

ИМЕНА И ДАТЫ

УДК 621.311 (091)

Л. А. Кощеев

Основные достижения НИИПТ – НТЦ ЕЭС. К 80-летию со дня основания

Научно-исследовательский институт по передаче электроэнергии постоянным током высокого напряжения (НИИПТ) был образован распоряжением Совета Народных Комиссаров СССР от 18 октября 1945 г. для решения проблем, связанных с внедрением в энергетику электропередач постоянного тока и созданием Единой энергосистемы страны. С 7 июня 2012 г. – Научно-технический центр Единой энергетической системы (НТЦ ЕЭС).

Институт (Центр) участвовал в решении самых разных задач в области развития и повышения эффективности функционирования электроэнергетического комплекса страны. Ниже приведен перечень с краткими аннотациями.

1. Передача энергии постоянным током и преобразовательная техника

1.1. Первые шаги

До создания и в первые годы существования НИИПТ с участием будущих сотрудников НИИПТ был проведен демонтаж ППТ Эльба – Берлин. В Подмосковье была создана временная лаборатория для обследования и приведения в рабочее состояние основного оборудования и определения недостающих элементов системы управления, регулирования, защиты и автоматики преобразовательных блоков. По результатам этой работы были определены конкретные задачи для разработчиков аппаратуры и проектировщиков ППТ на основе этого оборудования. Был также приведен в рабочее состояние и в дальнейшем использован кабель постоянного тока ± 100 кВ.

1.2. Создание экспериментальной базы

1. Опытно-промышленная ППТ Кашира – Москва в 1960–1980-е была основным полигоном для отработки и испытаний элементов преобразовательной техники, главным образом на базе ртутных вентилей и аппаратуры СУРЗА для ППТ Волгоград – Донбасс, а также при решении других задач, связанных с преобразовательной техникой и высоковольтной техникой постоянного тока.

2. Стенды для испытаний ртутных и тиристорных вентилей предназначались для исследования физических характеристик ртутных вентилей ППТ Кашира – Москва и Волгоград – Донбасс, а затем тиристорных вентилей Волгоградской подстанции ППТ Волгоград – Донбасс и ППТ Экибастуз – Центр.

3. Стенд для разработки и испытания устройств промышленной электроники был создан для исследований и разработки устройств специальной тематики, в частности для испытаний при больших токах (1 000 А и более), кроме того использовался при разработке устройств плавки гололеда на проводах воздушных линий электропередачи, преобразовательных устройств сверхпроводящей кабельной линии, других устройств промышленного назначения.

1.3. Ввод в эксплуатацию ППТ Кашира – Москва

Проект ППТ Кашира – Москва предполагал максимальное использование полученного по ремонту оборудования ППТ Эльба – Берлин. Очевидно, что после демонтажа и перевозки это оборудование нуждалось в доведении до рабочего состояния. Кроме того, ППТ Эльба – Берлин не была полностью укомплектована и готова к вводу в эксплуатацию. При демонтаже и транспортировке были частично утрачены некоторые элементы системы управления, регулирования, защиты и автоматики. Все недостающее было восполнено. Сотрудниками НИИПТ были разработаны и реализованы недостающие элементы СУРЗА, выявлены и преодолены трудности, связанные с неожиданными особенностями в работе ртутных вентилей, проведена наладка и ввод в эксплуатацию электропередачи в целом.

Ввод в эксплуатацию первой в мире ППТ (в том же году была введена в эксплуатацию ППТ на остров Готланд (Швеция)) стал первой серьезной победой коллектива НИИПТ.

1.4. ППТ Волгоград – Донбасс

В 1961 г. была введена в эксплуатацию первая очередь ППТ ±400 кВ Волгоград – Донбасс. На тот момент это была самая мощная в мире передача постоянного тока. Разработка проекта этой ППТ базировалась на комплексном исследовании, в том числе с использованием ППТ Кашира – Москва. Преобразовательное оборудование на ртутных вентилях и система управления, регулирования и защиты были разработаны и изготовлены в ходе проектирования ППТ. В последующем на преобразовательной подстанции, размещенной на Волжской ГЭС, ртутные вентили были заменены на тиристорные. В ходе эксплуатации ППТ Волгоград – Донбасс были получены новые данные по вопросам заземления, экологического влияния, грозоупорности и др., что использовалось при проектировании ППТ Экибастуз – Центр.

1.5. Проект ППТ Экибастуз – Центр

Разработан проект ППТ ± 750 кВ, 6 000 МВт протяженностью 2400 км Экибастуз – Центр с преобразователями на ртутных вентилях с последующим перепроектированием на использование тиристорных вентилей. При разработке проекта были использованы наработки, полученные в ходе создания ППТ Кашира – Москва и Волгоград – Донбасс, и выполнен комплекс исследований, связанных с беспрецедентной мощностью, классом напряжения и протяженностью ВЛ. Определены требования ко всем видам оборудования, разработана система управления, регулирования, автоматики и защиты (СУРЗА), проведены испытания всех новых видов оборудования, созданных на отечественных предприятиях. Элементы этого оборудования были использованы при создании ВЛ в составе связи СССР – Финляндия.

К моменту разделения СССР была полностью скомплектована Экибастузская и частично Тамбовская подстанции, построена примерно половина воздушной линии.

1.6. Вставка постоянного тока в составе электропередачи СССР – Финляндия

Предложение о коммерческом транспорте электроэнергии в Финляндию появилось еще в 1960-е, но исследования (в том числе в НИИПТ) выявили практическую нереализуемость синхронной работы ЕЭС СССР и NORDEL ввиду различных условий

регулирования частоты, организации противоаварийной автоматики и других технических и организационных проблем. Создание вставки постоянного тока (*back-to-back*) вблизи Выборга полностью взяла на себя советская сторона. Силами НИИПТ и предприятий электротехнической промышленности был проведен весь необходимый комплекс исследований, разработано и изготовлено все оборудование и аппаратура СУРЗА, проведены испытания в НИИПТ и на стендах других организаций. Первый энергоблок мощностью (пропускной способностью) 350 МВт был включен в эксплуатацию в 1980 г. Выборгская ВПТ стала крупнейшим в мире объектом такого рода, обеспечивала регулярный транспорт электроэнергии и, кроме того, обеспечивала, благодаря своим регулировочным возможностям, компенсацию в заданных пределах колебаний нагрузки в приемной энергосистеме.

Единственным элементом иностранного производства в ВПТ был счетчик энергии. В последующем частично заменялись конденсаторы в устройствах компенсации реактивной мощности.

Создание ВПТ в составе электропередачи СССР – Финляндия было отмечено Государственной премией СССР.

1.7. Проект ППТ ЛАЭС – Выборг

В 2010 г. разработан проект воздушно-кабельной ППТ ЛАЭС – Выборг с распределительной вставкой постоянного тока оригинальной конструкции на базе трехстороннего преобразователя. В проекте, наряду с развитием транспортной передачи в Финляндию, создавалось регулируемое кольцо вокруг Санкт-Петербурга. В результате обеспечивалось повышение надежности электроснабжения и разгружались от транзитных перетоков мощности сети Санкт-Петербурга, а также создавалась возможность последующего продления ППТ в сторону Мурманска.

Проект был включен в перечень объектов для внедрения при развитии системообразующей сети ОЭС Северо-Запада.

1.8. Специальная тематика

В 1970–1980-е выполнен ряд работ по специальной тематике. В отдельные моменты эта тематика составляла до четверти объема работ НИИПТ. Одна из этих работ отмечена Государственной премией СССР.

1.9. Международные проекты ППТ

В 1990-е сотрудники НИИПТ приняли участие в исследованиях и разработках нескольких международных проектов ППТ. Степень участия коллектива НИИПТ в этих проектах была различной, прежде всего было участие в решении системных вопросов и определении целесообразности проекта, в вопросах ТВН воздушных и кабельных линий. Что касается преобразовательных устройств, то участие сводилось в основном к определению наиболее общих требований. Технические решения были за *Siemens*, *ABB* и др.

Наиболее полно были проработаны проекты квадруполярной многоподстанционной ППТ Россия – Белоруссия – Польша – Германия (с вариантом захода в Прибалтику), воздушно-кабельной ППТ Сахалин – Япония и ППТ Братск – Пекин.

Для других объектов были выполнены НИР на уровне предГЭО.

1.10. Разработка и внедрение автоматизированных систем управления (АСУ)

Во второй половине 1980-х АСУ становится одним из «модных» направлений цифрового управления во многих отраслях промышленности. В НИИПТ была впервые разработана АСУ крупного энергетического объекта – ВПТ в составе электро-передачи СССР – Финляндия. Система не была полной в силу имевшихся в составе ВПТ таких трудно автоматизируемых элементов как синхронные компенсаторы и система охлаждения, но в целом создание такой АСУ было серьезным достижением. В дальнейшем была реализована АСУ электродинамической модели (ЭДМ), автоматизированы несколько крупных подстанций среднего класса напряжения. Но это направление постепенно обособлялось и в конечном счете вышло из состава НТИ Ц ЕЭС в виде самостоятельного предприятия.

1.11. Веерная разгрузка

В конце 1980-х сотрудниками Московского отделения НИИПТ была разработана и предварительно испытана система распределения команды от противоаварийной автоматики, при которой обеспечивалось выборочное отключение потребителей. Система включала преобразовательное устройство, обеспечивающее кратковременный ввод в сеть зашифрованной группы гармоник, которая дифференцированно воспринимается приемниками, связанными с исполнительными органами соответствующих элементов нагрузки. В результате обеспечивалась минимизация отключения нагрузки и отбор ее по категориям.

1.12. Плавка гололеда на проводах высоковольтной линии электропередачи

Было известно несколько вариантов устройств для плавки гололеда на проводах воздушных линий электропередачи. В НИИПТ – НТИ Ц ЕЭС были разработаны и нашли широкое применение оригинальные устройства с настройкой в зависимости от внешних условий.

Существенной особенностью такого устройства является его конструктивное исполнение в виде легко перемещаемого герметичного контейнера, в котором поддерживается температура. Устройство внедрено на ряде объектов в зонах с повышенной гололедной опасностью.

1.13. «Шина» постоянного тока

Этот исследовательский проект был приложением к проекту ППТ Сахалин – Япония. «Шина» состояла из двух биполярных ППТ ± 750 кВ, протянувшихся от связи Братской и Усть-Илимской ГЭС до Тихоокеанского побережья приблизительно вдоль трассы Байкало-Амурской магистрали (БАМ). К «шине» подключались три перспективные ГЭС Восточной Сибири и приливная Тугурская электростанция (ПЭС). Эти ГЭС и ПЭС были в числе перспективных энергетических объектов. По этим объектам были проведены предварительные гидрологические изыскания, определены предельные мощности. В качестве основных потребителей рассматривались перспективные крупные промышленные и горнодобывающие предприятия и города Сибири и Дальнего Востока, а также экспорт электроэнергии в Китай и Японию.

В проекте использовались некоторые наработки Ленгидропроекта в части ПЭС, материалы проекта ППТ Экибастуз – Центр, известные к тому времени достижения в области преобразовательной техники.

2. Техника высоких напряжений

2.1. Создание экспериментальной базы

В 1950-е создан высоковольтный испытательный комплекс, который в последующем развитии стал крупнейшим в стране, с наиболее современными по тому времени испытательными установками и пролетом линии с изменяющимися параметрами. В своем развитии комплекс опережал появление каждого нового класса напряжения. С его использованием выполнены базовые работы по освоению классов напряжения 330, 500, 750, 1150 кВ, а также проведены испытания преобразовательного оборудования и аппаратуры, воздушных и кабельных линий, объектов постоянного тока. Выполнены предпроектные исследования и проведены испытания элементов оборудования ППТ Экибастуз – Центр.

2.2. Повышение класса напряжения ВЛ Куйбышев – Москва

По предложению лаборатории ТВН НИИПТ выполнены исследования и проведен комплекс мероприятий, позволивших перевести класс напряжения линии электропередачи Куйбышев – Москва с 400 на 500 кВ, отказавшись от ряда мер по повышению пропускной способности этой линии. В дальнейшем класс напряжения 500 кВ стал основным для системообразующей сети центральной и восточной частей ЕЭС.

2.3. Обоснование новых классов напряжения

В 1950–1980-е для каждой новой ступени напряжения проводился комплекс высоковольтных исследований и испытаний с использованием Высоковольтного комплекса, результаты которых, наряду с исследованиями других организаций, служили обоснованием проектных и технологических решений, обосновывающих ввод каждого нового класса напряжения электрической сети СССР. Участие в разработке обосновывающих материалов класса напряжения 750 кВ и создание на их основе связи с энергосистемами Восточноевропейских стран (создание энергосистемы «Мир») было отмечено Государственной премией СССР, НИИПТ был награжден орденом «Знак почета», ордена и медали получили ведущие сотрудники института.

2.4. Законотворческая деятельность

Результаты методических наработок и экспериментальных исследований лаборатории ТВН были представлены в соответствующих разделах руководящих указаний по выбору и координации изоляции, выбору проводов воздушных линий, в государственных и отраслевых стандартах по методам испытаний, по защите энергоустановок от грозовых и коммутационных перенапряжений и т. д. Речь идет прежде всего о проблемах координации изоляции, ограничении коммутационных перенапряжений, защите воздушных и кабельных линий, старении внутренней изоляции, короне и радиопомехах, электрической прочности гирлянд воздушных изоляторов в том числе при разряженном воздухе, снижении стойкости загрязненной изоляции, экологических требований по условиям воздействия воздушных линий переменного и постоянного тока высокого и ультравысокого напряжения.

Объем и качество методических разработок, подтвержденных экспериментальными данными, полученными с использованием Высоковольтного комплекса НИИПТ, ставили лабораторию в ряд мировых исследовательских центров в области ТВН.

2.5. Ресурсные требования к изоляции

Разработан новый принцип определения требований к внешней и внутренней изоляции высоковольтных объектов, базирующийся на исследованиях и испытаниях ресурсных возможностей изоляции, наряду с оценкой предельно допустимого уровня напряжения по условию перекрытия изоляции при коммутационных и грозовых перенапряжениях. Разработана методика проведения ресурсных испытаний оборудования и линий электропередачи.

Предложенный принцип нашел применение и в энергосистемах других стран.

2.6 Карты уровня изоляции

Разработана и нашла широкое применение методика составления территориальных карт, определяющих требования к уровню изоляции проектируемых воздушных линий электропередачи на данной территории. При составлении карт учитываются как природные особенности, так и воздействие от объектов человеческой деятельности на данной территории. Последнее требует периодического пересмотра карт.

2.7. Ультравысокое напряжение

В связи с проектированием линий электропередачи 1 150 кВ переменного и ± 750 кВ постоянного тока проведены комплекс исследований и последующие испытания элементов оборудования и линейной изоляции, в результате которых сформулированы основные требования к линиям и оборудованию ультравысокого напряжения.

Проектирование этих линий электропередачи проводилось впервые в мировой практике, также впервые был проведен и целенаправленный комплекс высоковольтных исследований, включающий экологические и иные сопутствующие проблемы. Некоторые из результатов, полученных с использованием высоковольтного комплекса НИИПТ, в последующем были переданы в Китай, где использовались при сооружении испытательного комплекса и линий электропередачи постоянного и переменного тока ультравысокого напряжения.

2.8. Управление электрическим полем

В 1980-е в ЛТВН был выполнен ряд работ с использованием теоретических положений, относящихся к теории электрического поля. Разработаны методические рекомендации по организации заземления оборудования и линий электропередачи, в том числе ППТ, по защите подземных сооружений, находящихся в зоне влияния энергетических объектов. Кроме того, был разработан ряд предложений по использованию электрического поля при решении некоторых технических проблем, в том числе:

- вытеснение остатков нефти из скважин вместо закачивания в них воды;
- специальная сушка изделий из дерева;
- сушка и дробление сыпучих материалов при транспортировке;
- специальный метод повивы сталеалюминиевых проводов, обеспечивающий минимизацию потерь в проводах линии передачи и др.

3. Энергетические системы

3.1. Создание экспериментальной базы

1. Электродинамическая модель энергосистемы (ЭДМ) была создана в 1950-е годы и в процессе последующего развития стала крупнейшей в мире установкой

такого рода. В 1950–1970-е ЭДМ была основным средством исследования режимов и устойчивости сложных энергосистем, а также полигоном для испытаний и разработки новых устройств регулирования и автоматики. В середине 1960-х на ЭДМ была проведена коренная модернизация, обеспечившая многократное повышение ее эффективности. В 1980–1990-е она оставалась средством исследования режимов наряду с вычислительной техникой, а в последующем (до настоящего времени) продолжает использоваться при испытаниях и разработке различных автоматических систем. ЭДМ насыщалась современной электронной аппаратурой, введена автоматизированная система управления, таким образом ЭДМ превратилась в цифро-аналого-физический комплекс (ЦАФК), сохраняя свою востребованность.

2. Вычислительный центр на базе ЭВМ «Минск-14» был создан в конце 1960-х в составе лаборатории электрических систем. Со временем этот центр стал общеинститутским и использовался в сочетании с другими исследовательскими комплексами (ЭДМ, Высоковольтный комплекс и др.) с предельной загрузкой вплоть до появления и распространения персональных компьютеров. Следующим шагом в использовании вычислительных средств было появление специализированного комплекса (*RTDS*), постепенное его наращивание и совершенствование.

3. Физическая и математическая модели ППТ использовались при исследовании влияния ППТ Экибастуз – Центр, в том числе с учетом возможности управления ее мощностью на режимы и устойчивость энергосистемы. При испытании на физической модели аппаратуры Выборгской вставки постоянного тока выявлен и устранен целый ряд дефектов, что обеспечило возможность беспроблемного включения первого преобразовательного блока ВПТ в составе связи СССР – Финляндия.

4. Цифровая модель ППТ предназначалась для исследований и испытаний аппаратуры систем регулирования, автоматики и защиты, исследования эффективности систем компенсации реактивной мощности и фильтрации гармоник и других вопросов проектирования и эксплуатации ППТ и ВПТ.

3.2. Основной центр исследования режимов сложных энергосистем

Начиная с 1950-х на ЭДМ, а затем в сочетании с расчетами на ЭВМ, выполнялись предпроектные комплексные исследования режимов и устойчивости на разных стадиях развития ОЭС Северо-Запада, Средней Волги, Урала, Сибири, Средней Азии и ЕЭС СССР, а также крупных энергообъектов. Результаты этих исследований легли в основу проектов, обеспечивающих создание и развитие энергосистем во второй половине двадцатого века. Основные преимущества расчетов на ЭДМ по сравнению с расчетами с использованием расчетных столов и аналоговых ЭВМ заключалось в том, что скорость и точность расчета не зависит от сложности модели исследуемого объекта. При этом подробность модели объекта исследования определяется лишь наличием в арсенале элементов модельного оборудования.

3.3. Организация Всесоюзных совещаний по устойчивости и надежности энергосистем

По инициативе НИИПТ под эгидой Всесоюзного общества энергетиков и работников электротехнической промышленности и Главного технического управления Минэнерго СССР в 1960–1980-е годы раз в 4 года проводилось Всесоюзное совещание по устойчивости и надежности энергосистем.

В совещании участвовали представители практически всех основных организаций (НИИ, академические и проектные организации, вузы, эксплуатирующие организации), занимавшиеся вопросами устойчивости и надежности. По итогам Совещаний готовилось решение, в котором отмечались изменения за истекший период и определялись задачи в обеспечении устойчивости и надежности энергосистем. До начала Совещания издавался сборник докладов. Совещания проводились в разных городах страны (Ленинград, Новосибирск, Алма-Ата, Ташкент, Тбилиси, Душанбе). Председателем оргкомитета Совещания был представитель НИИПТ. На НИИПТ возлагались и задачи по подготовке регламента и проекта решения Совещания, подготовке к изданию сборника докладов, включая отбор и редактирование, а также другие организационные вопросы.

3.4. Коррекция автоматических регуляторов возбуждения сильного действия

Исследования АРВ-СД синхронных генераторов на электродинамической модели начались с первых лет существования лаборатории электрических систем. В результате этих исследований и в еще большей степени при анализе материалов, полученных при участии в расследовании аварий, имевших место в 1960-е и 1970-е годы, была выявлена недостаточная эффективность действия АРВ-СД в различных аварийных ситуациях и в некоторых специфических режимах. Для компенсации этих недостатков были предложены мероприятия, корректирующие действия АРВ-СД в зависимости от внешних условий – нелинейная коррекция параметров каналов блока стабилизации, автоматическое управление уровнем напряжения в ходе аварийного процесса и др. Некоторые из этих предложений в виде дополнительных элементов к АРВ-СД были внедрены на нескольких крупных электростанциях в ОЭС Сибири и Средней Азии. В последующем в той или иной форме эти предложения были реализованы практически во всех АРВ-СД.

3.5. Электропередача в Финляндию от выделенного энергоблока Киришской ГРЭС

С использованием результатов разработок НИИПТ в области управления и регулирования возбуждения генераторов была решена проблема обеспечения устойчивой передачи требуемой мощности от энергоблока Киришской ГРЭС в Финляндию по временной схеме, тем самым исключалась неустойка по контракту в связи с задержкой по вине строителей ввода в эксплуатацию первого преобразовательного блока вставки постоянного тока в составе связи СССР – Финляндия.

3.6. Создание и внедрение в ОЭС Урала первой централизованной системы противоаварийного управления

В 1987 году в Объединенной энергосистеме Урала включена в эксплуатацию первая централизованная система противоаварийной автоматики (ЦСПА) – принципиально новая система противоаварийного управления. Алгоритм ЦСПА базировался на специальной методике декомпозиции схемы энергосистемы в текущем режиме и при заданных расчетных аварийных возмущениях, формульной оценке статической устойчивости и других методических решениях, разработанных с использованием опыта исследований различных энергосистем. В первый год эксплуатации

ЦСПА зафиксировано снижение на порядок мощности нагрузки, отключаемой в аварийных ситуациях. За разработку и результат, достигнутый при внедрении ЦСПА, группе разработчиков была присуждена Государственная премия СССР.

3.7. Автоматика ликвидации асинхронного режима (АЛАР-Ц)

До появления АЛАР-Ц устройства подобного рода идентифицировали асинхронный ход, либо давали упреждающую команду при возникновении опасности его появления. Последнее производилось с весьма низкой точностью выявления опасности возникновения асинхронного режима, что приводило к необоснованным разделениям энергосистемы или необоснованной разгрузке сечения.

Основным преимуществом разработанного в НИИПТ цифрового устройства была высокая точность в оценке реально приближающегося асинхронного режима.

В качестве автономного устройства автоматики АЛАР-Ц было внедрено во многих энергосистемах. В последующем алгоритм АЛАР-Ц был модернизирован и включен в общий комплекс средств локальной противоаварийной автоматики и является одной из наиболее существенных частей этого комплекса.

3.8. Исследование режимов и устойчивости энергосистемы Китая

В связи с проектированием крупнейшей в мире ГЭС «Три ущелья» по заказу Минэнерго Китая в НИИПТ были проведены исследования по определению необходимого объема средств обеспечения устойчивости и надежности энергосистемы на этапе ввода в эксплуатацию этой ГЭС. На этом этапе развития энергосистемы предполагался ввод в эксплуатацию нескольких линий электропередачи 1 000 кВ переменного и ± 750 кВ постоянного тока.

Работа выполнялась в основном на ЭДМ, причем это был единственный случай использования практически всего оборудования ЭДМ в одной схеме.

В результате работы были не только определены причины возможных тяжелых аварийных ситуаций и предложен перечень мероприятий по их предотвращению, но и проведено обучение группы сотрудников, в том числе работающих на электродинамической модели для исследовательского центра *CEPRI*, спроектированной и скомплектованной НИИПТ в 1950-е годы.

В общей сложности работа длилась около двух лет и была на тот момент самой крупной в финансовом отношении работой НИИПТ.

3.9. От Лиссабона до Иркутска на одной частоте

Был такой залихватский лозунг в начале 21 века. Для проверки реализуемости этой идеи НИИПТом с группой специалистов западноевропейских энергосистем и институтов было проведено двухстадийное исследование режимов и устойчивости объединенной энергосистемы, включающей ЕЭС России и энергосистемы европейских стран. В результате проведенного исследования была показана принципиальная возможность такого объединения и определены основные требования к его реализации. Но не получилось, хотя в целом работа была очень интересная и полезная (для науки). Получиться и не могло – слишком многое было против такого объединения. В последующем было предложено более реальное объединение с использованием ППТ и вставок постоянного тока, в частности многоподстанционной ППТ Россия –

Белоруссия – Польша – Германия и существовавшей на тот момент ВПТ между энергообъединением европейских стран и бывшей энергосистемой «Мир». Но это предложение запоздало.

3.10. Новая версия ЦСПА

Спустя 20 лет после внедрения первой ЦСПА выполнена разработка новой версии, в которой при сохранении основной идеи исключались вынужденные упрощения и не имеющие строгого обоснования решения. Расширились и функции ЦСПА, в частности алгоритм дополнен определением управляющих воздействий по условиям динамической устойчивости. Все это повысило универсальность ЦСПА и обеспечило возможность успешно использовать его в энергосистемах с различной конфигурацией системообразующей сети. К настоящему времени ЦСПА внедрена во всех ОЭС, за исключением ОЭС Сибири, и является основой в организации системы автоматического противоаварийного управления в ЕЭС России.

3.11. Система мониторинга запаса устойчивости

Идея использования методических решений ЦСПА в системе диспетчерского управления, в той или иной мере, была реализована применительно и к первой ЦСПА. В 2010-е годы эта идея была использована с большей степенью определенности. В результате была разработана самостоятельная система контроля текущего режима с оценкой запаса устойчивости в заданных сечениях энергосистемы (СМЗУ). Программно-технический комплекс СМЗУ внедрен во многих энергосистемах.

СМЗУ позволяет осуществить контроль в текущем режиме запаса устойчивости в определенных сечениях энергосистемы и дает возможность оценки резерва пропускной способности, в том числе с учетом действия системы противоаварийного управления. Все это повышает экономическую эффективность управления режимами энергосистемы.

3.12. Программный комплекс расчета токов короткого замыкания и уставок релейной защиты

Разработан принципиально новый программный комплекс для расчета токов короткого замыкания в энергосистеме и выбора параметров срабатывания релейных защит, реализующий собственные уникальные алгоритмы расчета больших электроэнергетических сетей и механизмы графического редактирования электрической сети – ПВК «АРУ РЗА». Программный комплекс, разработанный с использованием современных информационных технологий, не использует компонент сторонних разработчиков и функционирует под управлением операционных систем Windows и Linux. В 2022 г. ПВК «АРУ РЗА» был введен в промышленную эксплуатацию в АО «СО ЕЭС» в качестве основного средства расчетов токов короткого замыкания и выбора параметров срабатывания релейных защит.

3.13. Организация противоаварийного управления автономных энергосистем

Разработан и внедрен в энергосистеме Калининградской области вариант централизованной противоаварийной автоматики с алгоритмом, учитывающим существенные отклонения частоты в ходе аварийного процесса в энергосистеме. Эта автоматика рекомендуется к внедрению и в других энергосистемах, не имеющих синхронной

связи с ЕЭС, или в случаях низкой надежности таких связей. Имеются в виду прежде всего энергосистемы в северных и восточных регионах России.

3.14. Автоматическая система поддержания резерва вторичного регулирования частоты

Для решения задачи поддержания резервов вторичного регулирования частоты разработана централизованная система автоматического поддержания резервов активной мощности электростанций (АПРАМ), обеспечивающая поддержание требуемого объема вторичных резервов в энергосистеме путем автоматического изменения величины генерации электростанций, участвующих в третичном регулировании частоты, с нормативными скоростями в соответствии с заданным приоритетом. Система также дает рекомендации диспетчерскому персоналу по пуску или останову единиц генерирующего оборудования для обеспечения требуемых объемов третичного резерва активной мощности. В настоящее время система АПРАМ вводится в опытную эксплуатацию в энергосистеме Калининградской области. Программное обеспечение системы полностью отвечает всем требованиям по разработке безопасного отечественного программного обеспечения и функционирует под управлением отечественной операционной системы семейства Linux.

3.15. Слабые межсистемные связи

В начале 1960-х НИИПТ выступил одним из инициаторов в создании единой методической базы оценки надежности в электроэнергетике. Одним из практических аспектов этой проблемы была оценка пропускной способности по условиям надежности слабых межсистемных связей. Были предложены формульные определения предельной передаваемой мощности по межсистемной связи в зависимости от мощностей объединяемых частей энергосистемы с учетом условий частоты и мощности. Методические разработки подтверждались системными экспериментами. В настоящее время оценка пропускной способности связи с учетом нерегулярных колебаний мощности принята в проектной практике (в США в 1960–1970-е связь между частями энергообъединения на переменном токе допускалась при пропускной способности связи не менее 10 % от мощности меньшей из объединяемых частей энергосистемы, этим определяется большое количество вставок постоянного тока).

При проведении упомянутых системных испытаний была подтверждена и предложенная НИИПТ формула волны частоты в ЕЭС.

Методические разработки в области надежности легли в основу докторской диссертации В. А. Андреюка. В дальнейшем эти методики нашли применение в задачах специальной тематики.

3.16. Программный комплекс расчета переходных процессов и устойчивости энергосистем RUSTab

Разработка комплекса проводилась, начиная с 2012 г., причем были учтены все появившиеся к этому времени новые виды оборудования и системы регулирования, автоматики и защиты. В настоящее время это наиболее полный и современный отечественный программный комплекс такого рода. Комплекс прошел обкатку и необходимую доработку применительно к энергосистемам различной конфигурации и принят к использованию в основных проектных и эксплуатационных энергетических организациях, а также в организациях, занятых разработкой новых технических

средств управления режимами, повышения устойчивости и надежности энергосистем. Программный комплекс открыт для дополнения соответствующими новыми модулями.

3.17. Проектный Центр формирования и развития энергосистем

На базе НТЦ ЕЭС создан новый проектный центр формирования и развития ЕЭС России и входящих в нее энергосистем. В центре разрабатываются основные проекты развития энергосистем в соответствии с перспективным планом развития электроэнергетики Российской Федерации. При выполнении проектных работ используются разработанные ранее методические рекомендации. Вместе с тем приходится учитывать появление новых типов электростанций и новых видов потребителей электроэнергии с одной стороны, а также новых средств автоматического противоаварийного и диспетчерского управления – с другой. Меняются требования к надежности и живучести энергообъектов и энергосистемы в целом. Все это требует совершенствования и разработки новых методических рекомендаций и руководящих положений по развитию энергосистем.

Вновь созданный в составе НТЦ ЕЭС центр приступил к разработке новых методических положений, призванных сформулировать новые подходы к решению общей задачи экономической оптимизации развития энергосистем с учетом требований надежности в изменяющихся условиях развития экономики и появления новых технических средств.

Разработка новой методической базы в сочетании с практическим проектированием создает основу для создания новой научно-технической школы формирования и развития энергосистем и энергообъединений.

В своей деятельности этот центр может использовать опыт проектных работ, в том числе и сотрудников других подразделений НТЦ ЕЭС в области повышения устойчивости и надежности энергосистем.

Кощеев Лев Ананьевич, д-р техн. наук, профессор, научный руководитель Научно-технического центра Единой энергетической системы (АО «НТЦ ЕЭС»).

E-mail: ntc@ntcees.ru