



АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО
«Проектно-изыскательский и научно-исследовательский институт
по проектированию энергетических систем и электрических сетей
«ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»
(АО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»)

Ткацкая ул., д. 1, Москва, 105318
Тел: (495) 652-93-01, факс: (495) 963-12-64 e-mail: aoesp@aoesp.ru; [https:// www.aoesp.ru](https://www.aoesp.ru)
ОКПО 00113492; ОГРН 1027700386922; ИНН/КПП 7719167509/771901001

УТВЕРЖДАЮ
Директор Научно-исследовательской
дирекции
АО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»,
доктор наук
Д.Р. Любарский
«01» _____ 2019 г.

Отзыв ведущей организации
по диссертации Кормилицына Дмитрия Николаевича
«Устойчивость регулируемой электроэнергетической системы с управляемой
линией электропередачи сверхвысокого напряжения», представленной на
соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности
05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Актуальность темы. Эффективное решение проблем транспорта электроэнергетики на большие расстояния возможно на основе совершенствования методов и средств управления потоками мощности в электрических сетях высокого, сверхвысокого и ультравысокого напряжения, в том числе, на основе применения технологии управляемых гибких электропередач переменного тока (FACTS). Элементами такой технологии являются и управляемые устройства продольной компенсации (УУПК).

В последние годы, характеризующиеся стремительным развитием и совершенствованием бесконтактных электрических аппаратов, элементов силовой электроники и их систем управления, перспективы создания, в частности, управляемых линий электропередачи (ЛЭП) на основе использова-



ния УУПК значительно возросли. Для реализации такого направления необходимы исследования режимов работы электроэнергетической системы (ЭЭС), содержащей как УУПК, так и другие типы управляемых устройств: управляемых шунтирующих реакторов (УШР) и автоматических регуляторов возбуждения (АРВ) генераторов с тем, чтобы оценить их взаимное влияние и обосновать законы регулирования всех управляемых устройств, входящих в ЭЭС, с целью повышения пропускной способности электропередач, увеличения пределов их статической и динамической устойчивости.

Именно поэтому тема диссертации Д.Н. Кормилицына, посвященная исследованиям устойчивости регулируемой электроэнергетической системы с управляемой линией электропередачи сверхвысокого напряжения, является актуальной.

Целью работы является повышение устойчивости ЭЭС, содержащей управляемые длинные линии электропередачи сверхвысокого напряжения, на основе совершенствования управления УУПК и УШР и выбора настроечных параметров данных устройств совместно с устройствами регулирования генераторов.

Достижение поставленной в работе цели осуществляется решением следующих основных задач:

- разработка математических моделей электроэнергетической системы, содержащих УУПК, УШР и АРВ генераторов и учитывающих все основные факторы, влияющие на устойчивость;
- исследование характеристик установившихся и переходных режимов исследуемой ЭЭС при различных законах регулирования УУПК и УШР;
- анализ влияния УУПК, УШР и АРВ генераторов, а также характеристик нагрузки на аperiodическую и колебательную статическую устойчивость ЭЭС;
- разработка методики определения областей устойчивости исследуемой ЭЭС в зависимости от параметров УУПК, УШР и АРВ генераторов;
- исследование на имитационных моделях переходных процессов в целях выявления основных факторов, влияющих на переходные параметры, и обоснование допустимых упрощений имитационных моделей при сохранении основных результатов;
- выбор параметров законов регулирования УУПК и УШР с учетом возможных ограничений при сохранении положительного влияния данных устройств;
- анализ влияния характеристик УУПК, УШР и АРВ генераторов на показатели динамической устойчивости.

Значимость для науки и производства полученных автором результатов. Результаты диссертационного исследования являются вкладом в совершенствование методов и средств управления потоками мощности в ЭЭС с целью повышения пропускной способности электрических сетей при использова-



нии УУПК. Для проектных и научно-исследовательских организаций, а также специалистов электроэнергетической отрасли, работающих в области управления режимами энергосистем, теоретическую и практическую значимость представляют следующие результаты диссертационных исследований и разработок:

1. Представленные основные принципы методики построения областей устойчивости регулируемой ЭЭС, содержащей управляемые устройства.

2. Разработанные рекомендации по выбору законов регулирования УУПК, УШР и АРВ с целью улучшения устойчивости ЭЭС.

3. Предложенная методика выбора настроечных параметров управляемых устройств при обеспечении устойчивости исследуемой системы.

Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов диссертации. Математические модели ЭЭС с комплексом управляемых устройств для анализа статической и динамической устойчивости, методика определения областей устойчивости исследуемой ЭЭС в плоскостях и пространстве настроечных параметров УУПК, УШР и АРВ генераторов, выбор законов регулирования и настроечных параметров управляемых устройств, для улучшения статической и динамической устойчивости регулируемой ЭЭС рекомендуются к использованию в научно-исследовательских, производственных и проектных организациях, занимающихся исследованием, разработкой и проектированием устройств управляемой продольной компенсации, а также в учебном процессе электроэнергетических специальностей вузов. В настоящее время результаты работы внедрены в учебный процесс Ивановского государственного энергетического университета по кафедре «Электрические системы».

Новизна исследования определяется следующими наиболее значимыми научными результатами:

- разработанными математическими моделями ЭЭС с комплексом управляемых устройств для расчетов и анализа статической и динамической устойчивости;

- предложенной методикой определения областей устойчивости исследуемой ЭЭС в плоскостях и пространстве настроечных параметров УУПК, УШР и АРВ генераторов;

- рекомендуемой методикой выбора законов регулирования и настроечных параметров управляемых устройств для улучшения статической и динамической устойчивости регулируемой ЭЭС;

- выполненными исследованиями на имитационных моделях влияния характеристик нагрузки на изменение настроечных параметров управляемых устройств и форму областей устойчивости;

- предложенной методикой исключения явлений нарушения колебательной статической устойчивости исследуемой ЭЭС при улучшении апериодической статической и динамической устойчивости с использованием УУПК, УШР и АРВ генераторов.



Обоснованность и достоверность результатов работы обеспечиваются корректным и результативным использованием комплекса существующих базовых методов исследования, а именно: методов математического моделирования электроэнергетических систем, теории электромеханических переходных процессов в ЭЭС, теории автоматического регулирования, согласованностью результатов диссертационной работы, с результатами исследований других зарубежных и отечественных авторов

Практическую значимость представляют следующие основные результаты диссертационных исследований и разработок:

1. Рекомендуемая методика выбора законов регулирования и настроечных параметров управляемых устройств для улучшения статической и динамической устойчивости регулируемой ЭЭС.

2. Предложенная методика выбора настроечных параметров управляемых устройств при обеспечении устойчивости исследуемой системы.

3. Результаты диссертационного исследования могут использоваться для создания реальных УУПК с необходимыми характеристиками.

4. Теоретические и практические результаты работы использованы в учебном процессе в ИГЭУ в дисциплине «Моделирование режимов электроэнергетических систем», а также используются в учебном процессе подготовки магистров и бакалавров по профилю 13.04.02:05 - Электроэнергетические системы и сети.

Опубликованные печатные работы отражают основные положения диссертационного исследования, которые доложены и достаточно апробированы на различных научно-технических конференциях, в том числе, на международных.

Замечания по работе.

1. Обоснование эффективности и целесообразности использования УУПК в работе по-существу связано с упоминанием принадлежности УУПК к технологии FACTS. Вместе с тем понятно, что для повышения предельной передаваемой мощности сопротивление УПК целесообразно увеличивать и наибольший предел передаваемой мощности имеет место при максимальном значении сопротивления УПК. Таким образом, повышение пропускной способности обеспечивается не за счет управляемости, а за счет установления максимального значения сопротивления УПК, которое, как представляется, целесообразно оставить максимальным и нерегулируемым во всех режимах.

2. В исследуемой схеме ЭЭС среди регулируемых элементов, настроечные параметры которых предполагается оптимизировать, указан и автоматический регулятор скорости (АРС). При этом только при описании элементов модели исследуемой ЭЭС приведена структурная схема и модель АРС (стр.39, п.1.10.2), а в дальнейших исследованиях рассмотрение этого элемента не удалось найти.



3. Исследование проблем, обозначенных в работе, выполняется на примере модели изолированной энергосистемы - двух генераторных станций, соединенных через управляемую (УУПК) ЛЭП с нагрузкой. К тому же в работе принят ряд значимых допущений, например, при эквивалентировании генераторов (стр.56, п.2.2) и упрощений (стр. 63, п.2.6.) Эти обстоятельства делают проблематичной возможность распространения полученных результатов на многоагрегатные энергосистемы с развитой многоконтурной электрической сетью.

4. Важным критерием при определении параметров регулирования УУПК по мнению автора является отсутствие «резонансных переходов» при утяжелении режима по углу (стр.73). Вместе с тем, в работе не удалось увидеть по-существу не только объяснение физического смысла этого явления, но и какие-либо аналитические зависимости, которые позволили бы внести ясность на этот счет. И разъяснения в тексте, например: «...На *практике* (рец.) до появления резонанса напряжений возникает явление резонансного перехода...» (стр.77) и «...приведет, *в теории* (рец.) к образованию петлеобразных угловых характеристик...» (стр.84) не способствуют пониманию явления «резонансный переход».

5. Из заключения раздела «Анализ возможности применения упрощенной модели для оценки колебательной устойчивости системы» (п.3.1.4., стр.125-126) следует, что «...применение упрощенной методики для анализа колебательной устойчивости дает *большое* (рец.) расхождение...» по сравнению с детальным математическим описанием.

В связи с этим вряд ли можно согласиться с доказанностью целесообразности использования упрощенной модели, даже если выбранные при этом коэффициенты регулирования АРВ «... входят в область устойчивости, полученную при более детальном математическом описании...».

Заключение по работе. Рассматриваемая диссертационная работа является завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, в которой на основании выполненных автором исследований и разработок предложены решения по совершенствованию методов и средств повышения устойчивости электроэнергетических систем на основе совершенствования управлением устройствами продольной компенсации. Диссертация отвечает требованиям пункта 9 «Положения о присуждении ученых степеней» (утвержденного постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842), предъявляемым к кандидатским диссертациям, соответствует специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы», автореферат в полной мере отражает основное содержание диссертации, а ее автор, Кормилицын Дмитрий Николаевич заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук.



Диссертационная работа, а также отзыв на диссертацию рассмотрены на заседании научного семинара лабораторий Научно-исследовательской дирекции - Научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) устойчивости и управления режимами энергосистем и Научно-исследовательской лаборатории (НИЛ) релейной защиты и автоматики энергосистем АО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ» (г. Москва) (Протокол № 18-13/01-19 от 07.02.2019 г.).

Зав. НИЛ устойчивости и управления режимами
энергосистем Научно-исследовательской дирекции
АО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»,
кандидат технических наук
tuzlukova_k@aoesp.ru
(495) 652 9378

Тузлукова
Екатерина Валерьевна

Зав. НИЛ релейной защиты и автоматики энергосис-
тем Научно-исследовательской дирекции
АО «Институт «ЭНЕРГОСЕТЬПРОЕКТ»,
кандидат технических наук
Ivanov_I@oaoesp.ru
(495) 652 90 40

Иванов
Игорь Аристотельевич