

## Научная школа НИИПТ – НТЦ ЕЭС

---

Представлена история создания школы системных исследований в электроэнергетике, основные достижения школы за более чем полвека ее существования.

*Ключевые слова:* научная школа, энергосистема, режимы, устойчивость, надежность, противоаварийная автоматика, регулирование.

Под научной школой подразумевается длительно существующий творческий коллектив, который занят разработкой научных основ и путей практической реализации решений в области крупной научной (научно-технической) проблемы. Состав школы на разных этапах ее существования может изменяться под действием различных факторов. При этом вчерашние «ученики» становятся «учителями», некоторые отдавали школе несколько лет, а многие – всю жизнь. В течение прошедших 68 лет существования в НИИПТ – НТЦ ЕЭС образовались и получили развитие три научные школы, занятые решением комплексных задач в рамках следующих крупных проблем:

- преобразовательная техника и передача электроэнергии постоянным током;
- высоковольтная техника и линии электропередачи постоянного и переменного тока;
- развитие и управление энергосистемами.

В данной публикации сделана попытка проследить деятельность одной из школ – научной **Школы развития и управления энергосистемами** – от зарождения до настоящего времени, не прибегая к оценкам или сопоставлениям с результатами деятельности других научных школ. Последнее предоставляется сделать самим читателям.

Инициатором и первым руководителем Школы развития и управления энергосистемами стал один из старейших энергетиков профессор Н. Н. Щедрин. Школа с 1955 г. организационно была оформлена на базе лаборатории (отдела) электрических систем НИИПТ. На разных этапах в состав школы входили доктора технических наук Ю. А. Розовский, В. А. Андреюк, Л. А. Кошечев, А. С. Зеккель, А. Н. Зейлигер, С. В. Смоловик, А. Н. Дойников, Н. В. Коровкин, кандидаты технических наук Е. А. Марченко, Ю. Д. Садовский, Д. П. Дижур, Б. М. Шмелькин, Л. М. Левит, В. А. Шлайфштейн, П. Я. Кац, И. А. Гордон, В. Т. Мельник, В. Л. Невельский, М. А. Эдлин, Г. Б. Гофман, А. Х. Есипович, И. И. Штефка, А. С. Герасимов, А. В. Черкасский, Д. Л. Балыбердин, В. П. Коваленко, В. Д. Науменко, О. В. Фролов, В. П. Вагин, Ю. М. Шаргин, В. С. Чудный, Е. В. Сорокин, А. В. Николаев, В. Г. Неуймин, Е. В. Машалов, А. В. Виштибеев, М. К. Сальникова, большая группа инженеров-исследователей и разработчиков.

С первых дней организации школа тесно сотрудничала с кафедрой электрических систем и сетей и другими кафедрами Ленинградского политехнического института, а также с Институтом электромеханики АН СССР, ВНИИЭ, СЭИ, СибНИИЭ и др. Большое влияние на становление и последующее развитие школы оказали выдающиеся ученые и специалисты: академики М. П. Костенко, И. А. Глебов, Ю. Н. Руденко, Н. Н. Тиходеев; доктора наук А. И. Важнов, О. В. Щербачев, И. А. Груздев, М. Л. Левинштейн, С. С. Рокотян, А. В. Поссе, С. А. Совалов, В. А. Семенов, Г. Р. Герценберг.



1966 г. Профессор Н. Н. Щедрин в первом ряду в центре

Организация лаборатории и формирование школы были ориентированы на решение научно-практических задач, связанных с созданием и развитием энергосистем, региональных энергообъединений (объединенных энергосистем – ОЭС) и Единой энергосистемы СССР, а также систем регулирования и управления ими. Этим определилась тесная связь лаборатории и школы с проектными организациями, прежде всего, Энергосетьпроектом, ТЭП, Гидропроектом и их отделениями, с эксплуатирующими организациями всех уровней – от Главтехуправления Минэнерго СССР и ЦДУ ЕЭС СССР до отдельных подразделений энергосистем и крупных электростанций.

Первоочередной задачей школы стало развитие методологии исследования переходных режимов больших энергосистем. Значительную роль в решении этой задачи, особенно на начальном этапе, сыграло создание в составе лаборатории самой крупной в стране и мире электродинамической модели энергосистемы, которая обеспечивала до наступления эры вычислительной техники возможность исследования переходных процессов в сложных энергосистемах, а в последующем – исследования и испытания различных предложений по усовершенствованию принципов и аппаратуры регулирования и автоматики в условиях, максимально приближенных к натурным. При этом существенное развитие получила и методика моделирования, основы которой были представлены в трудах М. П. Костенко и В. А. Веникова. Были разработаны и реализованы новые типы силового и электронного модельного оборудования (И. А. Гордон, В. Р. Белоусов, Г. Б. Гофман, Н. А. Мичурин).

В составе лаборатории появился и первый в институте вычислительный центр, что позволило, с одной стороны, заняться вопросами цифрового моделирования энергосистем и разработкой программных средств исследования (В. А. Андреюк, Д. П. Дижур, А. С. Зеккель, А. В. Черкасский, Н. С. Сказываева, И. А. Богомолова,

А. С. Герасимов), а с другой – создать в последующем на базе электродинамической модели цифро-аналого-физический комплекс – ЦАФК (Ю. Д. Садовский, В. Р. Белоусов, В. Д. Наumenко, И. И. Штефка). С использованием ЦАФК в настоящее время решаются практические задачи исследования современных систем регулирования и автоматики (А. С. Герасимов, А. Х. Есипович, Г. В. Кирьенко, Т. А. Гущина).

Одним из наиболее существенных достижений школы в 60-е годы был переход к многомерному анализу статической и динамической устойчивости сложных энергосистем. В большой степени этому способствовало обладание электродинамической моделью, которая позволяла представлять энергосистемы многомашинными эквивалентами. До этого исследования обычно проводились применительно к отдельным объектам или энергосистемам, которые приводились к двух-, в лучшем случае, трехмашинным эквивалентам.

Исследования в многомашинных схемах позволили выявить и оценить взаимное влияние процессов в различных частях энергосистемы, что было особенно важно при создании системы регулирования и автоматики в энергосистемах с кольцевой многосвязной структурой основной сети. С другой стороны, этими исследованиями удавалось обосновать в тех или иных случаях глубокое эквивалентирование для последующих исследований, доступных при использовании имевшихся технических средств, – так называемых расчетных столов, аналоговых ЭВМ, первых малопроизводительных цифровых ЭВМ.

Многомерные исследования сложных энергосистем открывали новые возможности для проектирования развития энергосистем с учетом условий системной надежности и управления режимом сложной энергосистемы.

Платой за демонстрацию возможностей такого анализа был вал практических задач, обрушившийся на лабораторию электрических систем. ЭДМ эксплуатировалась в две, а часто и в три смены. Столь напряженный режим работы в той или иной мере оправдывает отсутствие монографий, к написанию которых поощряли и руководители Главтехуправления, и коллеги из ЦДУ ЕЭС. В лучшем случае результаты исследований излагались в отдельных статьях и докладах. Одним из очевидных результатов исследований тех лет явилась разработка в последующем централизованной системы противоаварийной автоматики.

В ходе исследования процессов в развивающихся энергосистемах Северо-Запада, Центра, Средней Волги, Урала, Сибири, Средней Азии, ЕЭС в целом, энергообъединениях Европы и Китая были предложены методики определения областей динамической устойчивости, выделения «опасных сечений» (Ю. Д. Садовский, Л. А. Кощев, А. А. Глебовская), выявлена «волна частоты» и предложена оценка эффективности первичного регулирования с учетом статистического исходного состояния систем регулирования (Л. М. Левит), предложен экспресс-метод оценки динамической устойчивости слабых межсистемных связей (Б. М. Шмелькин), исследованы системные особенности поведения в нормальных и переходных режимах протяженных энергосистем переменного тока, в том числе и с применением элементов постоянного тока (Л. А. Кощев, В. А. Шлайфштейн, Б. Н. Шмелькин, В. Л. Невельский) и др.

На всех этапах велись разработки аналитических методов исследования, в том числе с использованием критериев Ляпунова и других классических методов

(В. А. Андреюк), а с освоением вычислительной техники были разработаны и продолжают разрабатываться цифровые модели и программные средства для исследования различных процессов в энергосистемах и энергообъединениях (В. А. Андреюк, А. С. Зеккель, А. С. Герасимов, Н. С. Сказываева).

В школе сформировались и были развиты в трудах В. А. Андреюка, Е. А. Марченко идеи вероятностных оценок устойчивости и надежности параллельной работы энергосистем, которые позволили в дальнейшем разработать практические подходы к оценке проектных решений с точки зрения надежного функционирования энергосистемы (Е. А. Марченко, А. Н. Зейлигер).

Была разработана методология оценки пропускной способности связей с учетом нерегулярных колебаний нагрузки (В. А. Андреюк). Под руководством Д. П. Дижуря впервые была разработана цифровая модель передачи постоянного тока с примыкающими энергосистемами, которая обеспечила возможность по-новому оценить требования к системе регулирования передачи постоянного тока, ее роли и влияния на условия устойчивости энергосистемы (Г. И. Поляк, В. А. Шлайфштейн, П. Я. Кац).

Впервые в стране было выполнено физическое моделирование и проведены системные исследования многоподстанционной передачи постоянного тока, определены области рационального применения в ЕЭС России линий электропередачи переменного и постоянного тока разных классов напряжения (Л. А. Кощев, В. А. Шлайфштейн), создана физическая модель вставки постоянного тока на преобразователях напряжения (В. А. Шлайфштейн, М. А. Эдлин).

В настоящее время разрабатываются новые подходы к решению проблемы развития энергосистем и обеспечения их устойчивости и надежности с учетом новых экономических отношений (О. В. Фролов, С. В. Смолвик, В. П. Вагин). Разработана методика формирования перспективных расчетных моделей ОЭС и ЕЭС России на основе данных контрольных замеров, создается информационная система для регулярной актуализации расчетных моделей ОЭС/ЕЭС на 15-летнюю перспективу (Ю. М. Шаргин, В. П. Вагин, В. С. Чудный, Н. Б. Кутузова). С использованием перспективных расчетных моделей комплексно решаются задачи, связанные с развитием энергосистем всех уровней (О. В. Фролов, В. П. Вагин, С. В. Смолвик, А. С. Брилинский).

Большое количество работ было посвящено проблеме регулирования возбуждения генераторов. Первые работы, относящиеся к 50-м годам (Ю. Д. Розовский, Л. А. Кощев, Ю. Д. Садовский), проводились в сотрудничестве с лауреатом Ленинской премии Г. Р. Герценбергом (ВЭИ). На последующих этапах были предложены и внедрены на ряде электростанций различные усовершенствования в системах регулирования, в частности, принятые в том или ином виде во всех современных АРВ управление уставкой в переходных режимах и нелинейное регулирование по каналам стабилизации (Л. А. Кощев), дополнительные сигналы, блокировки и т. п. (В. Л. Невельский, М. А. Эдлин), обеспечивающие повышение эффективности регулирования, особенно в различных специфических схемно-режимных ситуациях. Наряду с этим разработаны новые методики выбора настроек и оценки эффективности АРВ (А. С. Зеккель, А. В. Черкасский, А. С. Герасимов, А. Х. Есипович), что позволило сохранить лидерство в решении вопросов, связанных с применением АРВ разных типов в энергосистемах.

Одним из главных направлений, определенных руководителем школы Н. Н. Щедриным, стало развитие автоматизации электроэнергетики, в частности – противоаварийной автоматики. За первые работы, связанные с исследованием эффективности существующих средств противоаварийной автоматики в условиях конкретных энергосистем и выбором соответствующих комплексов устройств автоматики, последовали разработки новых принципов и устройств. При этом следует особо отметить разработку нового принципа упреждающего выявления асинхронного хода и создание соответствующего устройства ликвидации асинхронного режима (М. А. Эдлин).

Наибольшим достижением в области противоаварийной автоматики явилась разработка принципов централизованного противоаварийного управления в энергообъединении, на базе которого были разработаны алгоритмы и технические решения по созданию централизованной системы противоаварийной автоматики (ЦСПА). Работы велись в нескольких направлениях большой группой сотрудников (Ю. Д. Садовский, Л. А. Кощев, П. Я. Кац, И. А. Богомолова, В. Л. Невельский, Е. П. Салита, В. Д. Науменко и др.). За создание и внедрение в ОЭС Урала ЦСПА с алгоритмом выбора управляющих воздействий в реальном времени изменения нормального режима энергосистемы группе сотрудников НИИПТ, ЦДУ ЕЭС и ОДУ Урала в 1991 г. была присуждена Государственная премия СССР.

В последние годы разработана новая Концепция развития противоаварийной автоматики в ЕЭС России (Л. А. Кощев, П. Я. Кац, М. А. Эдлин), а также разработаны алгоритм и структура ЦСПА нового поколения (А. А. Лисицын, П. Я. Кац, М. А. Эдлин).

По результатам работы школы имеется несколько сотен публикаций и авторских свидетельств и патентов на изобретения, подготовлены десятки диссертаций.

Наряду с наиболее значимыми направлениями деятельности школы были и другие задачи, решение которых не было использовано непосредственно в энергосистемах, в частности, защита установок продольной компенсации воздушной линии (Е. А. Марченко), компенсация реактанса синхронного компенсатора в схеме дальней электропередачи (Ю. А. Розовский, В. А. Андреюк), различные схемно-технические решения по несинхронному объединению энергосистем (А. С. Зеккель, А. В. Черкасский), разработка устройств компенсации реактивной мощности (А. С. Зеккель, В. Т. Мельник), форсирование мощности энергоблоков в переходных режимах энергосистемы (В. П. Коваленко, Г. В. Кирьенко), исследование прохождения кодированных сигналов «циркулярной разгрузки» по распределительной сети (Д. П. Дижур), разработка способов и устройств торможения генераторов (А. С. Зеккель, Л. А. Кощев, В. П. Белоусов, А. И. Кошелев), технико-экономическое обоснование нескольких ППТ (В. А. Шлайфштейн, Л. А. Кощев). Результаты разработки перечисленных и многих других вопросов ограничили публикации и авторскими свидетельствами на изобретения и, возможно, ждут своего часа.

За 60 лет существования научной школы существенно изменился ее состав, однако сохранялись традиции, сохраняются и основные направления деятельности. Научные интересы школы по-прежнему сосредоточены на решении научно-практических задач в интересах развития электроэнергетики. Эти задачи во многом сходны с теми, которые возникали при создании школы, хотя и решаются на совершенно



ином уровне. В настоящее время к этой школе причастны все творческие работники ОАО «НТЦ ЕЭС» – от генерального директора до молодых специалистов.

При этом наибольшее развитие получила деятельность, связанная с решением научно-практических задач модернизации и развития энергосистем и модернизации систем управления, регулирования и автоматики.

Серьезным успехом творческого коллектива (П. Я. Кац, М. А. Эдлин, А. А. Лисицын, А. В. Николаев, С. И. Демидов и др.) является разработка принципиально нового алгоритма и создание на его основе ЦСПА нового поколения, первая установка которой осуществлена в конце 2012 г. в ОЭС Востока. Эту ЦСПА отличает большая универсальность и транспарентность программно-алгоритмического комплекса, что открывает возможность перехода к применению ЦСПА во всех ОЭС, а на уровне ЕЭС России – координирующей системы противоаварийной автоматики с алгоритмом, обеспечивающим формирование управляющих воздействий по условию обеспечения статической и динамической устойчивости и предотвращения перегрузки по току и недопустимых отклонений напряжения в электрической сети.

Отвечая на запросы современной электроэнергетики, ведется разработка ряда новых для школы направлений: обеспечение надежности электроснабжения мегаполисов и изолированных энергосистем (О. В. Фролов, В. П. Вагин, Ю. М. Шаргин, С. В. Смолвик); разработка новых подходов к моделированию современных энергосистем (А. С. Герасимов, А. Н. Смирнов, О. В. Фролов); разработка новой методики распределения резервов генерации с учетом ограничений пропускной способности электрической сети (Н. В. Коровкин, А. Е. Егоров, Н. А. Беляев); разработка нового программного комплекса расчета режимов и устойчивости энергосистем – Rustab (В. Г. Неуймин, Е. В. Машалов); разработка программно-технического комплекса «Система мониторинга запасов устойчивости» – СМЗУ (В. Г. Неуймин, А. С. Александров, П. Я. Кац, А. А. Лисицын, М. А. Эдлин, С. И. Демидов) и др.

Эти исследования проводятся на фоне выполнения большого объема практических работ по заказам ОАО «СО ЕЭС», ОАО «ФСК ЕЭС», ОАО «РусГидро» и других субъектов электроэнергетики (В. П. Вагин, Ю. М. Шаргин, А. Е. Егоров, Е. В. Сорокин, А. Н. Смирнов, А. В. Виштитеев, А. С. Брилинский и многие другие).

К сожалению, приходится отметить снижение доли работ более общего научного характера, проведение которых в прежние годы поощрялось, а во многих случаях и инициировалось Минэнерго СССР. Целью таких работ могло бы быть исследование тенденций развития энергосистем с учетом мировых тенденций экономического развития, требований надежности, использования новой техники и технологий получения, преобразования, передачи и распределения электроэнергии.

В последнее время принято сопоставлять достижения сформировавшихся в СССР научных школ с уровнем достижений западных специалистов в соответствующих областях. Можно без преувеличения сказать, что в области изучения больших энергосистем, особенно в области обеспечения их устойчивости и надежности, достижения советских (российских) специалистов, безусловно, не уступают, а в некоторых вопросах и превосходят достижения западных коллег. Подтверждением этому является предотвращение системных аварий тех масштабов, которые имели место в энергосистемах Северной Америки и Западной Европы, прежде всего, за счет использования эффективных средств регулирования и противоаварийной автоматики. И это

в условиях исключительно напряженных режимов, имевших место в ЕЭС, особенно в последние годы существования СССР. В достижении этих результатов свою заметную роль сыграла и представленная школа НИИПТ – НТЦ ЕЭС.

**Scientific school of NIPT – STC UPS.**

The history of origination of scientific school of NIPT – STC UPS, which deals with general problems of power systems, is presented. Also, the achievements of scientific school during more than fifty years of its existence are described.

*Key words: scientific school, power system, operating conditions, stability, reliability, emergency automation, regulation.*