

Утверждаю

Директор Федерального государственного
бюджетного учреждения науки
Институт систем энергетики
им.Л.А.Мелентьева Сибирского
отделения Российской академии наук,
член-корреспондент РАН,
доктор технических наук, профессор



Валерий Алексеевич Стенников

«20» сентября 2020 г.

ОТЗЫВ

ведущей организации Федерального государственного бюджетного учреждения науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук на диссертационную работу Илюшина Павла Владимировича на тему «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» системы»

1. Актуальность диссертационной работы

В последнее время в мире, в том числе в России, наблюдается устойчивая тенденция роста доли генерирующих агрегатов и электростанций распределенной генерации (РГ) электроэнергии. Во многих странах рост доли РГ определяется интенсивным использованием возобновляемых источников энергии. В России помимо этого направления активно развиваются источники РГ на базе газотурбинных, газопоршневых, дизельных и паротурбинных технологий, устанавливаемых для электроснабжения крупных производственных предприятий. Имеется потенциал развития РГ путем замены старых неэффективных муниципальных котельных на мини-ТЭЦ с использованием перечисленных энергетических технологий. Исключительно велика роль РГ в электроснабжении изолированных территорий.

Использование РГ в России позволяет получать более дешевую электроэнергию по сравнению с предлагаемой на оптовом рынке, снижая тем самым себестоимость и повышая конкурентоспособность выпускаемой продукции. Необходимость обеспечения надежности электроснабжения особо ответственных потребителей, перерывы питания которых электроэнергией

недопустимы по условиям технологии производства, является дополнительным стимулом для использования РГ.

Среди многих проблем функционирования генерирующих установок РГ в составе систем электроснабжения различного назначения исключительную важность представляют проблемы противоаварийного и режимного управления системами электроснабжения, содержащими установки распределенной генерации. Актуальность этого направления обусловлена существенным отличием характеристик РГ по сравнению с крупными генерирующими агрегатами (малые постоянные инерции роторов агрегатов и др.), а также тем, что настройка систем автоматического управления генерирующими агрегатами зарубежного производства (объемы ввода которых составляют существенную долю всей РГ) отличается от российских требований и условий, создавая принципиальные трудности для управления режимами систем электроснабжения.

Вследствие сказанного, совершенствование принципов и средств противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной генерацией приобретает несомненную актуальность с точки зрения обеспечения надежности электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях при наличии жестких временных ограничений, определяемых свойствами установок РГ.

2. Новизна исследований и полученных результатов

Научная новизна исследований автора и полученных им результатов состоит в комплексности рассмотрения проблемы противоаварийного и режимного управления энергорайонами с РГ, в результате чего получила принципиальное развитие теория управления режимами электроэнергетических систем (ЭЭС) применительно к принятому объекту исследований в виде выявленных режимных особенностей энергорайонов с РГ, разработанных способов противоаварийного и режимного управления, структурных и схемно-алгоритмических решений, методик проведения натуральных испытаний и измерений, а также выполнения расчетов электрических режимов и электромеханических переходных процессов с целью надежного функционирования систем электроснабжения с РГ и надежного электроснабжения потребителей.

Перечисленные теоретические результаты, подкрепленные многочисленными систематическими исследованиями с помощью компьютерных средств, расширили фундаментальные знания об ЭЭС с генерирующими установками распределенной генерации.

3. Практическая значимость и реализация результатов

Практическая значимость диссертационной работы заключается в том, что доведенные до конкретных алгоритмов и схемных решений рекомендации, сформулированные автором, могут быть непосредственно использованы на практике для повышения эффективности систем противоаварийного и режимного управления в системах электроснабжения с энергорайонов с РГ.

Результаты исследований, полученные в диссертации, вошли в качестве составляющих при выполнении ряда Государственных контрактов, уже сейчас используются в целом ряде энергетических компаний и других организаций, а также в учебном процессе в курсах повышения квалификации специалистов, а также в учебных курсах Нижегородского ГТУ им. Р.Е. Алексеева.

4. Обоснованность и достоверность научных выводов, положений и рекомендаций

Достоверность и обоснованность научных результатов диссертации подтверждается использованием апробированных положений теорий надежности и устойчивости ЭЭС, применением теории и методов противоаварийного управления ЭЭС, корректностью использования математических моделей, их адекватностью в плане корректного представления изучаемых процессов, совпадением полученных теоретических результатов с данными экспериментов и результатами исследований других авторов.

5. Заключение о соответствии диссертации установленным критериям

Диссертационная работа П.В. Илюшина в полном объеме отвечает критериям, которые установлены «Положением о присуждении ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 года № 842, а именно:

- Указанная диссертантом *цель работы* – разработка способов и средств противоаварийного и режимного управления в энергорайонах с распределенной генерацией для обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и надежного электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями, *реализована в представленной диссертационной работе.*

- *Автореферат диссертации* П.В. Илюшина соответствует *диссертационной работе* по всем квалификационным признакам: по цели и задачам исследования; основным положениям, выносимым на защиту, определению актуальности, научной значимости, новизны, практической ценности и др.

- *Основные выводы и результаты диссертационной работы*

соответствуют поставленным задачам исследований и сформулированы автором структурно логично и содержательно.

- *Научные публикации* П.В. Илюшина, изданные в период работы над диссертацией, соответствуют тематике диссертационной работы и с достаточной полнотой отражают ее суть, основные результаты и выводы.

- *Тема и содержание* диссертации П.В. Илюшина соответствуют паспорту специальности 05.14.02 – «*Электрические станции и электроэнергетические системы*» (далее курсивом по тексту паспорта):

- **по направлению исследования**, связанному с разработкой способов и средств противоаварийного и режимного управления в энергорайонах с распределенной генерацией для обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями, в части «развития и совершенствования теоретической и технической базы электроэнергетики с целью обеспечения экономического и надежного снабжения потребителей электроэнергией в необходимом количестве и требуемого качества...» в соответствии с формулой специальности;

- **по областям исследования** в соответствии с пунктами паспорта специальности:

- п.2 «Разработка методов анализа режимных параметров основного оборудования электростанций»,*

- п.6 «Разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике»,*

- п.9 «Разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики...»*

- **по объектам исследования** – электроэнергетические системы – в части «...электрических станций, электроэнергетических систем, электрических сетей...».

6. Анализ содержания диссертации

Диссертация П.В. Илюшина состоит из введения, семи глав, заключения, библиографии из 435 наименований, трех приложений и включает 188 рисунков и 15 таблиц. Объем диссертации – 331 страница текста без библиографии и приложений. Общий объем работы – 499 страниц.

Во **Введении** обоснована актуальность темы диссертационной работы, сформулированы цель и задачи исследования, определены объект и предмет исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, методология и методы исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлены реализация и апробация результатов работы.

В первой главе анализируется современное состояние и проблемы управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с РГ, а также перспективные направления совершенствования противоаварийного и режимного управления системами электроснабжения с РГ в современных условиях развития электроэнергетики. Делается вывод о том, что для управления нормальными и аварийными режимами в энергорайонах с объектами РГ требуется разработка теоретических основ управления режимами в этих энергорайонах с реализацией соответствующего программно-аппаратного комплекса автоматики управления нормальными и аварийными режимами (АУНиАР) на принципиально новом научно-технологическом уровне.

Во второй главе разрабатываются способы определения параметров режима в условиях быстрых переходных процессов с флуктуациями на основе методов максимального правдоподобия и дискриминаторного, а также способ последовательного принятия решений логическим блоком АУНиАР на основе процедуры Вальда. Разработанные методы позволяют повысить быстродействие и точность идентификации области режимов для оптимального выбора видов, объемов и мест реализации управляющих воздействий.

В третьей главе предлагается способ реализации многопараметрической делительной автоматики (МДА) энергорайонов с объектами РГ для обеспечения успешного превентивного или непреднамеренного их выделения в островной режим работы, в том числе с дефицитом активной мощности. Быстродействие МДА и реализации управляющих воздействий на отключение нагрузки позволяют отказаться от дополнительного отключения нагрузки сверх начального дефицита мощности.

Четвертая глава посвящена разработке способа расширения области допустимых режимов генерирующих установок объектов РГ при правильных действиях устройств релейной защиты за счет применения накопителей электроэнергии (НЭЭ) с независимым регулированием по активной и реактивной мощности. Разработанный способ расширения области допустимых режимов позволяет предотвращать отключения генерирующих установок при значительных изменениях параметров режима.

В пятой главе представлены варианты совершенствования алгоритмов устройств противоаварийной автоматики (автоматической частотной разгрузки, автоматики ограничения снижения напряжения, автоматики ограничения перегрузки оборудования) с учетом особенностей схемно-режимных условий в энергорайонах с объектами РГ, а также возможностей использования генерирующих установок в реализации алгоритмов устройств противоаварийной автоматики.

В шестой главе разрабатываются схемные решения по

совершенствованию алгоритмов устройств линейного и секционного автоматического ввода резерва (АВР) энергорайонов с объектами РГ, а также методы адаптации устройств автоматического регулирования частоты вращения и автоматического регулирования возбуждения зарубежных генерирующих установок. Расчеты показали эффективность предложенных технических решений.

Седьмая глава посвящена разработке методики проведения натуральных испытаний и измерений в энергорайонах с объектами РГ, методики выполнения расчетов электрических режимов в энергорайонах с объектами РГ, с учетом особенностей современных генерирующих установок объектов РГ и нагрузки, а также вопросам реализации программно-аппаратного комплекса АУНиАР для энергорайонов с объектами РГ.

В Заключении сформулированы основные результаты диссертационной работы.

7. Вопросы и замечания по содержанию диссертационной работы

1. Во Введении к диссертации и в автореферате автор относит к распределенной генерации генерирующие установки суммарной установленной мощностью до 25 МВт. Аргументы в пользу такого ограничения не приводятся, но можно предположить в качестве таковых тот факт, что по действующим нормативным документам генерирующие установки суммарной установленной мощностью более 25 МВт должны выводиться на оптовый рынок. Далее автор рассматривает микрогенерацию, к которой относит генерирующие объекты мощностью до 15 кВт. Какова мотивация этого ограничения?

2. В обосновании актуальности исследуемой проблемы автор приводит широкий круг систем электроснабжения, в которых есть основания рассматривать распределенную генерацию, в том числе распределительные электрические сети городов и поселений городского типа, в которых актуальна замена старых неэкономичных котельных на газотурбинные, газо-поршневые и др. мини-ТЭЦ. Однако далее в работе, насколько можно судить по тексту, рассматриваются преимущественно системы внутреннего электроснабжения промышленных предприятий. Чем можно объяснить такое предпочтение?

3. В главе 4 приведены лишь качественные соображения о целесообразности учета различных факторов при определении мощности и энергоемкости накопителей электроэнергии. Хотелось бы видеть формализованную постановку этой задачи.

4. Необходимы дополнительные пояснения утверждению на стр. 69 диссертации о том, что поскольку требуется повышенное быстродействие оценки параметров режима при достаточной их точности, то можно считать параметры режима случайными.

5. В главе 4 отмечается, что для островного режима работы энергорайона особое значение, помимо уставок устройств РЗ и технологических защит генерирующих установок РГ, имеют их маневренные характеристики. Однако в тексте диссертации и в автореферате не приведены требования к маневренности генерирующих установок.

6. В лаве 7 диссертации упоминается, что при выполнении расчетов режимов энергорайонов с РГ желательно иметь верифицированные модели генерирующих установок РГ, однако массово применяемые в России ПВК (RastrWin, RuStab, Mustang, DAKAR) не содержат их. Были бы полезными рекомендации автора в этом отношении.

Указанные вопросы и замечания не снижают научной и практической ценности представленной П.В. Илюшиным диссертационной работы и могут рассматриваться как пожелания для дальнейших исследований в данном научном направлении.

8. Общее заключение

Представленная диссертационная работа П.В. Илюшина является самостоятельной научно-квалификационной работой, обладающей признаками актуальности, новизны и практической значимости. В ней решена важная научно-техническая проблема развития методов и средств повышения эффективности противоаварийного и режимного управления энергорайонами с объектами распределенной генерации для обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжения потребителей в условиях жестких временных ограничений. Задачи, решаемые в работе, объединены общей научной идеей развития теоретических основ управления нормальными и аварийными режимами ЭЭС применительно к новой актуальной области – противоаварийному и режимному управлению энергорайонами с РГ. Глубокая проработка исследуемой проблемы позволяет использовать результаты исследований автора для решения важных теоретических и практических задач.

Содержание диссертации полностью соответствует заявленной цели и поставленным задачам и детально отражает последовательность их решения. Выводы и рекомендации работы изложены аргументировано. Основные научные результаты диссертации изложены в публикациях в рецензируемых изданиях из списка ВАК, а также индексированных в базах цитирования Scopus и Web of Science.

Автореферат диссертации отражает ее содержание, которое полностью соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Сделанные замечания имеют частный характер и не снижают в целом

положительной оценки рассматриваемой диссертационной работы.

Диссертационная работа П.В. Илюшина полностью отвечает требованиям п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24 сентября 2013 г. № 842, а соискатель безусловно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Диссертационная работа и автореферат П.В. Илюшина обсуждены и одобрены на расширенном заседании Отдела электроэнергетических систем ИСЭМ СО РАН 19 декабря 2019 года, протокол № 9.

Научный руководитель ИСЭМ СО РАН,
заведующий отделом электроэнергетических
систем, доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

Николай Иванович Воропай

Ученый секретарь отдела электроэнергетических систем,
Доктор технических наук, старший научный сотрудник

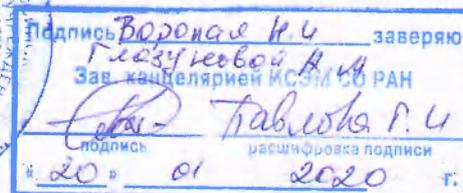
Анна Михайловна Глазунова

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем
энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии
наук (ИСЭМ СО РАН)

Почтовый адрес: 664033, Россия, г. Иркутск, ул. Лермонтова 130

Тел.: +7(3952) 42-47-00

E-mail: voropai@isem.irk.ru



ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ
БЮДЖЕТНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ НАУКИ
ИНСТИТУТ СИСТЕМ ЭНЕРГЕТИКИ
им. Л.А. МЕЛЕНТЬЕВА
СИБИРСКОГО ОТДЕЛЕНИЯ
РОССИЙСКОЙ АКАДЕМИИ НАУК
(ИСЭМ СО РАН)



664033, Иркутск-33, ул. Лермонтова, 130

Тел. (395-2) 42-47-00

Факс (395-2) 42-67-96

Е-mail: info@isem.irk.ru

от 20.01.2020 № 15315/01-0720

на № _____ от _____

Сведения о ведущей организации

по диссертационной работе Илюшина Павла Владимировича
«Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с
распределенной генерацией», представленной на соискание ученой степени доктора
технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и
электроэнергетические системы»

Полное и сокращённое наименование организации	Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт систем энергетики им. Л.А. Мелентьева Сибирского отделения Российской академии наук (ИСЭМ СО РАН)
Место нахождения	664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130
Почтовый адрес, телефон, адрес электронной почты, адрес официального сайта в сети Интернет	664033, Иркутская область, г. Иркутск, ул. Лермонтова, д. 130, Тел. +7(3952) 50-06-46, +7(3952) 42-47-00 (приемная), Е-mail: info@isem.irk.ru http://isem.irk.ru/
ФИО, должность подписавшего отзыв	Воропай Николай Иванович, научный руководитель, д.т.н., профессор, чл.-корр. РАН, заслуженный деятель науки РФ (voropai@isem.irk.ru)
Основные публикации работников организации по теме диссертации в рецензируемых научных изданиях за последние 5 лет (не более 15)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Есяков С.Я., Лунин К.А., Стенников В.А., Воропай Н.И., Редько И.Я., Баринов В.А. Трансформация электроэнергетических систем // Электроэнергия. Передача и распределение. 2019. № 4 (55). С. 134-141. 2. Воропай Н.И., Губко М.В., Ковалев С.П., Массель Л.В., Новиков Д.А., Райков А.Н., Сендеров С.М., Стенников В.А. Проблемы развития цифровой энергетики в России // Проблемы управления. 2019. № 1. С. 2-14. 3. Воропай Н.И. О целесообразности корректировки требований к надёжности по условиям устойчивости электроэнергетических систем // Известия НТЦ Единой энергетической системы. 2019. № 1 (80). С. 143-145. 4. Осак А.Б., Ефимов Д.Н., Жуков А.В., Панасецкий Д.А., Курбацкий В.Г., Сидоров Д.Н., Томин Н.В., Воропай Н.И. Комплекс интеллектуальных средств раннего выявления и предотвращения возникновения системных аварий в энергообъединениях // Автоматика и телемеханика. 2018. № 10. С. 6-25.

5. Воропай Н.И., Суслов К.В. Задачи обоснования развития активных систем электроснабжения // Промышленная энергетика. 2018. № 1. С. 2-6.
6. Voropai N.I., Chulyukova M.V. Transient stability problems of electric power systems with distributed generation // Сборник докладов 2018 International Multi-Conference on Industrial Engineering and Modern Technologies (FarEastCon). С. 1-6.
7. Воропай Н.И., Уколова Е.В., Герасимов Д.О., Суслов К.В., Ломбарди П., Комарницки П. Исследование мультиэнергетического объекта методами имитационного моделирования // Вестник Иркутского государственного технического университета. 2018. Т. 22. № 12. С. 157-168.
8. Воропай Н.И., Федотова Г.А. Направления и результаты исследований надежности систем энергетики // Надежность и безопасность энергетики. 2018. Т. 11. № 4. С. 280-287.
9. Воропай Н.И., Осак А.Б., Смирнов С.С. Анализ системной аварии 2016 г. в ЕЭС России, вызванной повреждением оборудования на Рефтинской ГРЭС // Электричество. 2018. № 3. С. 27-32.
10. Воропай Н.И., Чулюкова М.В. Анализ развития системной аварии в ОЭС Востока 1 августа 2017 г. // Электричество. 2018. № 5. С. 28-32.
11. Воропай Н.И., Клер А.М., Кононов Ю.Д., Санеев Б.Г., Сендеров С.М., Стенников В.А. Методические основы стратегического планирования развития энергетики // Энергетическая политика. 2018. № 3. С. 35-44.
12. Воропай Н.И., Стенников В.А., Барахтенко Е.А. Интегрированные энергетические системы: вызовы, тенденции, идеология // Проблемы прогнозирования. 2017. № 5 (164). С. 39-49.
13. Воропай Н.И., Курбацкий В.Г., Томин Н.В., Панасецкий Д.А. Совершенствование системы мониторинга и управления электрическими сетями мегаполисов // Энергетик. 2016. № 8. С. 3-9.
14. Воропай Н.И., Ефимов Д.Н., Каратаев Б.Н., Новиков Е.А., Осак А.Б., Панасецкий Д.А. Адаптивные алгоритмы автоматического распределённого отключения нагрузки // Электрические станции. 2016. № 11 (1024). С. 27-35.
15. Айзенберг Н.И., Сташкевич Е.В., Воропай Н.И. Координация взаимодействия электроснабжающей организации и активных потребителей при оптимизации суточных графиков нагрузки // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2016. № 3. С. 15-25.

Директор ИСЭМ СО РАН
член-корреспондент РАН



В.А.Стенников