

ОТЗЫВ

официального оппонента – доктора технических наук
Илюшина Павла Владимировича на диссертационную работу
Какоши Юрия Васильевича на тему **«Свойства и режимы объединенных энергосистем малой мощности, создаваемых на основе локальных систем энергоснабжения»**, представленную на соискание ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика

1. АКТУАЛЬНОСТЬ ТЕМЫ

Массовое развитие распределенной энергетики в России обусловлено невозможностью присоединения новых и увеличения мощности существующих потребителей, неудовлетворительной надежностью электроснабжения и/или качеством электроэнергии, а также низкой экономической эффективностью энергоснабжения от систем централизованного энергоснабжения.

Создание локальных интеллектуальных энергосистем (ЛИЭС) на базе объектов распределенной энергетики позволяет обеспечить экономичное и надежное электро- и теплоснабжение энергопринимающих устройств потребителей, содействует развитию малого и среднего предпринимательства, территорий опережающего развития, а также отдельных регионов страны.

Собственники ЛИЭС при их технологическом присоединении к существующим распределительным электрическим сетям сталкиваются с большим количеством сложно преодолимых нормативно-технических, нормативно-правовых и административных барьеров. Создание объединенных энергосистем малой мощности (ОЭСММ), которые могут надежно функционировать в изолированном от ЕЭС России режиме позволяет достигать положительных системных эффектов от такого объединения для всех ЛИЭС и электроприемников потребителей. При этом необходимо комплексное решение задач режимного и противоаварийного управления, а также автооперирования состояниями ОЭСММ в различных схемно-режимных ситуациях, обеспечивая адекватную реакцию системы автоматического управления при всех видах нормативных и сверхнормативных возмущений.

Разработка теоретических и технологических основ проектирования ОЭСММ, обеспечивающих относительно простое и малозатратное объединение ЛИЭС для получения системных эффектов, в том числе при интеграции ОЭСММ в систему централизованного электроснабжения, является важной задачей, требующей своего решения на базе оборудования отечественного производства.

Следовательно, выбранная тематика диссертационного исследования, направленная на анализ свойств и электрических режимов ОЭСММ, создаваемых на базе нескольких ЛИЭС, а также разработку теоретических основ создания и способов управления их нормальными и аварийными режимами является крайне актуальной в современных условиях.

Анализ достижений российских и зарубежных ученых в рассматриваемой научной области позволил соискателю сформулировать цель и осуществить постановку конкретных задач для своего диссертационного исследования.

Целью диссертационной работы является разработка теоретических основ создания и способов управления режимами локальных интеллектуальных энергосистем (ЛИЭС) с синхронной малой генерацией, объединенных в энергосистемы малой мощности (ОЭСММ).

Объектом исследования являются локальные интеллектуальные энергосистемы, объединяемые в ОЭСММ. Предметом исследования являются способы управления режимами ОЭСММ, особенности их проектирования, методики моделирования и оценки системных свойств.

2. НАУЧНАЯ НОВИЗНА ПОЛОЖЕНИЙ, ВЫВОДОВ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

В диссертационной работе решена важная научно-техническая задача, заключающаяся в разработке новых способов управления режимами объединенных энергосистем малой мощности.

Научной новизной в представленной Какошей Ю.В. диссертационной работе обладают следующие положения:

- впервые введено понятие ОЭСММ на базе нескольких ЛИЭС, предложен способ адаптивного участия электростанций ЛИЭС в ОПРЧ для их создания и управления режимами;
- предложена структура системных эффектов от создания ОЭСММ, исследованы их технологические особенности и перспективность использования;
- разработана методика сравнительной оценки системных свойств ОЭСММ при вариативности их создания.

Личный вклад соискателя состоит в анализе особенностей работы ОЭСММ на основе MiniGrid в островном и параллельном с системой централизованного электроснабжения режимах, исследовании системных свойств ОЭСММ, разработке методики сравнительной оценки вариантов объединения ЛИЭС, поиске и анализе условий создания ОЭСММ, а также формулировании выводов по результатам исследования. В печатных научных работах, опубликованных в соавторстве, личный вклад соискателя составляет не менее 50%.

3. ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЦЕННОСТЬ И ПРАКТИЧЕСКАЯ ЗНАЧИМОСТЬ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Теоретическую ценность полученных в рамках диссертационного исследования результатов заключается в решении научно-технической задачи по созданию теоретических основ проектирования и управления режимами объединенных энергосистем малой мощности.

Практическую значимость полученных результатов заключается в разработке способа адаптивного управления мощностью генерации в ЛИЭС, который реализован в системной автоматике, обеспечивающей безопасную синхронную работу ЛИЭС с внешней энергосистемой. Разработанный способ адаптивного участия генераторов малой мощности в первичном регулировании частоты в энергосистемах используется в учебном процессе кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» в рамках курса лекций для магистрантов «Инновационные технологии в электроэнергетике».

4. ОБОСНОВАННОСТЬ И ДОСТОВЕРНОСТЬ НАУЧНЫХ ВЫВОДОВ, ПОЛОЖЕНИЙ И РЕКОМЕНДАЦИЙ

Обоснованность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается корректным использованием методов математического моделирования переходных электроэнергетических процессов, реализованных на единой платформе расчетов и анализа электроэнергетических систем DIGSILENT PowerFactory, а также основных положений теории устойчивости и управления режимами электроэнергетических систем, автоматического и автоматизированного управления.

Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций подтверждается использованием промышленной программы для имитационного моделирования режимов энергосистем DIGSILENT PowerFactory с предварительной верификацией динамических характеристик энергоблоков, результатами экспериментальных исследований свойств реальной Минигрид, а также результатами опытной и промышленной эксплуатации предложенного в работе способа адаптивного участия энергоблоков электростанции Минигрид.

Представленные в диссертационной работе основные научные положения, выводы по главам, заключительные выводы и рекомендации являются в целом обоснованными.

5. ЗАКЛЮЧЕНИЕ О СООТВЕТСТВИИ ДИССЕРТАЦИИ УСТАНОВЛЕННЫМ КРИТЕРИЯМ

Диссертационная работа Какоши Ю.В. отвечает критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024). В ней соблюдены следующие принципы соответствия:

5.1. Указанная соискателем цель работы – разработка теоретических основ создания и способов управления режимами локальных интеллектуальных энергосистем с синхронной малой генерацией, объединенных в энергосистемы малой мощности – достигнута в рамках представленной диссертационной работы. В целом диссертационная работа является законченной научно-

квалифицированной работой, так как содержит решение научной и практической задачи, имеющей важное значение для развития электроэнергетики страны, по созданию теоретических основ проектирования и управления режимами объединенных энергосистем малой мощности (п. 9).

5.2. Диссертация написана соискателем самостоятельно, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, что свидетельствует о личном вкладе ее автора в науку. У соискателя имеется акт о внедрении результатов диссертационной работы в учебный процесс кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет» в рамках курса лекций для магистрантов «Инновационные технологии в электроэнергетике». Предложенные соискателем научно-практические решения аргументированы и сопоставлены с результатами экспериментальных и аналитических исследований других авторов (п. 10).

5.3. Основные результаты диссертационной работы Какоши Ю.В. содержатся в 10 печатных научных работах, в том числе: 3 статьи в рецензируемых научных журналах (из перечня ВАК РФ); 6 публикаций в сборниках материалов и трудов научных конференций (3 из которых проиндексированы в наукометрической базе Scopus); 1 патент на изобретение Российской Федерации № 2752248 «Способ управления режимом параллельной работы синхронных генераторов в электрических сетях». Основные научные результаты диссертационной работы и положения, выносимые на защиту, были представлены в докладах на четырех научно-технических и научно-практических конференциях (п.п. 11-13).

5.4. В диссертационной работе Какоши Ю.В. сделаны необходимые ссылки на авторов и источники заимствования материалов и отдельных результатов научной деятельности (п. 14).

5.5. Тема и содержание диссертационной работы Какоши Ю.В. соответствует паспорту научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика по следующим пунктам:

– п. 14 – «Разработка методов расчета и моделирования установившихся режимов, переходных процессов и устойчивости электроэнергетических систем и сетей, включая технико-экономическое обоснование технических решений, разработка методов управления режимами их работы»;

– п. 18 – «Разработка методов анализа структурной, балансовой и функциональной надежности электроэнергетических систем и систем электроснабжения, мини- и микрогрид».

6. АНАЛИЗ СОДЕРЖАНИЯ ДИССЕРТАЦИИ

Диссертационная работа Какоши Ю.В. состоит из введения, пяти глав, заключения, списка сокращений, списка терминов и определений, списка

литературы, включающего 105 наименований, и пяти приложений. Общий объем диссертационной работы составляет 168 страниц и включает 58 рисунков, а также 23 таблицы.

Во введении представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертационного исследования, сформулированы его цели и задачи, приведены научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертационной работы, информация об апробации полученных результатов, сформулированы основные положения, выносимые на защиту.

В первой главе **«Проблема интеграции объектов малой мощности в энергосистемы»** представлены результаты анализа основных трендов развития электроэнергетики в России и мире, отмечены климатические и ресурсные особенности России, обуславливающие развитие распределенной энергетики на базе когенерационных генерирующих установок (ГУ) малой мощности. Рассмотрены особенности ЛИЭС, а также требования к режимной и противоаварийной автоматике. Перечислены основные системные эффекты, в том числе при интеграции ЛИЭС в системы централизованного электроснабжения, а также при объединении нескольких ЛИЭС в ОЭСММ.

Во второй главе **«Системные эффекты и барьеры при интеграции объектов с малой генерацией в электроэнергетические системы»** рассмотрены режимы функционирования ЛИЭС при их интеграции между собой и с системой централизованного электроснабжения. Приведены результаты анализа преимуществ и недостатков различных вариантов интеграции ЛИЭС, выполненного с применением индикативного экспертного метода. Отмечено, что наиболее эффективным является вариант интеграции ЛИЭС в систему централизованного электроснабжения с возможностью параллельной работы. Следующим по привлекательности техническим решением является вариант объединения нескольких ЛИЭС в ОЭСММ.

В третьей главе **«Управление режимами объединенных энергосистем малой мощности»** обосновывается применение специализированных способов и предлагаются новые технические решения задач управления режимами ОЭСММ на базе нескольких ЛИЭС. Разработаны способы децентрализованного регулирования частоты и мощности в ОЭСММ в изолированном режиме работы, адаптивного первичного регулирования частоты объектов РЭ в составе ЛИЭС и ОЭСММ при параллельной работе с системой централизованного электроснабжения и в изолированном режиме, а также восстановления целостности и нормального режима ОЭСММ после ее аварийного или противоаварийного разделения. В основу перечисленных способов легла идеология децентрализованного мультиагентного управления, позволяющая обеспечить независимость ЛИЭС в составе ОЭСММ и получить системные эффекты от их объединения.

В четвертой главе **«Моделирование свойств объединенных энергосистем малой мощности»** представлены результаты исследования режимных свойств ОЭСММ, определяющих их надежность и экономическую эффективность, выявлены особенности работы ОЭСММ и получаемые системные эффекты в зависимости от их структуры. Рассмотрены вопросы сохранения работоспособности при значительных небалансах активной мощности, обеспечения пусков крупных асинхронных двигателей в островном режиме работы, вопросы обеспечения динамической стабильности частоты при нерегулярных колебаниях мощности, способности работать в широком диапазоне изменения и распределения суммарной нагрузки, а также вопросы сохранения динамической устойчивости параллельной работы объектов РЭ в ОЭСММ в различных схемно-режимных ситуациях.

В пятой главе **«Примеры объектов с возможностями создания эффективных объединенных энергосистем малой мощности, особенностями их проектирования»** представлен анализ реальных объектов электроэнергетики для оценки целесообразности и технической возможности создания ОЭСММ, а также выявление особенностей их проектирования. Показано, что разработанные в рамках диссертационного исследования способы позволяют создавать ОЭСММ на базе ЛИЭС, с перспективой их применения для создания более крупных энергосистем, обладающих требуемой живучестью, независимостью и надежностью функционирования.

В **заключении** обобщены результаты, полученные в рамках диссертационной работы, которые показывают, что поставленные задачи были выполнены в полном объеме, а также то, что их решение позволяет обеспечить управляемость нормальными и аварийными режимами ОЭСММ. Отмечено, что полученные результаты можно использовать для исследования электрических режимов, определения набора технических решений при проектировании ОЭСММ и их интеграции в системы централизованного электроснабжения.

7. ВОПРОСЫ И ЗАМЕЧАНИЯ ПО СОДЕРЖАНИЮ ДИССЕРТАЦИИ

При ознакомлении с диссертационной работой и авторефератом диссертации Какоши Ю.В. возникли следующие вопросы и замечания:

1. В Главе 1 (стр. 13, 14) отмечается, что в России топливной базой для объектов РЭ является природный газ, а далее для подтверждения интенсивного развития распределенной энергетики приводится информация о значительном росте в мире общего количества и суммарной мощности объектов РЭ в перспективе до 2030 г. Данное сравнение не совсем корректно, так как в мире основные вводы генерирующих мощностей обусловлены массовым строительством ветровых и солнечных электростанций, поскольку все электростанции на основе ВИЭ там относятся к распределенной энергетике, в отличие от России.

2. Неким аналогом ОЭСММ в зарубежных научных статьях является Multimicrogrid, при этом в Главе 1 нет ни одной ссылки на работы зарубежных ученых, рассматривающих различные аспекты их функционирования как в изолированном режиме, так и в режиме параллельной работы с энергосистемой.

3. Требуется пояснить, по каким причинам при выделении ЛИЭС в островной режим зону нечувствительности и статизм регулирования частоты в АРЧВ автоматически уменьшается. Реально в ЕЭС России требования к качеству регулирования частоты и так завышены, зачем их еще ужесточать при работе ЛИЭС в островном режиме?

4. Из Главы 3 (рис. 3.6, стр. 65) не совсем ясно как фактически генерирующие установки ЛИЭС участвуют в ОПРЧ, хотя, как соискатель справедливо отмечает во введении, существует запрет на выдачу мощности из ЛИЭС в систему централизованного электроснабжения. В этом случае, если устройства АРЧВ генерирующих установок будут увеличивать выдачу мощности, в соответствии с заданной статической характеристикой по частоте, то САУ ЛИЭС будет давать обратный сигнал на уменьшение подачи топлива, чтобы снизить выдачу мощности в систему централизованного электроснабжения до нуля, в соответствии с техническими условиями на технологическое присоединение. Полноценное участие генерирующих установок ЛИЭС в ОПРЧ возможно только при условии снятия запрета на выдачу мощности в систему централизованного электроснабжения.

5. В Главе 3 (рис. 3.7, стр. 69) показаны уставки по напряжению и частоте. Если отклонения по напряжению $\pm 10\%$ допустимы в послеаварийных режимах, то отклонения частоты $\pm 10\%$ (45 – 55 Гц) недопустимы для большинства генерирующих установок. При таких отклонениях частоты рассматриваемые в диссертационной работе генерирующие установки будут отключаться либо электрическими, либо технологическими защитами. Для целого ряда электроприемников потребителей такие отклонения частоты также недопустимы. При этом на стр. 71 отмечает, что можно ориентироваться на отклонения напряжения и частоты $\pm 3-4\%$, что более корректно.

6. Из Главы 3 (рис. 3.7) остается неясным, для какой цели приводить напряжение и частоту к одинаковым значениям в о.е., осуществляя их гармонизацию. Зачем снижать напряжение с $U_{ном}$ до $0,95U_{ном}$? Для чего выравнивается напряжение между отделившимися частями ОЭСММ понятно, но если в смежной ЛИЭС, с которой планируется синхронизация напряжение близко к $U_{ном}$, то зачем его понижать?

7. В Главе 4 (рис. 4.8, 4.9, стр. 82) приведена информация только для больших набросов активной мощности. Почему аналогичные исследования не были выполнены для сбросов активной мощности, а также набросов и сбросов реактивной мощности. Известны случаи, когда в энергорайонах с промышленной нагрузкой это позволяет выявить важные особенности

переходных процессов, которые требуется в обязательном порядке учесть при реализации алгоритмов в САУ ЛИЭС и САУ ОЭСММ.

8. Результаты расчетом переходных процессов, приведенные на рис. 4.10, 4.11 и 4.12, не соответствуют обобщающему их рис. 4.14. На оси ординат должны были быть представлены величины провалов напряжения, т.е. 0,27 о.е. (до $0,73 U_{\text{ном}}$), 0,07 о.е. (до $0,93 U_{\text{ном}}$), 0,05 о.е. (до $0,95 U_{\text{ном}}$) о.е., а на рисунке приведены некорректные значения 2, 0,7 и 0,5.

9. Неясно, почему при расчетах динамической устойчивости было выбрано не трехфазное металлическое КЗ, которое является наиболее тяжелым для генерирующих установок и двигательной нагрузки в сети ЛИЭС, а двухфазное КЗ (напряжение в ЛИЭС-3 проваливается до $0,5 U_{\text{ном}}$). Следовало бы расчеты динамической устойчивости выполнить в полном объеме, либо в соответствии с «Методическими указаниями по устойчивости энергосистем», либо четко обосновать другие требования, определив полный перечень типовых возмущений, и выполнить расчеты в соответствии с ними.

10. Редакционные замечания:

– в диссертационной работе приводятся различные режимы работы ЛИЭС (ОЭСММ): параллельный, изолированный, автономный, островной, при этом часто соискатель путает режим изолированный с островным, а также автономный с островным, что усложняет восприятие материала;

– в диссертационной работе понятие «системообразующие сети» используются и для магистральных электрических сетей, относящихся к сетям ЕНЭС (стр. 24), а также к сетям напряжением 6-10 кВ, посредством которых ЛИЭС объединяется в ОЭСММ, что некорректно;

– в диссертационной работе часто в тексте (подрисуночных подписях) используется термин «ЛИЭС», а на рисунках «ЛЭС», например, рис. 1.2, 2.2, 3.3 и др., что усложняет восприятие материала;

– на стр. 33 используется термин «полуостровной режим», при этом его значение и особенности далее нигде не поясняются;

– обозначения на рис. 3.2 (стр. 55) не соответствуют подрисуночной подписи, так f_1 , f_2 (линии 11, 12), как указано в подрисуночной подписи, а на рисунке соответствующие пунктирные линии обозначены цифрами 29, 30;

– на рис. 4.10 (стр. 84) приведена осциллограмма пуска крупного АД, однако для анализа переходных процессов важно рассматривать пуск АД вместе с приводным механизмом, но нигде в тексте не указан ни тип механизма (поршневой компрессор; центробежный насос), ни его параметры;

– неясно, почему для решения большинства задач в диссертационном исследовании использовалась схема на рис. 2.2, а для задачи обеспечения динамической устойчивости другая схема на рис. 4.23, хотя логичнее было бы использовать одну схему для всех расчетов электрических режимов;

– на рис. 5.4, 5.5, 5.6 (стр. 117-120) схема подключения секционных выключателей 35 кВ представлена некорректно, так как в ней присутствуют лишние электрические связи, которых быть не должно.

Приведенные замечания и вопросы не снижают высокой положительной оценки диссертационной работы, поскольку существенно не влияют на основные выводы, а также полученные научные и практические результаты.

8. ОБЩЕЕ ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Диссертационная работа Какоши Ю.В. является самостоятельной законченной научно-квалификационной работой, обладающей актуальностью, научной новизны, теоретической и практической значимостью полученных результатов. В диссертационной работе решена важная научная и практическая задача, заключающаяся в разработке новых способов управления режимами объединенных энергосистем малой мощности.

Полученные соискателем результаты базируются на корректном использовании методов математического моделирования переходных электроэнергетических процессов, реализованных на единой платформе расчетов и анализа электроэнергетических систем DIGSILENT PowerFactory, а также основных положений теории устойчивости и управления режимами электроэнергетических систем, автоматического и автоматизированного управления, что позволяет сделать вывод о соответствии диссертационной работы паспорту научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

Содержание диссертационной работы подробно отражает последовательность решения поставленных задач. Текст диссертационной работы изложен грамотным языком, корректным в научном и техническом отношении. Материалы диссертационного исследования представлены в объеме, достаточном для понимания, доступно и репрезентативно. Сделанные в работе выводы и сформулированные рекомендации аргументированы.

Автореферат диссертации Какоши Ю.В. соответствует диссертационной работе по основным квалификационным признакам: цель, задачи исследования, основные положения, выносимые на защиту, актуальность, научная новизна, теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

Основные научные и практические результаты диссертационной работы Какоши Ю.В. изложены с достаточной полнотой в 10 печатных научных работах, в том числе: 3 статьи в рецензируемых научных журналах (из перечня ВАК РФ); 6 публикаций в сборниках материалов и трудов научных конференций (3 из которых проиндексированы в наукометрической базе Scopus); 1 патент на изобретение Российской Федерации.

В целом диссертационная работа Какоши Ю.В. на тему «Свойства и режимы объединенных энергосистем малой мощности, создаваемых на основе локальных систем энергоснабжения», представленная на соискание ученой

степени кандидата технических наук является актуальной, обладает научной новизной и практической значимостью полученных результатов, соответствует паспорту научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика. Диссертационная работа является законченной научно-квалификационной работой, направленной на создание теоретических основ проектирования и управления режимами объединенных энергосистем малой мощности, что имеет важное значение для развития электроэнергетики страны. По своему теоретическому уровню и практическому значению она соответствует требованиям, предъявляемым к диссертациям на соискание ученой степени кандидата технических наук, а именно критериям пунктов 9-14 «Положения о присуждении ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24 сентября 2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор Какоша Юрий Васильевич заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по научной специальности 2.4.3 – Электроэнергетика.

ОФИЦИАЛЬНЫЙ ОППОНЕНТ,

доктор технических наук, главный научный сотрудник,
руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем
и распределенной энергетики ИНЭИ РАН



Павел Владимирович Илюшин

20 сентября 2024 г.

Тел. (моб): +7(915) 092-98-33

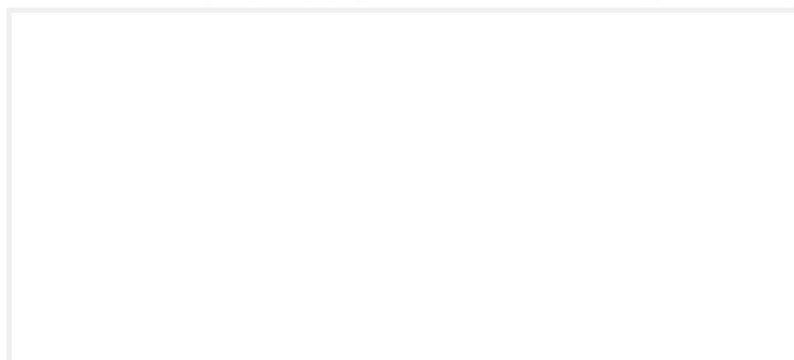
E-mail: ilyushin.pv@mail.ru

Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт энергетических исследований Российской академии наук» (ИНЭИ РАН)

Адрес: 117186, Россия, г. Москва, ул. Нагорная, д. 31, корп. 2.

Телефоны: +7 (499) 127-46-64, +7 (499) 123-98-78, Факс: +7 (499) 123-44-85.

E-mail: info@eriras.ru, Web-сайт: <https://www.eriras.ru/>



*Отзыв коллегой 24.09.2024 г. от /Свиридов А.А./
С отзывом ознакомились 24.09.24 Иван Какоша*