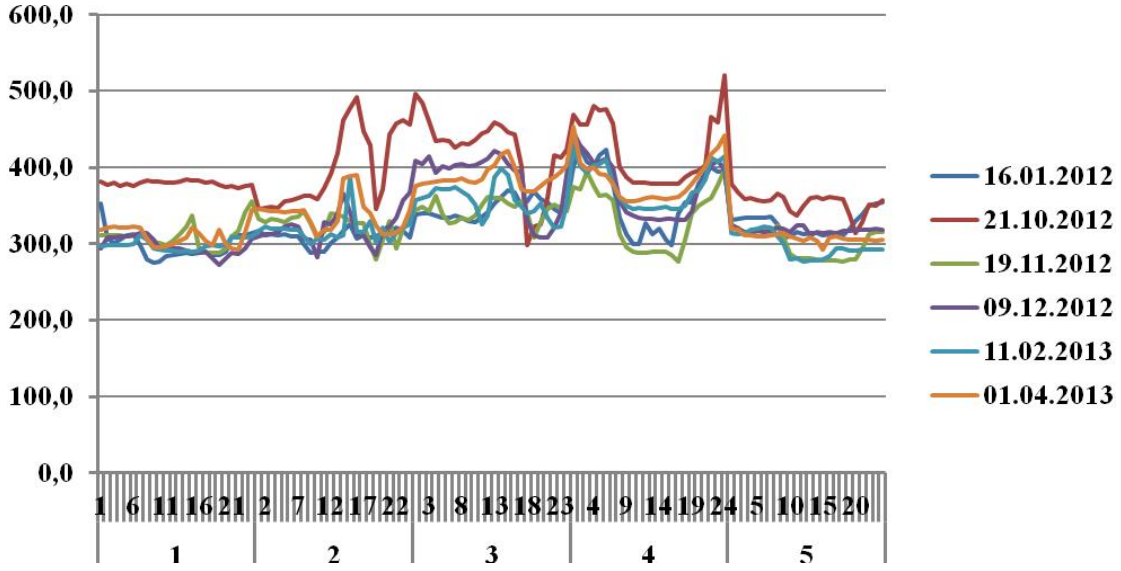

Рис. 3. Графики удельных расходов топлива на выработку электрической энергии в период тестирования

Значительные колебания УРУТ в течение суток напрямую связаны с проведением испытаний. Высокие показатели УРУТ могут быть связаны с неоптимальным распределением тепловой выработки по турбоагрегатам.

В результате обзора данных по испытаниям можно сделать вывод о возможности оборудования к несению заданной электрической мощности и о способности генерирующего объекта выполнять свои обязательства на ОРЭМ в заявленных объемах. Необходимо отметить, что оборудование ВТЭЦ предназначено для работы и по тепловому графику. В таком комбинированном режиме производства тепловой и электрической энергии достигаются наилучшие технико-экономические показатели. Перевод оборудования в режим конденсационной выработки снижает эффективность использования оборудования, в частности увеличивает УРУТ, однако может быть экономически целесообразным при увеличенных продажах электроэнергии на ОРЭМ.

К ВОПРОСУ СОЗДАНИЯ ЭФФЕКТИВНОГО ВОДОРОДНОГО ГЕНЕРАТОРА

Терентьев Г. Ф. – канд. техн. наук, профессор
Пивченко А. В. – доцент
Шевцова С. Б. – магистрант
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В филиале ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском ведутся работы по разработке генератора водорода на основе гидролиза алюминия. В основу разработки положены патенты RU 2545290 и RU 2553885, рис. 1.

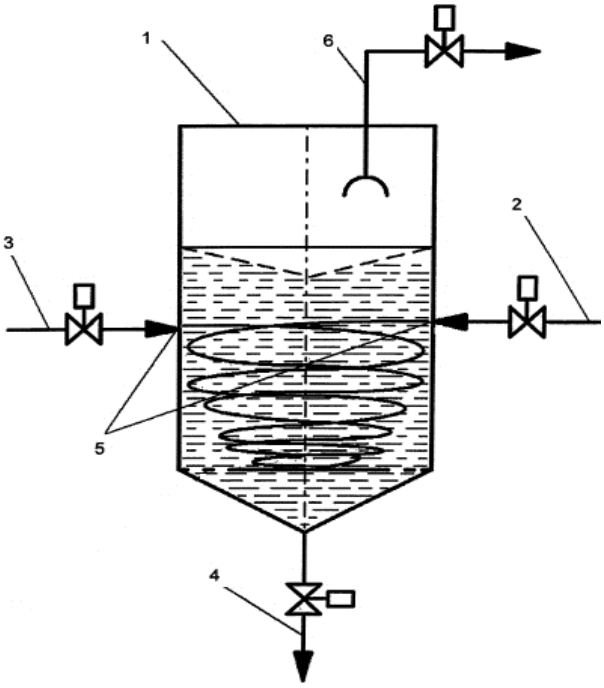

Рис. 1. Принципиальная схема водородного генератора

Данный генератор содержит вертикальный цилиндрический реакционный сосуд 1, магистраль подачи суспензии алюминиевого порошка 2, магистраль подачи водного щелочного раствора 3, магистраль вывода продуктов гидролиза 4. Сопловые вводы 5 реагентов расположены в верхней части реакционного сосуда и ориентированы тангенциально по отношению к оси реакционного сосуда. Благодаря такому их расположению в реакционном сосуде образуется вертикальный вихрь, который способствует интенсивному перемешиванию реагентов и смещению реакции в кинетическую область. В результате взаимодействия воды, едкого натра и алюминия образуется водород, который отбирается через магистраль вывода 6.

Алюминий подается в реакционный сосуд в виде суспензии, приготовленной из алюминиевого порошка и гелеобразной пасты на основе загустителя агар-агар.

Очередным этапом этих работ является создание экспериментального исследовательского стенда, который представлен на рис. 2.

Рис. 2. Экспериментальный исследовательский стенд

Важным фактором, определяющим работоспособность установки, является качество приготовления суспензии алюминия. Если в суспензии будет присутствовать остаточный воздух, это несколько снизит чистоту получаемого водорода. Кроме того, такая суспензия будет иметь положительную плавучесть, плохо увлекаться внутрь потока, задерживаясь вблизи поверхности аппарата. Это может привести к локальному перегреву верхнего реакционного слоя, неполному

использованию реакционного пространства аппарата, перерасходу едкого натра и воды, что и наблюдалось в опытах.

Для продолжения работ на этой модели возникла необходимость разработать технологию приготовления пасты (алюминий + гель). Эксперименты проводились двумя циклами – в летний и в осенне-зимний периоды. В процессе экспериментов технологическая смесь подвергалась следующим видам воздействия:

– интенсивному перемешиванию в открытых сосудах;

– интенсивному перемешиванию и нагреву на водяной бане;

– интенсивному встряхиванию в закрытых сосудах.

Было установлено, что перемешивание в открытых сосудах происходит крайне медленно из-за плохой смачиваемости алюминиевого порошка и сопровождается пылением.

Нагрев существенно облегчает процесс смесеобразования, но при температуре примерно 80 °С начинается бурная реакция газообразования.

Интенсивное встряхивание в закрытых сосудах не сопровождается пылением и позволяет приготовить смесь довольно быстро. Но после приготовления смесь может вести себя по-разному в зависимости от температурного фактора.

При летних температурах (35 °С и выше) начиналась медленная реакция газообразования, которая практически не видна глазу и обнаруживает себя, если оставить сосуд с суспензией закрытым на несколько дней. Наличие или отсутствие загустителя агар-агар не оказывает заметного влияния на протекание реакции газообразования.

Эксперименты были повторены в осеннее-зимний период при температуре 18 °С. При этой температуре реакции газообразования при хранении приготовленной суспензии не наблюдалось.

Исследования проводились с пудрой алюминиевой ПАП-1 ГОСТ 5494-95.

Можно сделать следующие выводы.

1. Реакция алюминиевого порошка указанной марки с выделением водорода может протекать не только при наличии в растворе щелочи, но и в чистой (дистиллированной) воде (хотя и крайне медленно). Оксидная пленка мельчайших частиц алюминия не является достаточным препятствием для протекания нежелательной реакции. Жировой слой, которым производитель покрывает частицы алюминия при изготовлении и который предохраняет эти частицы от окисления при хранении, разрушается при интенсивном перемешивании во время приготовления суспензии.

2. На скорость реакции существенное влияние оказывает температура.

Таким образом, наметились следующие направления исследований:

– изучение поведения алюминиевых порошков других марок в процессе смесеобразования;

– поиск более мягких методов приготовления суспензии;

– поиск других загустителей (не на водной основе);

– изучение влияния иных загустителей на процесс пенообразования.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Способ получения водорода за счет гидролиза твердого реагента – алюминия в реакционном сосуде, RU 2545290. Начало действия патента: 15.11.2010; Авторы патента: Кузеванов Вячеслав Семенович (RU), Султанов Махсуд Мансурович (RU), Терентьев Геннадий Федорович (RU), Шамигулов Петр Валерьевич (RU). Патентобладател(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ») (RU).

2. Генератор водорода, RU 2553885. Начало действия патента: 15.11.2013. Авторы патента: Кузеванов Вячеслав Семенович (RU), Султанов Махсуд Мансурович (RU), Терентьев Геннадий Федорович (RU), Шамигулов Петр Валерьевич (RU). Патентообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВПО «НИУ «МЭИ») (RU).

3. Научно-технический отчет по теме: Исследование работы модельной установки мобильного комплекса производства водорода на основе гидролиза алюминия в водном растворе едкого натра в лабораторных условиях. Ответственный исполнитель: к.т.н., доцент, профессор кафедры «ТЭиТТ» Терентьев Г. Ф. – Волжский, 2017.

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ МАТЕМАТИЧЕСКОГО ОПИСАНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИИ

Голишников Н. А. – магистрант
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

Насосные станции (НС) представляют собой сложный электрогидравлический технический комплекс сооружений и оборудования, в котором осуществляется преобразование электрической энергии в механическую энергию потока жидкости и управление этим процессом преобразования.

Основным энергетическим элементом насосной станции является насосная установка, содержащая один или несколько насосов, всасывающую и нагнетательную систему трубопроводов, запорную арматуру, электропривод, а также датчики технологических параметров установки.

Множество насосных установок работают в условиях агрессивной, взрывоопасной среды, при высоких температурах и влажности. Для таких установок применяются преимущественно асинхронные короткозамкнутые двигатели закрытого выполнения. Применение асинхронных двигателей повышает надежность электропривода, а также снижает капитальные затраты и эксплуатационные расходы.

В качестве объекта исследования в данной работе выбран насосный агрегат, функциональная схема которого представлена на рис. 1.

Математическое описание центробежного насоса. Основными параметрами насоса являются напор и подача. Подачей Q называется объем жидкости, подаваемый насосом в единицу времени. Напор H определяется как разность

содержания энергии в 1 кг жидкости (удельной энергии) на участке от входа в насос до выхода из него.

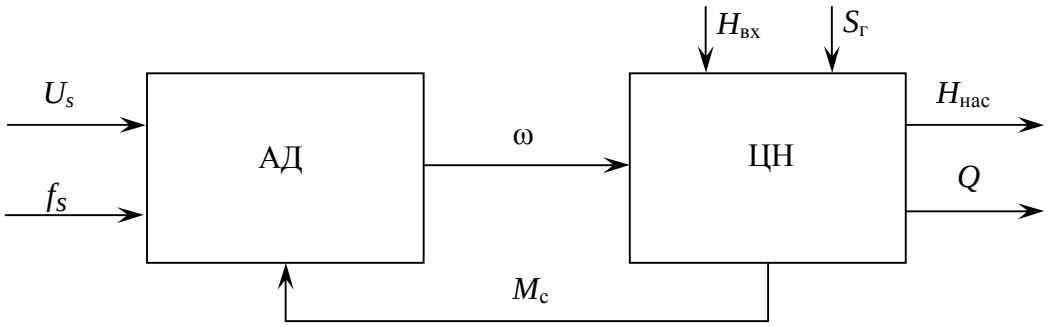

Рис. 1. Функциональная схема насосного агрегата:
АД – асинхронный двигатель; *ЦН* – центробежный насос; U_s – напряжение статора, *В*; f_s – частота напряжения статора, Гц; ω – механическая угловая скорость вращения ротора и рабочего колеса насоса, рад/с; $M_с$ – статический момент нагрузки на валу двигателя, Н·м; $H_{нас}$ – напор на выходе насоса, м; $H_{вх}$ – напор на входе насоса, м; Q – производительность насоса, м^3/с; $S_г$ – гидравлическое сопротивление магистрали, с^2/м^5

Выразим значения напора H и подачи насоса Q через скорость на валу двигателя ω:

$$Q_* = \frac{Q_н}{\omega_н^2}\omega_* = k_1\omega_*, \tag{1}$$

$$H_* = \frac{H_н}{\omega_н^2}\omega_*^2 = k_2\omega_*^2, \tag{2}$$

где $Q_н$, $H_н$, $\omega_н$ – номинальные значения параметров насосной установки; Q_*, H_*, ω_* – текущие значения параметров насосной установки; k_1, k_2 – постоянные величины.

Преобразуем уравнение (2) к следующему виду:

$$\sqrt{H_*} = k_{нас}\omega_*, \tag{3}$$

где $k_{нас} = \sqrt{\frac{H_н}{\omega_н^2}}$ – постоянный коэффициент.

Насос и гидравлическая сеть – инерционные звенья, которые могут быть представлены апериодическим звеном первого порядка:

$$W_{нас}(p) = \frac{k_{нас}}{T_{нас}p + 1}, \tag{4}$$

где $T_{нас}$ – постоянная времени насоса.

Насос является нелинейной сложной системой, но при работе в малых отклонениях возможно линеаризовать его коэффциент передачи. Так как значение $T_{нас}$ = 0,001 с, то при синтезе системы столь малой постоянной времени допустимо пренебречь и считать насос безынерционным звеном:

$$W_{нас}(p) = k_{нас}. \tag{5}$$

Тогда структурную схему насоса в случае управления напором H возможно представить в следующем виде (рис. 2):

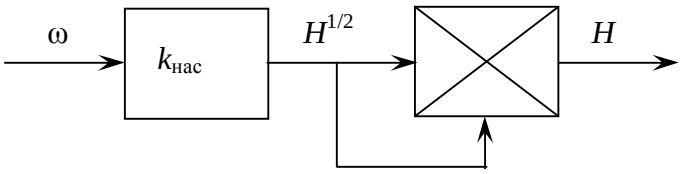

Рис. 2. Структурная схема насоса

По паспортным данным центробежного насоса 1Д315-71 выбираем $H_н$ = 71 м, $\omega_н = \pi\, n_{ном} = \pi \cdot 48{,}3 = 152$ с$^{-1}$, тогда

$$W_{нас}(p) = k_{нас} = \sqrt{\frac{71}{152^2}} = 0{,}06.$$

Математическая модель асинхронного двигателя. При математическом описании АД как объекта управления принимаются следующие допущения:

– намагничивающие силы обмоток двигателя распределяются строго синусоидально вдоль окружности воздушного зазора;

– потери в «стали» статора и ротора отсутствуют;

– обмотки статора и ротора строго симметричны со сдвигом оси на 120°;

– насыщение магнитной цепи отсутствует.

Поскольку при стабилизации напора система работает в малых отклонениях относительно рабочей точки стабилизации, возможно использование линейной модели асинхронного двигателя. Структурную схему линеаризованной модели асинхронного двигателя можно представить в виде модели, приведенной на рис. 3.

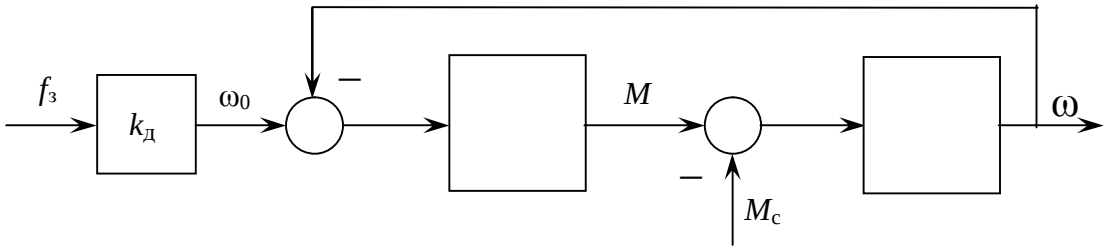

Рис. 3. Линеаризованная модель АД:
$f_з$ – частота задания, Гц; $k_д$ – коэффициент передачи двигателя; ω_0 – задающая круговая частота вращения, рад/с; β – жесткость линейного участка механической характеристики; Tэ – электромагнитная постоянная времени, с; M – механический момент двигателя, Н·м; J_Σ – сумарный, приведенный к валу двигателя, момент инерции, кг·м^2

Для асинхронного двигателя АИР280S2:

p = 2 – число пар полюсов обмотки статора двигателя;

$k_д = \dfrac{2\pi}{p} = 3{,}14$ рад·с$^{-1}$/В – коэффициент передачи двигателя;

$\omega_0 = \dfrac{2\pi f}{p} = \dfrac{2 \cdot 3{,}14 \cdot 50}{2} = 157$ рад/с – угловая скорость ВМП;

$\omega_н = \pi n_{ном} = 3{,}14 \cdot 49{,}6 = 155{,}7$ рад/с – номинальная угловая скорость двигателя;

$S_н = \dfrac{\omega_0 - \omega_н}{\omega_0} = \dfrac{157 - 155{,}7}{157} = 0{,}008$ – номинальное скольжение двигателя;

$S_к = S_н\left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}\right) = 0{,}008 \cdot \left|2{,}4 + \sqrt{2{,}4^2 - 1}\right| = 0{,}04$ – критическое скольжение,

где λ = 2,4 – отношение максимального момента к номинальному моменту;

$\beta = \dfrac{\Delta M_н}{\omega_0 - \omega_н} = \dfrac{0{,}8}{157 - 155{,}7} = 0{,}62$ – модуль статической жесткости;

$J_\sum = J_{ст} + J_{дин} = 1{,}91 + 2{,}19 = 4{,}1$ кг·м^2 – сумарный, приведенный к валу двигателя, момент инерции, значения статического и динамического моментов инерции для данного двигателя выбираем по справочнику;

$T_м = \dfrac{J_\sum}{\beta} = \dfrac{4{,}1}{0{,}62} = 6{,}6$ с – электромеханическая постоянная времени двигателя;

$T_э = \dfrac{1}{\pi S_к} = \dfrac{1}{\pi \cdot 0{,}04} = 7{,}9$ с – электромагнитная постоянная времени;

Передаточная функция двигателя будет иметь вид:

$$W_{АД}(p) = \frac{\dfrac{\beta k_д}{J_\sum\ (T_э p + 1)}}{1 + \dfrac{\beta k_д}{J_\sum\ p(T_э p + 1)}} = \frac{\beta k_д}{J_\sum\ T_э p^2 + J_\sum\ p + \beta} =$$

$$= \frac{k_д}{T_м T_э p^2 + T_м p + 1} = \frac{3{,}14}{52{,}6 p^2 + 6{,}6 p + 1}.$$

Математическое описание частотного преобразователя. В состав преобразователя частоты со звеном постоянного тока входит управляемый выпрямитель, фильтр и автономный инвертор напряжения. При синтезе системы управления будем использовать линеаризованную модель преобразователя частоты, представленную на рис. 4.

Рассчитаем параметры преобразователя частоты 3G3HV-B11K:

$k_{ПЧ} = \frac{f}{I_з} = \frac{50}{16} = 3{,}125$ Гц/мА – коэффициент усиления преобразователя частоты;

f = 50 Гц – номинальная частота напряжения сети;

$I_з$ = 16 мА – ток задания, принимается стандартным (20 ÷ 4) = 16 мА;

$T_μ$ = 0,01 с – постоянная времени ПЧ.

Получаем передаточную функцию преобразователя частоты:

$$W_{ПЧ}(p) = \frac{k_{ПЧ}}{T_μ p + 1} = \frac{3{,}125}{0{,}1p + 1}.$$

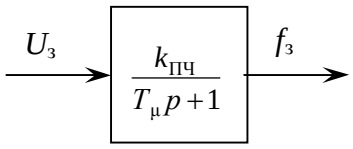

Рис. 4. Линеаризованная модель преобразователя частоты:
$K_{ПЧ}$ – коэффициент усиления преобразователя частоты;
$T_μ$ – постоянная времени ПЧ

Таким образом, передаточная функция насосного агрегата имеет вид:

$$W(p) = W_{ПЧ}(p) W_{АД}(p) W_{нас}(p) = \frac{k_{ПЧ}}{T_μ p + 1} \cdot \frac{k_д}{T_м T_э p^2 + T_м p + 1} \cdot k_{нас} =$$

$$= \frac{3{,}125}{0{,}01p + 1} \cdot \frac{3{,}14}{52{,}6p^2 + 6{,}6p + 1} \cdot 0{,}06 = \frac{0{,}59}{(0{,}01p + 1)(52{,}6p^2 + 6{,}6p + 1)}.$$

СИНТЕЗ СИСТЕМЫ АВТОМАТИЧЕСКОГО УПРАВЛЕНИЯ НАСОСНОЙ СТАНЦИЕЙ ТЕПЛОВОЙ СЕТИ

Голишников Н. А. – магистрант
Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском

В условиях постоянно растущих цен на топливно-энергетические ресурсы, дефицита средств в федеральном, областном и муниципальном бюджетах особую актуальность приобретает оптимизация энергопотребления и затрат на энергоносители.

Поскольку на долю центробежных насосов, вентиляторов, воздуходувок и т. д. приходится, по разным источникам, 20-35 % электроэнергии, потребляемой в промышленности, модернизация систем управления насосными агрегатами является важным направлением политики энергосбережения в промышленности.

Исследуемая система управления представляет собой одноконтурную систему с одним внешним контуром – контуром давления, структурная схема которой представлена на рисунке.

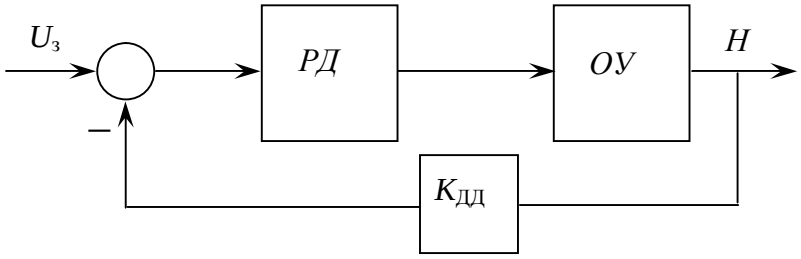

Рисунок. Структурная схема системы управления насосной установкой:
РД – регулятор давления; ОУ – объект управления;
КДД – коэффициент обратной связи (по давлению)

Синтез контура регулирования давления проведем методом последовательной коррекции. Коррекция – это изменение частных характеристик с целью придания им желаемой формы. Она обеспечивается с помощью различных звеньев вводимых в систему и называемых «корректирующее устройство». Регулятор – совокупность корректирующих устройств. С помощью корректирующих звеньев можно решить многие задачи: повышение запаса устойчивости, повышение точности регулировки, уменьшение влияния возмущений, улучшение качества устройств.

Основу метода последовательной коррекции с подчинённым регулированием координат составляют два принципа.

Первый принцип – принцип подчинённого каскадного включения регуляторов отдельных координат состояния заключается в выборе замкнутых внутренних контуров регулирования, подчинённых общей задаче регулирования управляемой координаты. При этом выбор замкнутых внутренних контуров производится из условия формирования такой передаточной функции объекта управления в каждом контуре, при которой синтез последовательно включенных регуляторов контуров возможен в классе типовых линейных законов управления ограниченной сложности.

Второй принцип – принцип последовательной компенсации средних и больших постоянных времени контуров регулирования основан на последовательной замене исходного разомкнутого контура регулирования последовательностью результирующих контуров с желаемыми передаточными функциями. Выбор разомкнутых контуров в виде последовательного соединения интегрирующего и апериодического звена с малой некомпенсируемой постоянной времени обеспечивает высокую точность (астатическое регулирование) и высокое быстродействие системы.

Передаточная функция разомкнутого контура системы регулирования, представленной на рис. 1, имеет вид:

$$W_{\text{р.с}}(p) = W_{\text{рег}}(p) W_{\text{оу}}(p), \qquad (1)$$

где $W_{\text{оу}}(p)=W_{\text{ПЧ}}(p)W_{\text{АД}}(p)W_{\text{нас}}(p)=\dfrac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}}{(T_{\mu}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{э}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}$ – передаточная функция объекта управления.

Из формулы (1) найдем передаточную функцию регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p)=\frac{W_{\text{р.с}}(p)}{W_{\text{оу}}(p)}. \qquad (2)$$

Для синтеза регулятора воспользуемся желаемой передаточной функцией разомкнутой системы $W_{\text{р.с}}(p)$, в которой скомпенсированы все большие постоянные времени объекта управления путем исключения их из контура регулирования. Кроме того, исключим из разомкнутого контура регулирования все коэффициенты усиления, а для устранения статической ошибки введем в него интегрирующее звено с малой постоянной времени.

Таким образом, исходный разомкнутый контур регулирования заменяем результирующим контуром, который имеет общий коэффициент усиления, равный $\dfrac{1}{k_{\text{ДД}}}$ ($k_{\text{ДД}}$ = 0,143 – коэффициент передачи датчика давления), но обладающий астатизмом первого порядка и обеспечивающим высокое быстродействие благодаря малости постоянных времени, оставшихся не компенсированными.

То есть желаемая передаточная функция разомкнутой системы будет иметь следующий вид:

$$W_{\text{р.з}}(p)=\frac{\dfrac{1}{k_{\text{ДД}}}}{a_1T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}, \qquad (3)$$

где a_1 – параметр, влияющий на перерегулирование. Для обеспечения перерегулирования ≤ 5 % этот параметр принимает значение 2.

Подставив (3) в (2), получим передаточную функцию регулятора

$$W_{\text{рег}}(p)=\frac{W_{\text{р.с}}(p)}{W_{\text{оу}}(p)}=\frac{\dfrac{\dfrac{1}{k_{\text{ДД}}}}{2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}}{\dfrac{k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}}{(T_{\mu}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{э}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}}=$$

$$=\frac{(T_{\mu}p+1)(T_{\text{м}}T_{\text{э}}p^2+T_{\text{м}}p+1)}{k_{\text{ДД}}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}2T_{\mu}p(T_{\mu}p+1)}=\frac{T_{\text{м}}T_{\text{э}}p^2+T_{\text{м}}p+1}{k_{\text{ДД}}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}2T_{\mu}p},$$

где T_{μ} – малая, не компенсированная постоянная времени.

Полученная передаточная функция является передаточной функцией пропорционально-интегрально-дифференциального регулятора

$$W_{\text{рег}}(p) = k_{\text{п}} + \frac{k_{\text{и}}}{p} + k_{\text{д}} p \qquad (4)$$

с соответствующими коэффициентами усиления:

$k_{\text{П}} = \dfrac{T_{\text{м}}}{2k_{\text{ДД}}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}T_{\mu}} = \dfrac{6{,}6}{2 \cdot 0{,}143 \cdot 3{,}125 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}01} = 660$ – пропорциональной составляющей;

$k_{\text{и}} = \dfrac{1}{2k_{\text{ДД}}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}T_{\mu}} = \dfrac{1}{2 \cdot 0{,}143 \cdot 3{,}125 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}01} = 100$ – интегрирующей составляющей;

$k_{\text{д}} = \dfrac{T_{\text{м}}T_{\text{э}}}{2k_{\text{ДД}}k_{\text{ПЧ}}k_{\text{д}}k_{\text{нас}}T_{\mu}} = \dfrac{6{,}6 \cdot 7{,}9}{2 \cdot 0{,}143 \cdot 3{,}125 \cdot 3{,}14 \cdot 0{,}06 \cdot 0{,}01} = 5214$ – дифференцирующей составляющей.

Подставив числовые значения коэффициентов усиления в (4), получаем искомую передаточную функцию регулятора:

$$W_{\text{рег}}(p) = 660 + \frac{100}{p} + 5214p\,.$$

Проверку работоспособности полученного алгоритма управления насосной станцией тепловой сети можно провести с помощью программного средства VisSim.

СОДЕРЖАНИЕ

Секция № 1

Тепло- и электроэнергетический комплекс

Мельников Е. А., Ходырева Н. Г. Использование беспилотных летательных аппаратов мультироторного типа для диагностики технического состояния воздушных линий электропередачи…… 3

Мирошников В. В., Иваницкий М. С. Схемные мероприятия по повышению эксплуатационных показателей турбины К-1200-6,8/50…… 6

Неганова А. А., Иваницкий М. С. Особенности применения пятипольных электрических фильтров в схемах пылегазоочистки…… 9

Неганова А. А., Иваницкий М. С. Математическая модель расчета эффективности электрофильтра…… 11

Лушникова А. Р., Шимоняк А. А., Гусева Ю. В. Современные технологии очистки сточных вод на тепловых электростанциях……. 14

Кулёмина Г. И., Иваницкий М. С. Методы стабилизации мощностных параметров парогазовых установок…….. 16

Мельников Д. Ю., Иваницкий М. С. Электрофизические процессы в рабочем поле электрофильтрующих устройств тепловых электростанций… 18

Целуйко Е. Н., Толстопятов Д. Е., Султанов М. М. Оценка эффективности теплоэнергетической системы для альтернативных режимов регулирования отпуска теплоты…… 22

Султанов М. М., Вархачева Е. М. Анализ и исследование известных систем регулирования мощности энергетических машин и их влияния на надежность в условиях работы на оптовом рынке энергии и мощности… 23

Бондаренко А. В., Стрижиченко А. В. Влияние теплового режима грунта и конструктивных особенностей на работу грунтового теплообменника…… 28

Рылеев Е. С., Константинов А. А. Анализ существующих методов очистки внутренней поверхности теплообменных трубок…… 33

Карпенко И. А., Савин В. В. Процессы тепломассообмена ограниченных объемов жидкости с перегретыми твердыми поверхностями…… 37

Смирнов С. П., Кулькова В. В. Анализ структурных особенностей наноматериалов в приложении к энергетической отрасли…… 41

Лебедев В. В., Кулькова В. В. Анализ низкотемпературной ползучести металла барабана котла высокого давления…… 46

Широбоков Д. Е., Султанов М. М. Повышение надежности электрооборудования в энергетических системах…….. 49

Чепрасов С. А., Никитин К. А., Зенина Е. Г. Исследование элементов и узлов устройств релейной защиты и автоматики, имеющих наибольшее количество отказов……. 53

Янина Д. С., Зенина Е. Г. Анализ эффективности функционирования систем дальнего резервирования на воздушных линиях с ответвлениями напряжением 6-110 кВ……..... 56

Янина Д. С., Зенина Е. Г. Исследование появления мёртвых зон в релейных защитах…… 61
Громов К. В., Зенина Е. Г. Комплексное инновационное решение по заземлению нейтрали в сетях 6-35 кВ……. 64
Гринченко М. В., Зенина Е. Г. Анализ методов снижения потерь электрической энергии в распределительных сетях…… 67
Иваненко Ю. П., Петряков С. А., Султанов М. М. Анализ показателей надежности паровых турбин и прогноз ремонта оборудования ТЭЦ по техническому состоянию…….. 69
Савич С. С., Просвирова А. С., Гончарова Л. К. Изучение условий применения сорбентов марки АПТ в схемах водоподготовки в теплоэнергетике…….. 73
Евсеев К. В., Болдырев И. А. Особенности разработки алгоритмов выполнения расчетных задач в составе функций АСУ ТП на объектно-ориентированном языке программирования…… 76
Сысоева Ю. В., Зенина Е. Г. Методы повышения ресурсов аккумуляторных батарей собственных нужд подстанции……... 80
Лёгкий А. Д., Злобин В. Н. Повышение энергоэффективности турбоагрегатов……. 82
Бунин Д. С., Одоевцева М. В. Исследование и разработка методов повышения эффективности охлаждения башенной градирни…….. 85
Гурин А. А., Ковалёв А. А., Одоевцева М. В. Оценка эффективности подготовки обессоленной воды методом обратного осмоса……. 91
Макаренко Е. А., Одоевцева М. В., Дорофеев Ю. Н., Спиридонов Д. А. Опыт применения экспериментально-обучающей установки мембранного обессоливания воды на АО «Волжский трубный завод»…….. 95
Макаренко Е. А., Одоевцева М. В., Шимоняк А. А., Лушникова А. Р. Оценка технико-экономической эффективности модернизации мембранной установки на АО «Волжский трубный завод»…… 98
Гладков В. А., Зенина Е. Г. Современные программные средства расчета уставок релейной защиты……. 101
Дедков А. К., Болдырев И. А. Управление котельной по эффективности ее работы……. 104
Громов К. В., Зенина Е. Г. Анализ методов выявления короткого замыкания на кабельно-воздушных линиях…… 107
Васильева И. Л., Морозова А. А., Смольянинова А. С. Моделирование тепловых процессов в проводах и тросах линии электропередачи…….. 110
Гринченко М. В., Зенина Е. Г. Анализ проблем в технологическом исполнении и эксплуатации оперативных электромагнитных блокировок ПС-35-110 кВ……. 115
Абрамов П. А., Абрамова Ю. В., Султанов М. М. Исследование оптимального режима работы паровых котлов ТЭЦ на ОРЭМ…… 119

Зерщиков А. И., Абрамова Ю. В., Абрамов П. А., Курьянов В. Н. Исследование конструкции современных неизолированных сталеалюминиевых проводов…… 122
Толстоноженко Н. М., Артёмов А. А., Курьянов В. Н. Исследование показателей надежности и эффективности функций релейной защиты и автоматики…… 126
Молчанов М. В., Ярда Н. А., Зенина Е. Г. Теоретические методы иммитационного моделирования молнии…… 128
Молчанов М. В., Ярда Н. А., Зенина Е. Г. Экспериментальные методы имитационного моделирования молнии…….. 133
Молчанов М. В., Зенина Е. Г. Внедрение электродвигателей на постоянных магнитах в систему собственных нужд гидроэлектростанции…….. 138
Жилина В. И., Илясов Д. В. Оптимизация системы энергопотребления предприятия за счет утилизации тепла сбросного пара…….. 142
Павликов Ю. В., Кравченко И. В., Жилина В. И. Оптимизация работы объекта собственной генерации путем использования автоматизированной системы управления технологическими процессами……. 146
Купоносова В. С., Болдырев И. А. Разработка обучающего тренажера по управлению грунтовым тепловым насосом…… 148
Попов К. А., Хлынов Д. С., Зенина Е. Г. Анализ защиты электрических сетей от перенапряжений посредством ограничителей перенапряжений…… 150
Песоцкий С. В., Стрижиченко А. В. Обзор применения датчиков ИК- и УФ-спектра для диагностики объектов электросетевого комплекса…. 153
Губин М. Д., Карпенко И. А., Стрижиченко А. В. Влияние несимметрии напряжений сети 0,4 кВ на работу электродвигателей малой мощности……. 156
Рябов А. Ю., Попов К. А., Стрижиченко А. В. Особенности летне-зимнего периода градирни типа ATW 48-4G-2 для охлаждения компрессоров высокого давления на компрессорной станции верхового пирса Филиала ПАО «РусГИДРО» – «Волжская ГЭС»……. 158
Султанов М. М., Стружинская Ю. А. Исследование подходов достижения и обеспечения высокого уровня надежности и безопасности энергетического оборудования……. 160
Спасенова С. А., Иваницкий М. С. Влияние характеристик топлива на стабильность параметров кипящего слоя…… 162
Срослов М. С., Трохимчук К. А. Перспективы и преимущества применения биогазовых установок для утилизации отходов животноводства и птицеводства…….. 164
Тихонов Н. С., Губанов Л. С., Бондарева П. А., Трохимчук М. В. Оптимизация системы энергоснабжения предприятия за счет внедрения мини-ТЭЦ…… 166
Свитачев Д. Ю., Курьянов В. Н. Исследование процесса возникновения короны на проводах разных марок…… 168

Лепилкин М. С., Трохимчук М. В. Сравнительный анализ методов и способов диагностики потерь энергии в тепловых сетях…… 172
Дружинин И. В., Жилина В. И. Анализ и оптимизация тепловой энергии в условиях ТСЖ…….. 174
Константинов А. А., Курьянова Е. В., Султанов М. М., Курьянов В. Н. Анализ функционирования оборудования в режимах тестирования ТЭЦ с выводом на максимальную мощность……... 176
Терентьев Г. Ф., Пивченко А. В., Шевцова С. Б. К вопросу создания эффективного водородного генератора…… 179
Голишников Н. А. Разработка и исследование математического описания насосной станции…… 182
Голишников Н. А. Синтез системы автоматического управления насосной станцией тепловой сети…… 186

РЕСУРСОЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ
И ЭКОЛОГО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
ПРОМЫШЛЕННЫХ ГОРОДОВ

МЕЖРЕГИОНАЛЬНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ

СЕКЦИЯ I

г. Волжский
26 декабря 2017 г.

Сборник материалов конференции

Редактор *Юрина В. В.*
Корректор *Константиненко Н. Н.*

Подписано в печать 10.08.2018. Формат 60×84/16.
Печать ризографическая. Усл. печ. л. 11,2.
Тираж 100 экз. Заказ № 555.

Издатель Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
Отпечатано Филиал ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» в г. Волжском
404110, г. Волжский, пр. Ленина, 69