



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**



Основана в 1724 году

*Российская академия наук
Научный совет по проблемам
надёжности и безопасности
больших систем энергетики*

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Научного Совета РАН
по проблемам надёжности и
безопасности больших систем энергетики,
Председатель Научно-технической
коллегии НП «НТС ЕЭС»,
член-корреспондент РАН,
д.т.н., профессор

А.Ф. Дьяков

«20» декабря 2014 г.

ПРОТОКОЛ

совместного заседания Научного совета РАН по проблемам надёжности
и безопасности больших систем энергетики, Научно-технической
коллегии НП «НТС ЕЭС» и Технического комитета РНК СИГРЭ
на тему:

**«Обобщение мировых тенденций развития техники и технологий для
больших энергетических систем
(по итогам 45-ой Сессии СИГРЭ 2014 года)»**

10 декабря 2014 года

№ 10/14

г. Москва

Присутствовало: 52 чел.

Совместное заседание открыл академик РАН О.Н. Фаворский.

С основным докладом «Обобщение мировых тенденций развития техники и технологий для больших электроэнергетических систем (по итогам 45-ой Сессии СИГРЭ 2014 года)» выступил д.т.н. Ю.Н. Кучеров — член Технического комитета РНК СИГРЭ, начальник Департамента технического регулирования ОАО «СО ЕЭС». Ниже изложены основные положения его доклада.

Деятельность СИГРЭ как крупнейшей профессиональной некоммерческой организации направлена на содействие развитию и распространению технических знаний в области выработки и передачи электроэнергии на высоком напряжении, обобщению передовой практики управления энергосистемами. На 45-й сессии главное внимание было уделено реализации заявленных на прошлой сессии документов СИГРЭ — «Сеть будущего» и стратегии деятельности СИГРЭ на период до 2020 г., задающих ключевые направления работы исследовательских комитетов.

В 45-й сессии СИГРЭ приняли участие более 3200 делегатов, представлено 464 доклада, в т.ч. 10 докладов от РНК СИГРЭ. Сессия сопровождалась интересной технической выставкой, которую посетили более 8500 человек. Кроме рассмотрения, представленных на сессию докладов, работа сессии сопровождалась заседаниями 16-ти исследовательских комитетов и рабочих групп. В настоящее время действуют 230 рабочих групп, 38 — завершили свою работу, и 33 создано новых рабочих групп.

В СИГРЭ разработан новый тип технических публикаций — Green Book, обобщающий опыт исследовательских комитетов (ИК) за многие годы. Представлен первый выпуск по ИК В2 «Воздушные линии»: «Overhead Lines», «Accessories for HV Extruded Cables». В СИГРЭ налажено взаимодействие с IEC, CIGRE, PES IEEE. Ежегодно проводятся симпозиумы, коллоквиумы и другие мероприятия СИГРЭ. Развивается молодёжное направление с новым типом членства для обучающихся студентов с бесплатным доступом к публикациям.

Совокупность материалов и информации определяется сессией СИГРЭ, конференциями в межсессионный период: Йокогама в 2013 г. (Smart City), Екатеринбург в 2013 г. (P3A), Тяньжинь в 2014 г. (Microgrid) и др., а также техническими брошюрами СИГРЭ и публикациями в журнале «Electra». Материалы СИГРЭ несут уникальные знания, обобщающие мировой опыт в сфере электроэнергетики и представляющие огромный интерес для инженерного сообщества. В рабочих группах ИК СИГРЭ в 2013 – и 2014 гг. выпущено 82 технических брошюры.

Отчеты представителей РНК в Исследовательских Комитетах СИГРЭ размещены на сайте РНК СИГРЭ (www.cigre.ru).

Приветственный доклад делегатам 45-й сессии представил руководитель крупнейшего пула северо-американского энергообъединения, PJM — Терри Бостон. Можно выделить два крупных аспекта его доклада, это проблема интеграции нарастающих объёмов энергоисточников на базе ВИЭ на всех классах напряжения, что требует решения задач накопления электрической энергии, а также проблема влияния на энергетическую инфраструктуру природных катаклизмов.

Последняя проблематика была отражена также в докладе китайских специалистов по итогам двух крупных аварий в китайской энергосистеме в 2012 и 2013 гг. Вследствие чрезвычайно плохих погодных условий произошло отключение ВЛ 500 кВ, а также одновременное отключение

нескольких электропередач постоянного тока. Данная проблема обозначена как новая задача повышения устойчивости гибридных систем переменного/постоянного тока.

В качестве общих условий и тенденций развития энергосистем можно выделить глобальные вызовы, такие как рост спроса на электрическую энергию, интенсивное развитие городов, рост требований к безопасности, надежности и качеству электроснабжения, влияние интеграции ВИЭ, влияние природных катаклизмов. Кроме этого, нарастает давление общественности и трудности использования энергоисточников на органическом топливе, прокладки новых линий электропередачи, влияние либерализации рынков, появление множества независимых субъектов.

Наиболее ощутимыми *тенденциями* являются рост энергоисточников на базе ВИЭ, гармоничное развитие большой и малой энергетики, освоение технологий ультра-сверх высоких напряжений (УСВН) и сверхтоков на низком напряжении, дальнейшее развитие энергообъединений, а также новые возможности, предоставляемые новыми технологиями и их нарастающее влияние. При этом если, например, фото-ВИЭ для Европы направлены на решение экологических проблем, то для Африки — на решение проблем жизнеобеспечения.

На Сессии была представлена группа пленарных докладов региональной направленности, посвященных решению задач развития энергообъединений в Индии, Западной Европе, Африке, Азии, Океании, Северной Америке. Преимущество энергосистем и энергообъединений очевидно, они объединяют во времени и пространстве огромное количество разнообразных энергоустановок и технологий, обеспечивая добавленную стоимость и выгоду всем работающим в составе энергосистемы субъектам.

Технологические достижения вносят все более и более ощутимый вклад в развитие энергосистемы будущего. Технологически и коммерчески освоены многие новые материалы, технологии и оборудование — проводники, высоковольтные кабели с сухой изоляцией, сухие трансформаторы, быстродействующие КА, управляемые шунтирующие реакторы (УШР), комплектные распределительные устройства (КРУЭ) (GIS), силовая электроника, интеллектуальные и многофункциональные защиты, системы встроенной диагностики, микропроцессоры, датчики, системы интеллектуального учета (AMI), развитые средства обработки и передачи данных и др. Основной результат — снижение стоимости оборудования, повышение надёжности, ремонтпригодности, увеличение межремонтного периода, ремонт по состоянию, увеличение срока службы, максимальное использование возможностей оборудования и электроэнергетических энергосистем (ЭЭС) в целом.

Большая группа новых технологий входит в стадию коммерческого освоения, в т. ч. технологии фотоэлектронного преобразования энергии, ветротурбины большой мощности, оборудование гибких электропередач (FACTS), системы накопления энергии (СНЭ, BESS), сверхпроводниковые токоограничивающие устройства (ТОУ), микро-ГЭС, микро-ЭЭС (Microgrid),

гибридные сети переменного/постоянного тока, цифровые подстанции и подземные коммуникации большой мощности, WAMS, система управления спросом (Demand Response/Demand Side Management — DSM). Активно вводятся объекты постоянного тока, зарождаются сети постоянного тока, осваивается подземное (в городах) и подводное (особенно прибрежное) пространство.

Особое влияние на развитие ЭЭС оказывает интеграция электростанций на базе ВИЭ, объём которых в развитых странах занимает всё большую часть в структуре генерирующих мощностей, опережая объёмы вводов традиционной генерации. Например, в КНР общая мощность ВЭС составляет более 90 ГВт (на 2013 г.). Если на прошлой сессии был заявлен конфликт интересов, то на данной сессии значительное количество докладов и дискуссионных вопросов было посвящено проблеме вытеснения традиционной генерации с рынков, значительной дополнительной нагрузке на традиционную генерацию, на распределительные и передающие сети ЭЭС, на деятельность TSO/DSO.

Традиционная генерация вследствие непредсказуемого характера выработки электроэнергии на энергоисточниках на базе ВИЭ должна обладать большей маневренностью (гибкостью). Это же относится и к электрическим сетям, перетоки по которым стали носить все более изменчивый (variable) характер. При этом существенно расширяется область управления системных/сетевых операторов.

Так, по данным фирмы Amprion (Германия) в докладе Klaus Kleinekorte показано, что установленная мощность солнечных электростанций (СЭС) (PV) в Германии достигла приблизительно 34 ГВт, а ВЭС — 32 ГВт. Это огромные объёмы мощности, оказывающей непредсказуемое влияние на режимы работы ЭЭС не только Германии. Резко снижается эффективность работы традиционных электростанций вследствие снижения числа часов работы с номинальной нагрузкой и вытеснения с пиковой части дневного графика нагрузки ЭЭС. Снижение доли традиционной генерации может повлечь кардинальное ослабление устойчивости ЭЭС. В тоже время приведённые примеры режимных ситуаций показывают, что максимально достигнутая рабочая мощность энергоисточников на базе ВИЭ в Германии составила на ВЭС — 23,67 и на СЭС — 14,069 ГВт, что представляет не более 53 % от всей установленной мощности объектов на базе ВИЭ (14.04.2014 г.). Имеются периоды времени, когда рабочая мощность источников на базе ВИЭ близка к нулю, и необходимо осуществлять резервирование этих энергоисточников в полном объёме. В докладе заявлено о необходимости прекращения политики субсидирования развития «зеленой» генерации.

Под влиянием ВИЭ в Германии разработана новая энергетическая стратегия, направленная на создание четырех HVDC линий (вдоль трёх коридоров), которые пересекут имеющиеся электрические сети переменного тока для передачи в южную часть Германии электроэнергии, полученной на ВЭС, расположенных на севере страны.

Именно интеграция в энергосистему электростанций на базе ВИЭ и распределенной генерации (РГ) обуславливает развитие ряда новых технологий, включая ветряные турбины, фотоэлектронное преобразование энергии, силовую электронику, накопители электрической энергии, электротранспорт с инфраструктурой заряда от электрической сети, управление спросом и др.

Проекты интеграции РГ (включая ВИЭ) в ЭЭС по мере нарастания их объёмов приобретают всё более комплексный характер, стимулируя и вовлекая совместное использование новых технологий, в том числе в массовом порядке объединяются на совместную работу ВЭС, СЭС, системы накопления энергии (СНЭ) под управлением специализированных SCADA.

В силу специфики работы объектов ВИЭ в составе ЭЭС возникают дополнительные задачи/проблемы системного характера, в том числе балансирование ЭЭС, обеспечение наблюдаемости ЭЭС и регулирования частоты, напряжения и перетоков мощности, поддержание резервов мощности, обеспечение устойчивости работы объектов ВИЭ при возмущениях в ЭЭС, а также при работе в изолированном режиме. Формируется новый класс задач технологического и рыночного развития энергосистем, связанных с вовлечением активных потребителей в процесс управления режимами энергосистем, активным характером распределительных электрических сетей, развитием подходов по прогнозированию и планированию режимов работы ЭЭС, выбору состава оборудования, управлению в рамках меняющихся границ контрольных зон (технологических и рыночных операторов).

Интеграция в ЭЭС энергоисточников на базе ВИЭ должна сопровождаться чёткими условиями технологического присоединения к ЭЭС, в том числе :

- условия пуска, синхронизации;
- регулирование активной мощности (скорость изменения, снижения нагрузки и др.)
- регулирование реактивной мощности и напряжения;
- режимы работы при изменении частоты в ЭЭС (допустимые диапазоны частоты);
- требования к релейной защите и автоматизации (РЗаА), управлению и мониторингу;
- способность проходить через провалы напряжения;
- работа в изолированных режимах со сбалансированной нагрузкой;
- влияние на качество электроэнергии и др.

Формируются задачи по обеспечению наблюдаемости как нарастающего множества источников РГ, что уже представляет значительные сложности для обработки и организации управления, так и наблюдаемости за активными потребителями.

В ЭЭС появляются новые объекты управления, такие как: виртуальные электростанции (VPP), активные потребители, агрегаторы (Aggregators),

виртуальные крупные накопители электроэнергии (VLB), энергетические хабы (Energy Hubs), гибридные системы (Hybrid Systems), микроэнергосистемы (Microgrids), многопродуктовые энергетические системы (Multi-Energy Systems).

Большое внимание уделено условиям применения систем накопления электроэнергии (СНЭ, BESS). Выделяются технологии накопления на базе электрохимических аккумуляторных батарей большой мощности. Ряд технических комитетов (C1, C5, C6) проводят исследования в данной области, с формированием соответствующих рабочих групп. Обобщены области применения СНЭ на подстанциях, в распределительных сетях, для интеграции ВИЭ, в коммерческих/промышленных предприятиях, жилых помещениях потребителей в широком диапазоне мощности (от нескольких кВт до десятков МВт) с временем разряда от нескольких секунд до нескольких часов. Вырабатываются рыночные механизмы стимулирования внедрения данной технологии, в том числе учитывающие дополнительные факторы, такие как точность и скорость предоставления резерва, при оказании услуг по обеспечению системной надежности (FERC, США).

Актуальность данной проблематики подтверждается сформированными предпочтительными темами на сессию 2016 г., в том числе:

- планирование с учётом всего жизненного цикла оборудования;
- оптимизация решений для ЭЭС при участии всех заинтересованных сторон;
- методы планирования с учётом интеграции объектов HVDC, прибрежных сетей и обеспечение технологического соответствия объектов ВИЭ, для оказания системных услуг;
- управление ЭЭС с учетом РГ/ВИЭ;
- воздействие на ЭЭС ВЭС, СЭС, СНЭ;
- технический вызов и изменения в ЭЭС в виду массового внедрения генерации на базе инверторов;
- моделирование HVDC и больших электростанций на базе ВИЭ при анализе переходных процессов;
- интеграция РГ и механизмов «Управления спросом» в перспективные модели рынков электроэнергии;
- Smart City, Multy-Energy Systems, Microgrids, Hybrid Systems.

Полный перечень предпочтительных тем на 46-ю сессию СИГРЭ 2016 г. доступен по ссылке на сайте РНК СИГРЭ (http://www.cigre.ru/activity/session/session_2016/Prefer.Subjects_46_session_2016.pdf).

Параллельно с Сессией СИГРЭ прошли мероприятия Международной электротехнической комиссии (МЭК) (General Session IEC, Tokyo 2014), на которых заявлены те же глобальные вызовы и подтверждена актуальность развития стандартизации технологий Smart Grid и необходимость активизации деятельности по новым направлениям, таким как расширение идеологии Smart Grid и водородной энергетики (Hydrogen),

интеллектуальных городов (Smart City), интеллектуального мира (Smart World) как глобального направления инновационной деятельности, решающего социальные проблемы энергоснабжения, водоснабжения, загрязнения окружающей среды, здоровья, безопасности и др.

Представители СИГРЭ участвуют в управляющих органах МЭК, что обуславливает согласованные действия МЭК и СИГРЭ. Опыт рабочих групп СИГРЭ принят за основу деятельности технических комитетов МЭК, а технические брошюры СИГРЭ — за основу разрабатываемых международных стандартов МЭК.

Формируется новая практика инновационного развития энергосистем, которая включает в себя реализацию мультитехнологичных проектов и их отработку в рамках построения Smart Grid для выделенных районов энергоснабжения, а также Smart City. Для их реализации образуются консорциумы заинтересованных сторон с широким участием энергокомпаний, производителей оборудования, научных, инжиниринговых и образовательных центров, властных структур.

Переоснащается технологическая база исследовательских центров и обновляются образовательные программы технических университетов.

Специального внимания заслуживают условия приема энергии ВИЭ в сеть и резервирования источников РГ на базе ВИЭ. В России в настоящее время предусматривается 100 % резервирование источников РГ на базе ВИЭ.

С содокладами выступили представители и эксперты Российского национального комитета (РНК) СИГРЭ в исследовательских комитетах (ИК) СИГРЭ. Ниже изложены основные положения их докладов.

К.т.н. **В.С. Ларин**, начальник отдела ФГУП «ВЭИ», постоянный член в ИК А2 «Трансформаторы».

Основные направления деятельности ИК А2 «Трансформаторы» связаны как с производством, так и с эксплуатацией и включают все стадии жизненного цикла трансформаторного оборудования. В ИК А2 действует 13 рабочих групп, в том числе совместно с другими ИК, по актуальным вопросам подготовки технических требований, проектирования, производства и испытаний, эксплуатации, обслуживания и диагностики оборудования. В последнее время сформированы 2 новые группы по частичным разрядам и высокочастотным моделям оборудования.

На 45-й сессии СИГРЭ было представлено 33 доклада по предпочтительным темам ИК А2 — управления ресурсом, оборудования специального применения, нетрадиционных материалов и технологий (доступны по ссылке на сайте РНК СИГРЭ - http://www.cigre.ru/activity/session/session_2014/themes/).

Инновационные исследования и решения

- Передовая практика управления ресурсом:
 - применение индексов состояния и ранжирование трансформаторов для принятия решений о продлении эксплуатации или замене оборудования;

- послеаварийный анализ трансформаторов, исследование состояния изоляции при утилизации отработавших трансформаторов для улучшения оценок состояния и остаточного ресурса.

- Применение специального трансформаторного оборудования:

- масштабных макетов трансформаторов для подтверждения стойкости при коротком замыкании (КЗ) силовых трансформаторов большой мощности;

- преобразовательных трансформаторов для передач постоянного тока высокого напряжения;

- фазоповоротных трансформаторов для регулирования потоков мощности;

- переменных и управляемых шунтирующих реакторов.

- Применение новых материалов с целью повышения экологической чистоты, взрыво- и пожаробезопасности и энергоэффективности:

- применение жидких диэлектриков, альтернативных традиционному трансформаторному маслу (например, натуральных эфиров);

- повышение класса напряжения сухих трансформаторов вплоть до 110 кВ, разработка сухих трансформаторов на напряжения для применения в сетях среднего и высокого напряжения;

- применение прорывных решений по активным материалам (применение высокотемпературной сверхпроводимости).

Пилотные проекты

- Фазоповоротные трансформаторы 400 кВ 1800 МВА. Установлены на ПС Foggia и Villanova компании TERNА (Италия) на управления потоками мощности. Имеют проходную мощность 1800 МВА, номинальное напряжение 400 / 400 кВ, фазовый сдвиг $\pm 17,5^\circ$, ± 33 степени. Каждый фазоповоротный трансформатор состоит из последовательного трансформатора (транспортные габаритные размеры: 11200 x 4745 x 4400 мм; транспортная масса без масла — 290 т; масса масла — 85 т.) и трансформатора возбуждения (транспортные габаритные размеры: 10810 x 4382 x 5100 мм; транспортная масса без масла — 295 т; масса масла — 110 т).

- Регулируемые шунтирующие реакторы 420 кВ 90 – 200 МВАр. Установлены на ПС 420 кВ компании Statnett (Норвегия) и имеют номинальное напряжение 420 кВ, мощность 90 – 200 МВАр и 120 – 200 МВАр, регулирование путём переключения ответвлений обмотки с помощью РПН. Скорость изменения мощности определяется устройством РПН, что определяет сравнительно медленное быстроедействие.

- Взрыво- и пожаробезопасная ПС 69 кВ внутри стадиона. Подстанция 69 кВ футбольного стадиона «Fonte Nova» (Бразилия) построена к чемпионату мира по футболу 2014 г. и расположена под трибунами стадиона. Питается от кабельной линии 69 кВ и снабжает стадион и окрестные районы города. На подстанции (ПС) применены гибридная КРУЭ 69 кВ, сухой трансформатор АВВ HiDry72 (мощностью 25000 кВА;

напряжением 69 / (11,95 – 13,8) кВ; регулирование напряжения на стороне ВН с помощью РПН, диапазон регулирования + 4/-12 x 1,25 %; РПН в «сухом» исполнении; обмотки с литой изоляцией; уровень изоляции - ПГИ 380 кВ, ОПЧ 140 кВ).

По итогам обсуждений предложены следующие перспективные предпочтительные темы для рассмотрения на 46-ой Сессии СИГЭР в 2016 г. по направлениям - новые достижения в диагностике и мониторинге трансформаторов, трансформаторное оборудование и его компоненты для сетей сверх- и ультравысокого напряжения переменного и постоянного тока, обмотки трансформаторов

К.т.н. **В.Л. Овсиенко**, заведующий лабораторией ОАО «ВНИИКП», член-наблюдатель в ИК В1 «Изолированные кабели».

Основные направления деятельности комитета — разработка методов расчётов, конструирования, испытаний, прокладки, эксплуатации силовых кабельных линий (КЛ) на напряжениях выше 30 кВ.

В рамках деятельности 23 рабочих групп в ИК В1 в 2014 г. подготовлены заключительные отчёты по ряду направлений: механические силы в системах с кабелями больших сечений; расчёт нагрузок кабелей высокого напряжения; работа маслонаполненных кабельных систем; кабели для офшорных ветроферм; испытания переходных муфт в линиях постоянного тока на напряжения до 500 кВ; механические испытания подводных кабелей.

Созданы новые рабочие и целевые группы по следующим проблемам: ограничители перенапряжений и соединительные устройства (конструкции, испытания, эксплуатация, мониторинг); вопросы пожарной безопасности кабелей, проложенных в воздухе; определение мест повреждений подводных и подземных кабелей; предотвращение повреждений кабелей, связанных с прокладкой; поведение кабельных систем при больших возмущениях (землетрясение, буря, наводнение, пожар, оползень, изменение климата).

Основными темами для дискуссии на Сессии стали: опыт проектирования и строительства новых кабельных систем, повышение эффективности существующих кабельных систем, кабели для «сетей будущего».

Инновационные исследования и решения

Современной техникой для кабелей с изоляцией из сшитого полиэтилена освоен уровень напряжений 500 кВ. Внимание сосредоточено на разработке дополнительных методик испытаний в дополнение к стандартным. В первую очередь это относится к кабелям с изоляцией из сшитого полиэтилена, работающим в схемах с преобразователями типа VSC-конвертеров; к кабелям с большим (2500 – 3000 мм²) сечением жил или с жилами, где применяется эмалированные проводники; к офшорным кабелям, испытывающим динамическую нагрузку.

Важным признано направление, связанное с испытаниями после прокладки кабельных линий с целью проверки качества монтажа КЛ. Продолжает активно развиваться температурный мониторинг, особенно

применение его в подводных КЛ. Особое внимание необходимо уделить дополнительному контролю качества арматуры.

При рассмотрении проблем, касающихся расчётов режимов работы кабельных линий, отмечалась необходимость разработки соответствующих методик для кабелей с броней, для кабелей, предназначенных для прокладки на больших глубинах, а также для офшорных подводных кабелей, поскольку график их нагрузки существенно колеблется по времени.

Новые проекты в области высоковольтных кабелей

Большой интерес вызвало совместное сообщение представителей Франции, Италии и Великобритании, посвящённое развитию Средиземноморской объединенной сети (проект Medgrid) — сооружение КЛ постоянного тока общей мощностью 1 000 МВт, соединяющих Северную Африку и Европу. Общая протяжённость линий составляет 600 км, при этом максимальные глубины прокладки могут достигать 2500 м. На первом этапе (2015 г.) предполагается использовать кабель постоянного тока с пропитанной ленточной изоляцией (MI-типа) с алюминиевой жилой на напряжения 350 – 500 кВ. Следующий этап (2020 г.) — кабели с экструдированной изоляцией на напряжение 320 – 400 кВ, и на заключительном этапе (2030 г.) — кабели с экструдированной изоляцией на напряжение 500 кВ с сечением жилы 1150 мм². На трассе с глубиной залегания 2500 м динамическая нагрузка может достигать 90 – 115 т, поэтому на глубинах 1500 – 2500 м потребуются использование специального кабелеукладчика с гибкой трубой. По мнению экспертов, реализация проекта существенным образом повлияет на развитие технологий создания подводных кабельных линий.

Доклад «Разработка и испытания кабеля 150 кВ, произведённого по инновационной технологии «P-Laser» (Италия) вызвал широкую дискуссию. Он был посвящён разработке и внедрению термопластичного изоляционного материала (инновационная технология P-Laser) для кабелей на среднее и высокое напряжение взамен сшиваемых резин и полиэтилена. Для предлагаемого материала в технологическом процессе отсутствует операция химической сшивки, что существенно экономит энергозатраты, производственные площади, время.

В Италии с 2009 г. находится в эксплуатации более 21 тыс. км одножильного кабеля данного типа на среднее напряжение. В Нидерландах налажено аналогичное производство, и продукция прошла испытания в соответствии с местными требованиями, включая испытания на старение в воде. Следующим шагом явилось изготовление трех прототипов кабелей с термопластичной изоляцией на напряжение 150 кВ с сечением жилы 1000 мм². Образцы прошли приёмосдаточные испытания, испытания импульсом при повышенных температурах (95 , 110 и 130 °С), пробивное импульсное напряжение при данных температурах составило соответственно 1200, 1100 и 950 кВ. Также были проведены испытания напряжением 2 – 3 U₀ при циклическом нагреве до 100 – 110 °С с общим числом циклов 80. После циклических испытаний образец подвергался вновь импульсным

воздействиям по ступенчатой методике и выдержал испытания амплитудой вплоть до 1300 кВ, далее образец вновь испытывался переменным напряжением при циклическом нагреве и выдержал без пробоя воздействие 375 кВ. Предстоит комплекс предквалификационных испытаний с арматурой и этап опытно-промышленной эксплуатации. Предполагается, что внедрение данного материала позволит уменьшить энергозатраты, производственные площади и время при производстве высоковольтного кабеля.

По материалам докладов и обсуждений отмечаются следующие тенденции в области изолированных кабелей:

- активно развивается направление, занимающееся разработкой подводных кабелей, особенно тех, которые обеспечивают передачу электроэнергии от возобновляемых источников (ветрогенераторы, морские платформы);
- продолжается поиск и разработка дополнительных методов испытаний, позволяющих обеспечивать максимальную надежность кабельных линий;
- значительно возрос интерес к отдельным элементам арматуры кабельных систем (ограничителям перенапряжений, заземлителям, соединителям и др.), разрабатываются методы их испытаний;
- продолжаются работы по созданию новых кабельных материалов.

По итогам заседания ИК В1 сформулированы предпочтительные темы для рассмотрения на следующей Сессии в 2016 г. (http://www.cigre.ru/activity/session/session_2016/Prefer.Subjects_46_session_2016.pdf).

К.т.н. **В.А. Шкапцов**, ведущий аналитик Группы компаний ОПТЭН, член технического комитета РНК СИГРЭ, член рабочих групп ИК В2 «Воздушные линии».

Область деятельности ИК В2 включает вопросы проектирования, сооружения и эксплуатации воздушных линий (ВЛ) электропередачи высокого напряжения (35 кВ и выше). Рассматриваются электротехнические и механические аспекты проектирования и эксплуатации как отдельных элементов ВЛ (проводов, грозозащитных тросов, изоляторов, линейной арматуры, опор и их фундаментов), так и проблемы испытаний, оценки технического состояния и реконструкции линий в целом. Деятельность ИК В2 осуществляется в рамках 25 рабочих групп.

На Сессию СИГРЭ 2014 г. по ИК В2 был представлен 31 доклад по трём предпочтительным темам: *минимизация воздействия новых ВЛ, оптимизация проектирования, монтаж и работа проводов.*

- Минимизация воздействия новых ВЛ:
 - проектирование, конструирование и функционирование;
 - экология, растительность и живая природа;
 - выбор трассы линии и приемлемость внешнего вида;

- проектирование и практика применения переходов к подземным секциям.

- Надёжность и оптимизация проектирования:

- инструменты и методы;
- влияние различных проектных решений на первоначальную стоимость и стоимость жизненного цикла;

- стоимость воздействия на экологию, влияние регуляторов и общественности.

- Провода: монтаж и долгосрочное функционирование:

- монтаж, техническое обслуживание и методы замены, в т. ч. на линиях под напряжением;

- вопросы ползучести и усталости для новых типов проводов;

- механические характеристики новых видов расщеплённых фаз.

Инновационные исследования и решения

В представленных докладах следует отметить следующие примеры новых решений:

- опора четырёхцепной ВЛ 400 кВ (Индия); опытный участок ВЛ 1200 кВ переменного тока (Индия);

- гибридная ВЛ 400 кВ с комбинированным расположением цепей постоянного и переменного тока (Германия, Швейцария, Швеция);

- конфигурация и размеры обычной двухцепной ВЛ и компактной линии 765 кВ с V-образными изолирующими траверсами (США, Швейцария);

- проект установки на траверсах опор решетчатого типа опорных композитных изоляторов повышенной прочности для изолированного крепления проводов (Британия);

- опора из двух стоек и опорные изоляторы с шарнирным креплением для подвески проводов расщеплённых фаз ВЛ 380/150 кВ (Нидерланды, Австрия);

- асимметричная форма расщеплённых фаз ВЛ 500 кВ (Бразилия);

- переменная предельная токовая нагрузка ($2 - 4 \text{ А/мм}^2$) ВЛ 380 кВ (Германия);

- провод из микросплава меди с малой ползучестью (Испания); устройства повышения визуальной доступности проводов ВЛ;

- специальные птичьи гнёзда на траверсе опоры и устройства защиты ВЛ от гнездования.

В числе направлений анализа и обобщения современного передового опыта наиболее актуальными являются следующие:

- повышение эффективности использования существующих линий;

- эксплуатация ВЛ на грани их термического предела;

- методы реконструкции и реновации ВЛ в целом и отдельных элементов линий;

- применение наиболее совершенных методов и технологий обследования линий;

- обеспечение более высокой надёжности и эксплуатационной готовности ВЛ;
- технология выбора и обоснования целесообразности использования трасс новых ВЛ;
- методы обслуживания ВЛ под напряжением;
- анализ экологического влияния ВЛ и методов снижения его негативных последствий.

Предпочтительные темы для сессии 2016 ИК В2 – «Воздушные линии» доступны по ссылке на сайте РНК СИГРЭ (http://www.cigre.ru/activity/session/session_2016/Prefer.Subjects_46_session_2016.pdf).

Д.т.н. **Л.А. Дарьян**, заместитель директора по аналитической и методологической работе ЗАО «Техническая инспекция ЕЭС», член-наблюдатель в ИК В3 «Подстанции».

Область деятельности ИК В3 охватывает ряд направлений: проектирование, строительство, техническое обслуживание и управление подстанциями; технические, экономические, экологические и социальные аспекты работы подстанций; повышение надёжности и эффективности управления производственными фондами.

В ИК В3 действует 11 рабочих групп, включая новые группы по вопросам управления рисками, мобильных подстанций с КРУЭ, нетрадиционных измерительных трансформаторов и др.

Основными темами докладов в ИК В3 на 45-й сессии стали: модернизация подстанций и управление жизненным циклом подстанций. На основании анализа докладов можно сделать следующие выводы:

- значительный интерес уделяется созданию «цифровых» подстанций, обслуживание которых требует минимального участия человека;
- в связи со значительным старением оборудования, большое внимание уделяется новым подходам к модернизации и продлению срока эксплуатации подстанций с особым упором на управление рисками;
- прослеживается тенденция выбора КРУЭ при замене оборудования на ПС;
- продолжают активно развиваться системы мониторинга и диагностики состояния оборудования и подстанции в целом для повышения эксплуатационной надёжности;
- представлена интересная информация по применению мобильных подстанций;
- проблемы экономии площадей при строительстве и реконструкции подстанций в больших городах являются актуальными для многих стран мира.

В рамках деятельности СИГРЭ по подготовке комплексных справочников (Green book), интегрирующих сведения из публикаций СИГРЭ (включая технические брошюры, публикации в журнале *Electra*, доклады на сессиях, коллоквиумах, симпозиумах и региональных конференциях), в ИК В3 ведётся работа над справочником по проблеме присоединения ВИЭ к

электрическим сетям (Gathering Renewable Energy in Electrical Networks), определено содержание и библиография,

К.т.н. **О.В. Сулова**, ведущий научный сотрудник ОАО «НТЦ ЕЭС», руководитель комитета В4 РНК СИГРЭ, член рабочей группы ИК В4 «Системы постоянного тока высокого напряжения и силовая электроника».

Деятельность ИК В4 на 45-й Сессии СИГРЭ была представлена тремя основными направлениями:

- высоковольтные системы постоянного тока;
- оборудование FACTS;
- разработка оборудования на основе силовой электроники.

В ИК В4 действует 7 рабочих групп по преобразователям напряжения (взаимодействие с примыкающими сетями, область применения, испытания) и 5 рабочих групп по сетям постоянного тока (моделирование, релейная защита, управление, системный кодекс).

Инновационные решения и проекты

В докладах следует выделить следующие новации:

- модульные многоуровневые преобразователи напряжения;
- многотерминальные передачи на преобразователях напряжения – проект Zhoushan (Китай);
- выключатель постоянного тока;
- передача постоянного тока ультра высокого напряжения (ППТ УВН) ± 1100 кВ Zhundong – Wuhan длиной 3200 км (Китай).

Выводы по итогам докладов и обсуждений:

- существует тенденция увеличения количества объектов постоянного тока, внедряемых в энергосистемах различных стран мира;
- развиваются технологии передачи электроэнергии постоянным током с помощью преобразователей напряжения;
- создаются технические базы для развития сетей ПТ;
- развиваются ППТ ультравысокого напряжения в странах с протяженной территорией.

Л.В. Травин, начальник отдела ФГУП «ВЭИ», секретарь ПК 22F МЭК, член рабочей группы ИК В4.

Современный этап мировой технической революции в электроэнергетике связан с внедрением силовой электроники в электрические сети, что обеспечивает тысячекратное (и более) увеличение быстродействия устройств управления и исполнительных механизмов за счёт замены традиционных компонентов электронными. Линии электропередачи или вставки постоянного тока (ВПТ) высокого напряжения во многих случаях обладают значительными техническими и экономическими преимуществами перед эквивалентными по мощности электропередачами переменного тока. При определённой (критической) длине линии их полные стоимости (с учётом подстанций) сравниваются, а при длине линии больше критической ЛЭП ПТ становятся экономически более выгодными. В настоящее время критическая длина ВЛ составляет 600 – 800 км, а кабельных линий (КЛ) — 30 – 50 км.

Суммарная мощность существующих электропередач и ВПТ превосходит 100 000 МВт, и к 2020 г. будут введены в эксплуатацию еще ЛЭП и ВПТ суммарной мощностью не менее 300 000 МВт. Только в Китае к концу 2020 г. будут построены 44 ЛЭП постоянного тока общей мощностью более 200 000 МВт.

Основные тенденции современного развития техники электропередачи постоянного тока и силовой электроники по состоянию на 2012 – 2014 гг.:

- создание дальних магистральных электропередач постоянного тока на напряжении ± 500 – ± 1100 кВ мощностью до 10 – 12 ГВт с тиристорными преобразователями тока;
- создание электропередач и ВПТ с самокоммутируемыми преобразователями с последовательными конденсаторами;
- внедрение электропередач и ВПТ с модульными многоуровневыми преобразователями типа инверторов напряжения мощностью до 1000 МВт;
- сооружение ППТ ВН с подводными и подземными кабелями;
- широкое внедрение устройств компенсации реактивной мощности как традиционных, так и на базе технологии СТАТКОМ;
- интеграция больших ветроэлектростанций (ВЭС) в сети переменного тока;
- создание сетей ПТ;
- создание мощных установок и систем аккумулирования электроэнергии.

Проекты ЛЭП ПТ, вставок и статических тиристорных компенсаторов (СТК) становятся стандартными (например, ЛЭП ПТ ± 500 кВ, 3000 МВт в Китае). Разработанные универсальные блоки (модули высоковольтных тиристорных вентилях, системы управления, регулирования, защиты и автоматики, системы охлаждения, батареи конденсаторов и т. д.) используются как «кирпичи» для создания установок на нужные параметры, их производство не надо переналаживать.

К техническим решениям добавилось применение преобразователей напряжения на базе полностью управляемых силовых полупроводниковых приборов, для ЛЭП и ВПТ, регулируемых конденсаторов и реакторов для гибких ЛЭП переменного тока — применение мощных фототиристорных (Siemens, Toshiba, Hitachi).

Появление мощных преобразователей напряжения имеет большое значение, т. к. они способны потреблять и генерировать не только активную, но и реактивную мощность. Кроме того, преобразователи напряжения можно использовать для создания неуязвимых сетей ПТ, наложенных на существующие сети переменного тока. Первые исследования показали, что такие сети могут быть созданы уже в настоящее время, если будут разработаны надежные выключатели ПТ.

На рынке силовой электроники стран Европы, США, Канады, Китая, Индии, Бразилии действуют транснациональные корпорации АВВ (Швеция), Siemens (Германия) и Alstom (Великобритания). В Японии все линии и ВПТ созданы совместно компаниями Toshiba, Hitachi и Mitsubishi. При этом

транснациональные компании поставляют преобразовательные ПС и другие установки «под ключ» и активно противодействуют попыткам обеспечить разработку полного комплекта стандартов МЭК на основное преобразовательное оборудование установок. Однако все страны, где уже построены ЛЭП постоянного тока, умеют применять это оборудование и могли бы участвовать в производстве отдельных видов оборудования.

В 2008 г. в МЭК был создан новый технический комитет 115 «Электропередачи постоянного тока напряжением свыше 100 кВ», секретариат которого поручено вести Китайскому национальному комитету МЭК. Активное участие в работе МЭК по стандартизации оборудования и систем силовой электроники является особенно важным для России в связи с ее членством в ВТО и необходимостью импортозамещения.

МЭК тесно сотрудничает с СИГРЭ в части анализа проблем и возможных технических решений, в том числе в области ППТ. Стандарты и технические отчеты СИГРЭ во многом базируются на материалах технических брошюр, разработанных в рабочих группах СИГРЭ с участием специалистов и экспертов рабочих органов МЭК.

К.т.н. **Г.С. Нудельман**, Председатель совета директоров ОАО «ВНИИР», постоянный член ИК В5 «Релейная защита и автоматика».

Представители России участвуют в качестве постоянных членов и членов-корреспондентов в целом ряде рабочих групп ИК В5, в первую очередь, группы по стандарту МЭК 61850. Новые рабочие группы ИК В5 рассматривают вопросы оптимизации проектирования РЗА, предотвращения суб-синхронного резонанса и др.

Мировой опыт, который целесообразно учитывать при развитии релейной защиты (РЗ) в России, свидетельствует о следующем:

- исторически РЗА и противоаварийная автоматика (ПА) всегда были автономными в своей работе, но в настоящее время стратегическое направление развития РЗ должно рассматриваться в совокупности со смежными системами;
- развитие РЗ и автоматизации подстанций определяется развитием электроэнергетической системы (ЭЭС);
- эффективность существующих решений в области РЗА снижается в связи появлением FACTS / SVC / продольной компенсации, вставок постоянного тока, фазопоротных трансформаторов, внедрением распределённой генерации (ветроэнергетики и других возобновляемых источников энергии — ВИЭ);
- в новых условиях более целесообразным оказывается применение адаптивной защиты, т. е. защиты, которая автоматически подстраивается под режимы функционирования ЭЭС;
- наиболее важная проблема — обеспечение необходимого запаса устойчивости ЭЭС и предотвращение системных отключений. Для этого необходимо иметь не только намного больше информации от всех узлов энергосистемы, но также и скоординированные действия значительно большего числа центров управления ЭЭС. Эти задачи требуют быстрой и

селективной реакции, чтобы справиться с любой возникающей ситуацией посредством требуемых соответствующих автоматических воздействий;

- в перспективе развитие ЭЭС потребует совершенствования систем автоматического восстановления ПС с использованием коммуникационных сетей и организацией высокоскоростного обмена данными на подстанции применительно к усовершенствованным электрическим сетям будущего;

- ключевые положения в эволюции технологии первичного оборудования — использование нетрадиционных измерительных трансформаторов тока (ТТ) и напряжения (ТН), замена проводных соединений оптоволоконными, интеграция интеллектуальных электронных устройств (ИЭУ) и первичного оборудования;

- на первый план выступают проблемы организации удалённого доступа и кибербезопасности, автоматизированного получения и анализа данных, своевременного реагирования на изменение режима;

- необходимость автоматизированного мониторинга энергетических систем обусловлена: увеличением нагрузки энергосистемы с приближением к предельным значениям, масштабным развертыванием ИЭУ и экономическими условиями, определяющими необходимость полнее использовать активы в оптимальных режимах;

- результатом активного развития малой распределенной энергетики является необходимость повышения требований к РЗА, управляемости и наблюдаемости режимов распределительных сетей.

Тенденция к децентрализации генерирующих мощностей начинает проявляться и в России.

Доклады на Сессии были посвящены двум основным вопросам: новые принципы построения систем РЗА и использование стандарта МЭК 61850.

Новые принципы построения систем РЗА на основе современных коммутационных технологий включают:

- новые решения по построению РЗА с использованием каналов связи между подстанциями;

- новые решения по построению РЗА с использованием коммуникационной сети подстанции;

- использование данных синхронных векторных измерений для реализации функций релейной защиты и управления, предполагающих обеспечение высокого быстродействия;

- анализ устойчивости энергосистемы и синтез управляющих воздействий;

- управление ресурсами и техническое обслуживание.

Ожидания от использования стандарта МЭК 61850

Были обсуждены следующие темы.

- Требования заказчиков.
- Стандартизация и профилирование.
- Инженерное программное обеспечение.
- Испытания и техническое обслуживание.

По результатам анализа докладов и обсуждений можно сделать следующие выводы:

- использование информации, получаемой на уровне ПС или всей ЭЭС, позволяет значительно повысить эффективность системы РЗА. Современные тенденции предполагают создание «ячеистых» или одноранговых коммуникационных сетей в пределах одной или нескольких подстанций. Надёжность коммуникационной сети является ключевым фактором при реализации функций РЗ и управления, предполагающих обеспечение высокого быстродействия;

- использование шины процесса, соответствующей стандарту МЭК 61850 для организации связи, между ПС представляется удачным решением, однако требуется оценка эффективности системы связи между ПС;

- синхронные векторные измерения представляют собой вид так называемой «глобальной» информации, которая позволит улучшить существующие решения в части дальнего резервирования, выявления качаний в энергосистеме, обнаружения перехода фрагментов сети в изолированный режим работы. При этом для решения задач РЗ должны быть использованы устройства векторных измерений, имеющие соответствующий класс точности. Представляет значительный интерес использование синхронных векторных измерений для целей согласования защит дальнего резервирования;

- энергетические компании прилагают значительные усилия по внедрению стандарта МЭК 61850. Возникающие при этом существенные временные затраты связаны с необходимостью обеспечения интеграции в единую систему устройств разных производителей. Не следует исключать из рассмотрения и финансовую сторону вопроса, так как в наихудшем случае модернизация подстанции с использованием нового оборудования может потребовать замены всех ранее установленных устройств;

- функциональная совместимость оборудования разных производителей является одним из необходимых требований при реализации положений стандарта на практике. Другое требование — упростить процесс инжиниринга проектов на базе стандарта МЭК 61850. Такие решения могут предоставить более значимое преимущество использованию стандарта, чем декларируемое снижение расходов за счет уменьшения количества медных контрольных кабелей.

А.М. Катаев, директор по энергетическим рынкам и инновационному развитию ОАО «СО ЕЭС», член-наблюдатель в ИК С5 «Рынки электроэнергии и регулирование».

Предпочтительными темами для обсуждения являлись:

- организация рынков электроэнергии, рыночные модели и задачи развития рынка;

- влияние изменения спроса, графиков потребления электроэнергии на организацию рынков и их функционирование; интеграция ВИЭ в рынки электроэнергии.

В рамках дискуссии по направлению PS 1 отмечена необходимость определения приоритетов при проектировании как новых, так и модернизации действующих моделей рынков.

Какова основная задача рынка — защита потребителя или оптимизация глобальной функции благосостояния? Различные ответы на этот вопрос определили различные подходы к проектированию национальных рынков, что, в свою очередь, привело к многообразию существующих моделей: зональные модели ценообразования и модели с узловыми ценами, рынки двух товаров электроэнергия и мощность или рынки одного товара — электроэнергии. Отмечалось существенное влияние на работу рынков подходов к формированию структуры тарифов.

Доклады, представленные по направлению PS 2, посвящены различным подходам к использованию имеющегося на стороне спроса ресурса балансирования, возможности изменения графика потребления для балансирования спроса и предложения в энергосистеме, а также влиянию привлечения такого ресурса на энергетические рынки.

Для ряда стран управление (ограничение) потребления является вынужденной мерой в условиях недостатка генерирующих мощностей. В тоже время в энергосистемах, не испытывающих такого дефицита, основным драйвером развития систем управления спросом является широкомасштабный ввод ВИЭ — распределенных генерирующих источников, как правило, не имеющих возможности работать по заданному графику.

Отмечалось, что традиционный способ поддержания баланса спроса и предложения только за счёт изменения нагрузки генераторов становится технически все более сложным и дорогим. Текущее развитие информационных систем позволяет создавать рыночные, экономически эффективные механизмы привлечения массового потребителя к активному участию в регулировании спроса. Широкое внедрение ВИЭ на уровне конечных потребителей может существенно изменить режимы работы энергосистемы и потребовать изменения модели рынка.

В рамках обсуждения докладов по направлению PS 3 основное внимание уделено урокам, извлечённым из опыта внедрения ВИЭ и задачам, требующим решения для адекватной интеграции объектов ВИЭ в существующие и перспективные рынки электроэнергии.

Участниками отмечалось, что проблемы перепроизводства электроэнергии будут становиться всё более актуальными в энергосистемах с высокой долей объектов ВИЭ. В связи с этим технологии хранения электроэнергии в промышленных масштабах станут важным элементом перспективных рынков электроэнергии. Один из возможных подходов к интеграции объектов ВИЭ в энергосистему, не требующим поддержания специальных регулировочных мощностей для компенсации отклонений генерации объектов ВИЭ, являются гибридные установки ветровых и солнечных генерирующих источников с системой хранения энергии.

В целом по докладам сделаны следующие выводы:

- для энергосистем развитых стран общими являются проблемы, связанные с существенными объёмами электроэнергии, производимыми с использованием ВИЭ и влиянием систем поддержки ВИЭ на рынки электроэнергии;

- вводы значительного количества источников генерации, не имеющих возможность поддерживать гарантированный уровень нагрузки, привели к необходимости привлечения дополнительных ресурсов регулирования для поддержания баланса производства и потребления электроэнергии. В связи с этим широко обсуждаются проблемы привлечения потребителей к участию в регулировании и вопросы хранения электроэнергии в промышленных масштабах.

П.В. Чусовитин, доцент кафедры Уральского федерального университета, член-наблюдатель в ИК С6 «Системы распределения электроэнергии и распределенная генерация».

Предпочтительными темами для обсуждения являлись:

- планирование в распределительных сетях с большой долей ВИЭ и новых видов нагрузки;

- управление режимом активной распределительной сети; новые функции и услуги, которые распределительная сеть может предоставлять системообразующей сети.

Вопросы *планирования* затрагивают новые возможности по обеспечению надёжности электроснабжения и повышения энергоэффективности, которые даёт распределённая генерация. В числе таких вопросов — определение мест размещения и мощности установок малой генерации с целью минимизации потерь активной мощности в распределительной сети.

Основной обсуждаемой проблемой стало создание новых моделей нагрузки и генерации. В этом направлении проявляется тенденция перехода от детерминированных моделей отдельных установок к агрегированным вероятностным моделям, включающим генерацию, потребление, устройства управления на силовой электронике и накопители электроэнергии. Такая модель нагрузки может быть представлена внешней характеристикой, при этом во внешней характеристике может учитываться район нагрузки с локальной генерацией и системой управления, обеспечивающей оптимизацию режима рассматриваемого района.

Создание универсальных моделей распределённой генерации, содержащих различные уровни детализации для моделирования процессов различного масштаба (по времени и по размеру анализируемой энергосистемы), включая универсальные модели для зарядных станций электромобилей, является предметом обсуждений.

Основными тенденциями в части *управления режимом распределительной сети* является создание методов управления, обеспечивающих ввод режима распределительной сети в допустимую область, надлежащее качество электроэнергии (регулирование напряжения), а также оптимизацию режима распределительной сети и выравнивания

графика потребления. Создаются алгоритмы, позволяющие координировать положение отпаяк трансформаторов, действие установок ВИЭ, когенерационных установок, устройств регулируемой передачи переменного тока и накопителей электроэнергии, в том числе алгоритмы координированного регулирования напряжения и выравнивания графика потребления и выдачи гибридных (совмещающих ВИЭ, накопители и установки на органическом топливе) энергоустановок. При регулировании активной мощности также решается задача минимизации расхода энергоносителя.

Задача ввода режима в допустимую область решается в большинстве случаев ограничением выдачи установок ВИЭ. Однако появляется всё больше разработок систем управления, использующих для этой цели накопители электроэнергии. Количество накопителей электроэнергии, основанных на аккумуляторных батареях, в распределительных сетях постоянно увеличивается.

Активно обсуждаются способы использования накопителей и электромобилей для управления режимом распределительной сети, которые учитывают изменение режима заряда/разряда накопителей. Такое управление позволяет решать задачи оптимального потокораспределения, улучшения профиля напряжения, снижения реверсивных потоков в распределительной сети, снижения коэффициента неравномерности графика нагрузки.

Возврат инвестиций в установку накопителей энергии может осуществляться за счёт выравнивания графика нагрузки. При этом необходимо использовать методы управления режимом заряда/разряда накопителей для поддержания режимных параметров распределительной сети. Интеграция зарядных станций электромобилей в контур оперативного управления распределительной сетью возможно на основе концепции «виртуальной электростанции».

Распределительная сеть становится активной, и появляется возможность её участия в управлении режимом системообразующей сети, в том числе перспективы предоставления резерва активной и реактивной мощности на стороне потребителя. Развиваются подходы по управлению данным ресурсом с помощью агрегирования. При этом необходимо создавать рыночные механизмы взаимодействия системных операторов с операторами распределительной сети (сетевыми компаниями).

Перечень предпочтительных тем ИК С6 на 46-ю сессию СИГРЭ 2016 г. доступен по ссылке на сайте РНК СИГРЭ (http://www.cigre.ru/activity/session/session_2016/Prefer.Subjects_46_session_2016.pdf).

В рамках деятельности ИК С6 образованы новые рабочие группы по следующим проблемам:

- применение накопителей электроэнергии в распределительной сети;
- автономное электроснабжение с применением нескольких энергоносителей.

Кроме того, обсуждалось создание рабочих групп по проблемам:

- силовая электроника для регулирования напряжения;
- использование данных от интеллектуальных счётчиков для управления режимом энергосистемы;
- сети постоянного тока для среднего класса напряжения (предложение Китая);
- проблемы и перспективы использования генерации, подключённой к распределительной сети, для управления режимом системообразующей сети.

К.т.н. **М.К. Ярмаркин**, заведующий кафедрой ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», член-наблюдатель в ИК D1 «Материалы и новые технологии».

Деятельность ИК D1 «Материалы и новые методы контроля» охватывает следующие направления: новые и существующие материалы, методы диагностики, новые методы испытаний.

Предпочтительными направлениями работы ИК D1 на 2014 г. «Материалы и новые методы контроля» являлись:

- Электроизоляционные системы при воздействии постоянного напряжения:
 - свойства материалов;
 - распределение объёмных и поверхностных зарядов;
 - длительная эксплуатация.
- Новые методы испытаний и средства диагностики:
 - ультравысокое постоянное и переменное напряжение;
 - учёт атмосферных условий и высоты над уровнем моря, тяжёлые метеорологические условия;
 - разработка рекомендаций по применению новых методов диагностики и испытания.
- Свойства и возможности применения новых материалов:
 - материалы для выравнивания электрического поля;
 - экологичные материалы;
 - сверхпроводники.

В представленных на 45-й сессии докладах рассмотрены проблемы использования новых материалов в системах высокого напряжения при постоянном напряжении, включая гибридные воздушные линии электропередачи, сочетающие постоянное и переменное напряжение, материалы для компактных газоизолированных систем, а также изоляцию кабелей постоянного напряжения.

Наиболее интересные разработки представлены в докладах, посвященных применению наночастиц для восстановления свойств масляной изоляции, поискам альтернативы для SF₆ в высоковольтном оборудовании, а также разработкам новых конструкций твёрдых изоляторов для герметизированных аппаратов высокого напряжения. Найденные технические решения (применение флюорнитрилов, применение структурированного твёрдого материала для принудительного формирования

электрического поля и др.) могут быть использованы в будущем для создания новых, более совершенных высоковольтных устройств и аппаратов.

А.В. Гофман, руководитель оргкомитета Молодежной секции РНК СИГРЭ.

По состоянию на начало 2014 г. в СИГРЭ состоят 915 молодых инженеров, специалистов и учёных в возрасте до 35 лет со статусом «Individual member II». В том числе 320 человек из России. Это в большинстве своем участники мероприятий Молодежной секции РНК СИГРЭ. На состоявшейся в период с 24 по 29 августа 2014 г. 45-й сессии СИГРЭ в составе делегации РНК впервые участвовали 8 российских студентов, победителей и призеров мероприятий Молодежной секции РНК СИГРЭ.

Совместными усилиями Молодежной секции РНК и германского молодежного объединения Next Generation Network был организован стенд молодежных организаций, на котором были представлены как успешные практики молодёжных движений в электроэнергетике всех крупных держав, так и анонсы будущих молодежных конференций и олимпиад.

В ходе экскурсии молодые участники Сессии смогли посетить штаб-квартиру французской сетевой компании Rte, познакомились с передовыми разработками в области моделирования энергетических систем на высокопроизводительных системах реального времени. Кроме того, в ходе экскурсии каждый из участников мог попробовать себя в роли управляющего рынком электроэнергии путём специальной смоделированной компьютерной программы.

Отдельным молодёжным мероприятием в ходе Сессии был выделен Молодежный форум, в котором приняли участие студенты и молодые инженеры из более чем 12 стран, среди них: Россия, Германия, Великобритания, Австралия, Япония, Бельгия.

Важным вопросом, предложенным к обсуждению российской делегацией, стал вопрос цитируемости журнала *Electra*, регулярно выпускаемого СИГРЭ. Предложение о создании отдельного регулярного издания *Electra Science*, который будет иметь индекс цитируемости, вынесено на рассмотрение ближайшего заседания Административного совета СИГРЭ. Также обсуждались вопросы сотрудничества и развития международных отношений, а именно — организация участия студентов разных стран в олимпиадах и конференциях международного уровня, обмен опытом организации работы студентов и способы привлечения студентов в науку и исследования. Значительным достижением в этом направлении стали достигнутые договорённости об участии в ноябрьской олимпиаде «Электроэнергетика-2014» студентов технических вузов Германии. Встречное предложение — принять участие в международной конференции в Дортмундском университете в январе 2015 г. — получили и российские студенты

Совместное заседание ОТМЕЧАЕТ

1. Высокую значимость деятельности СИГРЭ, направленной на развитие и распространение технических знаний в области выработки и передачи электроэнергии на высоком напряжении, обобщение передовой практики управления ЭЭС, применение новых подходов по развитию молодежного направления на основе проведения большого количества мероприятий — симпозиумов, коллоквиумов, конференций, заседаний исследовательских комитетов и рабочих групп, выпуску технических публикаций — технических брошюр, а также Green Book, обобщающих опыт работы исследовательских комитетов за многие годы.

2. Определяющее влияние на условия и тенденции развития ЭЭС оказывают глобальные вызовы, такие как рост спроса на электрическую энергию, интенсивное развитие городов, рост требований к безопасности, надёжности и качеству электроснабжения, рост энергоисточников на базе ВИЭ, природные катаклизмы.

3. Особое влияние на традиционную генерацию обусловлено нарастающими объёмами энергоисточников на базе ВИЭ, ужесточением требований в части манёвренности энергоисточников, снижением длительности работы традиционных электростанций в базовой части графика нагрузки, увеличением количества пусков и остановов, сетевыми ограничениями. Эти обстоятельства с технологической точки зрения снижают устойчивость ЭЭС, а с экономической — выталкивают традиционную генерацию с рынка.

4. Широкое внедрение ВИЭ и распределённой генерации, отказ от АЭС в некоторых странах, нарастание резкопеременных режимов работы электростанций и обменных перетоков мощности привели к снижению управляемости ЭЭС. В этих условиях необходимо переосмыслить подходы к управлению ЭЭС, внедрению развитой логики и повышению эффективности. В ответ на данные вызовы системные операторы развивают новые технологии: динамическую оценку надёжности (DSA), устройства векторных измерений (PMU), системы глобального мониторинга (WAMS), динамическую оценку нагрузочной способности линий электропередачи (DLR), оценку и управление риском и др.

5. Комплексный характер применения целого ряда новых технологий в ЭЭС развитых стран мира, в том числе широкий спектр ВЭС и СЭС, подключаемых на всех классах напряжения, использование для их интеграции в ЭЭС систем накопления электроэнергии (на базе аккумуляторных батарей большой мощности), интеграция электротранспортной инфраструктуры, вовлечение активных потребителей в процесс управления режимами энергосистем.

6. Возникновение нового класса задач технологического и рыночного развития энергосистем, связанных с их балансированием, обеспечением наблюдаемости за объектами распределённой генерации и активными потребителями, поддержанием резервов мощности, активным характером распределительных электрических сетей, управлением в рамках меняющихся границ контрольных зон (технологических и рыночных операторов).

7. Высокую актуальность регламентации условий технологического присоединения и функционирования в составе ЭЭС источников РГ.

Заслушав доклады, выступления в дискуссии представителей заинтересованных организаций, замечания и предложения членов Советов и приглашенных специалистов, Совместное заседание

РЕШИЛО

1. Рекомендовать Минэнерго России использовать материалы СИГРЭ для реализации плана мероприятий «Внедрение инновационных технологий и современных материалов в отраслях топливно-энергетического комплекса», утвержденного распоряжением Правительства Российской Федерации от 3 июля 2014 г. № 1217-р.

2. Рекомендовать руководителям энергетических компаний и организаций:

- использовать материалы СИГРЭ для решения задач реализации технической и инновационной политики;

- активизировать работу в РНК СИГРЭ и РНК МЭК и делегировать своих специалистов в рабочие группы исследовательских комитетов СИГРЭ и технических комитетов МЭК по соответствующим направлениям профессиональной деятельности.

3. Рекомендовать Росстандарту и техническим комитетам по стандартизации Росстандарта, работающим в сфере электроэнергетики, использовать материалы СИГРЭ при проведении соответствующих работ.

4. Рекомендовать к опубликованию представленные материалы в специальном выпуске журнала «Энергетика за рубежом» (приложение к журналу «Энергетик»), а также разместить их на интернет-сайте РНК СИГРЭ.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор



В.В. Молодюк

Учёный секретарь Совета РАН по
проблемам надёжности и безопасности
больших систем энергетики,
заведующий отделением
ОАО «ЭНИН», д.т.н., профессор



В.А. Баринов

Учёный секретарь
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.



Я.Ш. Исамухамедов