

УДК 621.311 (091)

*Редакционная коллегия сборника*

## **СТАНОВЛЕНИЕ И РАЗВИТИЕ ТЕМАТИКИ СИСТЕМНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ В НИИПТ**

---

### **Лаборатория – отдел электрических систем НИИПТ**

В ноябре 1953 г. в НИИПТ была создана лаборатория электрических систем (ЛЭС). Первоначально коллектив ЛЭС составили бывшие фронтовики Ю. А. Розовский, Е. А. Марченко, П. З. Салита, Г. И. Поляк, Б. Н. Баулин, В. Р. Белоусов, А. Н. Быковский. Кроме них в лаборатории работали к.т.н. В. В. Андреев, инженеры Л. Н. Лебедев, И. А. Косова, А. А. Глебовская, электромеханик Ю. П. Теллинен и несколько человек вспомогательного персонала.

Возглавил лабораторию, после кратковременного пребывания на этой должности Н. М. Мельгунова и П. Д. Кижаяева, П. З. Салита, прекрасный организатор, уделявший много внимания подбору кадров и развитию принципов коллективизма. Научное руководство лабораторией с 1954 г. осуществлял единственный после ухода В. В. Андреева кандидат технических наук Ю. А. Розовский, диссертация которого, защищенная в ЛЭТИ еще до прихода в НИИПТ, была посвящена вопросам управления возбуждением генераторов с целью повышения уровня устойчивости электропередачи.

В 1954 г. в лабораторию пришли В. А. Андреюк и Ю. Д. Садовский, в 1955 г. – Л. А. Кошечев. Эти трое и Е. А. Марченко, который в 1956 г. стал вторым остепененным сотрудником лаборатории, постепенно взяли на себя роль руководителей основных направлений деятельности ЛЭС. В последующие 3–4 года лаборатория пополнилась группой молодых специалистов, пришедших по распределению из ЛПИ (Р. К. Шайхулин, Ю. И. Яргомский, И. А. Гордон, Г. В. Кириенко) и специалистами, уже по несколько лет отработавшими на производстве (Д. П. Дижур, Р. Г. Тужик, Б. М. Шмелькин, М. А. Гусаковская, А. И. Кошелев, Е. Ф. Арзамасцев, А. Г. Аханов и др.). Пополнение распределялось по группам, которые возглавлялись «старожилами» Е. А. Марченко, Г. И. Поляком, В. А. Андреюком, Ю. Д. Садовским, Л. А. Кошечевым.

Несколько позже пришел еще ряд молодых специалистов, которые в дальнейшем стали ведущими сотрудниками лаборатории (отдела), это В. Н. Токова (1960), В. А. Шлайфштейн (1961), П. Я. Кац, Г. Б. Гофман, Е. М. Федоркова (1962), В. Л. Невельский, Л. М. Левит (1963), Н. С. Ска-



Коллектив лаборатории электрических систем (1966 г.)

зыбаева, Н. А. Мичурин (1964), Т. А. Гущина (1965), М. А. Эдлин (1972), И. А. Богомолова, А. В. Черкасский (1973), А. С. Зеккель (1974), А. Х. Есипович, В. Д. Науменко (1977), А. С. Герасимов (1997).

Во главе отдела на протяжении длительных периодов его существования стояли П. З. Салита (1955–1964), Е. А. Марченко (1964–1972), Л. А. Кошечев (1972–1988), А. С. Зеккель (1988–2006), с 2010 г. – А. С. Герасимов.

Большое влияние на становление научного коллектива ЛЭС оказал профессор Николай Николаевич Щедрин, который был научным консультантом НИИПТ (так называлась его должность). Он основал и был первым главным редактором «Известий НИИПТ», всячески способствовал расширению тематики НИИПТ в сторону переменного тока, помогал молодым сотрудникам в определении научных направлений. Ему принадлежала идея организации научной секции электрических систем, к работе которой привлекались тогда еще молодые ученые ЛПИ – М. Л. Левинштейн, О. В. Щербачев, И. А. Груздев. Некоторое время этой секцией руководил будущий академик И. А. Глебов. На секции выступали аспиранты, в том числе будущий академик Ю. Н. Руденко, В. Р. Окоороков и другие специалисты в области режимов и устойчивости энергосистем.

Н. Н. Щедрин всячески поощрял В. А. Андреюка, имевшего хорошую математическую подготовку и вкус к теоретическим исследованиям, взяться за непосредственное применение теории Ляпунова к решению практических задач, а затем и теории вероятности для решения задач надежности в электроэнергетике. В результате В. А. Андреюк стал одним из наиболее известных в СССР специалистов в этих областях. Ю. Д. Садовского и Л. А. Кошечева Н. Н. Щедрин поощрял к овладению теорией автоматического управления и регулирования и практической реализации ее в задачах противоаварийного управления и противоаварийной автоматики в энергосистемах – в то время новых направлениях, суливших большие перспективы в теории и практике развития больших электроэнергетических систем.

### **Электродинамическая модель**

В 1950–1960-е годы, за неимением ни аналоговой, ни тем более цифровой вычислительной техники, наиболее эффективным средством исследований в электроэнергетике являлось физическое моделирование. В связи с этим в качестве основы научно-исследовательской деятельности лаборатории стала электродинамическая модель (ЭДМ), создание которой в НИИПТ началось еще до образования лаборатории на базе модельных генераторов 15 и 30 кВт. С образованием лаборатории начались

их испытания, а также работы по системам возбуждения, оборудованию линейно-подстанционной части, моделированию нагрузок, разработке модели передачи постоянного тока, агрегата питания и т. д.

Указанных двух типов модельных генераторов было недостаточно для отображения энергосистем, в связи с чем интенсивно велись работы по развитию ЭДМ: разрабатывались и вводились в строй новые модельные агрегаты меньшей мощности, велись разработки по созданию усовершенствованных силовых элементов модели и ее систем управления. В этих работах принимала участие большая часть сотрудников лаборатории. Неоценимую помощь оказал профессор ЛПИ А. И. Важнов, под руководством которого И. А. Гордон, а в дальнейшем присоединившиеся к ним Г. А. Гофман и Н. А. Мичурин, разработали целую гамму новых модельных генераторов и трансформаторов.

В 1957 г. ЭДМ посетил лорд Ситрин, представлявший парламентскую комиссию по электроэнергетике Великобритании. Ему была продемонстрирована электропередача с подпорным синхронным компенсатором, теоретически обоснованная английским инженером Баумом, в режиме искусственной устойчивости с углом по линии, существенно превышающим 90 градусов.

ЭДМ продолжала расширяться и требовала к себе особого внимания. Появилась необходимость выделения специальной службы и назначения руководителя ЭДМ. Первым руководителем стал Е. Ф. Арзамасцев, затем А. Н. Быковский. В 1964 г. эту должность занял и исполнял в течение многих лет Валерий Николаевич Преображенский, который с 1972 г. совмещал ее с должностью заместителя заведующего лабораторией, отделом. С 1986 г. по 2010 г. руководителем ЭДМ был Н. А. Мичурин, в настоящее время эту должность исполняет В. В. Дегтярев. В группу обслуживания ЭДМ входили электромеханики высочайшего класса Ю. П. Теллинен и А. Г. Аханов. Была специальная группа под руководством В. Р. Белоусова, которая разрабатывала электронные устройства для ЭДМ и для реализации разных изобретательских идей.

В течение многих лет и по настоящее время в группе обслуживания ЭДМ работают высококвалифицированные специалисты М. А. Булыгина, Г. Г. Горячева, Е. М. Макарова, И. О. Иволга и другие, которые обеспечивают безотказное функционирование этой уникальной исследовательской установки.

В 1950–1960-е годы ЭДМ использовалась как инструмент исследования и как наиболее эффективное средство для анализа нормальных режимов и особенно переходных процессов в энергосистемах. Полученные результаты непосредственно использовались проектными организациями при проектировании развития энергосистем и эксплуатационными – при

оценке текущих и планируемых эксплуатационных режимов. Разрабатывались предложения по комплексам противоаварийной автоматики, которые стали входить обязательным разделом в проекты развития энергосистем.

В ходе исследований на ЭДМ и теоретических разработок были обнаружены многие взаимосвязи и закономерности, свойственные большим энергообъединениям («волна частоты», роль регуляторов «до себя», особенности поведения сверхдальних передач при динамических возмущениях, использование ППТ для повышения устойчивости энергосистем и др.). Были введены новые понятия, которые в дальнейшем получили широкое распространение, например, понятие «опасное сечение» в энергосистемах (первое упоминание в открытой печати – статья А. А. Глебовской, Л. А. Кошечева, Ю. Д. Садовского в «Электрических станциях» № 9 за 1972 г.).

При исследованиях на ЭДМ под руководством Ю. Д. Садовского была выявлена серьезная проблема взаимного влияния первых передач 500 кВ Куйбышев – Москва и Волгоград – Москва. Этой проблемой заинтересовался и принял участие в исследованиях один из наиболее известных в стране режимщиков д.т.н. С. А. Совалов (ЦДУ ЕЭС). Частыми гостями на ЭДМ были главный инженер ОДУ Северо-Запада М. Я. Вонсович, начальник Главтехуправления Ф. И. Синчугов, многие специалисты «Энергосетьпроекта» (Б. И. Иофьев, И. З. Глускин и др.), отдельных энергосистем и электростанций. Главный инженер Братской ГЭС И. С. Глухов после завершения работ на ГЭС в течение нескольких лет работал в ЛЭС.

В настоящее время ЭДМ НИИПТ насчитывает 67 модельных синхронных генераторов, в то время как в 1956 г. их было всего 6. Модель включает 80 узлов нагрузки, 41 группу линейных трансформаторов, 8 тиристорных преобразователей ППТ, 3 преобразователя на полностью управляемых вентилях, 240 ячеек линий электропередачи переменного тока.

За годы своего существования модель претерпела качественные изменения. Новые конструктивные решения по оборудованию модели базировались на глубоких научных проработках, свидетельство тому – диссертационные работы И. А. Гордона (1964), Г. Б. Гофмана (1972). Модель дважды, в 1964 и 1989 гг. подвергалась кардинальной перестройке с целью повышения ее эффективности при проведении массовых исследований. В том и другом случае как разработка этих мероприятий, так и руководство огромным объемом работ по их осуществлению выполнялись к.т.н. Ю. Д. Садовским. Значительную работу по автоматизации ЭДМ провел В. Д. Науменко. Основные положения АСУ ЭДМ составили его диссертационную работу (1984).

В последние годы функции электродинамической модели существенно изменились, вопросы исследований устойчивости больших энергосистем перешли от ЭДМ к цифровым вычислительным комплексам, сама же она превратилась в мощный цифро-аналого-физический комплекс (ЦАФК) – полигон, располагающий уникальными возможностями для испытаний на функционирование, наладки и настройки головных образцов микропроцессорных устройств управления, регулирования, защиты и противоаварийной автоматики в условиях, максимально приближенных к условиям будущей эксплуатации. ЦАФК остается незаменимым и при исследовании поведения новых, еще недостаточно изученных систем, таких как сеть постоянного тока, объекты, выполненные на основе преобразователей напряжения и т. п.

Не обошло ЛЭС и увлечение аналоговыми ЭВМ. Такая вычислительная система была создана под руководством В. Р. Белоусова. Однако сопоставительные исследования показали практически полное превосходство ЭДМ, и реальное использование вычислительной техники было отложено до появления цифровых ЭВМ.

На протяжении довольно продолжительного времени в масштабах существования отдела между тем периодом, когда никакими вычислительными машинами отдел не располагал, и современным состоянием дел, когда каждый сотрудник имеет на своем столе персональную ЭВМ, в составе лаборатории был создан вычислительный центр на базе ЦВМ Минск-14, который возглавил Д. П. Дижур, а затем – Е. М. Федоркова. Под руководством Д. П. Дижур на этапе приобщения сотрудников лаборатории к вычислительной технике были проведены исследования, возможно и не оригинальные в мировой практике, но очень важные для освоения расчетов режимов и, особенно, оценки устойчивости сложных энергосистем. Постепенно вычислительный центр стал обслуживать весь институт, перешел на трехсменный график работы. Персонал центра до его выделения из отдела составлял треть общей численности отдела.

### **Направления исследований**

В 1950-е годы в СССР были школы мирового уровня в области режимов и устойчивости электроэнергетических систем и управления ими. В этих областях работал ряд выдающихся ученых – А. А. Горев, П. С. Жданов, А. М. Маркович, В. А. Веников, А. М. Федосеев. Эти школы существовали при ВУЗах и организациях АН СССР.

В 1960-е годы началось и продолжилось в 1970-е интенсивное развитие электроэнергетики. Были построены крупнейшие электростанции, освоены новые классы напряжения, наконец, создана ЕЭС СССР. Это развитие подкреплялось столь же интенсивным развитием энергомаши-

ностроительной и электротехнической промышленности. При реализации этих планов потребовалось решение многих практических и научных задач. Началось быстрое развитие отраслевых НИИ: ВТИ, ВЭИ, ЦНИЭЛ (затем ВНИИЭ), НИИПТ, СибНИИЭ, Энергосетьпроект и др. Вскоре эти организации стали основными при решении научно-практических задач электроэнергетики.

В 1960-е годы ЛЭС НИИПТ устанавливает тесные связи с эксплуатационными (Главтехуправление, ЦДУ, ОДУ), проектными (Энергосетьпроект, Гидропроект) и исследовательскими (институт Электромеханики, ВНИИЭ, СибНИИЭ, ВТИ, ЦКТИ, СЭИ) организациями. Многие специалисты этих организаций были соавторами разработок НИИПТ (Ф. И. Синчугов, С. А. Совалов, В. А. Семенов, Г. Р. Герценберг, Б. П. Мурганов, Б. И. Иофьев и др.).

**Устойчивость и надежность энергосистем.** Постоянной проблематикой ЛЭС было научное сопровождение процесса развития энергообъединений ЕЭС СССР в части вопросов устойчивости, надежности и живучести. С этой целью для проведения работ на электродинамической модели были созданы группы, специализирующиеся на тех или иных энергообъединениях: Северо-Запада, Урала, Сибири, Средней Азии. Исследования этих ОЭС, а затем и ЕЭС СССР в целом на протяжении 1960–1980-х годов были постоянной составляющей в работе лаборатории (отдела). НИР по этой тематике, как правило, были направлены на оценку тех или иных предложений по развитию ОЭС и ЕЭС, разработку рекомендаций по повышению уровня устойчивости за счет схемных решений и применения различных мероприятий, прежде всего, противоаварийной автоматики.

Проводились исследования процессов при возникновении нерасчетных небалансов мощности в ЕЭС и мероприятий по сохранению живучести.

Сотрудники отдела были постоянно в курсе перспективных планов развития энергосистемы страны. Участие в работах, способствующих выполнению этих планов, привлекало к сотрудничеству ряд проектных организаций – Ленинградский и Московский ТЭП (затем – Энергосетьпроект), Гидропроект; энергосистемы – прежде всего, Ленэнерго; все ОДУ и ЦДУ.

Сотрудники ЛЭС по распоряжению Главтехуправления регулярно привлекались к участию в комиссиях по расследованию системных аварий и проведению системных экспериментов. Это повышало квалификацию сотрудников и давало богатый материал для совершенствования методик и технических средств (особенно при воспроизведении и исследовании на ЭДМ аварийных ситуаций и результатов натуральных экспериментов).

На определенном этапе в отделе электрических систем был проведен большой объем методических работ по надежности энергосистем. В работах В. А. Андреюка, Е. А. Марченко, Ю. Д. Садовского, Л. М. Левита были разработаны методы оценки устойчивости при случайных эксплуатационных возмущениях, предельных перетоках мощности по слабым межсистемным связям, методика оценки рисков развития аварии при потере устойчивости. Методические разработки и практические рекомендации, полученные в ходе этих НИР, явились основой для докторской диссертации В. А. Андреюка (1986 г.) и кандидатских диссертаций Ю. Д. Садовского (1966 г.) и Л. М. Левита (1970 г.).

Результаты этих работ были использованы в ведомственных руководящих документах и при разработке рекомендаций по режимам и использованию средств противоаварийной автоматики в конкретных предпроектных работах и исследованиях эксплуатационных режимов энергосистем. Был предложен и практически выполнялся ежегодный анализ надежности ЕЭС на ближайших этапах ее развития, целью которого была разработка рекомендаций по ранжированию эффективности вводов того или иного энергетического оборудования, разработан специальный программно-вычислительный комплекс. Результаты этой работы регулярно обсуждались в ЦДУ ЕЭС с участием С. А. Савалова и В. А. Семенова, а также использовались при составлении планов ввода новых ЛЭП Сетевой комиссией Минэнерго СССР.

Лаборатория обрела все большую известность в стране. Начиная с 1964 г. начали проводиться регулярные совещания по надежности и устойчивости энергосистем. В этих совещаниях принимали участие все известные специалисты в данной области и каждое из них было событием, а сборники трудов совещания представляли собрание наиболее значимых работ, выполненных в институтах и эксплуатационных организациях за период между совещаниями. Председателем оргкомитета всех совещаний был заведующий ЛЭС НИИПТ. Первое совещание было проведено в Ленинграде, последующие – в разных городах страны: Новосибирске, Алма-Ате, Тбилиси, Ташкенте, Фрунзе. Живое общение между ведущими специалистами давало импульс для формирования новых идей и подходов.

Большой объем исследований для проектных и эксплуатационных организаций побуждал не только к совершенствованию ЭДМ, но и к поиску расчетных методов, обеспечивающих ускоренное выполнение расчетов режимов и оценки устойчивости в сложных энергосистемах. Различные приемы и методы подобных расчетов нашли отражение в работах И. А. Богомоловой, в диссертациях Б. И. Шмелькина (1977 г.) и А. С. Герасимова (2002 г.).



**Регулирование возбуждения генераторов.** В 1956 г. был начат цикл работ по вопросам «сильного» регулирования возбуждения генераторов. Эти работы проводились на электродинамической модели при непосредственном участии лауреата Ленинской премии Г. Р. Герценберга (ВЭИ им. В. И. Ленина). В лаборатории работами руководил Ю. А. Розовский, а после его ухода из института в 1960 г. – Л. А. Кощев.

На начальном этапе исследований помимо регуляторов ВЭИ испытывались и другие регуляторы. Испытания были проведены в 1956 г. Ю. Д. Садовским с участием В. Е. Каштеляна (Институт электромеханики). Одновременно проводились теоретические разработки В. А. Андреюком с участием Р. К. Шайхулина, по материалам которых В. А. Андреюк защитил кандидатскую диссертацию.

По результатам работ на ЭДМ были даны рекомендации по усовершенствованию и применению регуляторов сильного действия на крупнейших ГЭС и ТЭС. Молодые сотрудники лаборатории участвовали также в настройке и системных испытаниях регуляторов на электростанциях, приобрели опыт и почувствовали вкус к решению важных практических задач.

Интересным и смелым было предложение Ю. А. Розовского, характеризующее связи лаборатории с энергосистемами. В 1957 г. в Ленэнерго была подготовлена искусственная схема с последовательным соединением ВЛ 110 и 220 кВ, имитирующая дальнюю электропередачу с промежуточным присоединением, в роли которого выступали два гидрогенератора XI ГЭС. Один из генераторов был оснащен специально доставленным на ГЭС регулятором «сильного» действия. Испытаниями в целом руководил А. И. Казачков, который в то время был руководителем диспетчерской службы Ленэнерго и по совместительству сотрудником ЛЭС НИИПТ.

Опыт проведения этих испытаний был в 1979 г. успешно использован при создании схемы, имитирующей электропередачу от генератора Киришской ГРЭС в Финляндию, для испытания разработанной в ЛЭС системы регулирования возбуждения, обеспечивающей устойчивость этой передачи.

Необходимость передачи диктовалась задержкой с вводом вставки постоянного тока и угрозой штрафных санкций. Штатная система возбуждения не позволяла обеспечить устойчивость передачи. Для полной ее замены не было ни времени, ни возможности. Сотрудниками лаборатории было предложено и реализовано усовершенствование АРВ, причем частично использовалась разработка, ранее выполненная и реализованная на Братской ГЭС. Основной принцип, положенный в основу этой разработки, заключается в управлении настройкой АРВ по условиям режима энергосистемы.

Устройства на базе этого принципа, а также способ регулирования возбуждения с нелинейными передаточными функциями по каналам стабилизации внедрены на ряде объектов, закреплены авторскими свидетельствами (И. А. Гордон, Л. А. Кощев – 1970 г. и Л. А. Кощев – 1971 г.) и в настоящее время в различных модификациях используются практически во всех АРВ.

Исследования, связанные с различными аспектами проблемы регулирования возбуждения синхронных машин, на многие годы закрепились в тематике отдела. В 1970-е годы это направление возглавил А. С. Зеккель. Этой тематике посвящена его докторская диссертация (1989 г.), а также кандидатские диссертации В. Л. Невельского (1973 г.), А. В. Черкасского (1981 г.), М. А. Эдлина (1983 г.), А. Х. Есиповича (1986 г.), Д. В. Сорокина (2009 г.).

К этой тематике в той или иной мере относятся и работы, связанные с исследованием режимов асинхронизированных синхронных машин, устойчивости передачи постоянного тока при «слабом примыкании» к энергосистеме, анализом эффективности новых устройств компенсации реактивной мощности и несинхронного объединения энергосистем и др.

Для решения практических задач в отделе была разработана специальная методика и программа для исследования и автоматизации выбора настроек регуляторов возбуждения для генераторов конкретных электростанций. Эта методика наряду с использованием физического моделирования обеспечивает возможность выполнения большого объема работ отдела по заказам производителей оборудования, наладочных и эксплуатационных организаций.

**Противоаварийная автоматика.** Одним из ведущих направлений деятельности ЛЭС стали исследования и разработки противоаварийной автоматики (ПА) энергосистем.

Определение технических требований и технических решений по комплексам противоаварийной автоматики было составной частью большинства предпроектных и внестадийных разработок по развитию отдельных энергообъектов, энергосистем ОЭС и ЕЭС в целом. Некоторые результаты этих работ были включены в кандидатские диссертации Л. А. Кошечеева (1965 г.) и Б. И. Шмелькина (1977 г.).

Наряду с этими работами выполнялись НИР, направленные на исследование и разработку отдельных устройств и систем ПА. Был выполнен значительный объем исследований различных устройств электрического торможения генераторов. Проведено несколько этапов сопоставительных исследований различных предложений и технических решений по реализации импульсной разгрузки и ограничения мощности турбины, разработанных в ЛМЗ, ВТИ, ЦКТИ и др. Выполнены исследования эффек-

тивности способов форсировки мощности турбин. Впервые проведены системные испытания на Киришской ГРЭС способа форсировки путем перекрытия клапанов отбора пара на регенерацию, для чего на одном из агрегатов был смонтирован специальный клапан, разработанный в ЦКТИ. По результатам этих исследований были разработаны рекомендации по применению этих видов автоматики.

Исследования на ЭДМ различных устройств выявления и ликвидации асинхронного режима инициировали разработку качественно нового устройства – АЛАР-Ц (работа выполнена под руководством М. А. Эдлина). В настоящее время АЛАР-Ц является наиболее совершенным устройством этого вида и внедрено во многих энергосистемах.

Исследования режимов и устойчивости развивающихся ОЭС и ЕЭС указывали на необходимость организации централизованного управления в аварийных режимах. Разработка и реализация этой идеи в НИИПТ прошла несколько этапов. На начальных этапах разработка проводилась совместно с Энергосетьпроектом (Б. И. Иофьев). Однако в последующем Энергосетьпроект сосредоточился на разработке, в основе которой был так называемый принцип ПДО, а в НИИПТ началась разработка на основе принципа ИДО, успех реализации которого в то время был значительно более проблематичен.

Апогеем этого направления стала разработка и внедрение в ОЭС Урала централизованной адаптивной системы противоаварийного управления энергообъединением (ЦСПА), группа разработчиков которой, в том числе Л. А. Кошечев, Ю. Д. Садовский, П. Я. Кац и И. А. Богомолова, была удостоена Государственной премии СССР за 1991 год. Результаты этой работы вошли составной частью в докторскую диссертацию Л. А. Кошечева (1988 г.). Работа выполнялась в тесном контакте, практически единой группой с сотрудниками ОДУ Урала (Е. А. Мошкин, А. Т. Демчук, Е. Б. Короткин и др.) и при участии специалистов ЦДУ ЕЭС СССР (А. А. Окин, В. А. Семенов).

Наиболее существенные трудности создания ЦСПА были связаны с необходимостью выполнения цикла расчетов для всех расчетных аварийных возмущений за время, в течение которого можно не считаться с изменениями режима энергосистемы, в связи с чем пришлось использовать методы расчета, предполагающие серьезные допущения. При этом оценка устойчивости проводилась без учета или при очень грубом учете динамики.

Через 20 лет успешной эксплуатации ЦСПА по заказу ОАО «СО ЕЭС» была начата работа по созданию новой версии ЦСПА, алгоритм которой предполагает использование классических методов расчета режима и оценки статической устойчивости, а также включает выбор управляющих

воздействий по условиям динамической устойчивости. Эта работа близится к своему завершению.

В последнее время также по заданию ОАО «СО ЕЭС» была разработана Концепция развития противоаварийной автоматики в ЕЭС России. Разрабатываются предложения по совершенствованию некоторых устройств ПА, предложены новые виды автоматики предотвращения развития аварии из-за потери устойчивости синхронных двигателей нагрузки, ликвидации колебаний в энергосистемах и опасности возникновения асинхронного режима в специальных схемах и др.

**Передачи постоянного тока.** Большое место в работах лаборатории, являющейся частью НИИ постоянного тока, занимали исследования системных аспектов применения передач и вставок постоянного тока.

Исследование на ЭДМ режимов ППТ выявило существенное влияние условий притыкания ППТ к сети переменного тока на устойчивость их работы. В результате была разработана аналитическая методика оценки устойчивости электропередач постоянного тока.

Базой для регулярных исследований стала математическая модель передачи постоянного тока и притыкающих энергосистем. Эта модель, разработанная Д. П. Дижуром и затем неоднократно усовершенствованная им с привлечением других сотрудников, впервые позволила представить переходные процессы в ППТ и притыкающих энергосистемах во всей их сложности.

Вначале перед отделом электрических систем ставилась задача выполнить необходимые системные исследования в связи с проектированием ППТ Экибастуз – Центр. Еще задолго до начала проектирования этой ППТ были предложены и исследованы (Г. И. Поляком) возможности использования ППТ для повышения устойчивости энергосистемы. Предполагалось развить эту идею для дополнительного обоснования ППТ. Однако системные исследования вышли далеко за эти рамки. Были разработаны требования по условиям устойчивости ППТ к управлению источниками реактивной мощности, определены соответствующие ограничения и даны рекомендации как в общем виде, так и для конкретной ППТ. По результатам этих работ подготовлены кандидатские диссертации В. А. Шлайфштейна (1971 г.), П. Я. Каца (1973 г.), Д. П. Дижура (1978 г.).

Совместно с другими отделами НИИПТ была разработана Концепция применения передач постоянного тока внутри ЕЭС и для связи с зарубежными энергосистемами, определены области рационального применения линий электропередачи постоянного и переменного тока разных классов напряжения, изучены особенности работы объектов постоянного тока, выполненных на базе преобразователей напряжения (В. А. Шлайфштейн и др.).

В середине 1980-х годов впервые на электродинамической модели была воспроизведена трехподстанционная ППТ и ППТ с преобразователями напряжения. Получены первые результаты оценки поведения этих практически неизученных энергообъектов в нормальных и переходных режимах энергосистемы.

Многие из перечисленных работ проводились во взаимодействии с отделом постоянного тока. Это взаимодействие обеспечивало всесторонний охват проблемы ППТ и готовность к решению комплексных задач применения техники постоянного тока.

### **Системная тематика в НИИПТ в новых экономических условиях**

В 1990-е годы развитие ЭЭС практически прекратилось, резко снизился и интерес к НИР, связанным с этой тематикой. Одной из возможностей зарабатывания денег, сохранения коллектива и лабораторной базы было участие в международных проектах и других формах деятельности, оплачиваемых из международных фондов и фондов отдельных зарубежных организаций и фирм. По системной тематике проводились исследования и разрабатывались рекомендации по многоподстанционным ППТ Россия – Белоруссия – Польша – Германия и Россия – Белоруссия – Прибалтика – Польша – Германия, развитию и противоаварийной автоматике Единой энергосистемы Китая, ППТ от Якутских ГЭС в Японию, ППТ Сахалин – Япония, ППТ от Камбаратинских ГЭС в Пакистан, ППТ Братск – Пекин, Балтийское кольцо и развитие Северо-Западного энергообъединения России. Была выполнена оценка относительной эффективности ВЛ 1150 кВ и ППТ  $\pm 750$  кВ, использования оборудования ВПТ Дюрнроп для организации несинхронной связи с УСТЕ, синхронной связи ЭЭС с энергосистемами Западной Европы, предложена и исследована так называемая шина постоянного тока от Братска до Тихого океана и др.

Степень участия сотрудников отдела в этих работах была различна. В некоторых из этих работ принимали участие и другие подразделения института. В 2000-е годы работы такого рода еще оставались, в частности, сотрудничество с Трахтебель, синхронная связь ЭЭС – УСТЕ, программа «Пегас». Однако значимость этой тематики постепенно сходит на нет, прежде всего, ввиду повышения интереса к работам по развитию ЭЭС, противоаварийной автоматике и другим традиционным направлениям деятельности отдела со стороны российских организаций.

Постепенное восстановление объема потребления в ЭЭС России побуждает к созданию новых генерирующих мощностей и модернизации действующих электростанций, обостряется проблема наиболее эффективных схем выдачи мощностей и развития электрических связей разных

уровней, повышаются требования к надежности, появляется интерес к совершенствованию систем противоаварийной автоматики, устройств регулирования и управления.

В 2005 г. из состава отдела в самостоятельную группу, затем – лабораторию и, наконец, – отдел выделяется тематика противоаварийной автоматики. Разрабатывается новая концепция развития противоаварийной автоматики в ЕЭС России, начинается разработка ЦСПА нового поколения, разрабатываются предпроектные предложения по модернизации комплексов ПА различных энергорайонов. Руководителем отдела в настоящее время является А. А. Лисицын.

В 2008 г. под руководством к.т.н. В. П. Вагина создается отдел перспективного развития энергосистем, который в течение нескольких лет превращается в один из центров решения практических задач развития энергосистем, связанных с вводом новых мощностей и модернизаций действующих электростанций. В отделе разработана и ежегодно актуализируется базовая расчетная модель для исследования режимов всех ОЭС и ЕЭС России в целом. В течение трех лет разработаны предложения по схемам выдачи мощности более десяти электростанций, проведены исследования перспективных схем на определенных этапах развития ОЭС Северо-Запада и другие работы, но главное – создан дееспособный коллектив (более 30 человек), готовый к решению любой задачи этой тематики.

В составе отдела электрических систем осталась электродинамическая модель (ЦАФК) и исследовательская лаборатория, занятая совершенствованием математических моделей для исследования переходных режимов в энергосистемах любого уровня, включая объединение ЕЭС и энергосистем европейских стран. Проводятся исследования эффективности новых элементов энергосистем и систем управления и мониторинга.

На электродинамической модели организована регулярная работа по исследованию новых отечественных и зарубежных устройств регулирования возбуждения генераторов, станционных систем управления активной и реактивной мощностью и другой аппаратуры, а во многих случаях и выбор с использованием оригинальной методики настройки АРВ для конкретных объектов. За последние годы проведены исследования и даны конкретные рекомендации более чем по 40 устройствам и комплектам аппаратуры. Были проведены исследования преобразовательных устройств на базе полностью управляемых клапанов, областей использования асинхронизированных генераторов и др.

В целом за последние 10 лет системная тематика в институте по численности персонала и объему выполняемых работ стала основной. При этом подразделения института других направлений – высоковольтной

техники, ППТ и преобразовательной техники и АСУ – во многих случаях включаются в работы по системной тематике, выполняя соответствующие разделы этих работ. С другой стороны, в работах по ППТ, исследованию других объектов новой техники, как правило, содержится системный раздел, качество разработки которого во многом определяет судьбу того или иного технического предложения.

Наряду с увеличением объема работ по системной тематике произошли изменения и в характере этих работ. Эти изменения связаны с изменением условий финансирования НИР. Начиная с 1990-х годов собственно НИР постепенно замещались проектно-инжиниринговыми работами. Инжиниринговые работы – в основном, предпроектные исследования – и в 1970–1980-е годы составляли значимую часть объема работ института по системной тематике. К настоящему времени эти работы стали основными. Практически полностью исчезли поисковые (задельные) НИР. Единственной крупной НИР по заказу ОАО «СО ЕЭС» является разработка ЦСПА нового поколения.

В последнее время декларируется возобновление инновационной деятельности научно-исследовательских организаций. Это дает надежду на пробуждение интереса, прежде всего, у молодых специалистов к научно-исследовательской работе. Однако реальное переключение значительной части сотрудников на выполнение исследовательских работ требует немало времени.