

## 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 Подмоскowie 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  $\pm 100$  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 вентилях 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 вентилях предназначались для исследования физических характеристик ртутных вентилях ППТ Кашира – Москва и Волгоград – Донбасс, а затем тиристорных вентилях 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 репарациям 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 вентилях, 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  $\pm 400$  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  $\pm 750$  кВ, 6 000 МВт протяженностью 2400 км Экибастуз – Центр с преобразователями на ртутных вентилях с последующим перепроектированием на использование тиристорных вентилях. 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 ВПТ 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 квадрупольной 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 предТЭО.

### **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 электропередачи 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 НТЦ 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 – НТЦ 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  $\pm 750$  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  $\pm 750$  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 повива 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 общеплановым и использовался в сочетании с другими исследовательскими комплексами (ЭДМ, Высоковольтный комплекс и др.) с предельной нагрузкой 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 испытаниях на физической модели аппаратуры Выборгской вставки постоянного тока выявлен и устранен целый ряд дефектов, что обеспечило возможность бесперебойного 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 заключались в том, что скорость и точность расчета не зависят 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 разделением 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  $\pm 750$  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.

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

E-mail: ntc@ntcees.ru