

ELECTRIKA

1
2014

SCIENTIFIC, PRODUCTION-TECHNICAL AND INFORMATION-ANALITICAL JOURNAL

Editor-in-Chief

SERGEYEV S. A.

Assistant

Editor-in-Chief

BIRYULIN V. I.

Editorial Board

ARTYUKHOV I. I.

AVERBUKH M. A.

EROSHENKO G. P.

FILONOVICH A. V.

GASHIMOV A. M.

KHARECHKO Yu. V.

KOBELEV N. S.

KRIVOV Yu. N.

KUVSHINOV G. E.

MILYKH V. I.

ORLOV P. S.

PEREDELSKIY G. I.

PODCHUKAYEV V. A.

POLUNIN V. M.

SEREBROVSKIY V. I.

SIVYAKOV B. K.

SMOLENTSEV N. I.

SMOLOVIK S. V.

SOSHINOV A. G.

TIMOSHENKO A. V.

TUROV V. E.

YEMELYANOV S. G.

ZYUZIN A. V.

Executive Secretary

GORLOV A. N.

*Уважаемые подписчики, авторы и читатели
журнала «Электрика»!*

Редакция обращает Ваше внимание на ряд организационных изменений.

Теперь наш телефон 8 (499) 269-49-96,

факс 8 (499) 269-52-97.

E-mail: elektrika-jurnal@yandex.ru

TABLE OF CONTENTS

ELECTRIC EQUIPMENT: PROBLEMS AND EFFICIENCY

- Shevchenko, V. V.; Milykh, V.I.* Electric equipment failures of nuclear power plants and activities of operative personnel for their elimination. 2
- Korotkov, A. V.; Frolov, V.Ya.* Characteristic determination methods of urban distribution power networks' equipment. 6
- Pavlenko, T. P.; Tokar, M.N.* Amorphous steels and their application possibility in magnetic systems of electric devices. 11
- Barzykina, G.A.* Cost precalculation when building energy facilities 14

INFORMATION SUPPORT FOR ELECTRIC EQUIPMENT OPERATION

- Grachyov, A.S.* Electric power system as artificial neutron network. Limiting distribution 17
- Chichyov, S.I.* Design technology of information-measuring system of networks' control centre 21
- Larin, O. M.; Kudelina, D.V.* Presentation method analysis of special-purpose graph for power-supply system of industrial enterprise. 27

THEORY OF ELECTRICS

- Polunin. V. M.; Lobova, O. V.; Tantsyura, A.O.* Study of magnetic field perturbation by sound vibrations 32
- Vornachyova, I. V.; Kutuev, A.N.* On choice of optimal analytic dependence for approximation of elementary Raman bands of polymers modified with metal nanoparticles 36

НЕИСПРАВНОСТИ ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЯ АЭС И ДЕЙСТВИЯ ОПЕРАТИВНОГО ПЕРСОНАЛА ПО ИХ ЛИКВИДАЦИИ

Шевченко В.В., доцент, канд. техн. наук, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина,

e-mail: zurbagan@mail.ru, тел. +38-050-407-84-54

Милых В.И., профессор, докт. техн. наук, Национальный технический университет «ХПИ», г. Харьков, Украина,

e-mail: mvikpi@kpi.kharkov.ua, тел. +38-050-751-52-65

В статье исследованы возможные неисправности электротехнического оборудования АЭС и действия оперативного персонала по их ликвидации. Проведена оценка основных видов нарушений в работе электрооборудования станций, разработаны рекомендации по ликвидации их последствий

Ключевые слова: электротехническое оборудование, атомная электростанция, оперативный персонал, ликвидация аварий

THE DISREPAIRS ELECTRICAL ENGINEERING EQUIPMENT NUCLEAR POWER PLANT AND OPERATIVE PERSONNEL ACTIONS BY THEIR LIQUIDATION

V.V. Shevchenko, assoc. prof., doct. of techn. sciences, National technical university «KhPI», Kharkov, Ukraine,

e-mail: zurbagan@mail.ru, tel. +38-050-407-84-54

V.I. Milukh, prof., doct. of techn. sciences, National technical university «KhPI», Kharkov, Ukraine,

e-mail: mvikpi@kpi.kharkov.ua, tel. +38-050-751-52-65

The possible disrepairs electrical engineering equipment by nuclear power plant and action operative personnel of their liquidation would explored in this article. The basic types disrepairs in work electrical equipment stations estimation was conducted.

Keywords: electrical engineering equipment, nuclear power plant, operative personnel, liquidation of failure

Введение. Два последних десятилетия для страны были и остаются экономически очень сложными, в том числе и в плане состояния, т.е. безопасности работы, блоков атомных электростанций. Из-за недостаточного финансирования ядерных энергетических комплексов Украины атомные станции не имеют средств для проведения полных ремонтных работ, достаточной закупки атомного «топлива» - ТВЭЛ-ов, ТВСА, создания баз сухого (или другого) способов хранения отработанного топлива.

Основой энергетического комплекса Украины является Объединенная энергетическая система, обеспечивающая централизованное энергоснабжение потребителей и взаимодействие с энергосистемами соседних стран и объединяющая 14 ТЭС, 4 АЭС, 7 ГЭС и 2 ГАЭС, 97 ТЭЦ, 8 ВЭС, мини- и микро-ГЭС, магистральные электрические сети национальной энергетической компании «Укрэнерго» и распределительные электросети региональных энергоснабжающих компаний, [1]. В мировой энергетике четко выражены часы пикового потребления электроэнергии, поэтому, кроме проблем с базовыми мощностями, стоит вопрос о нехватке маневренных мощностей. Создание гидроаккумулирующих и парогазовых электростанций позволяет в некоторой степени покрывать пиковые нагрузки, но их следует оценивать, как источники маневренных мощностей. Возобновляемые источники энергии (для Украины – это ветроэнергетика), [1,2], не может заменить тепловые электростанции. Поэтому основными источниками электроэнергии Украины, как и многих других стран, являются АЭС, на которых вырабатывается до 52 % общего объема электроэнергии.

В первой половине 21 века стратегия развития атомной энергетики Украины, России, Китая и других стран предусматривает существенный рост доли АЭС в балансе электроэнергетики страны с увеличением производства электроэнергии к 2020 году более чем в 2 раза. Анализ литературных источников, [2-4], позволяет сделать вывод, что указанная задача решается поэтапно, путем повышения единичной мощности установленного электрооборудования, продления срока службы АЭС первого поколения, достройки энергоблоков АЭС высокой степени готовности, путем создания АЭС нового поколения с высокими показателями уровня безопасности и экономичности. Причем сегодня уже не стоит вопрос только о достаточной степени безопасности АЭС, а о технической возможности их эксплуатации: установленное оборудование практически отработало свой ресурс, электрооборудование АЭС требует немедленной модернизации.

В качестве основного варианта замещения выбывающих мощностей предполагается строительство атомных энергоблоков с водо-водяными реакторами типа ВВЭР-1500 и турбоагрегатами мощностью около 1500 МВт. Для реализации проектов по модернизации следует использовать возможности отечественной промышленности, добиваться минимальных и экономически целесообразных вложений для модернизации имеющихся производственных технологий и экспериментальной базы предприятий.

В настоящее время интенсифицированы работы по современной диагностике (на остановленном оборудовании и в режиме *on-line*), проведению полномасштабных ремонтов, продлению срока эксплуатации электрооборудования. Знание наиболее часто встречающихся повреждений электрооборудования блоков АЭС позволит своевременно подготовить ремонтный персонал станции к их ликвидации, сократить время простоя станций.

Неисправности в электротехнической части оборудования АЭС могут быть вызваны различными причинами:

1) механические повреждения конструкций, узлов и деталей электрооборудования (коррозия, износ, неудовлетворительная смазка, усталость и внутренние дефекты материалов, превышение допустимой нагрузки, вибрация, истощение ресурса эксплуатации, заклинивание, деформации, разъединения, ослабление креплений и разрушение фундаментов, внешние механические воздействия, загрязнение, инородные предметы и др.);

2) химические воздействия, связанные с физикой работы реактора (химическое загрязнение, пожары, взрывы, неконтролируемые химические реакции, неудовлетворительные химические технологии или не соответствующий требованиям контроль, радиоактивное загрязнение и др.);

3) гидравлические воздействия сред, применяемых в обеспечивающих системах (гидравлический удар, превышение давления, кавитация, газовая пробка, наличие влаги в воздушной системе и др.);

4) неисправности в контрольно-измерительных системах (ложный сигнал, колебание параметра, смещение уставки, смещение "нуля", неправильные показания параметров, потеря сигнала, отсутствие сигнала и др.);

5) климатические условия или аномальными условия для оборудования на блоке АЭС (температура, давление, влажность, затопление, облучение узлов, задымление и др.);

б) окружающая среда или аномальные условия вне АЭС (молния, ливень, наводнение, ураган, землетрясение, понижение или повышение температуры, обледенение, падение самолета и др.).

Причинами неожиданных повреждений оборудования на блоках АЭС, как правило, являются дефекты конструкций и технологии изготовления оборудования (заводские дефекты), некачественный монтаж и ремонт оборудования, неудовлетворительная эксплуатация оборудования или неудовлетворительный уход, (например, за контактными соединениями, что приводит к их перегреву с после-

дующим разрывом цепи рабочего тока и возникновению КЗ), старение и форсированные износы изоляции (систематическое превышение температуры обмоток турбогенераторов и трансформаторов, сверх допустимой, на 8 °С сокращает срок возможного использования их изоляции в два раза – «правило восьми градусов»).

Причинами нарушений в работе электроустановок могут быть грозовые и коммутационные перенапряжения. Чрезмерное загрязнение и увлажнение изоляции способствуют ее перекрытию и пробоям. Однофазные замыкания на землю в сетях 6 кВ, сопровождающиеся горением заземляющих дуг (вследствие недостаточной компенсации емкостных токов), приводят к перенапряжениям, пробоям изоляции, а непосредственное воздействие заземляющих дуг – к разрушению изоляторов, расплавлению шин, выгоранию цепей вторичной коммутации в ячейках КРУ и др. Часто происходят отказы в работе устройств релейной защиты, автоматики и аппаратуры вторичной коммутации. Каждая причина может привести к отказу в отключении, к неселективному отключению оборудования во время КЗ, к тяжелым последствиям, вплоть до перехода местных аварий в системные.

Достаточно велико число отказов по вине персонала. Особенность их работы заключается в том, что переключения выполняются в распределительных устройствах, где много внешне одинаковых ячеек, оборудование которых может в одно и то же время находиться в работе, в ремонте, в резерве и оставаться при этом полностью или частично под высоким напряжением. Есть вероятность ошибки. Поэтому характер оперативной работы требует от персонала осмотрительности, хорошей памяти и неукоснительного соблюдения оперативной дисциплины. Наиболее часто причинами ошибочных действий персонала являются невыполнение требований ПТЭ, плохое знание инструкций, нарушения оперативной дисциплины, невнимательность, отсутствие контроля над собственными действиями и др., [5].

Нарушения нормальных режимов работы в зависимости от их характера, степени повреждения оборудования и последствий, к которым они привели, квалифицируются, как аварии, происшествия или отказы.

Повреждения обычно сопровождаются значительными увеличениями тока и понижениями напряжения в элементах энергосистемы. Повышенный ток (вплоть до КЗ) вызывает разрушение в месте повреждения и опасный нагрев токоведущих элементов оборудования. Понижение напряжения нарушает нормальную работу потребителей, устойчивость параллельной работы генераторов и энергосистемы в целом. Одним из основных видов ненормальных режимов работы являются пере-

грузки, при которых возникают токи, превосходящие длительно допустимые значения. При этом температура токоведущих частей недопустимо повышается, сами они могут деформироваться, их изоляция разрушается.

Определенные ненормальные режимы (внезапная разгрузка турбо- и гидрогенераторов, одностороннее отключение или включение линий электропередачи большой протяженности и др.) могут сопровождаться повышением напряжения на одной, двух или на всех фазах станции или отдельной машины. Увеличение напряжения значительно выше номинального может вызвать пробой изоляции и повреждение оборудования. Вредное влияние КЗ на энергосистему не ограничивается большими токами, вызывающими разрушения из-за динамических усилий и термического воздействия. Чрезвычайно опасно также понижение напряжения, сопровождающее КЗ. Понижение напряжения вызывает расстройство работы потребителей, нарушает устойчивость параллельной работы генераторов.

К ненормальным режимам генератора также относят перегрузку статора токами симметричного режима; перегрузку ротора увеличенными токами в обмотке возбуждения; потерю возбуждения; повышение напряжения на статоре; несимметричные режимы; асинхронные режимы; переход в двигательный режим; замыкание на "землю" в сети генераторного напряжения; снижение сопротивления в цепи возбуждения генератора; нарушение теплового режима генератора, вплоть до пожара.

Для генераторов также опасны следующие ненормальные режимы:

1) несимметричные режимы, сопровождающиеся значительными токами обратной последовательности, длительное прохождение которых может вызвать повреждение обмотки и стали ротора. Этот режим возможен из-за обрыва провода в пределах блока или внешней сети, неполнофазного включения или отключения выключателя, несимметричной нагрузки линий электропередач или рассогласования положений регулятора напряжения под нагрузкой по фазам;

2) качания генераторов возникают из-за недостаточно быстрого отключения КЗ в системе. Эти режимы сопровождаются также автоматическими несинхронными включениями (например, автоматическое повторное включение (АПВ)). Период качания, т.е. время, в течение которого ток и напряжение в данной точке линии проходит цикл изменений от одного минимального или максимального значения до следующего, $T_K \approx 0,1 \div 3$ с. Причем, меньшие цифры характеризуют начало процесса, а большие - моменты, близкие к втягиванию в синхронизм. При качаниях турбогенератора колебания тока и напряжения могут не достигать нуле-

вых значений. Системы защит от КЗ могут реагировать на качания (дистанционные, токовые защиты). Но срабатывание защит при этом недопустимо, т.к. может привести к развалу энергосистемы;

3) асинхронный режим обычно возникает при нарушении устойчивости параллельной работы отдельных частей энергосистемы и характеризуется тем, что одна часть энергосистемы работает с частотой, отличной от частоты другой части энергосистемы. Причинами нарушения устойчивости могут быть отказы быстродействующих защит и отключение КЗ резервными защитами, нерасчетные повреждения, не учитываемые при выборе устройств защиты, непредвиденное развитие аварии, несинхронное АПВ линий, несинхронное включение генератора в сеть. Кроме того, асинхронный режим может возникнуть не сразу, а в результате развития качаний. Асинхронный ход представляет опасность для генератора и турбины, т.к. на валу возникают дополнительные механические усилия.

Для электрооборудования АЭС весьма опасны перегрузки по току. Особенно опасны перегрузки от токов внешних несимметричных перегрузок. Они характеризуются наличием в токах обмотки статора токов обратной последовательности. Суммарные токи создают магнитное поле, вращающееся относительно ротора с удвоенной скоростью и индуктирующее в нем токи, дополнительно нагревающие, как его нешихтованную сталь, так и изоляцию обмоток. Защита от внешних КЗ (симметричных и несимметричных) действует на отключение выключателей блока с последующим переходом на режим холостого хода блока.

К основным видам повреждений генераторов АЭС относятся междуфазные КЗ и витковые замыкания в обмотке статора; замыкания между обмотками полуфаз одной фазы статора; замыкания на землю в одной точке обмотки статора; двойное замыкание на землю, одна из точек которого находится в обмотке статора, а вторая - на ошиновке генераторного напряжения; замыкание на землю в одной точке обмотки возбуждения; двойные замыкания на землю в цепях возбуждения.

Оперативный персонал в аварийной ситуации обязан собрать и систематизировать поступившую информацию, провести ее анализ и составить план ответных действий, реализовать этот план и провести его корректировку в зависимости от данных наблюдений, вести сбор новой информации и данных реального хода ликвидации аварии.

Возникновение и развитие аварий, следствиями которых может быть нарушение нормального режима работы станции, обычно происходит не на глазах

оперативного персонала. Основными источниками информации об отклонениях параметров технологического процесса от установленных норм, нарушениях нормального режима работы, выходе из строя технологического оборудования для оперативного персонала являются информация от сработавших устройств автоматической сигнализации; показания измерительных приборов; совокупность сигналов о действии релейной защиты и автоматики; информация от средств контроля технологических параметров; внешнее состояние оборудования.

Выводы.

1) Аварии на электрооборудовании АЭС могут стать исходным событием для ядерной или радиационной аварии.

2) Для контроля за состоянием оборудования и облегчения работы дежурного персонала на щитах управления АЭС устанавливаются различные сигнальные устройства. В зависимости от назначения различают аварийную, предупредительную, вызывную сигнализацию, а также сигнализацию положения коммутационных аппаратов.

3) При возникновении синхронных качаний для предотвращения их перехода в асинхронный ход, оперативный персонал обязан загрузить до допустимого предела все генераторы по реактивной мощности, разгрузив их по активной мощности.

Список литературы.

1. Шевченко В.В., Дубяга Р.В. Роль атомных электростанций в электроснабжении Украины и безопасность их эксплуатации // *Электрика*, № 7, 2012, с. 34 – 39

2. Шевченко В.В. Оценка технической и экологической перспективы развития энергетики Украины // *Качество технологий и образования. Сборник научных трудов.* - Вып. 2. – Харьков, УИПА, 2011. - С. 19-25.

3. Шевченко В.В., Лутай С.Н. Системный подход к развитию энергетики Украины // *Вестник Кременчугского национального университета им. Михаила Остроградского*, № 3/2012 (74). - С. 28 – 32.

4. Шевченко В.В., Лизан И.Я., Шевченко С.Е. Определение риска и вероятности возникновения пожара на АЭС // *Системы управления, навигации и связи. Сб. научных трудов.* – Киев, 2011, вып. 1(17). - С. 259 – 264.

5. Кузьмин В.В., Шевченко В.В. Роль человеческого фактора в обеспечении надежности работы АЭС в Украине // *Электрика*, № 3, 2012. - С. 38 – 43.

АННОТАЦИИ СТАТЕЙ, ОПУБЛИКОВАННЫХ В ЖУРНАЛЕ «ЭЛЕКТРИКА». 2014, № 1

Шевченко В.В., Милых В.И. Неисправности электрооборудования АЭС и действия оперативного персонала по их ликвидации.

Исследованы возможные неисправности электротехнического оборудования АЭС и действия оперативного персонала по их ликвидации. Проведена оценка основных видов нарушений в работе электрооборудования станций, разработаны рекомендации по ликвидации их последствий.

Ключевые слова: электротехническое оборудование, атомная электростанция, оперативный персонал, ликвидация аварий.

Коротков А.В., Фролов В.Я. Методы оценки характеристик оборудования электротехнических комплексов городских распределительных сетей.

По результатам экспериментальных исследований разработаны регрессионные математические модели, на основании которых предложены методы оценки энергетической эффективности работы трансформаторов распределительных электрических сетей 6–10 кВ и коммерческих потерь, определяемых погрешностью индукционных электросчетчиков. Предложенные методы могут быть использованы для оценки и прогнозирования показателей энергетической эффективности электрических сетей.

Ключевые слова: потери холостого хода трансформаторов, систематическая погрешность индукционных электросчетчиков, расчет технологических потерь, энергетическая эффективность.

Павленко Т.П., Токарь М.Н. Аморфные стали и возможность их применения в магнитных системах электрических аппаратов.

Приведены результаты исследования свойств аморфной стали, предназначенной для магнитопроводов магнитных систем электротехнических устройств. Полученные результаты показали возможность применения аморфной стали определенного состава в магнитных системах электрических аппаратов, таких как электромагнитные расцепители автоматических выключателей, трансформаторы и другие.

Ключевые слова: электромагнит, магнитопровод, аморфная сталь, термомагнитная обработка.

Барзыкина Г.А. Сметное дело при строительстве энергообъектов.

Обоснована значимость сметного дела при строительстве, реконструкции и ремонтах энергетических объектов. Дано авторское определение сметы. Приведен обзор нормативно-правовой базы составления смет. Представлены виды смет, методы их составления, типовая структура.

Ключевые слова: энергетические объекты, смета, сметная стоимость, строительство.

Грачёв А.С. Электроэнергетическая система как искусственная нейронная сеть. Предельные распределения.

С помощью модели нейронной сети сравнивается работа сложной электротехнической системы с работой биологических структур. Используется математический аппарат исследований для непрерывных функций, моделирующий выживаемость организмов для проблем повышения надежности технических объектов.

Ключевые слова: искусственная нейронная сеть, надежность, специальная теория относительности, метод статистики экстремальных значений.

Чичёв С.И. Технология проектирования информационно-измерительной системы центра управления сетей.

Разработана современная технология проектирования информационно-измерительной системы центра управления сетей электросетевой компании.

Ключевые слова: технология, проектирование, система.

Ларин О.М., Куделина Д.В. Анализ способов представления специализированного графа системы электроснабжения промышленного предприятия.

Рассматривается использование графов как эффективного средства проектирования различных информационных технологий.

Ключевые слова: граф, представление, машинная обработка, матрица.

Полушин В.М., Лобова О.В., Тапцора А.О. Исследование возмущения магнитного поля звуковыми колебаниями.

Изучается динамический размагничивающий фактор N_d , используемый для описания возмущения звуковой волной намагниченности магнитной жидкости. Экспериментальные значения N_d , полученные по предложенной методике, сравниваются с результатами модельной теории, основанной на аппроксимирующей функции для тел цилиндрической формы и сплюснутых эллипсоидов вращения. Отмечено удовлетворительное согласие между выводами теории и опытными данными.

Ключевые слова: звуковые колебания, магнитная жидкость, магнитное поле, динамический размагничивающий фактор, наведение ЭДС, проводящий контур.

Ворначёва И.В., Кутуев А.Н. О выборе оптимальной аналитической зависимости для аппроксимации контуров элементарных рамановских полос полимеров, модифицированных металлическими наночастицами.

Рассматриваются проблемы безопасности, связанные с влиянием электромагнитного поля (ЭМП) на организм человека.

Ключевые слова: экранирование, наноструктурные композитные системы, полимерные материалы, модифицированные, металлические наночастицы.

Уважаемые авторы!

Редакция напоминает, что теперь для публикации в нашем журнале каждый автор (авторы) в обязательном порядке должен приложить к статье краткую аннотацию и список ключевых слов на русском и английском языках.

ООО «Наука и технологии»

Учредитель журнала ООО «Наука и технологии»

Журнал зарегистрирован в Комитете Российской Федерации по печати.

Свидетельство о регистрации ПИ № 77-3347 от 09.08.2000 г.

Редактор Трофимова Н.К.

Оригинал-макет и электронная версия изготовлены в ООО «Сид».

Сдано в набор 21.10.2013. Подписано в печать 24.12.2013.

Формат 60 × 88 1/8. Печать цифровая. Усл. печ. л. 4,85. Уч. изд. л. 5,63. Тираж 200 экз. «Свободная цена».

Отпечатано в ООО «Сид»