

УТВЕРЖДАЮ

Проректор по науке Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», доктор физико-

А.В. Германенко

// 2021 г.

~~ОТЗЫВ~~

Ведущей организации Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина» на диссертационную работу Ивкина Ефима Сергеевича «Системная автоматика для создания локальных интеллектуальных энергосистем и управления их режимами», представленную к защите в Диссертационном совете Д 212.173.01 при Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Новосибирский государственный технический университет» на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы

Актуальность темы диссертации.

Определяется тенденцией к росту числа объектов с источниками малой генерации, вновь сооружаемых и уже работающих параллельно с распределительными сетями Единой энергетической системы напряжением 6-35 и 110 кВ. При этом становится необходима разработка специализированной интеллектуальной системной автоматики управления режимами работы таких энергообъектов, относящихся к классу MiniGrid. Другим основанием к созданию систем управления MiniGrid является реализация подхода к прямому подключению MiniGrid к сетям общего пользования, основанного на выполнении требований к свободному и малозатратному присоединению. В связи с этим в работе разработан комплекс специализированной автоматики, работающий без централизации управления и основанный на идеологии мультиагентных коммуникационных принципах взаимодействия отдельных

подсистем внутри MiniGrid, позволяющих обеспечить работу MiniGrid полностью в автоматическом режиме.

Таким образом, работа по созданию автоматической программно-аппаратной платформы для децентрализованного функционирования энергообъектов с источниками малой генерации, работающих в основном параллельно с сетью, в текущей ситуации является актуальной и востребованной.

Научная новизна работы состоит в следующем.

1. Впервые разработан комплекс программно-аппаратных средств (системная автоматика) и технических решений, обеспечивающих создание и управление режимами работы MiniGrid.

2. Теоретически и экспериментально на физических моделях и реальном объекте исследовано применение разработанной системной автоматики и доказана ее эффективность.

3. Разработаны методики и программы испытаний системной автоматики и функционирования MiniGrid в автоматическом режиме.

Диссертационная работа соответствует паспорту научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, так как в ней рассматриваются вопросы развития и совершенствования теоретической и технической базы электроэнергетики для обеспечения более надежной и экономичной работы локальных систем электроснабжения. Работа соответствует следующим пунктам паспорта:

П. 1. «Оптимизация структуры, параметров и схем электрических соединений электростанций, электроэнергетических систем и систем электроснабжения»;

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».

Диссертант сформулировал и **выносит на защиту следующие основные положения:**

1. Режимное и противоаварийное управление объектами с малой генерацией, включенными на параллельную работу в энергосистему, возможно без централизованного диспетчерского управления, автоматически за счет специальной автоматики и реализованных в ней инновационных способов управления режимами, обеспечивающих безопасную параллельную работу малой генерации и электрической сети энергосистемы;
2. Для эффективной работы MiniGrid в параллельном режиме необходима постоянная совместная работа «специальной» режимной автоматики и автооператора;

3. Управление режимами локальных энергосистем с синхронной малой генерацией должно быть полностью автоматическим;
4. Для синхронизации MiniGrid с другими MiniGrid или с централизованной энергосистемой необходимо использовать более жесткие условия синхронизации;
5. Безопасность режима выдачи избыточной мощности MiniGrid в приемную сеть может быть обеспечена с помощью запатентованного способа управления составом и загрузкой генераторов.

Теоретическая значимость диссертационной работы состоит в решении научно-технической задачи устранения рисков и технологических барьеров, возникающих в результате прямого подключения сбалансированных локальных энергосистем на основе малой генерации к централизованным электрическим сетям с созданием на их основе локальных интеллектуальных энергосистем по типу SmartGrid.

Практическая значимость работы состоит в запатентованном способе управления составом и загрузкой генерирующего оборудования электростанции MiniGrid, реализованном в системной автоматике управления режимом ее параллельной работы с внешней электрической сетью, созданной в НГТУ совместно с ООО «Модульные системы Торнадо» и ООО «Институт автоматизации энергетических систем».

Автоматика, практические рекомендации по ее применению, карты уставок и настройки, способы взаимодействия с блочной автоматикой генерирующих устройств использованы при осуществлении пилотного проекта по созданию и присоединению MiniGrid с мини теплоэлектростанцией жилого массива «Березовое» (г. Новосибирск) к электрической сети Новосибирской энергосистемы ЕЭС России с режимом параллельной работы и выдачей избыточных мощностей во внешнюю сеть.

Проведены комплексные испытания функционирования MiniGrid в автоматическом режиме и осуществлен ввод разработанной системной автоматики в эксплуатацию.

Достоверность результатов подтверждена использованием промышленных программ для имитационного моделирования, выполнением физического моделирования энергосистем и испытаниями разработанной автоматики на физических моделях MiniGrid и реальном объекте, а также, при вводе автоматики в эксплуатацию.

Методология и методы исследования. Использовались методы математического и физического моделирования, а именно моделирующие программно-вычислительные комплексы «Мустанг» и «RastrWin», физические комплексы «Электродинамическая модель электроэнергетических систем» Центра коллективного пользования «Центр испытаний устройств контроля и управления режимами электроэнергетических систем» НГТУ, кафедры Электроэнергетических

систем НИУ МЭИ, MiniGrid жилмассива «Березовое» (г. Новосибирск). Используются теории устойчивости, управления режимами электроэнергетических систем, автоматического и автоматизированного управления, экспериментальных исследований, методология SADT (Методология структурного анализа и проектирования).

Личный вклад диссертанта не вызывает сомнений. Соискатель самостоятельно разрабатывал, реализовывал и отлаживал алгоритмы управления и графические интерфейсы системной автоматики MiniGrid для физических моделей НГТУ и НИУ МЭИ, MiniGrid жилмассива «Березовое», принимал непосредственное участие с долей не менее 50% в разработке комплексной программы испытаний готовности MiniGrid к включению на параллельную работу с сетью ЕЭС и программы проверки соответствия требованиям к участию энергоблоков ТЭЦ MiniGrid в общем первичном регулировании частоты ЕЭС, проведении испытаний, подготовке заявки на изобретение, написании статей и подготовке докладов по результатам работы.

Апробация результатов выполнялась и обсуждалась на: международной выставке и конференции «Релейная защита и автоматика энергосистем» Санкт-Петербург 2017г., конференции филиала АО «СО ЕЭС» ОДУ Сибири, Кемерово, 2018г., форуме «Глобальное технологическое лидерство», Сочи, 2019г., международной конференции и выставке «Релейная защита и автоматика энергосистем», Москва, 2021г., а также на научных семинарах кафедры Автоматизированных электроэнергетических систем НГТУ. В составе научного коллектива автор диссертации принимал участие в выполнении двух НИОКР по гранту Национально-технологической инициативы «Развитие НТИ», а также в хозяйственных работах с АО «Россети Тюмень» по реализации предложенных технических решений в виде программно-технического комплекса для системной автоматики MiniGrid. Разработка является финалистом международного конкурса «Малая энергетика – Большие успехи 2019» в номинации лучшая инновационная разработка года, а также получила высокую оценку по итогам рассмотрения на совместном заседании Научно-технического совета НП «НТС ЕЭС» и Секции Научного совета РАН по проблемам надёжности и безопасности больших систем энергетики, где признана имеющей отраслевое значение. Проект удостоен диплома I степени (с вручением золотой медали) в конкурсе «Лучший инновационный проект и лучшая научно-техническая разработка года» в номинации Лучший инновационный проект в области: энергосбережения, первичные и вторичные источники энергии, аккумуляторы, топливные элементы, солнечные батареи, ветрогенераторы, биотопливо. Санкт-Петербург, 2020 г.

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в 8 научных работах, из них работ, опубликованных согласно перечня российских рецензируемых научных журналов, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученых степеней доктора и кандидата наук (перечень ВАК РФ) - 3, работ в

научных изданиях, индексируемых базами Scopus и/или Web of Science – 2, получен патент на изобретение РФ. Также получены 2 акта, подтверждающих внедрение результатов исследования.

Объем и структура диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, содержащего 65 наименований, списка сокращений и условных обозначений и 2 приложений. Материал изложен на 166 страницах, из которых 163 страницы основного текста и 3 страниц приложений.

Во **введении** обосновывается актуальность темы диссертации, сформулированы цели и задачи исследований, приведены положения, выносимые на защиту, указаны новизна полученных результатов, их научная и практическая значимость, представлены структура диссертации и основные результаты исследований.

В **первой главе** выполнен обзор трендов развития электроэнергетики таких как открытые энергосистемы или производство энергии в местах его потребления, а также используемые в них понятия мировым сообществом. Кроме того, в главе приводятся восемь типов объектов с малой генерацией с различными назначениями и требованиями к системной автоматике и энергоисточнику, из которых выделяется локальная система электроснабжения, имеющая недостатки автономной работы в виде низкой надежности электроснабжения потребителей и качества электроэнергии. Приводятся пути устранения недостатков за счет прямого подключения локальной системы электроснабжения к централизованной энергосистеме посредством синхронных связей и создании MiniGrid, способных работать, как автономно, так и параллельно с внешней сетью, т.е. быть интегрированными в общий баланс мощности и электрический режим. Также перечислены основные риски, связанные с параллельной работой.

Во **второй главе** обоснованы и представлены технические решения, позволяющие при различных внешних и внутренних возмущениях сохранить в работоспособном состоянии оборудование электросетевого комплекса внешней энергосистемы и MiniGrid, газопоршневых агрегатов ТЭЦ. Реализованные в программно-техническом комплексе и принятые технические решения позволяют обеспечить надежность электроснабжения электроприемников MiniGrid в различных схемных и режимных условиях, безопасность для оборудования за счет соответствующей функциональности, требуемых быстродействия, селективности и чувствительности работы устройств противоаварийной и режимной автоматики.

В **третьей главе** с использованием метода ведущей линии представлены алгоритмы режимного и противоаварийного управления и автооперирования опытного образца автоматики. Приведены базовые алгоритмы, информационно-измерительные, алгоритмы локального режимного управления, системные алгоритмы режимного управления и алгоритмы автооперирования, учитывающие все возможные схемные и режимные

ситуации и обеспечивающие их универсальность для любого объекта MiniGrid.

Четвертая глава посвящена описанию технической реализации и комплексной программы испытаний системной автоматики MiniGrid с ТЭЦ, созданной на базе пилотного проекта жилмассива «Березовое», расположенного в Первомайском районе г. Новосибирска. В главе представлен функционал системной автоматики с учетом взаимодействия с имеющейся на станции блочной автоматикой Terberg. Для удовлетворения требованиям к участию энергоблоков MiniGrid в ОПРЧ была разработана и реализована система автоматического регулирования частоты и мощности под управлением автооператора.

Приведены результаты экспериментальных испытаний с получением статических характеристик по частоте энергоблока мини ТЭЦ.

В **заключении** сформированы основные результаты диссертационной работы, опирающиеся в частности на результаты экспериментальных испытаний. Они показали возможность использования разработанных алгоритмов управления MiniGrid для создания системной автоматики на различных технических платформах с учетом специфики используемых электрических схем, а также первичного и вторичного оборудования.

В **приложении А** приведен Патент на изобретение «Способ управления составом и загрузкой генераторов электростанции с собственными нагрузками, работающей изолированно и параллельно с приемной энергосистемой».

В **приложении Б** приведен АКТ о внедрении в учебный процесс Новосибирского государственного технического университета результатов диссертационной работы.

Автореферат соответствует содержанию диссертации и полностью отражает основные научные и прикладные результаты диссертационного исследования.

Автореферат и текст диссертации хорошо структурированы, логично изложены и обладают внутренним единством. По объёму, структуре и оформлению диссертационная работа полностью соответствует требованиям ВАК, предъявляемым к диссертациям на соискание учёной степени кандидата технических наук.

Замечания по диссертационной работе:

1. В работе речь идет о разработке и использовании алгоритмов системной автоматики, в том числе и алгоритмов опережающего деления сети для решения задач противоаварийного управления. Однако в существующей актуальной классификации, приведенной в СТО 59012820.29.020.002-2012 АО "СО ЕЭС", системная автоматика отсутствует, а противоаварийные функции возложены на соответствующие классифицируемые функции противоаварийной автоматики. Это означает, что алгоритмы, разрабатываемые и используемые в работе, стоит рассматривать как частные функции подсистем собственной системы управления MiniGrid.

2. Отмечается, что для синхронизации частей энергосистем используются синхронизированные векторные измерения, измерительные органы которых установлены только на шинах центров питания. При этом становится непонятным, каким образом обеспечивается требуемая точность синхронизации в АПВ с улавливанием синхронизма, в случае, когда точка синхронизации со стороны сети не совпадает с точкой снятия измерений, используемых для СВИ.

3. Одним из режимов работы генерации в составе MiniGrid является «режим с удержанием мощности в коридоре допустимых перетоков по сечению...». При условии, что в работе рассматриваются общие случаи функционирования MiniGrid с генерацией, стоит отметить, что данный режим выгоден еще и тем, что обеспечивает дополнительное время для умеренно маневренных установок ДГУ или ГПУ, входящих в ТЭЦ или иной энергоцентр, для балансирования режима при резких и глубоких набросах нагрузки (включение печей, синхронных мельниц и т.д.), имеющих место в сетях крупных промышленных предприятий. Хотя для частного случая жилмассива, описанного в работе, это не так актуально.

4. Работа автоматики опережающего деления сети может быть быстрее РЗА только в случае использования резервных защит, обладающих относительной селективностью и действующих с выдержками времени. Если ЛЭП MiniGrid подключается к сети 110 кВ, или КЛ с дифференциальными защитами, то на присоединениях могут быть установлены быстродействующие защиты с полным временем действия 0.08 с. на отключение, имеющие высший приоритет. Необходимо подробнее пояснить условия, при которых обеспечивается функционирование автоматики опережающего деления, гарантирующие более быстрое по сравнению с РЗ срабатывание.

5. В тексте автореферата и в диссертации присутствуют опечатки, а также предложения, имеющие несогласованные между собой части. Так, например, первое предложение в автореферате «Одно из важнейших направлений...является применение...», или предложение на стр. 5 «Запатентованный способ управление...».

Указанные замечания не снижают общей положительной оценки работы и не подвергают сомнению достоверность, обоснованность и новизну полученных и представленных в диссертации результатов.

Заключение

Диссертационная работа Ивкина Ефима Сергеевича «Системная автоматика для создания локальных интеллектуальных энергосистем и управления их режимами», представленная на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы, удовлетворяет требованиям пп. 9-14 «Положения о присуждении учёных степеней», утверждённого Постановлением Правительства РФ № 842 от 24.09.2013 (с изменениями от 11.09.2021), предъявляемым ВАК РФ к диссертациям на соискание ученой степени кандидата наук.

Автор диссертации, Ивкин Ефим Сергеевич, заслуживает присуждения учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.14.02 – Электрические станции и электроэнергетические системы.

Отзыв на диссертацию обсуждён и одобрен на заседании кафедры «Автоматизированные электрические системы» Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина», протокол заседания №7, от 24 ноября 2021 г.

Отзыв подготовлен доктором технических наук, заведующим кафедрой «Автоматизированные электрические системы», профессором Паздериним Андреем Владимировичем.

Заведующий кафедрой
«Автоматизированные
электрические системы»,
доктор технических наук, профессор

Андрей Владимирович Паздерин

Тел: +7 (343) 375-48-75
Эл. почта: a.v.pazderin@urfu.ru

Подпись заверяю:

Дата: 29.11.2021

Сведения о ведущей организации

Полное наименование организации: Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина»

Юридический адрес: 620002, г. Екатеринбург, ул. Мира, 19

Сайт: <https://urfu.ru>

Тел: + (343) 375-44-44

Эл. почта: rector@urfu.ru

*Отзыв получен 10.12.21. Проф. Юсупов Р.А.
С отзывом ознакомился 10.12.21. Ив.-Ивкин Е.С.*