

ОТЗЫВ

официального оппонента – кандидата технических наук
Илюшина Павла Владимировича на диссертационную работу
Марченко Андрея Ивановича на тему «Разработка и исследование автоматики опережающего сбалансированного деления в электрических сетях с малой генерацией», представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы»

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Распределенная генерация (РГ) массово внедряется во многих странах мира. В последнее десятилетие мощный импульс данному процессу придал прогресс в разработке высокоэффективных генерирующих установок малой и средней мощности, в том числе использующих возобновляемые источники энергии (ВИЭ). В результате чего потребители получили возможность обеспечивать себя электрической и тепловой энергией собственного производства по приемлемой стоимости, решая одновременно вопросы надежности электроснабжения.

Генерирующие установки РГ широко используются в качестве основных источников электроснабжения для покрытия базового графика нагрузки, с целью снижения величины централизованно поставляемой электроэнергии из энергосистемы, а также для резервирования электроснабжения основных электроприемников, т.е. в качестве резервных источников питания. Ожидается, что в постиндустриальный период потребность в РГ будет только возрастать и в первую очередь на основе ВИЭ. В этих условиях важным компонентом становятся интеллектуальные сети, создающие технологическую основу для эффективного управления РГ и спросом на электроэнергию.

Важно отметить, что интеграция в электрические сети РГ, в том числе на основе ВИЭ, имеет как свои положительные, так и отрицательные аспекты, которые следует учитывать при разработке основных технических решений по ее технологическому присоединению.

В указанных условиях создание автоматики для осуществления быстрого сбалансированного по заранее подготовленным сечениям отделения локальных систем электроснабжения с РГ от внешней электрической сети при нарушениях нормального режима является актуальной задачей. При ее решении важно, чтобы автоматика могла функционировать локально, т.е. независимо от системы диспетчерско-технологического управления и противоаварийного управления внешней электрической сети, для создания на следующем этапе системы мультиагентного децентрализованного управления электрической сетью с множеством локальных систем электроснабжения с РГ.

На основании проведенного анализа особенностей и технических решений, обеспечивающих эффективность параллельной работы локальных систем электроснабжения в составе централизованных электроэнергетических систем (ЭЭС), соискателем была осуществлена постановка цели и задач исследования.

Объектом исследования в диссертационной работе являются локальные системы электроснабжения, объединяемые на параллельную работу с внешними ЭЭС с помощью синхронных электрических связей.

Предметом исследования являются средства и способы управления параллельной работой локальных систем электроснабжения в электрической сети ЭЭС.

В рамках диссертационной работы соискателю принадлежит формализация поставленных задач, исследование технических решений и способов управления параллельной работой объектов с синхронной малой генерацией, имитационное моделирование режимов ЭЭС, разработка методики определения уставок срабатывания пускового органа противоаварийной автоматики опережающего сбалансированного деления, разработка программы и проведение испытаний на электродинамической модели энергосистемы НГТУ способа опережающего сбалансированного деления в составе прототипа системной автоматики управления режимами локальных систем электроснабжения с синхронной малой генерацией, а также развитие идей трансформации системных технических эффектов от работы синхронной малой генерации в электрической сети ЭЭС в перспективные услуги на розничном рынке электрической энергии.

2. НОВИЗНА ИССЛЕДОВАНИЙ И ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Новизна представленной Марченко А.И. диссертационной работы определяется в первую очередь тем, что в ней подробно рассмотрен вопрос создания автоматики, обеспечивающей выполнение требований по не дискриминационному, а также малозатратному присоединению локальных систем электроснабжения с объектами синхронной малой генерации к электрическим сетям ЭЭС при их прямом включении в сеть посредством синхронных связей без централизации управления на основе идеологии построения мультиагентных систем. Кроме того, соискателем, на основе исследования возможных системных эффектов от присоединения локальных систем электроснабжения к внешней электрической сети и осуществления соответствующего управления ее режимами, разработаны состав и возможность предоставления дополнительных услуг синхронной малой генерацией по регулированию режимов в ЭЭС.

Наиболее значимыми новыми результатами, полученными в рамках диссертационной работы, являются:

– разработан способ противоаварийного управления режимом параллельной работы синхронных генераторов с собственной нагрузкой в электрических сетях;

– теоретически, моделированием на имитационной модели ЭЭС, исследовано применение разработанного способа на реальном объекте синхронной малой генерации, с получением результатов, обеспечивающих возможности его эффективного использования, определены требования по быстродействию, разработана методика расчета уставок срабатывания пускового органа автоматики;

– разработан прототип системной автоматики управления режимами параллельной работы локальной системы электроснабжения с внешней электрической сетью, использующей в качестве противоаварийного управления разработанный способ опережающего сбалансированного деления;

– экспериментально доказана работоспособность автоматики противоаварийного управления режимом параллельной работы локальной системы электроснабжения с внешней электрической сетью.

Представленные результаты диссертационной работы являются новыми и в известных научных разработках и научно-технических публикациях других авторов не встречаются.

3. ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ И РЕАЛИЗАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ

Диссертационная работа Марченко А.И. имеет конкретную практическую направленность, заключающуюся в следующем:

– разработке технического решения для снятия барьеров, связанных с присоединением синхронной малой генерации к существующим электрическим сетям, а также созданию на их основе изолированно работающих энергосистем по типу SmartGrid;

– реализации в прототипе автоматики управления режимом параллельной работы локальной системы энергоснабжения на базе синхронной малой генерации с внешней электрической сетью;

– разработке рекомендаций по расчету уставок автоматики и их использованию при реализации пилотного проекта по присоединению локальной системы энергоснабжения с синхронной малой генерацией жилого массива «Березовое» (г. Новосибирск) к электрической сети РЭС для осуществления параллельной работы с возможностью выдачи избыточной мощности;

– разработке шкафов автоматики для их последующей установки в опытную эксплуатацию на объектах синхронной малой генерации в распределительных сетях АО «Россети Тюмень» (ДЗО ПАО «Россети»).

Внедрение результатов диссертационного исследования Марченко А.И. подтверждено 2 актами.

4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Достоверность полученных в диссертационной работе результатов подтверждена использованием теории электрических систем и сетей, устойчивости электроэнергетических систем и противоаварийного управления в электроэнергетических системах, корректным применением методов математического и физического моделирования, а именно моделирующих программно-вычислительных комплексов «Мустанг» и «RastrWin», физического комплекса «Электродинамическая модель электроэнергетических систем» НГТУ, а также результатами испытаний разработанной автоматики на физической модели объекта.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Марченко А.И. в полном объеме отвечает критериям, которые установлены в «Положение о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (в редакции от 01.10.2018). В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

5.1. Указанная соискателем *цель работы* – разработка и исследование эффективности автоматики управления режимом параллельной работы локальных систем электроснабжения с внешней электрической сетью большой мощности, использующей способ опережающего сбалансированного деления в качестве противоаварийного управления – *реализована в рамках представленной диссертационной работы.*

5.2. *Автореферат* диссертации Марченко А.И. соответствует *диссертационной работе* по всем квалификационным признакам: по цели, задачам исследования, основным положениям, определению актуальности, научной новизне, практической значимости и др.

5.3. *Основные выводы по главам и результаты* диссертационной работы *соответствуют поставленным задачам* исследования и сформулированы соискателем структурно содержательно.

5.4. *Научные публикации* Марченко А.И. – 32 печатные научные работы, в том числе 2 статьи в изданиях по перечню российских рецензируемых научных журналов ВАК РФ, 1 патент на изобретение РФ, 3 статьи в рецензируемых научных журналах, 2 статьи в научных изданиях, индексируемых в Scopus и Web

of Science, 24 публикации в сборниках материалов и трудов научных конференций, форумов всероссийского и международного уровня, изданных в период с 2013 по 2020 гг., *соответствуют диссертационной работе.*

5.5. *Тема и содержание* диссертации Марченко А.И. *соответствует паспорту* специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы» по следующим пунктам:

п. 6 – разработка методов математического и физического моделирования в электроэнергетике;

п. 9 – разработка методов анализа и синтеза систем автоматического регулирования, противоаварийной автоматики и релейной защиты в электроэнергетике;

п. 10 – теоретический анализ и расчетные исследования по транспорту электроэнергии переменным и постоянным током, включая проблему повышения пропускной способности транспортных каналов;

п. 12 – разработка методов контроля и анализа качества электроэнергии и мер по его обеспечению.

Диссертационная работа Марченко А.И. написана доступным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы и результаты исследований изложены в объеме, достаточном для понимания, четко, доступно и репрезентативно. Результаты, полученные соискателем, являются вкладом в разработку системной автоматики управления режимами параллельной работы локальных систем электроснабжения с синхронной малой генерацией и внешней электрической сетью.

6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Марченко А.И. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений и условных обозначений, словаря терминов, списка литературы, включающего 109 наименований, и трех приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 184 страницы, включая в себя 60 рисунков и 32 таблицы.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы, сформулированы цели и задачи исследования, представлены научная новизна, теоретическая и практическая значимость результатов, внедрение и апробация полученных результатов, сформулированы положения, выносимые на защиту.

Первая глава *«Анализ особенностей и технических решений, обеспечивающих эффективность параллельной работы объектов с малой синхронной генерацией в составе централизованных энергосистем»* посвящена аналитическому обзору особенностей и технических решений,

обеспечивающих эффективность параллельной работы локальных систем электроснабжения с синхронной малой генерацией в составе централизованных ЭЭС. Отмечено, что синхронная малая генерация позволяет решать локальные проблемы централизованной энергетики, когда ее строительство является экономически более эффективным, чем реконструкция существующих и строительство новых распределительных электрических сетей. Кроме того, показано, что климатические и географические особенности России порождают более высокую, чем в других странах, потребность в тепловой энергии по отношению к электрической, поэтому синхронная малая генерация в основном представлена генерирующими установками на не возобновляемых видах топлива. Отмечено, что современные технологии в производстве газотурбинных, парогазовых и газопоршневых установок (ГТУ, ПГУ, ГПУ) позволяют достигать высоких КПД, а также иметь широкий диапазон установленных мощностей. Функционирование синхронной малой генерации в составе ЭЭС представляет интерес для предприятий различных отраслей промышленности.

Вторая глава *«Исследование способа противоаварийного управления в районах электрической сети с малой генерацией путем опережающего сбалансированного деления»* посвящена разработке способа противоаварийного управления в районах электрической сети с синхронной малой генерацией путем его опережающего сбалансированного отделения и содержит результаты имитационного исследования предложенного способа. Представлены основные технические результаты предлагаемого способа, заключающиеся в предотвращении возникновения недопустимых динамических моментов на валах синхронных генераторов и асинхронных режимов при их параллельной работе, снижении отключаемых токов КЗ, снижении объемов отключения нагрузки для предотвращения развития аварий, снижении потребности в телеметрической информации, а также упрощении принципов организации РЗА в локальных системах электроснабжения.

Третья глава *«Реализация способа опережающего сбалансированного деления в схеме выдачи мощности малой генерации в прототипе автоматики»* посвящена вопросам реализации способа опережающего сбалансированного деления в схеме выдачи мощности объекта синхронной малой генерации в прототипе системной автоматики локальной системы электроснабжения. Показано, что автоматика в полной мере реализует заданные алгоритмы автоматического управления режимами локальной системы электроснабжения с синхронной малой генерацией по активной и реактивной мощности в нормальных и аварийных условиях, с выбором состава включенного оборудования и режимов работы – островной или параллельный с ЭЭС.

В четвертой главе *«Исследование прототипа автоматики на физической модели электроэнергетических систем»* представлены результаты исследования прототипа разработанной в диссертационной работе автоматики опережающего сбалансированного деления (АОСД) на физической электродинамической модели ЭЭС НГТУ. Сформулированы требования, предъявляемые к структуре и параметрам физической модели локальной системы электроснабжения, используемой в качестве испытательной установки АОСД, разработана программа проведения испытаний. Сделан вывод, что АОСД работает правильно во всех рассмотренных режимах, при этом обеспечиваются требуемая чувствительность, селективность и быстродействие.

Пятая глава *«Системные эффекты при участии малой генерации в регулировании режимов электрических сетей»* посвящена техническим эффектам от участия синхронной малой генерации в регулировании режимов электрических сетей с рассмотрением возможностей предоставления услуг на локальном, районе и общесистемном уровне. Представлены результаты исследования эффекта симметрирования напряжения, снижения искажений формы кривой напряжения и подавления высших гармонических составляющих с помощью синхронной малой генерации на электродинамической модели.

В **заключении** указано, что разработанная автоматика опережающего сбалансированного деления позволяет снять технологические барьеры, связанные с присоединением синхронной малой генерации к существующим электрическим сетям, с целью создания на ее основе изолированно работающих энергосистем по типу SmartGrid, а также приведены перспективы применения данного технического решения. Дополнительно приведено видение соискателя о дальнейшем развитии темы исследования.

7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

К диссертационной работе Марченко А.И. имеются следующие вопросы и замечания:

7.1. В диссертационной работе применительно к одному понятию используется несколько терминов, что усложняет восприятие диссертационной работы как целостного документа. Например, для понятия синхронной малой генерации используется множество различных терминов – распределенная генерация, распределенная малая синхронная генерация, распределенная малая генерация, когенерационные электростанции малой генерации и др. Помимо термина автономного режима несколько раз встречается термин островной режим (например, стр. 36, абзац 1), но его определения нет ни в тексте диссертации, ни в словаре терминов. Словарь терминов составлен в хаотичном, а не в алфавитном порядке.

7.2. В главе 1 преимущества от применения синхронной малой генерации соискателем не систематизированы и многократно повторяются в разных формулировках из разных источников, что существенно увеличило объем главы 1, но не увеличило ее информативность. При этом часть из приведенных преимуществ являются спорными (например, снижение негативного антропогенного влияния), часть устарели и не соответствуют текущему положению дел в электроэнергетике России (например, возможность перераспределить высвободившиеся мощности крупной генерации).

7.3. В главе 1 (стр. 15) автором указано, что «...современные технологии в производстве высокоэффективных газотурбинных и парогазовых установок малой генерации позволяют достигать им 60 % КПД...». При этом для самых современных ГТУ КПД (на клеммах) не превышает 41-44%, что действительно и для большинства современных газопоршневых генерирующих установок. При этом КПД выпускаемых промышленностью современных ПГУ находится в диапазоне 61-64%.

7.4. Невозможно оценить адекватность результатов проведенного соискателем моделирования в ПВК «Мустанг», так как в описании не представлены корректно характеристики нагрузки (например, количество, мощности синхронных и асинхронных двигателей и приводимых ими в работу механизмов), принятые допущения и принципы эквивалентирования. Приведенные данные по составу нагрузки (табл. 1.7, стр. 35) не позволяют правильно сформировать расчетную модель. Не выполнено корректно моделирование нагрузки в смежных узлах (ПС Силикатная и др. ПС 110 кВ – Инская, Сосновка, Морозова, Тальменская), влияние которой на переходные процессы в рассматриваемой локальной системе электроснабжения существенно. Не выполнена оценка работоспособности пускового органа АОСД в переходных процессах при изменении состава нагрузки в рассматриваемом узле 110 кВ и смежных узлах.

7.5. П. 2.2 «Методика расчета уставок пускового органа опережающего деления», изложенная на одной странице, и, по своей сути, не является таковой, так как методика – это установленный способ осуществления деятельности с конкретизацией используемых на каждом этапе характеристик, параметров, критериев, алгоритмов, методов, приемов и др. Методику в диссертации следовало бы представить в формате методики, а пример выбора параметров настройки пускового органа АОСД в электрической сети энергосистемы Новосибирской области, с подключением локальной системы электроснабжения жилого массива «Березовое», было бы целесообразно вынести в приложение.

7.6. В главе 3 (стр. 82) указано, что время срабатывания пускового органа напряжения АОСД составляет $< 0,02$ с, но при этом не выполнена проверка

правильности его срабатывания в условиях пофазной несимметрии напряжений. Однако, в сетях с РГ, в том числе на основе ВИЭ (стр. 118), в условиях широкого применения силовых преобразователей (например, частотно-регулируемого привода) возможны кратковременные, но значительные, отклонения показателей качества электрической энергии, что может приводить к излишним срабатываниям АОСД. Возникновение пофазной несимметрии возможно и во время переключений анцапф РПН трансформаторов на ПС 110 кВ Силикатная.

7.7. Рассматривать возможность оказания системных услуг синхронной малой генерации, с точки зрения ее практической реализации, крайне сложно, так как по сравнению с крупноблочным паросиловым и газотурбинным оборудованием (статистические данные их международных и российских источников) их ГУ отключаются в 5-8 раз чаще и простаивают на 2-7 % больше. Это связано с конструктивными особенностями ГУ, близостью и частотой аварийных возмущений, несовершенством устройств РЗА ГУ, низкой квалификацией эксплуатационного персонала, неравномерным графиком нагрузки и др. Поэтому востребованными могут быть услуги на локальном и районном уровнях для распределительных сетевых компаний и потребителей.

7.8. В главе 5 при анализе возможности применения синхронной малой генерации для повышения качества напряжения в части синусоидальности формы и симметрии напряжения не рассмотрены ограничения в виде уставок устройств РЗА и технологических защит ГУ. Задаваемые заводами-изготовителями уставки, действующие на отключение ГУ при незначительных отклонениях параметров режима в большинстве случаев не позволят реализовать данное предложение. Это связано с тем, что при несимметричной нагрузке токи обратной последовательности вызывают локальные перегревы элементов генератора (ротора; торцевых зон статора) токами двойной частоты, что приводит к ускоренному истощению паркового ресурса и повреждениям. По статистическим данным основной причиной отключений ГУ синхронной малой генерации связано с несимметрией нагрузок в островном (автономном) режиме (не относится к ГУ с силовыми преобразователями).

7.9. В главе 5 (табл. 5.2, стр. 125, п. 10) указано, что объекты синхронной малой генерации могут предотвращать провалы напряжения, что физически невозможно. Для существенного повышения напряжения на шинах ГУ, пока не ликвидировано КЗ, за счет форсировки выдачи реактивной мощности ГУ, необходимы кратно большие величины инъекции реактивной мощности, чего ГУ обеспечить не могут. Если же от внешнего устройства, например, накопителя электрической энергии, инжектировать необходимую величину реактивной мощности, то коммутационной способности установленных высоковольтных выключателей будет недостаточно, чтобы ликвидировать КЗ. Для минимизации

длительности и глубины провалов напряжения при КЗ эффективно выполнять реконструкцию устройств РЗА в прилегающей сети, а также реактивировать локальную систему электроснабжения.

7.10. В заключении по диссертационной работе не представлены четко сформулированные конкретные полученные соискателем результаты выполненной работы и информация о том, как решены поставленные задачи диссертационного исследования. Вместо этого основное внимание в заключении уделено перспективам применения разработанного технического решения по АОСД и представлению соискателя о дальнейшем развитии темы исследования.

Приведенные вопросы и выявленные недостатки обоснованы тем, что диссертационная работа Марченко А.И. посвящена актуальному вопросу организации противоаварийного управления режимом параллельной работы синхронных генераторов с собственной нагрузкой в электрических сетях. Однако, они существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты работы.

8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная диссертационная работа Марченко А.И. является самостоятельной, законченной научно-квалификационной работой, обладающей как признаками актуальности и новизны, так и практической значимостью полученных результатов. Задачи, решаемые в работе, объединены общей научной идеей, направленной на разработку научно обоснованных технических решений по созданию автоматики, обеспечивающей выполнение требований по не дискриминационному, а также малозатратному присоединению локальных систем электроснабжения с объектами синхронной малой генерации к электрическим сетям ЭЭС при их прямом включении в сеть посредством синхронных связей без централизации управления на основе идеологии построения мультиагентных систем, внедрение которых вносит значительный вклад в развитие электроэнергетики страны.

Основные научные выводы и практические рекомендации сформулированы соискателем на основе проведенного глубокого анализа особенностей, технических решений и возможных способов, обеспечивающих нормальный режим работы объектов синхронной малой генерации в составе централизованных энергосистем, что позволяет сделать вывод о том, что содержание представленной диссертационной работы полностью соответствует паспорту специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

Содержание диссертационной работы соответствует поставленным задачам и подробно отражает последовательность их решения. Текст диссертационной работы в целом изложен логично, написан понятным языком, выводы и

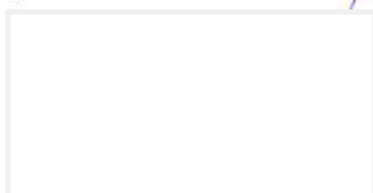
рекомендации, к которым пришел соискатель, аргументированы. При этом в диссертации встречаются мелкие ошибки и неточности формулировок.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы Марченко А.И. изложены в 32 печатных научных работах, которые с достаточной полнотой отражают ее суть, основные результаты и выводы по каждой из глав. Результаты диссертационной работы докладывались и обсуждались на 24 научных конференциях, форумах всероссийского и международного уровня. Содержание автореферата соответствует основным положениям, результатам и выводам, представленным в основном тексте диссертационной работы.

Диссертационная работа Марченко Андрея Ивановича «Разработка и исследование автоматики опережающего сбалансированного деления в электрических сетях с малой генерацией» 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 её автор заслуживает присуждения ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – «Электрические станции и электроэнергетические системы».

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ

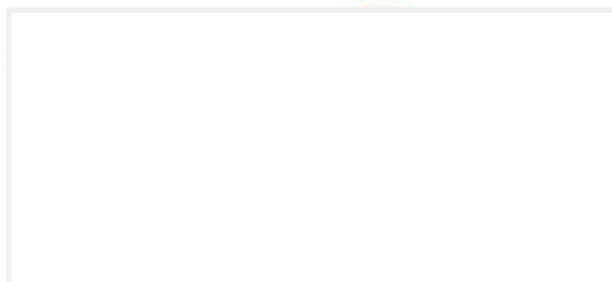
Проректор по научной работе Федерального государственного автономного образовательного учреждения дополнительного профессионального образования «Петербургский энергетический институт повышения квалификации»,
кандидат технических наук



Павел Владимирович Илюшин

Дата: 01 июня 2020 г.

Адрес: 196135, г. Санкт-Петербург, ул. Авиационная, д. 23
Тел. +7 (812) 373-90-10, E-mail: ilyushin.pv@mail.ru



В. В. Одиноков

А. А. / Юсупов А. А.

Отзыв получен 11.06.2020г.
С отзывом ознакомлен 11.06.2020г.

А.И. Марченко
/ Марченко А.И.