ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

Распределенная генерация (РГ) активно развивается во всем мире. В последнее десятилетие мощный импульс данному процессу придал прогресс в разработке высокоэффективных электрогенерирующих установок малой и средней мощности, в том числе использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В результате чего потребители получили возможность обеспечить себя электрической и тепловой энергией собственного производства с приемлемой себестоимостью. Государственная поддержка использования ВИЭ и либерализация рынка электроэнергии, зачастую сопровождавшаяся повышением цен на электроэнергию, добавила привлекательности РГ.

Электрогенерирующие установки РГ могут использоваться в качестве основных источников электропитания потребителей в целях вытеснения части централизованно поставляемой (покупной) электроэнергии, для покрытия пиковых электрических нагрузок, а также для целей резервирования электроснабжения (в качестве резервных источников питания). Ожидается, что в постиндустриальный период потребность в РГ будет только возрастать. Все более важным компонентом РГ становятся интеллектуальные сети (микрогриды, энергорайоны), создающие технологическую основу для эффективного управления электрогенерацией и спросом на электроэнергию.

Представленное к защите диссертационное исследование П.В. Илюшина является актуальным и востребованным практикой, поскольку решает задачи интеллектуализации сетей (энергорайонов) посредством организации в них противоаварийного и режимного управления для целей обеспечения надежного функционирования электрогенерирующих установок РГ и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях. В этом отношении крайне важными представляются данные автором научные обоснования предлагаемых практических рекомендаций.

Наиболее существенными результатами диссертационного исследования, обладающими научной новизной и теоретической ценностью, являются:

1. Разработка новых способов определения параметров режима пусковыми органами автоматики, а также развитие принципов последовательного принятия решений логическим блоком автоматики для повышения быстродействия, точности идентификации

классов и границ режимных областей, надежности срабатывания в условиях быстрых переходных процессов с флуктуациями.

2. Разработка способов выделения энергорайонов с РГ в островной режим для обеспечения надежного функционирования электрогенерирующих установок и электроснабжения потребителей, а также расширения области допустимых режимов электрогенерирующих установок РГ за счет применения накопителей электрической энергии для предотвращения их излишних отключений.

3. Разработка усовершенствованных структурных и схемно-алгоритмических решений для устройств автоматики энергосистем, позволяющих обеспечить их надежное функционирование в специфических схемно-режимных условиях энергорайонов с РГ.

4. Разработка методических основ проведения натурных испытаний и измерений, а также расчетов и анализа электрических режимов в энергорайонах с РГ для обеспечения надежного функционирования электрогенерирующих установок и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях.

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов обеспечивается корректностью постановки задач, подтверждается применением апробированных положений теории надежности и устойчивости ЭЭС, теории и методов противоаварийного управления в ЭЭС, корректностью применения математических моделей, их адекватностью по критериям определения изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных и прикладных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с данными экспериментов и результатами исследований других авторов.

Разработанные соискателем способы противоаварийного и режимного управления, структурные и схемно-алгоритмические решения реализованы в программно-аппаратном комплексе автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами РГ, что является несомненным достоинством диссертационной работы.

Знакомство с авторефератом вызвало следующие вопросы и замечания:

1. Из 1 главы автореферата не понятно, имеются ли ограничения по предельным величинам суммарных мощностей объектов на основе возобновляемых источников энергии в структуре генерирующих мощностей энергорайонов?

2. В автореферате не представлена информация по оценке возможных последствий от введения платы за неиспользуемый резерв электросетевой мощности для предприятий с собственной генерацией, в виде оплаты услуг по передаче электроэнергии в объеме равном суммарному электропотреблению.

3. В автореферате нет информации о получаемых экономических, экологических

и социальных эффектах от внедрения распределенной генерации в энергорайонах для конкретных потребителей, а также субъектов Российской Федерации в целом.

4. В 7 главе автореферата не представлена информация о результатах технико-экономического обоснования внедрения автоматики управления нормальными и аварийными режимами взамен находящихся в эксплуатации устройств релейной защиты, противоаварийной и режимной автоматики.

Указанные вопросы и замечания вызваны, прежде всего, тем обстоятельством, что диссертационные исследования соискателя сосредоточены на решении важных для науки и эксплуатации задач развития ЕЭС России в условиях децентрализации генерирующих мощностей с массовой интеграцией электрогенерирующих установок РГ. Поэтому они раскрывают новые грани для дальнейших научных исследований и разработок, не уменьшая достоинств полученных теоретических и практических результатов диссертационной работы.

Диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных соискателем исследований разрабатываются теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, развивающее теорию и практику противоаварийного и режимного управления в энергорайонах с распределенной генерацией, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетики страны. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02, по своему теоретическому уровню и практическому значению отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям, а также критериям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, поэтому ее автор – **Илюшин Павел Владимирович** заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Научный руководитель
ФГБУН ИНЭИ РАН,
доктор экономических наук,
профессор, академик РАН

Алексей Александрович Макаров

Подпись А.А. Макарова заверяю
Ученый секретарь ИНЭИ РАН
канд. экон. наук Т.В. Новикова
«24» сентября 2020 г.

Данные автора отзыва:
Тел.: +7 (499) 127-48-34
E-mail: makarov_ire@zmail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки
«Институт энергетических исследований Российской академии наук» (ФГБУН ИНЭИ РАН)
Адрес: 117186, г. Москва, ул. Нагорная, д. 31, корп. 2
Тел.: +7 (499) 127-48-34, +7 (499) 123-05-01, Факс: +7 (499) 123-44-85
E-mail: info@eriras.ru

В диссертационный совет Д 512.002.01
при АО «Научно-технический центр
Федеральной сетевой компании Единой
энергетической системы»

# О Т З Ы В

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

Современной тенденцией развития российской и мировой энергетики является увеличение доли децентрализованного производства электрической энергии. Число крупных экологически опасных электростанций будет сокращаться. Эта тенденция объясняется, с одной стороны, изменением климата и необходимостью выполнения Киотского протокола, с другой стороны, децентрализацией поставок энергии и топлива увеличивает энергетическую безопасность регионов и страны в целом. Распределенная генерация является эффективным инструментом оптимизации инвестиций в техническое перевооружение и реконструкцию распределительных сетей, модернизацию генерирующего оборудования на тепловых электростанциях, а также строительство магистральных и распределительных электрических сетей.

Значительная часть территории России – малонаселенные районы, где распределенная генерация является единственно целесообразной. При этом в большинстве случаев необходимо или оправдано применение генерирующих установок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Также все больше крупных потребителей с централизованным электроснабжением отдают предпочтение организации электроснабжения с помощью собственных энергоустановок.

Развитие распределенной генерации на основе ВИЭ в России осуществляется в рамках механизма заключения договоров о предоставлении мощности. Таким образом, до 2024 г. в России должны быть построены и введены в эксплуатацию солнечные и ветровые электростанции суммарной установленной мощностью 5278,3 МВт. К перспективным направлениям применения ВИЭ следует отнести их использование в изолированных и удаленных энергорайонах, для резервирования систем электроснабжения особо ответственных потребителей, а также взамен строительства протяженных электрических сетей до поселков и предприятий на Крайнем Севере и Дальнем Востоке.

Специфика энергоустановок на базе ВИЭ и особенно фотоэлектрических систем (как небольших установок, так и солнечных электростанций значительной мощности) предъявляет дополнительные требования к работе сетевой автоматики.

Вопросы работы установок на базе ВИЭ с сетями в части противоаварийного и режимного управления на сегодня являются актуальными во всем мире, не смотря на уже достаточно длительный период эксплуатации таких установок. В России же внедрение установок на базе ВИЭ находится в самом начале, а имеющийся зарубежный опыт напрямую слабо применим для энергорайонов с распределенной

генерацией России из-за особенностей сетей, законодательства и территориальной организации страны. Зарубежное оборудование для этих целей в большинстве случаев либо требует адаптации и модификации, либо неприменимо.

Исходя из вышесказанного диссертационная работа П.В, Илюшина является не только новаторской, но и остро необходимой. Исследования, представленные в диссертационной работе, проводятся для России впервые и представляют большой научный интерес для мировой науки. Диссертационная работа П.В. Илюшина, посвящённая вопросам разработки 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, является востребованной и актуальной.

Безусловный научную и практическую значимость имеют разработанные автором схемные решения, алгоритмы автоматики, а также способы определения параметров режима пусковыми органами автоматики и способ последовательного принятия решений логическим блоком АУНиАР.

К научной новизне диссертационной работы относится:

– разработка комплекса алгоритмов и технических средств противоаварийного управления, учитывающих особенности электрических режимов в энергорайонах с распределенной генерацией, включая ВИЭ;

– разработка набора типовых технических решений и способов противоаварийного и режимного управления, включающих элементы совершенствования и адаптации;

– совершенствование методических основ проведения расчетов и анализа переходных процессов для определения технических требований к генерирующим установкам и средствам противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией.

Интерес представляет методики проведения натурных испытаний и измерений в энергорайонах с объектами распределенной генерации. Опыт работы таких энергорайонов и особенности использования ВИЭ (зависимость вырабатываемой мощности от изменений погодных условий) требовали изменений общепринятых подходов.

Практическим результатом диссертационных исследований является создание комплекса автоматики управления нормальными и аварийными режимами для использования в энергорайонах с распределенной генерацией, включая ВИЭ.

По автореферату диссертационной работы имеются следующие вопросы и замечания:

1. Современные инверторные установки, применяемые на солнечных электростанциях, обладают возможностями для участия в управлении электрическими режимами прилегающей сети. Рассматривались ли в работе походы к выбору алгоритмов управления и параметрированию инверторных установок?
2. На стр. 30 и 34 автореферата приведены выявленные режимные области и их границы. Будут ли принципиально изменяться границы режимных областей при росте доли объектов ВИЭ в структуре генерирующих мощностей энергорайона?
3. В автореферате не рассмотрены вопросы применения накопителей

электрической энергии для компенсации нестационарности выработки электроэнергии объектами на основе ВИЭ, что позволило бы существенно улучшить схемно-режимные условия.

Приведенные вопросы и замечания не умаляют очевидных достоинств диссертационной работы П.В. Илюшина, а открывают направления для его дальнейших научных исследований.

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельным завершенным научным исследованием на актуальную тему, в котором решена научная проблема совершенствования управления нормальными и аварийными режимами в энергорайонах с распределенной генерацией, что можно считать научным достижением. Диссертационная работа открывает новое направление исследований в вопросах работы энергосистем, использующих ВИЭ. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Научный руководитель ФГБНУ ФНАЦ ВИМ,
доктор технических наук, профессор,
академик РАН

Дмитрий Семенович Стребков

Контактные данные автора отзыва:
Тел.: +7 (499) 170-16-74
E-mail: nauka-ds@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное научное учреждение
«Федеральный научный агроинженерный центр ВИМ»
(ФГБНУ ФНАЦ ВИМ)
Адрес: 109428, Россия, г. Москва, 1-й Институтский проезд, д. 5
Телефон: 8 (499) 171-43-49; 171-19-33; факс 8 (499) 171-43-49
E-mail: vim@vim.ru
Web-сайт: https://vim.ru/

Подпись Академика РАН Стребкова Д.С. заверяю: Зам. нач. о/к Г.И. Емцарова 26.12.2019.

# ОТЗЫВ

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

Работа направлена на повышение надежности работы электрических сетей с распределенной генерацией, путем разработки программно-аппаратного комплекса управления режимами их работы. Для подготовки алгоритма работы указанного комплекса были выполнены: анализ особенностей работы электрических сетей с объектами распределенной генерации; разработка способов определения параметров режимов электрических сетей на основе методов максимального правдоподобия, дискриминантного и процедуры Вальда; разработка эффективного метода выделения районов электрических сетей с объектами распределенной генерации в островной режим работы; совершенствование алгоритмов работы противоаварийной автоматики, в том числе и автоматического ввода резерва.

Автором разработаны: многоканальный измеритель частоты, позволяющий увеличить точность и быстродействие измерений, по сравнению с существующими измерителями; метод выделения районов электрических сетей с объектами распределенной генерации в островной режим работы с использованием многопараметрической делительной автоматики; способ использования накопителей электроэнергии с выдачей активной и реактивной мощностей в сеть; варианты совершенствования алгоритмов устройств противоаварийной автоматики, линейного и секционного автоматического ввода резерва в энергорайонах с объектами распределенной генерации, позволяющими повысить быстродействие принятия решения; методика натурных испытаний. Проведена адаптация систем автоматического регулирования частоты вращения и возбуждения зарубежных генерирующих установок к особенностям электрических режимов энергорайонов; усовершенствована защита от перегрузки кабельных линий с изоляцией из сшитого полиэтелена и силовых трансформаторов которая учитывает результаты мониторинга температуры токопроводящих элементов.

В автореферате представлены выводы: по анализу особенностей работы электрических сетей с объектами распределенной генерации при включении и отключении нагрузок; по анализу алгоритмов работы и параметров настройки устройств автоматики энергосистемы. Предложена методика для проведения комплексных расчетов режимов при разработке схемы выдачи мощности с учетом особенностей современных генерирующих установок и нагрузки.

В итоге усовершенствована общая теория и практика управления режимами энергосистемы применительно к противоаварийному и режимному управлению энергорайонов с объектами распределенной генерации.

Результаты работы используются в девяти организациях городов Москва,

Санкт-Петербург, Нижний Новгород, Держинск, Челябинск и др., а также учебном процессе двух высших учебных заведениях.

По содержанию автореферата можно сделать следующее замечания:

1. Нет четкого разделения островного и автономного режимов. В автореферате отмечено, что при островном режиме "... *осуществляется отделение от энергосистемы одной ГУ или объекта РГ с несколькими однотипными ГУ и нагрузкой.*" Указанное применимо также и к автономному режиму.
2. Утверждение автора в том, что в отечественных распределительных сетях допустимы провалы и прерывания напряжений (с.14 автореферата) не точное. Да, к сожалению, в электрических сетях они имеют место. Но ни в действующем стандарте ГОСТ 32144–2013 "Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения". ни в предыдущих ГОСТ 13109–97, ГОСТ 13109–87, ГОСТ 13109–67 провалы и прерывания напряжений не нормированы.

В целом представленная работа, судя по автореферату, соответствует критериям пп. 9-14 "Положения о присуждению ученых степеней. Работа представляется актуальной, выполнена в полном объеме и имеет научную и практическую значимость. Основные научные положения и полученные практические результаты соответствуют паспорту специальности 05.14.02 - "Электрические станции и электроэнергетические системы".

Ее автор, Илюшин Павел Владимирович, заслуживает присуждения искомой ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 - "Электрические станции и электроэнергетические системы".

Научный руководитель РНПУП
"Институт энергетики НАН Беларуси",
доктор технических наук, академик,
профессор, тел +375 172 84 26 99
адрес: ул.Академическая, д. 15, к.2,
Минск, Беларусь 220072

Михалевич Александр
Александрович

10.01.2020

Зам. директора РНПУП "Институт
энергетики НАН Беларуси", кандидат
технических наук, доцент,
тел. +375 172 84 11 29,
адрес: ул.Академическая, д. 15, к.2,
Минск, Беларусь

Шевчик Николай
Евгеньевич

10.01.2020

**УТВЕРЖДАЮ**
Директор
Института проблем управления
им. В.А. Трапезникова РАН
доктор технических наук, профессор,
член-корреспондент РАН

_____ Д.А. Новиков

«16» декабря 2019 г.

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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»

Применение технологий распределенной генерации (РГ) в России наблюдается не только в территориально удаленных районах Крайнего Севера и Дальнего Востока, но и в промышленно развитых и в развивающихся регионах. Это, в подавляющем большинстве случаев, связано с неудовлетворительными показателями надежности электроснабжения особо ответственных потребителей, что приводит к значительным ущербам от ненадежности, в виде брака производимой продукции и упущенной выгоды. Высокая частота аварийных отключений, вследствие высокой степени износа основного и вспомогательного оборудования и низкой квалификации обслуживающего персонала в генерирующих и электросетевых компаниях, приводит к необходимости строительства объектов РГ промышленными предприятиями различных отраслей промышленности. При интеграции объектов РГ в сети внутреннего электроснабжения предприятий последние становятся активными, что требует создания систем противоаварийного и режимного управления для обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях. В связи с этим тема диссертационной работы Илюшина П.В., в которой выполнена разработка способов и средств противоаварийного и режимного управления в энергорайонах с распределенной генерацией, является актуальной.

Наиболее существенными результатами диссертационных исследований, отвечающими критерию научной новизны, теоретической и практической

ценности, являются:

1. Разработка способов определения параметров режима пусковыми органами автоматики энергосистем в условиях жестких временных ограничений, а также принятия решений логическим блоком автоматики управления нормальными и аварийными режимами.

2. Разработка способов реализации многопараметрической делительной автоматики выделение энергорайонов с объектами РГ в островной режим работы с дефицитом активной мощности до 60 %, а также расширения области допустимых режимов генерирующих установок за счет применения накопителей электрической энергии.

3. Разработка схемных решений и вариантов совершенствования алгоритмов устройств автоматики энергосистем, а также способов адаптации систем автоматического регулирования генерирующих установок, к особенностям режимов энергорайонов с объектами РГ.

4. Разработка методологии анализа аварийных режимов в энергорайонах с объектами РГ, с учетом особенностей генерирующих установок и нагрузки.

Многочисленные публикации и доклады соискателя на международных и всероссийских научно-технических и научно-практических конференциях и семинарах в полной мере отражают результаты диссертационных исследований, подтверждая их достоверность и апробированность.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. В разработанном схемно-алгоритмическом решении по автоматике ограничения снижения напряжения предусмотрена реализация превентивных управляющих воздействий, требующая организации взаимодействия с генерирующими и электросетевыми компаниями, что в условиях реформирования электроэнергетики вызывает значительные сложности.

2. В автореферате, не представлены структурные схемы усовершенствованных устройств автоматики энергосистем, что не позволяет в полной мере оценить их преимущества над существующими техническими решениями.

3. В автореферате не представлены общие принципы и построения и типовая структура коммуникационной сети энергорайона для реализации функций автоматики управления нормальными и аварийными режимами.

4. В диссертации следовало бы уделить большее внимание вопросам мониторинга и демпфирования опасных колебаний. Низкочастотные опасные колебания несут потенциальную угрозу устойчивости энергосистем, поскольку вследствие развитие рынков электроэнергии и растущего спроса на энергию энергосистемы все чаще функционируют вблизи границ устойчивости.

Приведенные замечания связаны с тем, что диссертационные исследования

Илюшина П.В. посвящены важным для науки и практики вопросам функционирования ЕЭС России в условиях широкого внедрения распределенной генерации и микрогенерации, в том числе на основе ВИЭ. Сделанные замечания не снижают общей научно-практической ценности работы.

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой разрабатываются теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как значительный научный и практический вклад в теорию и практику противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией, внедрение которых имеет большое значение для развития электроэнергетики страны. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям, а также соответствует критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Главный научный сотрудник лаборатории
«Моделирования и управления большими
системами» ИПУ РАН,
доктор технических наук, профессор Игорь Борисович Ядыкин

16.12.2019

Контактные данные автора отзыва:
Тел. +7 (495) 334-90-31, доб. 1494, E-mail: jad@ipu.ru
Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова Российской академии наук (ИПУ РАН)
Адрес: 117997, Россия, г. Москва, Профсоюзная, д. 65
Телефон: +7 (495) 334-89-10, Факс: +7 (495) 334-93-40, +7 (499) 234-64-26
E-mail: dan@ipu.ru

Подпись Ядыкина И.Б.
заверяю
вед. инженер
Жукова Н.П.

Институт социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИСЭиЭПС Коми НЦ УрО РАН) обособленное подразделение Федерального государственного бюджетного учреждения науки Федерального исследовательского центра «Коми научный центр Уральского отделения Российской академии наук» (ФИЦ Коми НЦ УрО РАН)

167982, г. Сыктывкар, ГСП-2, Республика Коми, ул. Коммунистическая, 26
Тел. (факс) (8212) 24-42-67
E-mail: iespn@ksc.komisc.ru

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации
«Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленной
Илюшиным Павлом Владимировичем
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Интерес к распределенной генерации в России повышается из года в год. Это связано с многими причинами, основными из которых являются доступность и относительная дешевизна используемых энергоресурсов для производства электрической энергии и повышение надежности электроснабжения потребителей. По разным оценкам установленная мощность генерирующих установок распределенной генерации сегодня составляет примерно 18 ГВт. Объем произведенной на них электрической энергии превышает выработку таких известных компаний, как ПАО «Т плюс», ПАО «Юнипро». К объектам распределенной генерации сегодня следует относить и достаточно малые по мощности генерирующие установки. Совершенно очевидно, что используемые для «большой» генерации принципы и подходы к управлению режимами функционирования не приемлемы для систем с объектами распределенной генерации, в том числе микрогенерацией, единичной мощностью установок до 15 кВт. Рассматриваемые в диссертации вопросы разработки систем противоаварийного и режимного управления энергосистемой в условиях наличия генерирующих установок, значительно отличающихся от находящихся в эксплуатации, актуально и своевременно не только для России, но и развитых стран мира.

Разработанные автором теоретические положения, способы и средства противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной и малой генерацией с позиций повышения надежности электроснабжения потребителей обладают научной новизной и представляют значительный вклад в теорию оптимального управления режимами электроэнергетических систем. Результаты исследования имеют практическую значимость для решения задач оперативного управления режимами для различных схемно-режимных условий функционирования энергорайонов.

По автореферату имеются следующие вопросы и замечания.

1. Необходимо пояснить, почему основное внимание при рассмотрении особенностей электрических режимов энергорайонов с распределенной генерацией

(первая глава) уделено генерирующим установкам прямого присоединения, в то время как часть газотурбинных установок, а также объектов на основе ВИЭ присоединяется к сети с помощью полностью управляемых инверторных преобразователей?

2. В системах автоматического регулирования и управления, которыми оснащены генерирующие установки, заводы-изготовители закладывают определенные алгоритмы регулирования и управления. Тем не менее, в третьей и четвертой главах автореферата автором предлагаются дополнительные алгоритмы внешнего управления. Каким образом это предполагается реализовывать?

3. В автореферате уделено значительное внимание вопросам обеспечения надежности электроснабжения потребителей, однако не рассмотрены показатели аппаратной (элементной) надежности собственно генерирующих установок. В большинстве режимов работы энергорайонов эти генерирующие установки будут тесно взаимосвязаны и в значительной степени влиять на обеспечение системной надежности. Рассматривались ли эти вопросы в тексте диссертации?

Автореферат показывает высокий научный уровень диссертации, актуальность поставленной цели и достоверность полученных результатов. Анализ текста автореферата позволяет утверждать, что диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой. В ней на основании выполненных автором исследований разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, развивающее теорию и практику в области решения задач управления режимами функционирования энергосистем, внедрение которых вносят значительный вклад в повышение точности и надежности решения задач противоаварийного и режимного управления электроэнергетических систем. Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК к докторским диссертациям и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности «05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы».

Врио директора ИСЭиЭПС
Коми НЦ УрО РАН,
ФИЦ «Коми НЦ УрО РАН»,
доктор технических наук, ст.н.с. Чукреев Юрий Яковлевич

Тел. +7 (8212) 20-34-92,
chukreev@iespn.komisc.ru

14/01/2020 г.

ИСЭ и ЭПС ФИЦ Коми НЦ УрО РАН
Для документов

Подпись Чукреева Ю.Я.
заверяю.
Заведующая канцелярией Института социально-экономических и энергетических проблем Севера Коми научного центра Уральского отделения Российской академии наук (ИСЭ и ЭПС ФИЦ Коми НЦ УрО РАН)
Щербакова Т.Е.
«14» января 2020 г.

АО «Научно-технический центр
Федеральной сетевой компании Единой
энергетической системы»,
Диссертационный совет Д 512.002.01,
ученому секретарю, д.т.н., ст. науч. сотр.
Н.Л. Новикову

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Илюшина Павла Владимировича на тему
**«Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией»**
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Развитие распределенной генерации в России, интегрируемой в распределительные электрические сети или сети внутреннего электроснабжения энергорайонов, приводит к тому, что количество объектов управления становится существенно больше, чем в традиционных сетях. Кроме того, скорость развития нарушений нормального режима возрастает, в связи с малыми значениями механических постоянных инерции генерирующих установок распределенной генерации, а реверсивные потоки мощности являются нормально допустимыми, так как определяются режимами генерации и электропотребления в узлах нагрузки в конкретный момент времени.

Следовательно, диссертационная работа Илюшина П.В., в которой выполнена разработка 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, является чрезвычайно актуальной.

Научная новизна, теоретическая и практическая ценность диссертационных исследований заключена в следующих результатах:

– разработаны способы определения параметров режима пусковыми органами автоматики энергосистем и развиты принципы последовательного принятия решений логическими блоками автоматики;

– предложен способ выделения энергорайонов с РГ в островной режим для обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжение потребителей;

– разработан способ расширения области допустимых режимов генерирующих установок за счет применения накопителей электрической энергии;

– предложены усовершенствованные алгоритмы, схемно-алгоритмические решения и способы адаптации устройств противоаварийного и режимного

управления к особенностям режимов энергорайонов с РГ.

– разработаны методики проведения натурных испытаний и измерений, выполнения расчетов электрических режимов, с учетом особенностей зарубежных генерирующих установок и нагрузки;

– реализован программно-аппаратный комплекс автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с РГ.

Достоверность положений диссертационной работы основаны на применении методология системного анализа, методы математической статистики, математического моделирования технических систем, математического анализа, теории принятия решений, надежности, устойчивости и противоаварийного управления в ЭЭС. Математическое моделирование установившихся и переходных режимов, анализ алгоритмов работы и параметров настройки устройств автоматики энергосистем выполнялись в ПК RastrWin, ПК Мустанг, методов определения параметров режима в ПК Mathcad.

Публикации и доклады на международных и всероссийских научно-технических конференциях и семинарах в достаточной мере отражают результаты диссертационного исследования.

Язык изложения материала в автореферате технически ясен, научные положения выражены четко и понятно.

По автореферату имеются следующие вопросы:

1. В автореферате не представлены расчеты быстродействия комплекса автоматики управления нормальными и аварийными режимами (АУНиАР) при возникновении различных возмущений во внешней сети. Проводилось ли сопоставительное сравнение результатов с находящимися в эксплуатации устройствами противоаварийной автоматики?

2. Не представлены результаты технико-экономического обоснования применению АУНиАР. Выполнялись ли данные расчеты для конкретных энергорайонов с объектами распределенной генерации?

3. В автореферате представлено множество схемно-алгоритмических решений. Прорабатывалась ли автором системотехника их реализации в энергорайонах с объектами распределенной генерации?

Указанные вопросы и замечания вызваны, прежде всего, тем обстоятельством, что диссертационные исследования автора посвящены важным для науки и практики аспектам развития ЕЭС России в условиях децентрализации электроэнергетики. Поэтому они не снижают достоинства полученных теоретических и практических результатов, но раскрывают другие грани для дальнейших научных исследований.

В целом диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разрабатываются теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, развивающее теорию и практику противоаварийного и режимного управления в энергорайонах с распределенной генерацией. Диссертационная

работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям и критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заместитель Генерального директора по научной работе АО «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского», доктор технических наук, профессор

Дмитрий Иванович Панфилов

12 декабря 2019 года

Контактные данные автора отзыва:
Тел. (моб): +7(985) 969-95-50
E-mail: panfilov@eninet.ru

Акционерное общество «Энергетический институт им. Г.М. Кржижановского» (АО «ЭНИН»)
Адрес: 119991, Россия, г. Москва, Ленинский проспект, д. 19
Телефон: +7 (495) 770-31-00
E-mail: postbox@eninnet.ru
Сайт: http://www.enin.su, энин.рф

Подпись д.т.н., проф. Панфилова Д.И. заверяю:

Начальник управления персонала АО "ЭНИН" /Мошачкина В.В./
12.12.2019г.

# О Т З Ы В

на автореферат диссертации 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»

**Актуальность.** В последние 5 лет происходит масштабное применение в распределительных электрических сетях (РЭС) объектов распределённой генерации (РГ) разных типов и мощностей, что коренным образом меняет свойства РЭС как пассивных транспортно-распределительных структур, превращая их в активные распределительные электроэнергетические системы с новыми техническими и экономическими свойствами. Управление электрическими режимами РЭС с РГ требует нового глубокого теоретического и практического осмысления, применения новой методологии и способов управления, максимально децентрализованных и автоматизированных. Актуальность темы исследования очевидна и убедительно показана автором.

**Научная Новизна.** Новые научные результаты получены при разработке методологии, 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, позволяющие получить новые эксплуатационные характеристики по надёжности, быстродействию и точности.

**Теоретическая ценность.** Автором развита общая теория управления режимами ЭЭС применительно к противоаварийному и режимному управлению энергорайонов с РГ в виде выявленных особенностей режимов, разработанных способов противоаварийного и режимного управления, структурных и схемно-алгоритмических решений, методик проведения натурных испытаний и измерений, а также расчетов электрических режимов, с целью обеспечения надежного функционирования ГУ и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями.

**Практическая значимость.** 1) Разработанные способы противоаварийного и режимного управления, структурные и схемно-алгоритмические решения по совершенствованию алгоритмов автоматики энергосистем реализованы в ПАК АУНиАР энергорайонов с объектами РГ на базе отечественных промышленных компьютеров с использованием специализированного

программного обеспечения и протокола обмена данных, соответствующего требованиям МЭК 61850. 2) Разработанные методики и рекомендации могут быть использованы в задачах эксплуатации и развития РЭС с РГ в части организации натурных испытаний и замеров, а также в задачах проектирования развития РЭС и подключения новых объектов распределённой генерации. 3) Обобщённая автором теория управления режимами РЭС с РГ представляет интерес для подготовки квалифицированного научного и инженерного персонала электроэнергетики.

**Достоинства и недостатки содержания автореферата.** Автореферат диссертации соответствует основным положениям диссертационной работы. Материал диссертации достаточно полно представлен в 39 работах, опубликованных в журналах, рекомендованных ВАК РФ, в научных изданиях международных реферативных базах данных Scopus и Web of Sience, в тезисах докладов международных, отечественных и зарубежных симпозиумов и конференций, а также в других изданиях.

По содержанию автореферата диссертационного исследования возникли следующие **вопросы**:

1. На стр. 3 определено, что «под объектом РГ понимается электростанция, состоящая из одной или нескольких ГУ, … и использующая… любые первичные источники энергии, *включая возобновляемые*». Однако в дальнейшем анализе генерирующие установки на базе ВИЭ не рассматриваются, хотя их доля в некоторых объектах РГ неуклонно возрастает. *Является ли этот процесс существенным, требующим дополнительных исследований? Будут ли разработанные автором алгоритмы и автоматические устройства успешно работать в энергорайонах с ГУ на базе ВИЭ (СЭС, ВГУ)?*
2. На текущий момент доминирующая доля ГУ в объектах РГ в российских РЭС представлена зарубежными установками, находящимися при этом в собственности разных юридических субъектов. В диссертации решается чрезвычайно важная проблема адаптации автоматики зарубежных ГУ под задачи автоматического управления режимами работы ГУ «в различных схемно-режимных условиях и срабатывания устройств РЗ и ПА с действием на отключение ГУ и нагрузки». *Насколько реализуемы предлагаемые автором решения с учётом юридических ограничений при согласовании изменений «заводских настроек автоматики ГУ» с производителями и собственниками ГУ?*
3. Ввиду системности и новизны исследования результаты диссертационной работы представляют безусловный интерес для подготовки молодых и повышения квалификации действующих специалистов и учёных. Факты такого использования результатов исследований приведены на стр. 12-13 автореферата. *Существуют ли учебно-методические материалы широкого доступа в электронном виде или планы их подготовки?*

**Заключение.** Рассматриваемая диссертационная работа представляет системное исследование актуальной научно-технической проблемы управления режимами распределённой генерации, содержит новые научные результаты, которые имеют также широкий прикладной характер. Содержание автореферата позволяет считать, что работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленная на соискание ученой степени доктора технических наук, является законченной квалификационной научной работой, соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы и критериям 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Доктор технических наук, доцент, Советник директора группы советников АО «Системный Оператор Единой Энергетической Системы» (АО «СО ЕЭС»), г. Москва. Удалённое рабочее место - Филиал АО «СО ЕЭС» ОДУ Урала,
620000, Россия, г. Екатеринбург,
ул. Толмачёва, дом 6.

Ерохин Пётр Михайлович
+7 343 359 22 70 (раб)
+7 985 410 30 82 (моб)
erokhin-pm@so-ups.ru
epm@ural.so-ups.ru

11.12.2019.

***Степень, звания, должность и подпись Ерохина П.М. заверяю,***

начальник СУП Филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Урала Лисицына М.Н.

# О Т З Ы В

на автореферат диссертации 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»

Актуальность темы. Количество объектов распределенной генерации (РГ) в России расширяется и эта тенденция, учитывая географические особенности страны, будет сохраняться. Применение объектов РГ позволяет привлекать доступные и дешевые энергоресурсы. Дополнительным стимулом для сооружения объектов РГ служит необходимость обеспечения надежного электроснабжения ответственных потребителей, не допускающих перерывов электроснабжения. Во многих случаях снижение затрат на выработку электрической и тепловой энергии происходит за счет утилизации вторичных энергоресурсов, а дополнительная тепловая энергия получается на основе когенерации. Однако при использовании объектов РГ возникают определенные эксплуатационные проблемы, связанные с тем, что на них широко применяются газотурбинные, газопоршневые и дизельные генерирующие установки зарубежного производства, отличающиеся разнообразными алгоритмами регулирования. Несоответствие алгоритмов управления и системной автоматики может привести к масштабным авариям, как это имело место в Великобритании в августе 2019 года.

Поэтому привлечение объектов РГ к участию в реализации алгоритмов противоаварийной и режимной автоматики, их использование в качестве источников надежного электроснабжения, позволяет существенно повысить показатели надежности электроснабжения потребителей. Совершенствование автоматического управления режимами энергорайонов с объектами РГ, учитывая перспективы развития РГ и микрогенерации, является крайне актуальной задачей, которую следует решать на принципиально новом научно-технологическом уровне с применением в том числе отечественных программно-аппаратных комплексов (ПАК), в том числе в рамках реализации национальной программы импортозамещения.

Автоматика управления нормальными и аварийными режимами (АУНиАР) энергорайонов с объектами РГ должна учитывать, что количество объектов управления значительно больше, чем в традиционных сетях, скорость развития нарушений нормального режима выше, в связи с малыми значениями механических постоянных инерции ГУ объектов РГ и микрогенерации, а реверсивные потоки мощности являются нормально допустимыми, так как определяются режимами генерации и электропотребления в узлах нагрузки в конкретный момент времени. Сказанное подтверждает значительную

актуальность рассмотренных в диссертации вопросов.

Среди разработок диссертанта особо следует отметить разработку и способ реализации многопараметрической делительной автоматики (МДА) энергорайона с объектами РГ, отличающийся тем, что предусматривает набор пусковых органов (частота; напряжение; реактивная мощность и ее направление; положение коммутационных аппаратов), действующий как превентивно по параметрам режима, так и в случае непреднамеренного выделения (с КЗ; без КЗ). Способ обладает повышенным быстродействием выделения (0,1-0,2 с) и реализации УВ на ОН (0,2-0,5 с), имеет блокирующие алгоритмы и обеспечивает надежное выделение энергорайона с дефицитом активной мощности до 60%.

Также необходимо отметить усовершенствованный алгоритм АЧР, отличающийся тем, что использует информацию о напряжении в узле нагрузки, схемно-режимной ситуации в прилегающей сети, данные от блоков контроля предшествующего режима (КПР) и результаты комплексных расчетов режимов. Алгоритм обладает повышенным быстродействием (до 0,02-0,035 с), что позволяет предотвращать возможность возникновения лавины частоты и напряжения в островном режиме энергорайона.

Большое практическое значение имеет разработанный способ адаптации АРЧВ зарубежных ГУ к особенностям режимов энергорайонов с объектами РГ, осуществляющий блокировку системы переключения алгоритмов АРЧВ с выбором величины статизма регулирования частоты в диапазоне 4-5 % во всех режимах работы ГУ, позволяющий предотвращать значительные отклонения частоты в различных схемно-режимных условиях, а также срабатывания устройств РЗ и ПА с действием на отключение ГУ и нагрузки.

При ознакомлении с авторефератом возникли следующие вопросы и замечания.

1. Как обоснована принятая в работе большая величина постоянной времени на набор мощности для газопоршневых установок (20 с), стр. 28?

2. Каковы принятые в работе характеристики накопителя электрической энергии – постоянные времени регулирования активной и реактивной мощности, ограничения по потребляемому и выдаваемому току и т.д.?

Сделанные замечания не снижают высокой оценки диссертационной работы П.В. Илюшина, которая является завершенной научно-квалификационной работой, посвященной решению актуальной научно-технической задачи повышения эффективности противоаварийного и режимного управления энергорайонов с объектами распределенной генерации, имеющей существенное значение для обеспечения надежного электроснабжения потребителей и вносящей несомненный вклад в научное развитие электротехнической отрасли. Диссертационная работа соответствует научной специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» и удовлетворяет

требованиям п.п. 9–14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней» (утверждено Правительством Российской Федерации от 24 сентября 2013 года № 842 (в редакции от 01.10.2018 г.)), предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук, а её автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заместитель заведующего отделом
проектирования и развития энергосистем
АО «НТЦ ЕЭС»,
доктор технических наук, профессор

Смоловик Сергей Владимирович
«14» 01 2020 г.

E-mail: smolovik@ntcees.ru
Тел. (моб).: +7 (921) 941-65-55

Акционерное общество «Научно-технический центр Единой энергосистемы» (АО «НТЦ ЕЭС»).
Почтовый адрес: 194223, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Курчатова, д. 1, лит. А.
Тел.: +7 (812) 297-54-10.
E-mail: ntc@ntcees.ru.

Подпись заверяю
Глав. спец. АПО

АКЦИОНЕРНОЕ ОБЩЕСТВО «Научно-технический центр Единой энергетической системы» АО «НТЦ ЕЭС» САНКТ-ПЕТЕРБУРГ
Административно-правовой отдел (АПО)

В диссертационный совет
Д 512.002.01 на базе Акционерного общества «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы»

# ОТЗЫВ

На автореферат диссертации **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 распределенной генерации (РГ), обладая рядом известных преимуществ, получили широкий спектр применения для электроснабжения собственных потребителей отдельных районов. На начальных этапах применения из-за отсутствия программно-технических средств РГ не привлекались к режимному управлению энергосистемой, что ограничивало развитие их широкого применения. Однако в дальнейшем рост выработки мощности источниками РГ, усилил их значимость в решении проблем обеспечения надежности и экономичности функционирования энергосистемы. В связи с этим, проведенные в диссертации исследования по созданию эффективных методов и вычислительных технологий для измерения параметров РГ в нормальных и переходных режимах, а также разработка алгоритмов противоаварийного управления генерирующими установками РГ являются актуальными.

Целью диссертационной работы Илюшина П.В. является разработка методов и средств автоматического регулирования нормальными и аварийными режимами в системах РГ, обеспечивающих высокую эффективность решения задач выполняемых общесистемными средствами автоматического регулирования. Для реализации поставленной цели решается комплекс задач, направленных на повышение эффективности средств противоаварийного управления энергорайонов с объектами РГ (АЧР, АОСН, АОПО), а также АРЧВ, АРВ за счет повышения их быстродействия и высокой точности реализации управляющих воздействий.

Научная новизна проведенных исследований подтверждается новыми подходами при создании схемных решений АВР, АЧР, АОСН, АОПО и других устройств автоматического управления энергорайонами с объектами РГ. В решении комплекса этих задач предлагаются методы измерения и идентификации управляющих воздействий для каждого из указанных средств автоматического управления.

Выявленные с помощью разработанных методов особенности поведения РГ в установившихся и переходных режимах могут служить объектом дальнейшего развития теории противоаварийного управления режимами РГ различного назначения.

Исследования проведенные в диссертации по направлению, области исследования, а также полученные результаты полностью соответствуют паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Теоретическая и практическая значимость диссертации состоит в разработке комплекса способов измерений параметров режима с высокой точностью, позволяющих повысить скорость принятия решений устройствами противоаварийного управления, предложены схемные и алгоритмические решения для реализации АВР, АЧР, АОСН, АОПО.

Результаты диссертационной работы Илюшина П.В. достаточно полно опубликованы в 104 научных статьях, из них: 42 в журналах по списку, рекомендованному ВАК РФ, 12 статей в рецензируемых изданиях, входящих в базы научного цитирования *Web of Science и Scopus*, 50 в других журналах, сборниках докладов и тезисов. По теме диссертации опубликованы 2 монографии, получено 10 патентов на изобретения и полезные модели.

По автореферату диссертации имеются следующие замечания.

1. В настоящее время имеются промышленные системы известных компаний, например, Siemens–Siprotech, Sepam–France, с помощью которых решаются задачи для координации релейной защиты со сложным (гармоническим составом и высокой степенью нелинейности) характером изменчивости входных сигналов. Проводился ли сравнительный анализ указанных и предложенных в диссертации решений по точности и быстродействию? Как в этих условиях обеспечивается устойчивость самой системы?

2. Измеряемые параметры режима РГ имеют стохастический характер, изменчивость которых связана с рядом случайных факторов действующих в регионе с РГ, а также процессами во внешней энергосистеме. Причем, в зависимости от состава ГУ и характера нагрузки эти стохастические изменения могут отличаться. Проводился ли анализ распределения вероятностей измеряемых параметров режима при подключении РГ к энергосистеме и в изолированном режиме работы?

Указанные замечания не являются критическими и не уменьшают достоинств представленной диссертационной работы.

В целом диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» представляет собой законченный научный труд, соответствующий паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы». Диссертационная работа соответствует критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

*Главный научный сотрудник*
отдела «Режимы и проблемы управления
энергосистем» Азербайджанского Научно-
Исследовательского и Проектно-Изыскательского
Института Энергетики, Заслуженный
энергетик, Заслуженный деятель науки
Азербайджана, д.т.н., профессор

**Рахманов Нариман Рахманович**

09.12.2019

Контактные данные автора отзыва:
тел. (+994 50) 347-99-97
ard.nariman@gmail.com

АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ НАУЧНО-ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ И ПРОЕКТНО-ИЗЫСКАТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ ЭНЕРГЕТИКИ
Адрес: AZ 1122, Азербайджанская Республика, г. Баку, пр. Г. Зардаби, 94
Тел.: (+994 12) 432-80-76, 530-66-23
Факс: (+994 12) 432-80-76, 530-66-23
E-mail: institut@azerenerji.gov.az

*Подпись д.т.н., проф. Н.Р. Рахманова заверяю*
Ученый секретарь Института, к.т.н., доц. **А.К. Салимова**

УТВЕРЖДАЮ:
Президент Некоммерческого партнерства
«Научно-технический совет Единой
энергетической системы» (НП «НТС ЕЭС»),
доктор технических наук, профессор

_____ Н.Д. Рогалев

«19» декабря 2019 г.

**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации 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»

Проектом Энергетической стратегии России на период до 2035 года предусматривается последовательная трансформация электроэнергетики страны в современную высокотехнологичную и эффективную инфраструктуру, позволяющую обеспечить надежность, безопасность и эффективность функционирования энергосистем, электростанций и электроснабжения потребителей, посредством применения адаптивных систем управления нормальными и аварийными режимами. Совершенствование и модернизация систем управления должно происходить в условиях децентрализации генерации, подразумевающей широкое внедрение объектов распределенной генерации, включая возобновляемые источники энергии, а также использования систем накопления энергии, активных потребителей, управляемых устройств с элементами силовой электроники, интегрируемых в «умные сети» (Smart Grids). Создание систем и сервисов интеллектуальной энергетики предусмотрено «дорожной картой» Национальной технологической инициативы «Энерджинет» и национальным проектом «Интеллектуальная энергетическая система России». Следовательно, диссертационное исследование П.В. Илюшина, посвященное разработке 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, является весьма актуальным.

Научной новизной и практической ценностью обладают следующие результаты диссертационного исследования:

1. Разработаны новые способы определения параметров режима пусковыми органами автоматики управления нормальными и аварийными режимами, а также развиты принципы последовательного принятия решений логиче-

ским блоком автоматики для повышения быстродействия, точности идентификации классов и границ режимных областей, надежности срабатывания в условиях быстрых переходных процессов.

2. Разработаны способ выделения энергорайонов с объектами РГ в островной режим, а также способ расширения области допустимых режимов генерирующих установок объектов РГ посредством применения накопителей электрической энергии для обеспечения надежного функционирования ГУ и электроснабжения потребителей.

3. Разработаны структурные и схемно-алгоритмические решения устройств противоаварийной и режимной автоматики с целью обеспечения надежности их срабатывания в энергорайонах с объектами РГ.

4. Предложены способы адаптации зарубежных автоматических регуляторов частоты вращения и возбуждения синхронных генераторов к особенностям режимов энергорайонов с объектами РГ.

5. Создан программно-аппаратный комплекс автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами РГ.

Основные положения диссертационных исследований соискателя широко представлены в его многочисленных публикациях и выступлениях на всероссийских и международных научных коллоквиумах, конференций и семинарах.

Результаты диссертационных исследований П.В. Илюшина используются в электросетевых компаниях, проектных организациях, на промышленных предприятиях, эксплуатирующих объекты распределенной генерации, производителями устройств релейной защиты и автоматики (АО «НИПОМ и ООО «НПП АЛИМП»), а также в учебном процессе (ФГАОУ ДПО «ПЭИПК и ФГБОУ ВО «НТТУ им. Р.Е. Алексеева»).

По автореферату имеются следующие вопросы:

1. Из автореферата не понятно, используются ли для создания автоматики управления нормальными и аварийными режимами дополнительные многофункциональные цифровые устройства или данные функции управления режимами реализуются в терминалах релейной защиты и автоматики?

2. Для обеспечения функциональной надежности цифровых устройств критически важно соблюдение требований (нормативов) по электромагнитной совместимости. Так как данный вопрос не нашел своего отражения в автореферате, то рассматривался ли он в рамках диссертационного исследования?

3. Разрабатывались ли типовые технические решения по автоматике управления нормальными и аварийными режимами для промышленных энергорайонов с объектами распределенной генерации, учитывая их сложность, которые можно было бы использовать в проектных организациях?

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, в которой разработаны теоретические положения, совокупность которых можно квалифицировать как научное достижение, развивающее теорию и практику

управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетики страны, и по своему теоретическому уровню и практическому значению отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям. Диссертация соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» и критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. № 842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Первый заместитель Председателя
Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС»,
действительный член АЭН РФ,
профессор кафедры ТЭВН НИУ «МЭИ»,
доктор технических наук, профессор Виктор Владимирович Молодюк

19.12.2019

Контактные данные автора отзыва:
тел. +7(906) 743-08-16
E-mail: vm@nts-ees.ru

Некоммерческое партнерство «Научно-технический совет Единой энергетической системы» (НП «НТС ЕЭС»)
Фактический адрес:111250, Россия, г. Москва, проезд Завода Серп и Молот, д.10, офис 608
Тел. (495) 012-60-07, E-mail: dtv@nts-ees.ru, http://www.nts-ees.ru/

Подпись д.т.н., профессора Рогалева Н.Д. и
д.т.н., профессора Молодюка В.В. заверяю:
помощник Президента НП «НТС ЕЭС» по правовым вопросам и кадрам

С.В. Немчанинов

# О Т З Ы В

**на автореферат диссертации 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»**

В настоящее время интерес к распределенной генерации (РГ) в России значительный, так как ее строительство позволяет получать более дешевые энергоресурсы для снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности производимой продукции на внешнем и внутреннем рынках. Ежегодно в России вводятся в эксплуатацию десятки новых объектов РГ, а крупные промышленные предприятия увеличивают долю выработки электроэнергии объектами РГ в балансе собственного электропотребления.

При этом, объекты РГ имеют существенные особенности, порождающие проблемные аспекты, которые следует учитывать при интеграции в распределительные сети или сети внутреннего электроснабжения предприятий. Кроме того, они оказывают существенное влияние на алгоритмы работы и параметры настройки устройств автоматики энергосистем. В указанных условиях используемые принципы и подходы не позволяют реализовать эффективное управление режимами энергорайонов с объектами РГ в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями. Следовательно, совершенствование автоматического управления режимами энергорайонов, учитывая перспективы развития РГ и микрогенерации, является крайне актуальной задачей, которую следует решать на принципиально новом научно-технологическом уровне с применением отечественных программно-аппаратных комплексов, в рамках национальной программы импортозамещения.

Учитывая вышеизложенное, диссертационная работа Илюшина П.В., посвящённая разработке 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, является весьма актуальной и перспективной.

Основные научные и практические результаты диссертационных исследований заключаются в следующем:

1. Разработаны новые способы определения параметров режима пусковыми органами автоматики энергосистем и развиты принципы

последовательного принятия решений логическими блоками автоматики для повышения быстродействия, точности идентификации классов и границ режимных областей, надежности срабатывания в условиях быстрых переходных процессов с флуктуациями.

2. Разработан способ выделения энергорайонов с объектами РГ в островной режим, позволяющий обеспечить надежное функционирование генерирующих установок и электроснабжение потребителей при условии минимизации объемов отключения нагрузки.

3. Разработан способ расширения области допустимых режимов генерирующих установок за счет применения накопителей электрической энергии для предотвращения их излишних отключений при внешних возмущениях.

4. Разработаны методика проведения натурных испытаний и измерений, а также методика выполнения расчетов электрических режимов, для повышения точности результатов расчетов и обоснованности принятия основных технических решений в процессе проектирования энергорайонов с объектами РГ, с учетом особенностей современных генерирующих установок и нагрузки.

5. Разработаны усовершенствованные алгоритмы, схемно-алгоритмические решения и способы адаптации устройств противоаварийного и режимного управления к особенностям режимов энергорайонов с объектами РГ.

6. Создан программно-аппаратный комплекс автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами РГ.

Результаты диссертационных исследований Илюшина П.В. достаточно полно представлены в научно-технических изданиях по списку, рекомендованному ВАК РФ, апробированы на многочисленных зарубежных, международных и российских научных, научно-технических и научно-практических конференциях и семинарах.

По автореферату имеется следующие вопросы и замечания:

1. В таблице рис. 2.1б приведены результаты определения частоты и амплитуды сигнала. К сожалению, в тексте автореферата отсутствуют пояснения по применению метода максимального правдоподобия (ММП) к обработке приведенных в таблице результатов. При этом остается непонятным назначение цветной разметки вблизи диагонали таблицы. Отмеченные значения имеют систематическое смещение по частоте. Желательно прояснить указанные вопросы в ходе доклада.

2. Предложенный автором усовершенствованный алгоритм работы АЧР не получил в автореферате достаточного описания в качестве совокупности последовательных шагов и схемы действий, приводящей к желаемому

результату. Приведена лишь информация о входных параметрах, характеристиках темпа расчета и полученном положительном эффекте.

Приведенные замечания не снижают общей положительной оценки представленной Илюшиным П.В. диссертационной работы.

Диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельным, целостным научно-исследовательским трудом, в котором решена важная научная проблема управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами распределенной генерации средствами автоматики, что имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для электроэнергетики страны. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

**Доктор технических наук** **Наровлянский Владимир Григорьевич**

11 декабря 2019 года

Научный консультант, Департамент РЗА и АСУ
ОАО «Всероссийский научно-исследовательский институт релестроения с опытным производством» (ОАО «ВНИИР»)
Адрес: 428024, Россия, Чувашская республика, г. Чебоксары, пр. И. Яковлева, 4
Тел.: (8352) 39-00-00, 39-00-12
Факс: (8352) 39-00-01, 39-00-11
E-mail: vniir@vniir.ru

Контактные данные автора отзыва: тел. (моб): +7(903) 724-43-49
e-mail: vgn1950@gmail.com

Подпись Наровлянского В.Г. удостоверяю:

Начальник кадрового делопроизводства

11.12.2019

**ОТЗЫВ**
**на автореферат диссертации 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»**

Диссертационная работа П.В. Илюшина, посвящена актуальной для современной энергетики России теме разработке быстродействующих, прецизионных и оперативных способов и средств противоаварийного и режимного управления объектами распределенной генерации для обеспечения надежного функционирования энергетических систем и электроснабжения потребителей является без сомнения актуальной для современной энергетики России

В работе развиты общая теория и практика управления режимами электроэнергетических систем применительно к противоаварийному и режимному управлению территорий с распределенной генерацией с целью обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях, что можно считать новым научным достижением.

Особенно хочется отметить, что разработанные способы и средства противоаварийного и режимного управления практически реализованы в созданном программно-аппаратном комплексе автоматики управления, нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией.

Считаю, что результаты диссертационной работы П.В. Илюшина необходимо внедрять в проектных и научных организациях и для конкретного применения производителям устройств автоматики энергосистем, систем автоматического управления генерирующих установок, в электросетевых компаниях и на промышленных предприятиях, осуществляющих эксплуатацию электрических сетей мощностью 0,4–110 кВ с распределенной генерацией.

При ознакомлении с авторефератом возникли вопросы и замечания:

1. В автореферате автором в основном рассматриваются энергорайоны с объектами распределенной генерацией на базе генерирующих установок на углеводородном топливе, и почему то не представлены результаты, относящиеся к генерации энергии возобновляемыми источниками энергии. Потребуются ли доработки предложенных алгоритмов в этом случае?

2. Мировой опыт функционирования объектов распределенной генгерации показывает, что зарубежные генерирующие установки отключаются в несколько раз чаще, чем энергоблоки на крупных электростанциях, поэтому к ним не предъявляются требования по обеспечению надежности электроснабжения потребителей. Требуется пояснить, почему в автореферате не приведены решения по повышению надежности электроснабжения за счет усиления сетевой инфраструктуры?

3. В автореферате не затронуты вопросы обеспечения кибербезопасности, учитывая, что сеть передачи данных, через которую осуществляется передача информации от всех устройств и датчиков, а также реализация алгоритмов управления нормальными и

аварийными режимами, имеет большую протяженность и охватывает значительные территории энергорайона.

**Общее заключение**

Диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является законченной самостоятельной научно-квалификационной работой, в которой разработаны положения, развивающее теорию и практику управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией, имеющие важное социально-экономическое и хозяйственное значение для развития электроэнергетики России в среднесрочной перспективе.

Диссертационная работа в полной мере соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», по своему теоретическому уровню и практическому значению отвечает требованиям ВАК РФ к докторским диссертациям, а также соответствует критериям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович несомненно заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заведующий научно-исследовательской лабораторией «Возобновляемые источники энергии» Географического факультета МГУ им. М.В. Ломоносова, главный научный сотрудник доктор физико-математических наук, профессор

Соловьев Александр Алексеевич
Тел.: +7(495) 939-42-57.
E-mail: a.soloviev@geogr.msu.ru

29.01.2020г.

Подпись руки Соловьева А.А.
Заверяю зав. канцелярией

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова» (МГУ им. М.В. Ломоносова).119991, Россия, Москва, ГСП-1, Ленинские горы, МГУ им. М.В. Ломоносова, Географический факультет
Телефон: (8 495)-939-2238 Факс: (8 495)-932-8836. E-mail: info@geogr.msu.ru

**О Т З Ы В**

на автореферат диссертации «СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО И РЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРАЙОНОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ»

**ИЛЮШИНА ПАВЛА ВЛАДИМИРОВИЧА**,

представленной на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности

05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Распределенная генерация для России понятие не новое, но в отличие от многих стран мира, где ее развитие происходит в основном за счет строительства объектов генерации на основе возобновляемых источников энергии, она представлена электростанциями с газотурбинными, дизельными или газопоршневыми генерирующими установками, кото [illegible] дприятиями и подключаются, как правило, к сетям их внутреннего электроснабжения. При этом промышленные потребители становятся активными и могут в течение суток в значительном диапазоне изменять величину своего электропотребления, вне зависимости от технологического цикла предприятия, за счет управления режимом генерации на собственных объектах распределенной генерации. Технологическое присоединение распределенной генерации создает множество проблемных технических вопросов, которые необходимо решать в прилегающих сетях, которые связаны с ростом уровней токов КЗ, неправильными действиями устройств релейной защиты и автоматики, сложностями управления режимами по напряжению и другими.

Кроме того, 11 декабря 2019 года Государственной Думы Федерального Собрания Российской Федерации приняла в третьем чтении инициированный Правительством Российской Федерации закон, регулирующий производство электроэнергии на объектах микрогенерации. Законом вводит в законодательство об электроэнергетике понятие объекта микрогенерации и устанавливаются критерии отнесения генерирующих объектов к этой категории. Принятие закона упрощает процедуру технологического присоединения объектов микрогенерации и предоставляет их владельцам возможность продавать излишки вырабатываемой электроэнергии на розничном рынке электроэнергии. Однако это существенно усложняет задачу управления электрическими режимами в сетях среднего и низкого напряжения.

В сложившихся условиях, диссертационная работа Илюшина П.В., которая посвящена вопросам разработки 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, является особенно актуальной.

Научная новизна диссертационной работы заключается в разработке:

- способов определения параметров режима пусковыми органами автоматики энергосистем и развитии принципов последовательного принятия решений

логическими блоками устройств автоматики;

- способа выделения энергорайонов с объектами распределенной генерации в островной режим для обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и нагрузки;
- способа расширения области допустимых режимов генерирующих установок, посредством использования накопителей электрической энергии с независимым управлением по активной и реактивной мощности;
- усовершенствованных алгоритмов, схемно-алгоритмических решений и способов адаптации средств противоаварийного и режимного управления к особенностям режимов энергорайонов с распределенной генерацией;
- методик проведения натурных испытаний и измерений, а также выполнения расчетов электрических режимов, с учетом особенностей генерирующих установок зарубежных заводов-изготовителей и нагрузки.

Важным практическим результатом диссертационного исследования Илюшина П.В. является разработка программно-аппаратного комплекса автоматики управления нормальными и аварийными режимами (АУНиАР) энергорайонов с распределенной генерацией, в котором реализованы основные алгоритмы автоматики энергосистем, обладающие возможностью адаптации к особенностям схемно-режимных условий.

Основные положения диссертационной работы Илюшина П.В. опубликованы в 42 статьях из списка ВАК, 12 статьях, включенных в базу международного научного цитирования Scopus, а также докладывались и обсуждались на 110 зарубежных и российских научных конференциях и семинарах.

По автореферату имеются следующие вопросы и замечания:

1. Необходимо пояснить, возможно ли совмещение функций релейной защиты присоединений с разработанными в диссертационной работе функциями противоаварийной и режимной автоматики в одном устройстве и не потребует ли это корректировки действующих требований нормативно-технических документов?
2. В настоящее время проходит публичное обсуждение проект Постановления Правительства РФ по созданию и развитию активных энергетических комплексов (АЭК). Удовлетворяет ли разработанный программно-аппаратный комплекс АУНиАР требованиям, предъявляемым к пилотным проектам АЭК?
3. Во второй главе на рис. 2.3 приведена структурная схема дискриминаторного измерителя определения частоты и амплитуды сигнала напряжения, однако не приведено краткое описание принципа его работы, что не позволяет в полной мере оценить эффективность его функционирования.

Сделанные замечания не снижают положительного в целом впечатления от представленной Илюшиным П.В. диссертационной работы, содержащей важные для развития отрасли научные и практические результаты.

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной завершенной научно-квалификационной работой на актуальную тему, в которой решена крупная научная проблема управления нормальными и

аварийными режимами в энергорайонах с распределенной генерацией, что можно считать научным достижением. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заведующий кафедрой «Теоретическая
электротехника и электромеханика»
ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский
политехнический университет Петра Великого»,
доктор технических наук, профессор

Николай Владимирович Коровкин

Контактные данные автора отзыва:
Тел. (моб): +7(921) 303-40-64
E-mail: nikolay.korovkin@gmail.com

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» (ФГАОУ ВО СПбПУ)
195251, Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29
Телефон: +7 (812) 775-05-30, E-mail: office@spbstu.ru
Web-сайт: https://www.spbstu.ru/

Подпись д.т.н., профессора Коровкина Н.В. заверяю:

Ведущий специалист по кадрам Юрченко Т. А.
20 дек 2019

# О Т З Ы В

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

Управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами распределенной генерации должно учитывать, что количество объектов управления значительно больше, чем в традиционных сетях, скорость развития нарушений нормального режима выше, в связи с малыми значениями механических постоянных инерции объектов распределенной генерации и микрогенерации, а реверсивные потоки мощности являются нормально допустимыми. Поэтому поставленные в работе задачи являются безусловно актуальными.

Цель работы: разработка 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 работе развита общая теория управления режимами ЭЭС применительно к управлению нормальными и аварийными режимами объектов распределенной генерации, в частности учтены режимные особенности, получены структурные и схемно-алгоритмические решения обеспечения надежного электроснабжения потребителей в условиях жестких временных ограничений.

Разработана методика расчета электрических режимов энергорайонов с объектами распределенной генерации и методика проведения натурных испытаний и измерений в таких энергорайонах.

Разработаны способы противоаварийного и режимного управления, структурные и схемно-алгоритмические решения по совершенствованию алгоритмов управления, реализованных в устройствах автоматики с учетом отличия схемно-режимных условий в энергорайонах с объектами распределенной генерации от переходных процессов до их ввода.

Результаты исследований автора показали, что основными факторами, определяющими характер переходного процесса при выделении энергорайона из состава энергосистемы, являются начальный дефицит активной мощности и доля асинхронных двигателей в составе нагрузки.

Полученные автором результаты позволяют расширить сферу распространения распределенной генерации не только на изолированные энергорайоны, но и на другие участки Единой энергосистемы России.

По автореферату имеется следующие замечания и вопросы:

1. В главе 2 проведен анализ влияния показателей качества электроэнергии энергосистем с распределенной генерацией в островном режиме на функционирование устройств автоматики, однако не приводится их влияние на работу электроустановок потребителей.
2. Из автореферата неясно как строятся алгоритмы координации управления в противоаварийном и нормальном режимах?
3. В главе 7 рассмотрены вопросы формирования технических требований к

генерирующим установкам распределенной генерации, однако нет упоминания о требованиях к режимным показателям накопителей энергии, обеспечивающих заданную гарантию электроснабжения потребителей.

4. Автореферат изобилует аббревиатурами, сильно затрудняющими его чтение.

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, целостной научно-квалификационной работой, в которой решена актуальная научная проблема управления режимами работы энергорайонов с распределенной генерацией, имеющая критически важное значение для развития электроэнергетики России.

Диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней…», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Профессор кафедры «Гидроэнергетика и
возобновляемые источники энергии»
ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»,
доктор технических наук, профессор

Михаил Георгиевич Тягунов
25 декабря 2019 г.

Подпись удостоверяю
начальник управления по работе с персоналом
Н.Г. Савин

Контактные данные автора отзыва:
Тел. (моб): +7(916) 211-24-72
E-mail: mtyagunov@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ»
(ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ»)

Адрес: 111250, Россия, г. Москва, Красноказарменная улица, д. 14
Тел.: +7 (495) 362-70-01, +7 (495) 362-72-01
Факс: +7 (495) 362-89-38
E-mail: universe@mpei.ac.ru

Подпись д.т.н., профессора Тягунова М.Г. заверяю:

Ученому секретарю диссертационного совета Д 512.002.01 на базе АО «Научно-технический центр Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы», д.т.н., с.н.с. Н.Л. Новикову

**О Т З Ы В**

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

**Актуальность работы.** Энергетическая система России представляет собой централизованную систему, в которой большая часть электроэнергии вырабатывается крупными электростанциями, а затем с помощью электросетей поставляется потребителям. Преимущество такой системы состоит в том, что благодаря ограниченному числу электростанций удается достаточно просто поддерживать необходимый баланс между производством и потреблением электроэнергий. Однако в случае нарушения баланса происходит изменение частоты электрического тока, а при значительных изменениях частоты сеть может стать неустойчивой. В настоящее время энергосистема России характеризуется высокой степенью морального и физического износа, высокими потерями и пониженным уровнем надежности. Поэтому вопрос о создании в России сети нового поколения стоит особенно остро. В тоже время во многих странах мира ведутся работы по созданию интеллектуальных электрических сетей (*Smart Grids*). Интеллектуальные сети – это комплекс технических средств, которые в автоматическом режиме выявляют наиболее слабые и аварийно опасные участки сети, а затем изменяют характеристики и схему сети с целью предотвращения аварии и снижения потерь. Интеллектуальная сеть должна обладать функциями самодиагностики и самовосстановления и способна принимать энергию от любого источника (уголь, солнце, ветер) и преобразовывать ее в конечный продукт при минимальном участии людей, а неиспользованную электроэнергию возвращать обратно в сеть. Электромобили и дома с солнечными коллекторами на крышах в Европе и США явились причиной появления «умных» сетей (*Smart grids*). Необходимо отметить, что в России также постоянно растет количество потребителей и источников электроэнергии - от электростанций, работающих на различных носителях, до электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии. Создание электрической сети нового поколения является стратегически важным направлением для России. Очевидно, что такая сложная система должна использовать другие более совершенные алгоритмы и системы контроля, диагностики и управления. Необходимо отметить, что энергетическая система России имеет особенности: большая протяженность электрических сетей, недостаточное количество резервных линий, сложные географические и климатические условия. Применение зарубежных разработок в российских условиях крайне затруднено, поскольку требования по качеству электроэнергии в России отличаются от зарубежных в худшую сторону, так как зарубежные энергоблоки не учитывают особенности режимов энергорайонов с объектами распределенной генерации и промышленной нагрузкой. В данный условиях

тема диссертационной работы является весьма актуальной, поскольку решает задачу совершенствования противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией. Результаты этой работы являются одним из этапов реализации концепции *Smart grids* в российской электроэнергетике.

**Научная новизна.**

1. Разработаны способы повышения быстродействия определения параметров режима пусковыми органами АУНиАР, а также принятия решений логическим блоком АУНиАР при реализации многопараметрической делительной автоматики (МДА).
2. Предложен способ расширения области допустимых режимов ГУ за счет применения накопителей электрической энергии с независимым управлением по активной и реактивной мощности.
3. Разработан быстродействующий алгоритм АЧР для предотвращения возможности возникновения лавины частоты и напряжения.
4. Предложено схемно-алгоритмическое решение по совершенствованию АОСН, которое обеспечивает повышенное быстродействие при минимальном объеме отключения нагрузки.
5. Разработано схемно-алгоритмическое решение по совершенствованию АОПО силового трансформатора, использующее интеграцию с системой мониторинга и диагностики, блоком управления системой охлаждения.

**Теоретическая и практическая значимость.**

1. Схемные решения по совершенствованию алгоритмов линейного и секционного АВР, которые позволяют снизить длительность нарушений электроснабжения.
2. Способ адаптации АРЧВ зарубежных ГУ за счет блокировки системы переключения алгоритмов и выбора статизма регулирования частоты, который позволяет предотвращать значительные отклонения частоты.
3. Способ адаптации АРВ зарубежных ГУ за счет блокировки модуля согласования нагрузки для предотвращения возможности возникновения лавины напряжения.
4. Методика проведения натурных испытаний и измерений в энергорайонах, которая позволяет получать недостающую информацию для выполнения расчетов электрических режимов.

Результаты диссертационных исследований Илюшина П.В. широко представлены в научно-технических изданиях по списку ВАК, апробированы на значительном количестве зарубежных, международных и российских научных, научно-технических и научно-практических семинарах и конференциях.

По автореферату имеются вопросы и замечания:

1. В связи с принятием Государственной думой в третьем чтении инициированного Правительством РФ закона, регулирующего производство электроэнергии на объектах микрогенерации, в какой степени это может повлиять на отказы и ложные срабатывания устройств автоматики энергосистем, размещенных в распределительных сетях?

2. В автореферате не рассмотрены принципы организации синхронизации энергорайонов после их выделения в островной режим, например, действием многопараметрической делительной автоматики.

3. В главе 7 автореферата неоднократно упоминается об особенностях нагрузки, однако не освещены вопросы моделирования новых видов двигательной нагрузки,

например, двухскоростных асинхронных двигателей (АД) с короткозамкнутым ротором, АД с короткозамкнутым ротором и дополнительной низковольтной обмоткой «малой скорости» в статоре, а также электродвигателей подключаемых посредством устройств плавного пуска и частотно-регулируемого привода.

Указанные вопросы и замечания не снижают ценности выполненной Илюшиным П.В. диссертационной работы.

Диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной целостной научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами распределенной генерации, что имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для электроэнергетической отрасли. В целом диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заведующий кафедрой
«Электротехника» Шилин Александр Николаевич

ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный
технический университет», доктор технических наук,
профессор
Тел.: +7 (8442) 24-81-65, E-mail: eltech@vstu.ru
Специальности: по кандидатской диссертации - 05.11.16 Информационно-измерительные и управляющие системы; по докторской диссертации - 05.11.07 Оптические и оптико-электронные приборы и комплексы.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Волгоградский государственный технический университет»
(ФГБОУ ВО «ВолгГТУ»)
400005, Россия, г. Волгоград, пр. им. В.И. Ленина, д. 28
Тел.: +7 (8442) 24-81-15, Факс: +7 (8442) 23-41-21
Адрес электронной почты: rector@vstu.ru

Подпись д.т.н., профессора Шилина А.Н. заверяю:

Подпись Шилина А.Н.
УДОСТОВЕРЯЮ 17.12.2019
Нач. общего отдела (подпись) Рыженкова Т.

**Отзыв на автореферат диссертации Илюшина Павла Владимировича «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленной на соискании ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»**

Одной из особенностей и характерной чертой современного промышленного электроснабжения является всевозрастающий объем распределенной генерации, то есть выработка электроэнергии собственными источниками. Это относится как к крупным, так и средним предприятиям. Так, например, на Магнитогорском металлургическом комбинате выработка собственной электроэнергии приближается к 80% при среднем потреблении 1000 МВт.

С учетом наметившейся тенденции, вопросы управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами распределенной генерации, которые разработаны в обсуждаемой диссертации, являются, безусловно, актуальными и практически значимыми. На наш взгляд заслуживают внимания, принципиально новые способы построения противоаварийной и режимной автоматики энергорайонов с объектами распределенной генерациии, отличающиеся по составу контролируемых электрических величин и степени их детализации на достаточно широком временном интервале. Весьма глубоко и продуктивно проработаны вопросы повышения эксплуатационной надежности основных элементов системы электроснабжения – кабельных линий, силовых трансформаторов, коммутационных аппаратов. Разработанные способы и средства противоаварийного и режимного управления для энергорайонов с объектами распределенной генерации позволяют в случае аварийной ситуации сохранить устойчивое электроснабжение для значительно бо́льшего числа электроприемников по сравнению с существующими системами и повысить тем самым надежность электроснабжения.

Представляет научный интерес тема использования накопителей электрической энергии (НЭЭ) для повышения надежности электроснабжения. В перспективе, при наличии достаточных технических средств это направление может оказаться весьма продуктивным.

По автореферату имеются следующие вопросы и замечания:

1. Автореферат перенасыщен аббревиатурами и сокращениями, которых на одной странице до 10 и более. В результате этого чтение – утомительно, а понимание – затруднительно.

2. Из автореферата не ясно, что представляет собой накопитель электрической энергии с независимым регулированием активной и реактивной мощности. Отсутствует структура и состав НЭЭ. Желательно указать, что из существующей элементной базы можно отнести к НЭЭ или это чисто виртуальный объект?

3. Из каких соображений в многоканальном измерители частоты принят диапазон от 40 до 60 Гц (стр. 17 автореферата), а также частота основной гармоники 56 Гц (стр.18), если предельно допустимое отклонение частоты в существующем ГОСТе 0,4 Гц?

4. На стр. 23 не указана исследуемая система электроснабжения и время отключения длительного КЗ, параметры которого приведены на рис. 3.2. Не ясно, в каких условиях может возникнуть такое КЗ?

5. В работе достаточно подробно рассмотрена методика приведения натурных испытаний и измерений в энергорайонах с объектами распределённой генерации, однако все переходные процес-

сы, приведенные в автореферате, получены исключительно на моделях. Отсутствуют результаты эксперимента на действующем оборудовании.

Отмеченные замечания не снижают общей положительной оценки диссертации Илюшина Павла Владимировича, которая представляет в целом законченную научно-квалификационную работу, отражающую результаты многолетних исследований автора. Совокупность теоретических положений, разработанных и внедрённых автором, можно квалифицировать как решение крупной научной задачи повышения эффективности систем промышленного электроснабжения с объектами распределенной генерации, имеющей важное хозяйственное значение. Работа прошла апробацию на многих международных и российских научных конференциях. Количество публикаций соответствует требованиям ВАК на соискание ученой степени доктора технических наук.

Содержание диссертационной работы соответствует её названию и паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

На основании изложенного считаю, что представленная диссертационная работа по уровню научной новизны, значимости полученных теоретических и практических результатов, актуальности решаемых задач в полной мере соответствует критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ № 842 от 24 сентября 2013 г. в части, касающейся докторских диссертаций.

Автор диссертации Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Заведующий кафедрой «Электроснабжение промышленных предприятий» Института энергетики и автоматизированных систем ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова», доктор технических наук, профессор

22.01 2020.

Корнилов Геннадий Петрович

Контактный телефон: +7 (3519) 29-84-79
E-mail: korn_mgn@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Магнитогорский государственный технический университет им. Г.И. Носова» (ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»)
Почтовый адрес: 455000, Россия, г. Магнитогорск, пр. Ленина, 38
Телефон: +7 (3519) 29-84-02
Факс: +7 (3519) 23-92-35
E-mail: mgtu@magtu.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ
Начальник отдела делопроизводства
ФГБОУ ВО «МГТУ им. Г.И. Носова»
Д.Г. Семенова

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

## 1. Актуальность темы

Актуальность темы заключается в необходимости упорядочивания процессов проектирования и технологического функционирования массово возникающих в Единой энергосистеме объектов распределенной генерации.

## 2. Научная новизна работы

1. Разработаны способы определения параметров режима на основе методов максимального правдоподобия и дискриминаторного, а также классификации режима как «нормального» и «аварийного» на основе последовательной процедуры Вальда для пусковых органов устройств автоматики управления распределенной генерации и распределительной сети.
2. Предложен способ расширения области допустимых режимов объектов распределенной генерации за счет применения накопителей электрической энергии с независимым регулированием по активной и реактивной мощности.
3. Разработан усовершенствованный алгоритм комплексной автоматики, использующей информацию о частоте и напряжении в узле нагрузки, а также схемно-режимной ситуации в прилегающей сети для предотвращения лавины частоты и напряжения в островном режиме энергорайона.
4. Усовершенствованы алгоритмы автоматики ограничения перегрузки кабельной линии и силового трансформатора с учетом фактического технического состояния оборудования, температуры, токовой загрузки и с задействованием объектов распределенной генерации.
5. Разработана методика проведения измерений в энергорайонах с распределенной генерацией, позволяющая восполнять недостающую информацию для расчетной схемы, а также предложена методика выполнения расчетов электрических режимов в таких энергорайонах.
6. Развита общая теория управления режимами электроэнергетических систем на примере систем с высокой долей распределенной генерации.

## 3. Практическая значимость

Практическая значимость заключается в том, что снижается аварийность и повышается надежность электроснабжения в энергорайонах с распределенной генерацией, увеличивается степень автоматизации режимного и противоаварийного управления подобными энергорайонами.

## 4. Замечания

1. В главе 2 упоминается необходимость получения статистических распределений частоты для нормальных и аварийных режимов с целью дальнейшего принятия решений по процедуре Вальда. Не ясна величина выборки рассчитанных

режимов для успешной классификации режима как «нормального» или «аварийного», и зависимость доли ошибочных решений от величины выборки.

2. В главе 4 на графиках показано дискретное (мгновенное, безынерционное) изменение активной мощности генерирующих установок, что противоречит приводимым там же сведениям о постоянных сброса мощности в 2 с и набора в 20 с. Очевидно, имелась ввиду не сама мощность генерирующей установки, а ее *уставка* (желаемое значение) для соответствующего регулятора генерирующих агрегатов.

3. Из главы 7 не ясен набор средств измерений для одновременного получения высокодискретных результатов измерений в различных точках энергорайона с распределенной генерацией.

4. В области определения работы заявлена распределенная генерация на основе возобновляемых источников энергии, при этом в автореферате в явном виде подобная распределенная генерация не рассматривается. Также не вполне ясно, как применять положения глав 3-7 работы по отношению к распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии.

**5. Заключение**

Содержание автореферата позволяет считать, что диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, соответствующей паспорту специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Диссертация удовлетворяет требованиям ВАК к докторским диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук и соответствует требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Профессор кафедры
«Автоматизированные электрические системы» УрФУ,
доктор технических наук, профессор

20.01.2020 Бартоломей Петр Иванович

Тел./факс: +7 (343) 359-16-15
E-mail: bpi@ural.ru

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» (УрФУ)
620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19
Тел.: +7 (343) 375-45-07, 375-46-09; Факс +7 (343) 375-97-78
rector@urfu.ru

ПОДПИСЬ ЗАВЕРЯЮ.

УЧЕНЫЙ СЕКРЕТАРЬ УРФУ
МОРОЗОВА В.А.

В диссертационный совет Д 512.002.01 на базе
Акционерного общества «Научно-технический центр
Федеральной сетевой компании Единой энергетической системы»

# О Т З Ы В

на автореферат диссертации ИЛЮШИНА Павла Владимировича
на тему **«Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией»** на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Необходимость обеспечения надежного электроснабжения особо ответственных электроприемников потребителей, перерывы в электроснабжении которых недопустимы по технологическим особенностям производственного процесса, стимулируют строительство распределенной генерации (РГ) промышленными предприятиями в России.

Широкое применение на объектах РГ в России получают газотурбинные, газопоршневые и дизельные генерирующие установки (ГУ) зарубежных заводов-изготовителей, что связано с их высоким качеством, лучшими показателями надежности и эффективности, большим ресурсом и межремонтным периодом, а также временем наработки между периодическим техническим обслуживанием, по сравнению с ГУ отечественного производства. Однако они имеют существенные особенности, порождающие проблемные аспекты, которые необходимо учитывать при их присоединении к распределительным сетям.

Применение РГ является эффективным инструментом оптимизации инвестиций в техническое перевооружение и реконструкцию распределительных сетей, модернизацию генерирующего оборудования на крупных тепловых электростанциях, а также строительство сетей для технологического присоединения новых потребителей. Привлечение объектов РГ к участию в реализации алгоритмов противоаварийной и режимной автоматики, их использование в качестве резервных источников электроснабжения крайне эффективно и позволяет минимизировать объемы и время отключения нагрузки.

Следовательно, диссертационная работа соискателя, посвящённая вопросам разработки 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, является крайне актуальной и своевременной.

К научной новизне диссертационной работы относится:

1. Разработка методологии выполнения расчетов и анализа переходных процессов в энергорайонах с распределенной генерацией для определения требований к средствам противоаварийного и режимного управления.
2. Разработка комплекса алгоритмов и технических средств противоаварийного управления энергорайонов с распределенной генерацией, с учетом особенностей генерирующих установок и нагрузки.
3. Разработка комплекса технических решений и способов противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией.

Практическим результатом диссертационных исследований является разработка программно-аппаратного комплекса автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией, адаптируемого к особенностям различных энергорайонов.

Положения диссертационной работы Илюшина П.В. докладывались и обсуждались на многочисленных зарубежных, международных и российских научных, научно-технических и научно-практических конференциях и семинарах.

Автореферат диссертации в полной мере соответствует основным положениям

диссертационной работы.

По автореферату имеются следующие основные вопросы и замечания:

1. Отсутствуют исследования влияния режима заземления нейтрали на режимы функционирования и предлагаемые средства противоаварийного управления энергорайонов с распределенной генерацией.

2. Структура диссертационной работы и примеры устройств автоматического управления, приведенные в автореферате, показывают, что их работа рассматривалась на отдельных частных примерах. Целесообразно было бы привести вариант аварийной ситуации, предполагающий задействования полного комплекса релейной защиты и противоаварийной автоматики в энергорайоне с источниками РГ, с изучением его особенностей и согласованного во времени действия отдельных устройств.

Указанные замечания не умаляют очевидных достоинств данной диссертационной работы.

Диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельным завершенным научным исследованием на актуальную тему, в котором решена важная научная проблема организации управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией средствами автоматики, что является научным достижением. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Профессор кафедры Теоретических основ
электротехники и релейной защиты и автоматики
ФГБОУ ВО «Чувашский государственный университет
им. И.Н. Ульянова», доктор технических наук, профессор

Юрий Яковлевич Лямец

10 декабря 2019 года

Контактные данные автора отзыва:
Тел. (моб): +7(903) 345-77-71
E-mail: yu.ya.liamets@gmail.com

Федеральное государственно бюджетное образовательное учреждение высшего образования
«Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова»
Адрес: 428015, Россия, Чувашская Республика, г. Чебоксары, Московский проспект, 15
Телефон: +7(8352) 58-30-36, факс: +7(8352)45-02-79, E-mail: office@chuvsu.ru
Web-сайт: https://www.chuvsu.ru/

Подпись д.т.н., профессора Лямеца Ю.Я. заверяю:

Подпись руки Лямец Ю.Я.
заверяю
Начальник отдела делопроизводства
ФГБОУ ВО «ЧГУ им. И.Н. Ульянова»
И.А. Гордеева
10 12 20 19

Республика Беларусь
220013, г. Минск
Проспект Независимости, 65,
корп. 2
тел. +375 17 292 65 82
E-mail: elsyst@tut.by

Отзыв
на автореферат диссертации Илюшина Павла Владимировича
на тему «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» по специальности
05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы
на соискание ученой степени доктора технических наук

В последние годы в странах СНГ вводится в эксплуатацию большое количество объектов распределенной генерации с генерирующими установками различной мощности, управление нормальными и аварийными режимами которых вызывает затруднения из-за их большого количества, большей скорости развития нарушений нормального режима, наличия реверсивных потоков мощности.

Диссертант разрабатывает принципы, способы, алгоритмы и средства контроля, регулирования и управления для обеспечения автоматического принятия решений по видам и объемам управляющих воздействий, позволяющих вводить параметры режима в допустимую область.

Он разрабатывает эффективный способ выделения энергорайонов с объектами распределенной генерации в так называемый островной режим, способ расширения области допустимых режимов за счет применения накопителей электрической энергии, а также совершенствует алгоритмы функционирования устройств противоаварийной автоматики: автоматической частотной разгрузки, автоматики ограничения снижения напряжения и автоматики ограничения перегрузки кабельных линий напряжением 110 кВ и силовых трансформаторов.

Илюшин П.В. результаты своих исследований неоднократно докладывал на Международном научном семинаре «Методические вопросы исследования надежности больших систем энергетики» имени Ю.Н. Руденко, где получал положительную оценку.

Считаю, что диссертация Илюшина Павла Владимировича соответствует научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы (технические науки) и требованиям ВАК Российской Федерации, а ее автор заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук.

Доктор технических наук, профессор;
профессор кафедры
«Электрические системы»
Белорусского национального
технического университета — Короткевич Михаил Андреевич

30 декабря 2019 г.

Подпись Короткевича М.А. удостоверяю

Подпіс Короткевича М.А.
Завяраю: Заг. аддзела кадраў

**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования**
**«Забайкальский государственный университет»**
**(ФГБОУ ВО «ЗабГУ»)**
Александро-Заводская ул., д.30, г.Чита, 672039 Россия
Тел. (302-2) 41-64-44, 41-66-00
Факс: (302-2) 41-64-44
Web-server: www. zabgu.ru
E-mail: mail@zabgu.ru
ОКПО 02069390, ОГРН 1027501148652 ИНН/КПП 7534000257/753601001
09.01.2020 № 10 12
На № _____ от _____

**ОТЗЫВ**

на автореферат диссертации **ИЛЮШИНА Павла Владимировича** «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленной на соискание учёной степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Актуальность проводимого исследования обусловлена тем, что выработка электроэнергии объектами распределенной генерации с каждым годом растет, а используемые принципы и подходы не позволяют эффективно управлять нормальными и аварийными режимами. Актуальность работы не вызывает никаких сомнений.

Все поставленные в работе задачи успешно решены.

Научная новизна подтверждается шестью патентами на изобретения по способам управления в электроэнергетических системах, ограничения перегрузок кабельных линий, автоматической частотной разгрузки энергорайонов и противоаварийного управления. Новизна используемых устройств также подтверждается патентами.

Основные научные положения и выводы прошли достаточную апробацию на международных и региональных семинарах и конференциях с 2012 по 2018 г.г. (г. Париж (Франция), г. Yokohama (Япония), г. Рига (Латвия), г.Москва, г.Санкт-Петербург, г.Новочеркасск, г.Чебоксары и др. Опубликовано 104 научные статьи (из них 42 – в журналах, рекомендованных ВАК РФ при защите диссертаций, а также 12 статей – в зарубежных изданиях, входящих в базы научного цитированияWeb of Science и Scopus. Опубликовано также 2 монографии по режимам в энергорайонах с распределенной генерацией и автоматике управления режимами указанных районов.

Необходимо отметить, что достоверность результатов также не вызывает сомнений. Они показали хорошую сходимость.

В качестве замечания по автореферату следует отметить следующее:

1) в главе 4 не понятна технология проведения имитационных расчетов и проверки эффективности выбранных параметров настройки САУ;

2) среди параметров генераторов, запрашиваемых у заводов-изготовителей отсутствует номинальная мощность генератора, которая

является базовой величиной для вычислений в относительных величинах, а по тексту приводятся величины в о.е. (глава 7);

3) не понятно также: в каком случае и на какой удаленности может находиться ШБМ (глава 7).

В целом диссертационная работа **ИЛЮШИНА Павла Владимировича** выполнена на высоком научно-техническом уровне и соответствует требованиям ВАК России к докторским диссертациям, а соискатель ученой степени, *Илюшин П.В.*, заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

Доктор технических наук,
профессор кафедры энергетики ЗабГУ,
Почетный работник высшего профессионального образования РФ,
действительный член Российской академии естественных наук,
Заслуженный деятель науки и техники
Читинской области И.Ф.Суворов

Главный специалист СЭР филиала АО «СО ЕЭС»
Забайкальского РДУ О.С.Стремилова

*Подпись И.Ф.Суворова заверяю.*

*Секретарь ученого совета университета О.В.Евтушок*

*Суворов Иван Флегонтович; 672039, г.Чита, ул.Александро-Заводская, д.30. Кафедра Энергетики Забайкальского государственного университета.*
*E-mail:ivan.suvorov.1947@mail.ru*

*Стремилова Ольга Сергеевна; 672014, Россия, Забайкальский край, г.Чита, ул. Краснознаменная, д.33. E-mail: stremilovaolga@gmail.com*

*Подпись О.С.Стремиловой заверяю.*

Ведущий эксперт Л.А. Ломакина

В диссертационный совет
Д 512.002.01 на базе Акционерного общества
«Научно-технический центр Федеральной
сетевой компании Единой энергетической
системы»

Отзыв
на автореферат диссертации 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».

Стремление приблизить источники электрической энергии к центрам нагрузки на основе дешевых энергоресурсов привело к развитию электрических сетей с распределенной генерацией. По мере роста единичной мощности и количества генерирующих установок в энергорайоне, а также места их подключения к системе электроснабжения требует существенного развития как структуры традиционного управления установившимися режимами, так и противоаварийного управления. Диссертационная работа Илюшина П.В. посвящена решению актуальных проблем научно-теоретических и практических вопросов противоаварийного и режимного управления электрическими сетями с распределенной генерацией, с учетом интеллектуализации сетей энергорайонов.

К научной новизне относятся постановка задачи и формализация ее до алгоритмов программно-аппаратного комплекса управления нормальными и аварийными режимами сетей с распределенной генерацией.

Теоретическое значение работы заключается в развитии теории противоаварийного и режимного управления сетей с распределенной генерацией в составе электроэнергетической системы.

Практическая ценность работы заключается в том, что разработанные алгоритмы, реализованные в виде программно-аппаратного комплекса, могут быть распространены на другие сети с распределенной генерацией, с учетом адаптации к условиям конкретного энергорайона.

Результаты диссертационной работы Илюшина П.В. достаточно полно опубликованы в 104 научных статьях, из них: 42 в журналах по списку, рекомендованному ВАК Российской Федерации, 12 статей в рецензируемых изданиях, входящих в базы научного цитирования Web of Science и Scopus, 50 в других журналах, сборниках докладов и тезисов. Дополнительно по теме диссертации опубликовано 2 монографии, а также получено 10 патентов на изобретения и полезные модели.

По автореферату диссертации имеется следующее замечание:

1. Из автореферата остается не ясным, как учитываются относительные углы генерирующих установок при выборе параметра пускового органа многопараметрической делительной автоматики.

Указанное замечание не является критическим и не уменьшает достоинств представленной диссертационной работы.

В целом диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» представляет собой законченный научный труд, соответствующий паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы». Диссертационная работа соответствует критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Профессор кафедры
«Электроснабжение»,
НАО «Казахский агротехнический
университет им. С. Сейфуллина»,
доктор технических наук, профессор — Ахметбаев Даурен Садыкович

«10» декабря 2019 г.

Контактные данные автора отзыва:
Тел. (моб): +7(705) 707-53-10
E-mail: axmetbaev46@mail.ru

АО «Казахский агротехнический университет им. С. Сейфуллина»
Адрес: 010011, Республика Казахстан, г. Нур-Султан, пр. Женис 62
Тел/факс: +7(7172) 317-547, 316-072, www.kazatu.kz
E-mail: agun.katu@gmail.com

«С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті» ұйымының қызметкерлік қолтаңбасы
Подпись профессора Ахметбаева Д.С.
заверяю
Ғылыми хатшы

В диссертационный совет Д 512.002.01
на базе АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации Илюшина Павла Владимировича
на тему «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» по специальности 05.14.02 «Электрические станции и электроэнергетические системы» на соискание ученой степени доктора технических наук

В связи с постоянным увеличением объема распределенной генерации в России и в мире тема диссертационной работы Илюшина П.В., связанная с совершенствованием противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генераций, является актуальной.

Научная новизна исследований связана с развитием общей теории управления режимами энергосистемы применительно к противоаварийному и режимному управлению энергорайонов с распределенной генерацией, разработкой целого набора усовершенствованных алгоритмов противоаварийной и режимной автоматики для объектов распределенной генерации в сочетании с системами мониторинга и диагностики электрооборудования, способом расширения допустимых режимов распределенной генерации за счет применения регулирования активной и реактивной мощности накопителей электроэнергии, способом адаптации АРВ зарубежных генераторных установок к особенностям режимов энергорайонов с распределенной генерацией, методикой проведения натурных испытаний и измерений для распределенной генерации.

Практическая ценность диссертационной работы Илюшина П.В. связана с повышением эффективности противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией. Разработанные алгоритмы для противоаварийного и режимного управления реализованы в ряде устройств противоаварийной и режимной автоматики. Результаты исследований используются в научно-исследовательской работе и в учебном процессе на курсах повышения

квалификации ФГАОУ ДПО «ПЭИПК» и в учебных курсах ряда дисциплин ИНЭЛ ФГБОУ ВО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева».

Достоверность результатов диссертационной работы подтверждается применением апробированных на практике методов противоаварийного управления в энергосистемах применительно к распределенной генерации, корректностью применяемых математических моделей, совпадением полученных результатов исследований и результатов, полученных российскими и зарубежными специалистами, совпадением результатов математического моделирования с использованием программных комплексов RastWin и Мустанг, современного инструмента моделирования Mathcad.

Автореферат дает достаточно полное представление по выполненной работе, но все же при его изучении возникли следующие вопросы и замечания:

1. Из содержимого автореферата неясно, какими основными параметрами качества должна обладать противоаварийная автоматика для распределенной генерации. В тексте автореферата приводятся противоречивые сведения по основным показателям качества указанных устройств автоматики, прежде всего это касается точности и быстродействия.
2. Требует отдельных пояснений утверждение относительно невозможности прямого использования в России результатов исследований зарубежных авторов по распределенной генерации, опубликованных в работах IEEE и CIGRE (стр.15).
3. Почему в автореферате нет прямого упоминания о перспективности применения технологии синхронизированных векторных измерений для противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией?

В целом представленная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, результаты внедрения которой вносит значительный вклад в развитие теории и практики противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной

генерацией, и по своему теоретическому уровню и практическому значению отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям и соответствует критериям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности «05.14.02 Электрические станции и электроэнергетические системы (технические науки)».

Доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры
«Электроэнергетики и
электротехники» федерального
государственного автономного
образовательного учреждения
высшего профессионального
образования «Северный
(Арктический) федеральный
университет имени
М. В. Ломоносова» Мокеев Алексей Владимирович

16.01.2020

Личную подпись Мокеева А.В.
заверяю ученый секретарь ученого совета САФУ
Е.Б. Раменская
16 января 2020

Почтовый адрес организации Российская Федерация, 163002, г. Архангельск, Набережная Северной Двины, 17
Телефон (8182) 21-89-36
Адрес электронной почты a.mokeev@narfu.ru

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

В настоящее время объекты распределенной генерации приобретают все более важное значение в связи с разукрупнением энергосистем на различных уровнях напряжения.

Интерес к распределенной генерации в России значительный, так как ее строительство позволяет получать более дешевые энергоресурсы для снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности производимой продукции на внешнем и внутреннем рынках. Необходимость обеспечения надежного электроснабжения особо ответственных потребителей, перерывы в электроснабжении которых недопустимы по условиям технологии производства, является дополнительным стимулом для строительства распределенной генерации.

Применение технологий распределенной генерации является эффективным инструментом оптимизации инвестиций в техническое перевооружение распределительных сетей, модернизацию генерирующего оборудования на крупных тепловых электростанциях, а также строительство сетей для технологического присоединения новых потребителей. Альтернативой усилению сетевой инфраструктуры является проведение реконструкции с элементами модернизации промышленных и муниципальных котельных за счет применения когенерационных генерирующих установок, позволяя повысить коэффициент использования теплоты топлива и практически полностью покрыть собственное электропотребление.

Поэтому актуальность представленной диссертационной работы сомнений не вызывает.

По автореферату имеются следующие замечания:

1. Желательно пояснить, почему диапазон изменения напряжения на шинах подстанции 110 кВ ограничен напряжением во внешней сети значением 110 кВ и не рассматриваются режимы перенапряжений (рис. 3.1).

2. Требуется пояснить, до какого значения рассматривается снижение частоты для режимов, соответствующих области В2 – рис. 6.1.

В целом представленная диссертационная работа выполнена на высоком

научном уровне и соответствует специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» на соискание ученой степени доктора технических наук. Диссертация «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» полностью соответствует требованиям п.п. 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Электроснабжение
промышленных предприятий»
ФГБОУ ВО КГЭУ

Елена Ивановна Грачёва

Данные автора отзыва:
Тел. +7 (843) 519-42-73
E-mail: grachieva.i@bk.ru

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Казанский государственный энергетический университет» (ФГБОУ ВО КГЭУ)
420066, Россия, г. Казань, ул. Красносельская, 51
Тел.: +7 (843) 519-42-02, +7 (843) 519-42-20
E-mail: kgeu@kgeu.ru

Подпись д.т.н., доцента Грачевой Е.И. заверяю: ведущий специалист
О.А. Шажин
16.12.2019

**В диссертационный совет Д 512.002.01**
**на базе АО «НТЦ ФСК ЕЭС»**

# О Т З Ы В

на автореферат диссертации Илюшина Павла Владимировича на тему
***«СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОТИВОАВАРИЙНОГО И РЕЖИМНОГО УПРАВЛЕНИЯ ЭНЕРГОРАЙОНОВ С РАСПРЕДЕЛЕННОЙ ГЕНЕРАЦИЕЙ»***
на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности
05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

***Актуальность диссертационной работы.***

Тенденции развития электроэнергетики в мире связаны не столько с ростом масштабов производства электроэнергии на традиционных крупных электростанциях, сколько с увеличением доли распределенной генерации. Эти тенденции определяют необходимость адаптации потребителей и развития электроэнергетических систем (ЭЭС) в условиях рыночной неопределенности, появления новых высокоэффективных энергетических технологий, ужесточения экологических требований, стимулирующих применение ВИЭ и др.

Мировые тенденции органичного сочетания централизованной и распределенной генерации характерны и для России, однако экономические условия содействуют масштабному развитию распределенной генерации на основе невозобновляемых источников энергии, а для развития распределенной генерации на основе ВИЭ пока не созданы необходимые условия.

Рост доли распределенной генерации в ЭЭС не только имеет положительные стороны, но и создает определенные технические проблемы, которые связаны с изменением свойств систем, возможностей управления ими в нормальных и аварийных условиях. Эти проблемы решаемы, однако при этом усложняется диспетчерское и автоматическое управление ЭЭС, требуется разработка новых математических моделей по обоснованию развития ЭЭС и систем электроснабжения, анализу их режимов и управлению ими.

В данных условиях диссертационная работа Илюшина П.В. представляется крайне своевременной и актуальной.

***Научная новизна и теоретическая ценность.***

Новые научные результаты получены соискателем при разработке способов и средств противоаварийного и режимного управления в энергорайонах с распределенной генерацией с целью обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями,

обладающие улучшенными показателями надёжности, быстродействия и точности. Кроме того, соискателем развита общая теория управления режимами ЭЭС применительно к противоаварийному и режимному управлению энергорайонов с распределенной генерацией.

***Практическая значимость.***

Практическая значимость результатов заключается в:

– разработке программно-аппаратного комплекса автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с распределенной генерацией на базе отечественных промышленных компьютеров с использованием специализированного программного обеспечения, в котором реализованы предложенные соискателем способы противоаварийного и режимного управления, структурные и схемно-алгоритмические решения по совершенствованию алгоритмов автоматики энергосистем;

– разработке методики проведения натурных испытаний и измерений, которые могут быть использованы при проведении предпроектного обследования энергорайонов для анализа возможности технологического присоединения новых объектов распределённой генерации;

– разработке методики выполнения расчетов электрических режимов для повышения точности результатов расчетов и обоснованности принятия основных технических решений в процессе проектирования энергорайонов с объектами распределенной генерации, с учетом особенностей современных генерирующих установок и нагрузки.

По автореферату имеется следующие замечания и вопросы:

1. В главе 1 автореферата упоминается, что одним из факторов, обуславливающих особенности электрических режимов в энергорайонах с распределенной генерацией, являются их малые механические постоянные инерции. Однако далее в тексте отсутствует информация о последствиях возникновении асинхронных режимов генерирующих установок и обоснованности применения автоматики ликвидации асинхронного режима.

2. В главе 2 автореферата рассматривается применение дискриминаторного метода для оценки параметров режима. Однако на точность получаемых результатов данным методом оказывают влияние многие факторы, такие как незнание амплитуды сигнала, неточность настройки дискриминатора, влияние априорных сведений, неточность шкалы дискриминатора и др.

3. Следует пояснить, все ли зарубежные заводы-изготовители оснащают АРВ производимых генерирующих установок модулем согласования нагрузки (Load agreement module).

Высказанные замечания и вопросы не снижают ценности и значимости представленной диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является законченной научно-квалификационной работой, в которой решена крупная научная проблема управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами распределенной генерации, что имеет важное социально-экономическое и хозяйственное значение для электроэнергетики страны. Диссертационная работа соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы», требованиям к докторским диссертациям и отвечает критериям пунктов 9–14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018), а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Генеральный директор
ООО «Завод «ИЗОЛЯТОР»,
Вице-президент Международной
Ассоциации ТРАВЭК,
Вице-президент Академии
электротехнических наук РФ,
академик АЭН РФ,
доктор технических наук А.З. Славинский

23.12.2019г

Тел. (моб): +7 (903) 795-45-92
E-mail: az.slav@gmail.com

Общество с ограниченной ответственностью «Завод «Изолятор»
(ООО «Завод «Изолятор»)
143581, Московская обл., г. Истра, с. Павловская Слобода, ул. Ленина, здание 77
Телефон: +7 (495) 727 3311, факс: +7 (495) 727 2766
E-mail: mosizolyator@mosizolyator.ru

*Личную подпись д.т.н. Славинского А.З. удостоверяю*

Директор по правовым вопросам Е.Г. Зубакова

В диссертационный совет Д 512.002.01
на базе АО «НТЦ ФСК ЕЭС»

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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

Применение технологии распределенной генерации особенно важно в больших распределительных сетях с высокой плотностью нагрузки и ограниченными возможностями развития сети и оправдано стремлением к снижению затрат на энергообеспечение благодаря приближению генерирующих устройств к узлам потребления электроэнергии, повышению надежности электроснабжения потребителей путем координированного управления генерирующими устройствами и уменьшению техногенного воздействия на окружающую природную среду. Очевидно, что преимущества распределенной генерации в полной мере могут быть реализованы при решении комплекса научно-технических задач обеспечения устойчивой и эффективной работы энергорайонов с распределенной генерацией, включая вопросы выделения в автономный режим местных источников генерации, сохраняя электроснабжение важных потребителей и предотвращая, тем самым, недопустимую перегрузку сети при коротких замыканиях.

Однако до сих пор хорошо проработанные и научно обоснованные технические и технологические решения по совершенствованию противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией, теоретические и практические положения которых были бы достаточно ясны и методически обоснованы для применения при разработке проектных решений, не существуют. Представленное к защите диссертационное исследование П.В. Илюшина решает эту задачу, в связи с чем тема докторской диссертации, в которой развиваются теория и методы противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией, является актуальной.

Наиболее существенными результатами диссертационных исследований, обладающими научной новизной и теоретической ценностью, являются:

1. Общая теория противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной генерацией, развивающая методы обеспечения надежного функционирования генерирующих установок и электроснабжения потребителей в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями действием автоматики.

2. Методика проведения натурных испытаний и измерений в энергорайонах с объектами распределенной генерации, позволяющая восполнять недостающую ин-

формацию для расчетной схемы энергорайона и обладающая повышенной точностью расчетов режимов.

3. Алгоритмическое обеспечение комплекса противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной генерацией, отличающееся гибкостью и способностью функционировать в условиях с динамически изменяющихся режимов электрической сети.

4. Методы расширения области допустимых режимов электрической системы с распределенной генерации путем эффективного использования систем накопления электрической энергии в регулировании режимов работы.

Достоверность полученных в диссертационной работе научных результатов обеспечивается корректностью постановки задач и обоснованностью принятых допущений и подтверждается результатами математического моделирования и экспериментальных исследований, апробацией положений и методов в различных устройствах противоаварийной и режимной автоматики.

Знакомство с авторефератом вызвало следующие замечания:

1. Анализ предлагаемых соискателем решений иногда сопровождается без пояснения основ предлагаемых методов, что не позволяет в полной мере оценить их преимущества. Например, в 3-й главе рассматривается многопараметрическая делительная автоматика, но изложение принципа действия и описание используемых параметров в автореферате отсутствуют. Да и при изложении условий применения той же многопараметрической делительной автоматики используются настолько обобщенные характеристики режимов, что не позволяет оценить обоснованность и ценность предлагаемых соискателем решений.

2. Изложение предложений по совершенствованию противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной генерацией в автореферате ведется с явным уклоном на действие различных систем автоматики независимо друг от друга, хотя многие из них вполне могут и должны быть реализованы как часть распределенной системы мониторинга и управления интеллектуальной электроэнергетики. Думаю, что рассмотрение в диссертационном исследовании предлагаемых соискателем приложений с точки зрения положений интеллектуальной электроэнергетики еще больше повысило бы научный вес диссертационной работы.

3. При изложении материала соискатель увлекается излишним употреблением сокращений, что значительно усложняет чтение и анализ положений диссертационных исследований.

Диссертационные исследования посвящены важным для науки и практики развития энергосистемы страны проблемам и открывают новые возможности и направления исследований. Поэтому высказанные здесь замечания не умаляют достоинств теоретических и практических результатов диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, в которой на основании выполненных автором исследований разрабатываются новые научно обоснованные технические и технологические решения, внедрение которых вносит значи-

тельный вклад в развитие теории и практики противоаварийного и режимного управления энергорайонами с распределенной генерацией, и по своему теоретическому уровню и практическому значению отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям и соответствует критериям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842, а ее автор Илюшин Павел Владимирович заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности «05.14.02 Электрические станции и электроэнергетические системы (технические науки)».

Главный специалист Департамента автоматизации энергосистем ООО Научно-производственное предприятие «ЭКРА», доктор технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, доцент

Владислав Иванович Антонов

27.12.2019

Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ЭКРА» (ООО НПП «ЭКРА»)
Адрес: Россия, 428020, Чувашская Республика - Чувашия
Чебоксары, пр. И. Я. Яковлева, 3, помещение 541
Тел./факс: +7 (8352) 22-01-10 (многоканальный)
55-03-68, 57-00-76, 55-43-61,
57-01-46, 57-01-27, 22-01-30 (автосекретарь)
E-mail: ekra@ekra.ru, www.ekra.ru

Контактные данные автора отзыва:
Тел. +7 (8352) 22-01-10 доб. 1968
Тел. (моб): +7(917) 664-32-67
E-mail: Antonov_vi@ ekra.ru

Подпись Антонова В.И. заверяю:

Заместитель заведующего отделом кадрового и организационного обеспечения
Швейцерт Н.Л.

Общество с ограниченной ответственностью Научно-производственное предприятие «ЭКРА» ИНН 6021260011 Отдел кадрового и организационного обеспечения г. Чебоксары Чувашская Республика

В диссертационный совет Д 512.002.01,
созданный на базе АО
«Научно-технический центр Федеральной сетевой компании
Единой энергетической системы» (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»),
г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3

Отзыв на автореферат
диссертации «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленной Илюшиным Павлом Владимировичем на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции и электроэнергетические системы

Осуществляемый в настоящее время переход к новой технологической платформе электроэнергетики, базирующейся на использовании технологий интеллектуальных сетей, предполагает масштабное использование установок распределенной генерации (РГ). Поэтому тема диссертационной работы Илюшина П. В., посвященная вопросам совершенствования противоаварийного и режимного управления энергорайонов с РГ, является актуальной.

В диссертационной работе Илюшина П. В. получен целый ряд результатов, обладающих научной новизной. По мнению автора отзыва наиболее значимыми являются следующие положения:

1. Для автоматики управления нормальными и аварийными режимами разработаны способы определения параметров режима, основанные на применении методов максимального правдоподобия и дискриминаторного анализа.
2. Разработан способ реализации многопараметрической делительной автоматики энергорайонов с объектами РГ.
3. Предложен способ расширения области допустимых режимов генерирующих установок объектов РГ за счет применения накопителей электрической энергии.
4. Разработан усовершенствованный алгоритм автоматической частотной разгрузки, использующий информацию о схемно – режимной ситуации в прилегающей сети и результаты комплексных расчетов режимов.
5. Предложены схемные решения по совершенствованию алгоритмов линейного и секционного АВР, используют результаты комплексных расчетов режимов.
6. Разработана методика проведения натурных испытаний и измерений в энергорайонах с объектами РГ, позволяющая восполнять недостающую информацию для расчетной схемы энергорайона.
7. Предложена методика выполнения расчетов электрических режимов в энергорайонах с объектами РГ, позволяющая проводить комплексные расчеты.
8. Развита общая теория управления режимами ЭЭС применительно к противоаварийному и режимному управлению энергорайонов с РГ.

Имеются следующие замечания:

1. Из текста реферата (стр. 41) неясно, как осуществляется контроль допустимости послеаварийных режимов.

2. Требует пояснения методика определения показателей качества электроэнергии в режимах динамического перехода системы электроснабжения (стр. 52).

Указанные замечания не снижают значимости работы, которая является законченным научным исследованием, содержащим научную новизну, обладающим практической ценностью и выполненным на актуальную тему.

Работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Профессор кафедры «Электроэнергетика транспорта»
Федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Иркутский государственный университет путей сообщения»,
доктор технических наук, профессор

Крюков Андрей Васильевич

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Иркутский государственный университет путей сообщения» (ФГБОУ ВО ИрГУПС)
664074, Сибирский федеральный округ, Иркутская область, г. Иркутск,
ул. Чернышевского, д. 15
+7 (3952) 638-310; автосекретарь +7 (3952) 638-399
Факс +7 (3952) 387-746
E-mail: and_kryukov@mail.ru

Подпись Куроцова
ЗАВЕРЯЮ:
Начальник общего отдела ИрГУПС
Подпись
«03» 02 2020 г.

В диссертационный совет
Д 512.002.01
при АО«НТЦ ФСК ЕЭС»

# ОТЗЫВ

на автореферат диссертации 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»

В России на протяжении последнего десятилетия происходит ежегодное увеличение общего количества объектов распределенной генерации (РГ) и суммарной установленной мощности генерирующих установок на них. Интерес к РГ связан с тем, что ее строительство позволяет получать более дешевые энергоресурсы для снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности производимой продукции.

Данная тенденция обусловлена еще и тем, что применение технологий РГ является эффективным инструментом оптимизации инвестиций в техническое перевооружение (реконструкцию) распределительных сетей, модернизацию генерирующего оборудования на крупных тепловых электростанциях, а также строительство сетей для технологического присоединения новых потребителей. Кроме того, привлечение объектов РГ к участию в реализации алгоритмов противоаварийной и режимной автоматики распределительных сетей, их использование в качестве резервных источников электроснабжения позволяет минимизировать объемы и время отключения электроприемников потребителей.

Однако, используемые в настоящее время принципы и подходы не позволяют реализовать эффективное управление режимами энергорайонов с объектами РГ, с учетом их особенностей, в различных схемно-режимных условиях с жесткими временными ограничениями.

Совершенствование автоматического управления режимами энергорайонов, учитывая перспективы развития распределенной генерации и микрогенерации, в том числе на основе возобновляемых источников энергии, является крайне актуальной для России задачей, которую следует решать на принципиально новом научно-технологическом уровне. В этих условиях диссертационная работа П.В. Илюшина является особо актуальной и вызывает большой интерес как у специалистов традиционной электроэнергетики, так и у специалистов возобновляемой энергетики. Для последних эта работа особенно важна, поскольку в ней показана и доказана возможность преодоления препятствий на пути интеграции электростанций и электроустановок на базе ВИЭ в энергосистемах России.

Несомненно, диссертационная работа обладает теоретической и практической значимостью. В частности, основными являются следующие разработанные положения:

- способ реализации многопараметрической делительной автоматики в энергорайонах с объектами РГ;

- способ расширения области допустимых режимов генерирующих установок РГ за счет использования накопителей электрической энергии;
- усовершенствованный алгоритм автоматической частотной разгрузки;
- схемно-алгоритмическое решение по совершенствованию автоматики ограничения снижения напряжения;
- усовершенствованный алгоритм автоматики ограничения перегрузки оборудования, применительно к кабельным линиям электропередачи напряжением 110 кВ с изоляцией из сшитого полиэтилена;
- схемное-алгоритмическое решение по совершенствованию автоматики ограничения перегрузки оборудования, применительно к силовым трансформаторам;
- схемные решения по совершенствованию алгоритмов устройств линейного и секционного автоматического ввода резерва;
- способ адаптации автоматических регуляторов частоты вращения зарубежных генерирующих установок;
- способ адаптации автоматических регуляторов возбуждения зарубежных генерирующих установок;
- методика проведения натурных испытаний и измерений в энергорайонах с объектами РГ;
- методика выполнения расчетов и анализа электрических режимов в энергорайонах с объектами РГ.

Основные разработанные соискателем способы и схемно-алгоритмические решения защищены патентами Российской Федерации, получено 6 патентов на изобретения и 4 патента на полезные модели.

Особым достоинством диссертационной работы П.В. Илюшина является то, что разработанные способы противоаварийного и режимного управления, структурные и схемно-алгоритмические решения по совершенствованию алгоритмов устройств автоматики энергосистем реализованы в программно-аппаратном комплексе автоматики управления нормальными и аварийными режимами энергорайонов с объектами РГ.

Достоверность полученных соискателем результатов подтверждается применением апробированных положений теории надежности и устойчивости ЭЭС, применением теории и методов противоаварийного управления в ЭЭС, корректностью применения математических моделей, их адекватностью по критериям определения изучаемых процессов, использованием известных положений фундаментальных и прикладных наук, сходимостью полученных теоретических результатов с данными экспериментов и результатами исследований других авторов.

По автореферату диссертации имеются следующие вопросы и замечания:

1.Датчиками информации о токе и напряжении в сети по – прежнему остаются трансформаторы тока и напряжения. Точность измерения ими зависит от конструкции, нагрузки и от измеряемой величины. За счёт чего удалось «снизить погрешность измерения», как сказано п.1 раздела «Научная новизна» автореферата?

2 Вопросы.по разработанному автором способу реализации делительной автоматики, обеспечивающей выделение энергорайона с дефицитом активной мощности до 60%: а) как обоснована величина предельного

дифицита 60%?Почему не 70%? б)Имеются ли другие ограничения? Например, наличие электрогенератора в островном энергорайоне, который может вести частоту; наличие автоматики, выравнивающей генерирующую и потребляемую мощность и т.п.

3.Судя по рис.4.1, напряжение от накопителя электроэнергии на шины ГПУ подаётся при напряжении на них порядка 0,35 от номинала. Обеспечивается ли при этом синхронизация двух источников или в этом нет необходимости?

Представленные замечания носят частный характер и не снижают очевидных достоинств данной диссертационной работы.

В целом, диссертационная работа П.В. Илюшина «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией» является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, которая вносит значительный вклад в развитие электроэнергетической отрасли, и по своему теоретическому уровню и практическому значению отвечает требованиям ВАК к докторским диссертациям.

Диссертация полностью соответствует паспорту специальности 05.14.02– «Электрические станции и электроэнергетические системы» и отвечает критериям пунктов 9 – 14 «Положения о присуждении ученых степеней» от 24 сентября 2013 г. №842 (в редакции от 01.10.2018 г.), а ее автор Илюшин Павел Владимирович вполне заслуживает присуждения ему ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02-«Электрические станции и электроэнергетические системы».

Председатель Комитета ВИЭ РосСНИО,
академик Российской инженерной академии,
заслуженный энергетик РФ,
доктор технических наук
Безруких Павел Павлович

3.02.2020 г.

Данные автора отзыва:
Тел.(моб): +7 (917) 555-57-04
E-mail: bezruky@yandex.ru

Комитет по проблемам использования возобновляемых источников энергии
Российского Союза научных и инженерных общественных объединений
(Комитет ВИЭ РосСНИО)
Адрес: 119034, Россия, г. Москва, Курсовой переулок, д. 17, корп. 1
Телефон:+7 (495) 695-16-08
E-mail: rusea1866@gmail.com
Web: http://rusea.info

Подпись д.т.н. П.П. Безруких удостоверяю,
Вице–президент,
Первый секретарь РосСНИО Друкаренко С.П.

РосСНИО

В диссертационный совет Д 512.002.01,
созданный на базе АО
«Научно-технический центр Федеральной сетевой компании
Единой энергетической системы» (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»),
г. Москва, Каширское шоссе, д. 22, корп. 3

Отзыв на автореферат
диссертации «Совершенствование противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией», представленной Илюшиным Павлом Владимировичем на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – электрические станции и электроэнергетические системы

Модернизация и оптимизация современных систем электроснабжения выполняется с использованием установок распределенной генерации (РГ), в том числе работающих на возобновляемых энергоресурсах. Широкое применение установок РГ в системах электроснабжения или энергорайонах требует решения множества задач по управлению нормальными режимами, а также задач противоаварийного управления. В связи с этим тема диссертационной работы Илюшина П.В., посвященная вопросам совершенствования противоаварийного и режимного управления энергорайонов с распределенной генерацией, является актуальной.

В диссертационной работе Илюшина П.В. получены результаты, обладающие научной новизной, теоретической и практической значимостью. К наиболее значимым можно отнести следующие положения, выносимые на защиту:

1. Способы определения параметров режима пусковыми органами автоматики энергосистем в условиях жестких временных ограничений на основе методов максимального правдоподобия и дискриминаторного анализа для повышения быстродействия и обеспечения надежности срабатывания.

2. Способ принятия решений логическим блоком автоматики управления нормальными и аварийными режимами позволяющий повысить быстродействие и обеспечить высокую точность идентификации классов и границ режимных областей на основе последовательной процедуры Вальда.

3. Способ реализации многопараметрической делительной автоматики позволяющий обеспечить надежное выделение энергорайона с объектами РГ как превентивно, так и непреднамеренно, с дефицитом активной мощности до 60 %.

4. Способ расширения области допустимых режимов ГУ объектов РГ за счет применения накопителей электрической энергии с независимым регулированием по активной и реактивной мощности для предотвращения излишних отключений ГУ.

5. Варианты совершенствования алгоритмов устройств АЧР, АОСН, АОПО позволяющие учесть особенности режимов энергорайонов с объектами РГ для минимизации объемов отключения нагрузки.

6. Схемные решения по совершенствованию устройств линейного и секционного АВР энергорайонов с объектами РГ позволяющие уменьшить длительность перерывов электроснабжения и предотвратить повреждения ГУ в условиях снижения напряжения на рабочем вводе без его отключения.

7. Методика проведения натурных испытаний и измерений и методика выполнения расчетов электрических режимов, содействующие обоснованности принятия основных технических решений при проектировании энергорайонов с объектами РГ.

Основные научные положения и полученные практические результаты диссертационной работы соответствуют паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

К замечаниям можно отнести следующее:

1. Из текста автореферата (стр. 31) неясно, как предлагается определять превентивное управляющее воздействие от АОСН.

2. Требует пояснения предложенный способ адаптации АРВ, заключающийся в блокировке модуля согласования нагрузки: в каких конкретно схемно-режимных условиях работы установки РГ выполняется блокировка.

Указанные замечания не снижают значимости работы, которая является законченным научным исследованием, содержащим научную новизну, обладающим практической ценностью и выполненным на актуальную тему.

Диссертация отвечает пп.9 - 14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства РФ от 24.09.2013 №842 (ред. от 01.10.2018), и представляет собой завершенную научно-квалификационную работу

Работа соответствует требованиям, предъявляемым ВАК к диссертациям на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой «Электроэнергетики и электротехники»
федерального государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего образования
«Братский государственный университет»

Булатов Юрий Николаевич

Подлинность подписи Булатова Ю.Н.
Достоверяю
Н. С. Ермолина

03.02.2020 г.

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Братский государственный университет"
665709, Иркутская область, г. Братск, ул. Макаренко 40,
тел.: 8-(3953)-33-20-08,
e-mail: rector@brstu.ru