

Конструктивно-технологические: оптимальная компоновка приборов, блоков, устройств; рациональная система заземления; применение оптоволокна в качестве чувствительного элемента вибрационных обнаружителей; прокладка помехоустойчивых линий связи.

Схемотехнические: разработка помехоподавляющих узлов; применение ограничивающих и поглощающих элементов; разработка помехоустойчивых элементов и узлов; применение оптических релейных переключателей.

#### Список литературы

1. Балюк Н.В., Кечиев Л.Н., Степанов П.В. Мощный электромагнитный импульс: воздействие на электронные средства и методы защиты. – М.: ООО «Группа ИДТ», 2008. – 478 с.
2. Царегородцев А.В. Основы синтеза защищенных телекоммуникационных систем. – М.: Радиотехника, 2006. – 244 с.
3. Жуковский М. И., Чванов В. П. Организация и содержание работ по защите автоматизированных систем от преднамеренных деструктивных электромагнитных и электрических воздействий. Сборник трудов 9-го международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии 13–16 сентября 2011 г. Санкт-Петербург. С. 424–427.
4. Жуковский М. И., Ларионов С., Чванов В. П. Преднамеренные силовые электромагнитные воздействия. Испытания на устойчивость технических средств охраны, Алгоритм Безопасности, №1, 2011.
5. Ахбашев Б.Б., Корнев А.Н., Лафисhev М.А., Еряшев Д.И. Развитие техники создания мощных ЭМИ и формирование угрозы их деструктивного воздействия на радиоэлектронные системы общего и специального назначения. – Технологии ЭМС. – 2011. – №2(37). – С. 13–19.
6. Ахбашев Б.Б., Еряшев Д.И., Корнев А.Н. Механизм деструктивного воздействия мощных сверхширокополосных импульсов на радиоэлектронные системы. – Технологии ЭМС. – 2011. – №2(37). – С. 19–24.
7. Еряшев Д.И. Деструктивное воздействие мощных сверхширокополосных импульсных ЭМИ на радиоэлектронные системы. Труды 8 международной научно-практической конференции «ИННОВАЦИИ НА ОСНОВЕ ИНФОРМАЦИОННЫХ И КОММУНИКАЦИОННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ», Сочи, 2011. С.308–312.
8. Ахбашев Б.Б., Батонов Н.М., Сахаров К.Ю., Туркин В.А., Михеев О.В., Еряшев Д.И., Лафисhev М.А., Суков А.В. Экспериментальные исследования функционирования устройств типовой комплексной системы безопасности в условиях воздействия сверхкоротких электромагнитных полей – Технологии ЭМС. – 2011. – №2(37). – С. 37–45.

**Тухас В.А., Балюк Н.В., Кечиев Л.Н.**

### Безопасность электрической энергии и вопросы развития инновационных технологий в электроэнергетике

*Рассматривается информационно-технологический аспект обеспечения энергетической безопасности в электроэнергетике, связанной с ее качеством. Предлагаются к внедрению средства измерений и системы мониторинга качества электрической энергии. Для решения проблем мониторинга электрической энергии и поиска источника помех в электросетях общего назначения рекомендуется автоматизированная информационно-измерительная система безопасности электрической энергии (АИИС БЭЭ) как инструмент развития инновационных технологий в электроэнергетике.*

#### 1. Энергетическая безопасность

Хотя в российском законодательстве и нормативных документах нет понятия «безопасность электрической энергии», а применяются такие понятия как «безопасность в электроэнергетике» и «безопасность электроустановок», мы считаем, что предложенное название наиболее точно отражает

суть системы. В настоящее время достаточно часто при обсуждении проблем топливо - энергетического комплекса (ТЭК) России речь идет об энергетической безопасности [1]. Под энергетической безопасностью понимается состояние защищенности экономики государства и его граждан от угроз надежному обеспечению топливом и электроэнергией.

Энергетическая безопасность характеризуется тремя главными факторами:

- обеспечением экономики достаточным количеством энергоносителей надлежащего качества (отметим здесь требование качества электроэнергии);
- рациональным использованием энергоресурсов (другими словами, речь идет об энергоэффективности);
- устойчивостью ТЭК к внешним техногенным и природным угрозам (включает прогноз технического состояния и надежности энергосистемы).

Мы рассматриваем АИИС БЭЭ как сегмент интеллектуальной электроэнергетической системы России, направленный на решение задачи энергетической безопасности. В таком сегменте должны выполняться функции: наблюдения (слежения), оценки качества электрической энергии, прогноза состояния безопасности и выработки предложений по управлению.

## 2. Инновационные технологии

По данным Министерства энергетики России (по состоянию на июнь 2011 года) доля энергетических отраслей составляет около 30% ВВП России, 52% федерального бюджета и 67 % российского экспорта. Исходя из этих цифр, закономерным является и вывод Министерства энергетики России о том, что опережающее инновационное развитие ТЭК является незыблемым условием и базой успеха модернизации экономики России в целом.

Какие инновационные технологии в ТЭК России сейчас рассматриваются как ключевые?

В условиях, когда уровень износа электросетевого оборудования составляет 69 %, руководство распределительного электросетевого комплекса России (ОАО «Холдинг МРСК»), говоря об инновационном развитии, выделяет три ключевых направления, которые объединяются понятием «умной» сети:

1. Повышение «наблюдаемости» электросетей за счет разработки новых способов мониторинга состояния оборудования для более эффективного расходования средств на обновление сетей,
2. Повышение управляемости (автоматизация производственных процессов), что позволит электросетевым компаниям быстрее реагировать на технологические нарушения,
3. Предоставление потребителям возможности участвовать в управлении сетевой нагрузкой (в частности, благодаря внедрению современных приборов учета), что поможет им экономить на счетах за электроэнергию, а энергетикам - получить экономический эффект от сокращения резервов мощности.

С этими направлениями тесно связаны и задачи Холдинга МРСК по повышению качества и надежности электроснабжения, а также сокращению потерь в электросетях решение которых требует внедрения инновационных технологий.

Как видно, все указанные направления и задачи объединяет необходимость организации систематического контроля за состоянием (мониторинг) электрооборудования и энергосистемы в целом.

Фрагменты такой системы созданы [2-7] – это автоматизированная информационно-измерительная система безопасности электрической энергии (АИИС БЭЭ). Сайт действующей системы: <https://pqsystem.karelia.ru/>.

АИИС БЭЭ является многоуровневой информационно-вычислительной системой с централизованным управлением и распределенной функцией выполнения измерений, количество уровней и архитектура построения которой определяются на стадии разработки технического задания и зависят от сложности электросети и количества контрольных точек съема данных. Система состоит из модулей измерительных автоматизированной информационно-измерительной системы безопасности электрической энергии АИИС БЭЭ (Свидетельство об утверждении типа средств измерений RU.C.34.004.A № 44157, срок действия до 21 октября 2016 г.).

Система работает в ряде точек РЖД и на предприятиях Республики Карелия.

В системе, развернутой в настоящее время в Карелии, проверены лишь функции наблюдения (слежения) и оценки качества электрической энергии в интересах поставщиков и потребителей.

- **Системы мониторинга электрической энергии.**



Авария на Саяно-Шушенской ГЭС вновь указала на настоятельную необходимость скорейшего внедрения повсеместного инструментального мониторинга технической исправности и состояния износа энергооборудования, контрольных приборов и систем блокировки, а также качества электроэнергии. Только благодаря такому мониторингу может быть решена (и решается в странах Евросоюза, США и Канаде) задача получения прогнозных оценок уровня безопасности, оценок изменения безопасности в перспективе, определения основных негативных факторов, повышающих риск техногенных аварий на предприятиях ТЭК.

Мировая практика реализации систем мониторинга электроэнергии представлена двумя подходами.

1. Создание **локальных** автоматизированных информационно-измерительных систем качества электроэнергии в **странах Евросоюза**.

Примеры реализации таких систем в странах Евросоюза:

Мониторинг на уровнях передачи и распределения электроэнергии (ЭЭ) - Италия, Норвегия, Португалия, Словения, Нидерланды, Франция, Великобритания, Латвия.

Мониторинг на уровне передачи ЭЭ - Чешская Республика.

Мониторинг на уровнях распределения ЭЭ - Венгрия.

На стадии развертывания системы мониторинга - Испания, Швеция.

2. В США и Канаде общенациональная система мониторинга и управления электроэнергией (Grid-3P) создается с 2003 года. В 2007 году система защищена патентом США № US 7 233 843 B2, Jun.19, 2007. Эти работы идут по Программе министерства энергетики США (DOE Funding Opportunity Number DE-PS02-05CH11270, Topic Area 3). Основные задачи Программы:

1. Прогноз надежности энергосистемы через показатели качества электроэнергии,
2. Безопасность и устойчивость энергосистемы при воздействии естественных и техногенных помех (электромагнитный терроризм),
3. Снижение потерь в энергосистеме,
4. Коммерческое качество электроэнергии (стоимость электроэнергии определяется с учетом ее качества).

Указанная Программа министерства энергетики США идет в следующих временных рамках:

- 2003–2006 г.г. – Определение требований к системе на основе развертывания и эксплуатации локальной системы;
- 2005–2009 г.г. – Развитие системы, демонстрация прототипа, развитие стандартов;
- с 2010 г. – территориальное расширение системы, коммерческое качество электроэнергии, коммерциализация и трансфер технологий.

Дальнейшие работы и наше видение инновационных технологий, инструментом развития которых является АИИС БЭЭ, проводятся нами по трем направлениям:

1. Поиск и разработка интегральных показателей энергоэффективности электросетевых объектов и методов их измерения в режиме реального времени в рамках активно-адаптивных сетей (Smart Grid).

При решении задач энергоэффективности целесообразно применять общеизвестный порядок действий: определение, измерение, анализ, улучшение и управление.

Энергоэффективность при передаче энергии от генератора к потребителю определяется показателями потерь и качества электроэнергии. В контексте рассмотрения поставок электроэнергии как товара под энергоэффективностью следует, вероятно, понимать снижение доли стоимости электроэнергии в себестоимости готовой продукции за счет увеличения качества электроэнергии. Понятия энергоэффективности оборудования и класса энергоэффективности, уместны, вероятно, лишь для сети с известными показателями качества электроэнергии.

Результатом этих разработок должны стать выработка критериев повышения уровня энергоэффективности электросетевых объектов и методов их измерения в режиме реального времени в рамках исполнения федерального закона № 261-ФЗ «Об энергосбережении и о повышении энергетической эффективности...».

2. Разработка алгоритмов прогноза в режиме реального времени отказов технологического оборудования и негативных факторов, повышающих риск техногенных аварий. Работы включают исследование возможности идентификации технического средства (ТС) в реальной сети по совокупности показателей качества электроэнергии и спектру гармоник тока и поиск новых диагностических параметров характеризующих изменение состояния или режима работы оборудования на основе мо-



мониторинга реальной сети. Известно, что спектр гармоник тока ТС в ряде случаев может служить для целей его диагностики. Метод диагностики энергетического оборудования по анализу спектров тока и напряжения основан на следующих положениях:

- любые возмущения в работе электрооборудования приводят к модуляции потребляемого тока и напряжения;
- напряжение, питающее ТС, не является идеально синусоидальным, в спектрограммах напряжения присутствуют гармоники, обусловленные качеством питающего напряжения.

В свою очередь неисправности электрооборудования также вызывают соответствующие гармоники, но только в спектре тока. Сопоставление гармоник напряжения и тока дает возможность отличить гармоники питающего напряжения и гармоники тока, характерные для неисправностей оборудования (гармоники тока, соответствующие различным видам неисправностей, отличаются друг от друга).

Таким образом, электрооборудование может быть идентифицировано по совокупности параметров генерируемых им гармонических составляющих токов и напряжений, а появление в спектре тока и напряжения характерных гармоник позволяет однозначно идентифицировать повреждения электрооборудования.

Проблема заключается в том, что в реальной сети имеют место шумы, помехи от внешних источников и суперпозиция гармоник тока и напряжения, создаваемая всеми ТС в точке измерения. Кроме того, вероятно, указанные характеристики ТС могут изменяться в зависимости от режима его работы и прочих косвенных факторов.

3. Разработка алгоритма поиска источников помех, обоснование и требования к измеряемым параметрам для решения вопросов энергетической безопасности и противодействия электромагнитному терроризму.

Источниками электромагнитных помех в энергосистемах являются электротехнические и электроэнергетические устройства, основное преобразование энергии в которых происходит при форме тока, отличной от синусоидальной. Наиболее часто источниками шума выступают электрические машины, полупроводниковые коммутаторы и выпрямители, дуговые и индукционные печи и др. Кроме того, такими источниками могут быть помехи, наведенные через электромагнитное поле. В этом случае решение задачи локализации источника помехи помогает выявить наиболее уязвимый участок в энергосистеме или дефекты в элементах защиты.

Несмотря на значимость проблемы, к настоящему моменту не существует достаточно общего алгоритма поиска помех в энергосистеме. Необходимо разработать метод определения местоположения помехи при частично известной схеме сети и измерениях напряжений в узлах в рамках мониторинга показателей качества электроэнергии в режиме реального времени [8]. Желательно, чтобы метод работал при условии, что не менее 70% параметров электросети известны. Это условие реализуется в подавляющем большинстве практических случаев.

#### **Выводы**

1. Назрела необходимость срочного принятия Программы создания общенациональной системы мониторинга энергосистемы в реальном масштабе времени» - единой автоматизированной информационно-измерительной системы безопасности электрической энергии, связанной с ее качеством, как инструмента государственного управления в электроэнергетике России.
2. Внедрение в электроэнергетике инструментального мониторинга технической исправности оборудования и качества электроэнергии в режиме реального времени должно стать сегментом единой государственной информационной системы топливно-энергетического комплекса.
3. В результате развертывания АИИС БЭЭ у государства появляется доступ на акционированные субъекты электроэнергетики для получения объективной информации, лежащей в основе принятия решений, планирования и прогноза, которые обеспечивают государственное управление в электроэнергетике.
4. Развертывание АИИС БЭЭ даст импульс развитию инновационных критических технологий, алгоритмов и методик расчета и прогноза режимной надежности в электроэнергетике, в том числе, через показатели качества электроэнергии, безопасности и устойчивости субъектов электроэнергетики, снижения потерь у субъектов электроэнергетики.



5. Внедрение АИИС БЭЭ обеспечит оперативной информацией о положении дел в электроэнергетике, необходимой для совершенствования нормативно-технической политики в электроэнергетике.
6. Совершенствование АИИС БЭЭ непосредственно связано с другими национальными проектами (ГЛОНАСС и нанотехнологии), которые предполагают особые требования к качеству электроэнергии.

#### Список литературы

1. Кутыин Н.Г. ТЭК в условиях кризиса: обеспечение безопасности и надежности ("Советник Президента" Информационно-аналитическое издание № 68 2009).
2. Тухас В.А. О системах мониторинга качества электрической энергии для управления качеством электрической энергии в электроэнергетике // Доклад на Пленарном заседании и Труды Седьмого Международного симпозиума по электромагнитной совместимости и электромагнитной экологии, Санкт-Петербург, июнь 2007 г, с. 17–20.
3. Tukhas V.A., Eimtrop S.A. System of Monitoring Power Quality Parameters in Real Time, 9th International Conference Electrical Power Quality and Utilization (EPQU '07), Barcelona, Spain, 9-11 October 2007.
4. Тухас В.А., Цапенко А.В. О безопасности электроэнергии, связанной с ее качеством. Информационно-технологический подход. // Энергонадзор и энергобезопасность, 2007, №4, с.65–67.
5. Золотая медаль «За единство измерений» за стратегические инновации в разработке и внедрении средств измерения и систем мониторинга качества электроэнергии», Специализированная выставка-конкурс средств измерений и испытательного оборудования «Метрология», г.Москва, 15-16 мая 2007 г.
6. Тухас В.А. Инновации в разработке и внедрении средств измерений и систем мониторинга качества электрической энергии // Доклад на XI научно-практической конференции-выставке Метрология электрических измерений в электроэнергетике, г. Москва, апрель 2008 г.
7. Тухас В.А., Цапенко А.В. Информационно-технологический аспект обеспечения энергетической безопасности в электроэнергетике // Доклад на VII всероссийском энергетическом форуме «ТЭК России в XXI веке», г. Москва, 8-11 апреля 2009 г.
8. Коровкина Н.В., Приходченко Р.В., Тухас В.А. Проблемы поиска источника помех в электросетях общего назначения – Технологии ЭМС. – 2011. – № 1. – С. 50–58.

### **Елизаров А.А., Закирова Э.А. О необходимости учета дисперсии при оценке ЭМС многослойных печатных плат микроволнового диапазона**

*Проведен анализ современных тенденций разработки многослойных печатных плат микроволнового диапазона. Показано, что в этом случае модель платы может быть представлена в виде многомодовой волноведущей структуры, искажение информативного сигнала в которой возникает за счет частотной и пространственной дисперсии. Подчеркнута необходимость учета дисперсионных свойств многослойных печатных плат при оценке их электромагнитной совместимости (ЭМС).*

Современный этап развития телекоммуникаций требует создания цифровых и аналоговых систем с высоким быстродействием, которые должны работать с сигналами, фронты которых составляют доли наносекунд, что соответствует частотам гигагерцового диапазона. Повышение частот приводит к появлению «паразитных» параметров в топологических микрополосковых элементах печатных плат (импедансных проводниках, экранах, шинах питания), а также сосредоточенных компонентах (индуктивность и емкость выводов и т.п.), устанавливаемых на платы, что требует учета их ЭМС. Кроме этого, необходимо учитывать и особенности работы гибридных и объемных интегральных схем, имеющих на высоких и сверхвысоких частотах специфические конструкции, которые в боль-