



**Некоммерческое партнерство
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ
Единой энергетической системы»**

109044 г.Москва, Воронцовский пер., дом 2
Тел. (495) 912-1078, 912-5799, факс (495) 632-7285
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757

УТВЕРЖДАЮ

Председатель Научно-технической
коллегии, д.т.н., профессор

М.Д. Рогалев

Н.Д. Рогалев

14 июня 2018 г.

ПРОТОКОЛ №4

совместного заседания секций «Распределенные источники энергии» и

«Электротехническое оборудование» НТК НП «НТС ЕЭС»

для рассмотрения доклада по теме:

**«Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных
систем электроснабжения»**

31 мая 2018 года

г. Москва

Присутствовали: члены секций «Распределенные источники энергии» и «Электротехническое оборудование» НТК НП «НТС ЕЭС», сотрудники НИУ «МЭИ», ООО «Интер РАО – Инжиниринг», АО «Техническая инспекция ЕЭС», ООО «ВИЭСХ – ВИЭ», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ФГУП «ВНИИМаш», всего 17 чел.

Со вступительными словами выступили председатель секции «Распределенные источники энергии», проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н. Илюшин П.В. и председатель секции «Электротехническое оборудование», научный руководитель АО «НТЦ ФСК ЕЭС», д.т.н., профессор Шакарян Ю.Г.

Во вступительных словах было отмечено, что одной из особенностей российской энергетики является наличие достаточно большого количества изолированных энергорайонов, образованных для электроснабжения потребителей удаленных населенных пунктов, а также промышленных потребителей, как правило, нефтегазового, горно-добывающего и металлургического комплексов.

На режимы работы генерирующих установок объектов генерации в указанных энергорайонах существенное влияние оказывают параметры и характеристики нагрузки, учитывая их взаимную электрическую близость. Отсутствие связей изолированных энергорайонов с ЕЭС России диктует необходимость использования иных подходов к проектированию систем

электроснабжения потребителей промышленного и непромышленного секторов, которые в значительной мере отличаются от традиционно принятых в практике проектирования.

Развитие изолированных энергорайонов влечет за собой необходимость принятия обоснованных технических решений по целому ряду проблемных технических вопросов, связанных с интеграцией и эксплуатацией в данных энергорайонах современных генерирующих установок (преимущественно зарубежных заводов-изготовителей), активных устройств управления режимами устройств FACTS, релейной защиты и автоматики, а также оборудования систем гарантированного и бесперебойного электроснабжения потребителей.

В связи с этим вопросы, связанные с перспективным развитием изолированных энергорайонов и обеспечения надежного и бесперебойного электро- и теплоснабжения потребителей, функционирующих в данных энергорайонах, представляют особую актуальность.

Важно отметить, что большая часть изолированных энергорайонов в отечественной энергетике находятся на территориях Крайнего Севера и Дальнего Востока с суровыми климатическими условиями, поэтому нарушения в электро- и теплоснабжении потребителей могут повлечь за собой не только значительные экономические ущербы, но и тяжелые социальные последствия. Следовательно, при разработке методических основ для обоснования развития изолированных систем электроснабжения данные аспекты должны быть детально проанализированы и учтены.

С докладом «Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных систем электроснабжения» выступил профессор кафедры электроснабжения и электротехники ФГБОУ ВО «Иркутский национальный исследовательский технический университет», главный редактор Научного журнала «Вестник Иркутского государственного технического университета», к.т.н. Суслов К.В.

Целью работы является разработка методологии комплексного обоснования развития активных изолированных систем электроснабжения.

Для достижения цели в работе решаются следующие задачи:

- Аналитический обзор тенденций и методов обоснования развития изолированных систем электроснабжения.
- Разработка методических основ обоснования развития активных изолированных систем электроснабжения на базе иерархического подхода и совершенствования иерархической системы моделей.
- Разработка методов решения задач комплексного развития активных изолированных систем электроснабжения, включающих:
 - определение оптимальных параметров накопителей электрической

энергии в изолированных системах электроснабжения, использующих генерацию на базе возобновляемых источников энергии;

- оценку и обеспечение надежности активных изолированных систем электроснабжения;
- мониторинг и обеспечение необходимого качества электрической энергии в активных изолированных системах электроснабжения;
- регулирование графиков нагрузок потребителей в активных изолированных системах электроснабжения.

Практическая значимость работы

Разработанная методология позволяет решать практические задачи по обоснованию развития сложных активных изолированных систем электроснабжения с обеспечением надежности электроснабжения потребителей, качества электрической энергии и эффективности функционирования систем электроснабжения и потребителей путем реализации необходимых принципов и средств управления.

Основные положения доклада приведены ниже. Презентация доклада прикладывается (**Приложение 1**).

1. Представлен анализ методических основ комплексного обоснования создания и развития активных изолированных систем электроснабжения (далее – ИСЭС).
2. Представлены тенденции развития ИСЭС на перспективу с учетом возможности управления электропотреблением и существенного повышения требований потребителей к надежности и качеству электроснабжения.
3. Отмечено, что для ИСЭС, удаленных от систем централизованного электроснабжения, задача усложняется использованием распределенных источников энергии (РИЭ), на базе ВИЭ, имеющих нестационарный режим выдачи мощности.
4. Отмечена, целесообразность применения накопителей электрической энергии для нивелирования нестационарности выработки электроэнергии РИЭ на базе ВИЭ, сформулирована постановка задачи для работы, заключающейся в комплексном обосновании развития генерирующих источников на традиционных и возобновляемых энергоресурсах, совместно с накопителями электроэнергии, развития электрической сети, обоснования средства обеспечения активности ИСЭС для повышения надежности и качества электроснабжения, а также эффективности взаимодействия ИСЭС с активными потребителями в изолированных энергорайонах.
5. Обоснована и представлена целесообразность применения иерархического подхода к решению рассматриваемой комплексной проблемы, сформулирована методология иерархического подхода к обоснованию развития активных изолированных систем электроснабжения.

6. Представлена в общем виде математическая формализация задачи обоснования развития генерации и электрической сети активной ИСЭС.

7. Рассмотрено применение идеологии декомпозиции Бендерса для реализации иерархического подхода. В качестве мастер-задачи предложено использовать совокупность взаимосвязанных задач оптимизации размещения генерирующих источников, включая накопители электроэнергии, и структуры электрической сети.

8. Рассмотрена совокупность подзадач, формализующих оптимальный выбор принципов и средств управления сложной активной изолированной системой электроснабжения для обеспечения требований надежности электроснабжения потребителей, качества электрической энергии и эффективности функционирования системы электроснабжения, с учетом управления электропотреблением.

9. Рассмотрена реализация задачи определения параметров накопителей электроэнергии методом целенаправленной имитации. Представлены результаты многокритериального выбора мощности и энергоемкости накопителя электроэнергии с использованием экономических критериев.

10. Представлены результаты выбора вариантов рациональной структуры активной распределительной электрической сети ИСЭС, что составляет суть второй мастер-задачи, в соответствии с идеологией декомпозиции Бендерса.

11. Представлен алгоритм формирования предъявляемых для сопоставления вариантов исходных схем электрической сети, реализуемый комбинаторным методом. Проведен выбор сопоставляемых вариантов схемы из множества сформированных комбинаторным методом, осуществляемый по критерию минимума затрат на сооружение электрической сети. Решена задача реконструкции сформированных вариантов схем электрической сети с целью придания ей свойств активности, путем введения дополнительных нормально разомкнутых линий с дистанционно управляемыми коммутационными аппаратами.

12. Представлена методология выбора наиболее предпочтительного варианта реконструируемой схемы электрической сети из множества сопоставляемых.

13. Представлены модели и методы исследования и обеспечения надежности ИСЭС. Сформулированы основные положения подхода и разработан топологический метод расчета надежности распределительной электрической сети.

14. Представлены результаты исследования надежности сформированных вариантов схем распределительной электрической сети, без учета и с учетом электрических режимов.

15. Представлена технико-экономическая оценка вариантов распределительной электрической сети интервальным методом, на основе

которой определен наиболее предпочтительный вариант сети.

16. Представлен способ повышения режимной надежности активных ИСЭС с использованием установок распределенной генерации.

17. Представлены результаты исследования и обеспечения качества электроэнергии в активных изолированных системах электроснабжения, обоснована целесообразность рассмотрения наиболее актуальных проблем качества электроэнергии для ИСЭС, связанных с наличием гармонических составляющих токов и напряжений в электрической сети и недопустимых отклонений частоты и напряжений в узлах нагрузки.

18. Представлено обоснование основных положений подхода раздельного измерения гармонических составляющих тока и напряжения. Предложена распределенная система мониторинга уровней гармонических составляющих и управления качеством электроэнергии в активной ИСЭС, а также рассмотрены вопросы технической реализации распределенной системы мониторинга.

19. Представлены модели и методы управления электропотреблением в активных изолированных системах электроснабжения.

20. Представлены численные результаты решения на основе идеологии декомпозиции Бендерса в составе мастер-задачи выбора состава генерирующих агрегатов и накопителей электроэнергии и вариантов активной распределительной электрической сети, а также подзадач нижнего уровня, связанных с анализом и выбором средств обеспечения надежности электроснабжения, включая активных потребителей.

Заключение по выполненной работе

Разработаны методические основы обоснования развития активных изолированных систем электроснабжения на основе иерархического подхода, что позволяет создавать новые и реконструировать существующие системы. Усовершенствованы модели, дающие возможность решать задачу развития изолированных систем электроснабжения.

Разработана методология решения задач развития активных изолированных систем электроснабжения с учетом требований надежности электроснабжения, качества электроэнергии и при использовании управления электропотреблением, базирующаяся на идеологии метода декомпозиции Бендерса.

Разработана методика определения оптимальных параметров накопителей электрической энергии в изолированных системах с высокой долей генерации на базе возобновляемых источников энергии при использовании метода целенаправленной имитации. Данная методика позволяет выбрать оптимальные параметры (мощность, энергоемкость) накопителей на основе технических и экономических критериев. Затем выбирается тип (технология) накопителя энергии.

Показана необходимость использования принципа активности

изолированной распределительной электрической сети и возможность его реализации при помощи дистанционно управляемых коммутационных аппаратов. Разработана методика обеспечения надежности активных изолированных систем электроснабжения, в том числе посредством реконфигурации системы и ввода дополнительных генераторов.

Для обеспечения необходимого качества электрической энергии в изолированных системах электроснабжения разработана методика распределенного мониторинга и управления гармоническими колебаниями тока и напряжения. Методика позволяет определять источник гармонических колебаний и снижать уровень гармоник в сети. Предложены технические решения для реализации данной методики.

В исследуемых изолированных системах электроснабжения в качестве генерации на базе ВИЭ рассматриваются ветрогенераторы и фотоэлектрические преобразователи, которые обладают значительной стохастичностью генерации. Показано, что для стабилизации частоты и уровней напряжений в изолированной системе электроснабжения необходимо добиться уменьшения нестационарности выдаваемой мощности ветроагрегата. Для реализации данной цели предложено применить высокоскоростную систему управления с моделью. Результаты исследований принципов построения нелинейной динамической модели ветроэнергетических установок показывают, что возможно оперативное реагирование на изменения режима в изолированных системах электроснабжения с целью обеспечивать поддержание необходимых уровней частоты и напряжения.

Разработана методика регулирования графиков нагрузок потребителей. Применение методики позволяет снизить суммарную мощность генераторов, необходимую для электроснабжения потребителей рассматриваемой системы электроснабжения.

На едином примере показана эффективность реализации предлагаемой методологии. Разработанная методология позволяет выполнить комплексную оптимизацию развития активных изолированных систем электроснабжения с учетом требований надежности, качества электроэнергии и возможностей управления электропотреблением.

В обсуждении доклада и прениях выступили: Шакарян Ю.Г. (председатель секции «Электротехническое оборудование»), Илюшин П.В. (председатель секции «Распределенные источники энергии»), Рабинович М.А., Новиков Н.Л. (АО «НТЦ ФСК ЕЭС»), Виницкий Ю.Д., Федотов М.В. (ООО «Интер РАО – Инжиниринг»), Щепетков С.К. (АО «Техническая инспекция ЕЭС»), Шеповалова О.В. (ООО «ВИЭСХ – ВИЭ»).

С экспертными заключениями по тематике доклада выступили:

Шакарян Ю.Г. – Председатель секции «Электротехническое оборудование», научный руководитель АО «НТЦ ФСК ЕЭС», д.т.н., профессор.

Отметил, что при рассмотрении вопросов качества электроэнергии в расчетах целесообразно учитывать несимметрию нагрузки.

Обратил внимание, что декомпозиция была использована только для решения мастер-задач, при этом для уменьшения размерности больших изолированных энергорайонов также целесообразно применять принцип декомпозиции.

Отметил, что постоянная скорость вращения ветроэнергетических установок, рассматриваемых в расчетах, при изменении скорости воздушного потока обеспечивается за счет регулирования поворота лопастей ВЭУ. Обратил внимание, что для изолированных энергорайонов целесообразно рассматривать варианты электроснабжения на постоянном токе, которые приводятся в отечественной и зарубежной технической литературе.

Новиков Н.Л. – Заместитель научного руководителя АО «НТЦ ФСК ЕЭС», д.т.н., профессор.

Обратил внимание, что необходимо дать более точное определение понятия «активная изолированная система электроснабжения» с целью выделения особенностей данных систем и их отличия от «электрических сетей с активно-адаптивными связями».

Отметил необходимость учета при оптимизации параметров накопителей электроэнергии свойств случайных процессов. Также при решении вопросов интеграции и оптимизации параметров накопителей электроэнергии необходимо учитывать периодический характер (цикличность) их функционирования.

Отметил, что в представленном докладе не представлено объективное технико-экономического обоснование предложенных подходов к развитию систем электроснабжения изолированных энергорайонов.

Виницкий Ю.Д. – Начальник отдела инженерной поддержки ООО «Интер РАО – Инжиниринг», д.т.н., ст.н.с.

Обратил внимание, что математическую модель изолированного энергорайона, представленную в докладе, целесообразно применять, если в нее включить свойства, которыми обладают элементы управляемых систем электропередачи переменного тока (далее – FACTS), например, статические компенсаторы реактивной мощности (далее – СТАТКОМ).

Обратил внимание, что при математическом моделировании необходимо учитывать все возмущающие воздействия и факторы, возникающие в

изолированном энергорайоне: изменения активной и реактивной нагрузки, стохастическая выработка электроэнергии объектами ВИЭ, технологические ограничения генерирующих установок объектов РГ, обеспечение объектов РГ топливом (наличие шахтного или попутного нефтяного газа) и т.п.

Отметил, что проблема проектирования и оптимизации параметров генерирующих источников в изолированных энергорайонах является многокритериальной, в связи с чем необходимо более точно выделить и сформулировать цели и задачи разработки методики, а также предполагаемый результат.

Шихин В.А. – Заведующий научной лабораторией «Оптимизация и автоматизация энергетических и технологических систем» НИУ «МЭИ», к.т.н.

Обратил внимание, что модель линейного программирования нецелесообразно применять к накопителям электроэнергии, так как они в процессах заряда и разряда имеют нелинейные характеристики. При этом характеристики нагрузки также имеет нелинейный характер.

Отметил, что для объектов ВИЭ использовать экономическую эффективность в качестве целевой функции нецелесообразно, так как удельная стоимость данных объектов заведомо выше, чем объектов распределенной генерации на невозобновляемых источников энергии.

Обратил внимание, что при проведении сравнительных расчетов необходимо учитывать все особенности режимов работы объектов генерации на базе ВИЭ.

Отметил, что сглаживание пиков нагрузки в изолированных энергорайонах является далеко не единственной задачей их перспективного развития, поэтому в работе следует использовать принципы многокритериального анализа.

Обратил внимание, что при рассмотрении технических вопросов в области обеспечения параметров качества электроэнергии необходимо учитывать соотношение мощности генерирующих установок в точке общего присоединения к мощности короткого замыкания в энергорайоне для оценки величины влияния каждого из генерирующих источников.

Шеповалова О.В. – Генеральный директор ООО «ВИЭСХ – ВИЭ», к.т.н.

Отметила, что вопросы методологии экономических расчетов объектов ВИЭ в должной мере в докладе не представлены, при этом при проведении экономических расчетов по оценке эффективности объектов ВИЭ для изолированных энергорайонов необходимо, помимо капитальных затрат на сооружение объектов, также учитывать и оценивать экологические последствия и сопутствующие положительные эффекты.

Обратила внимание, что при решении задач по проектированию и размещению объектов ВИЭ необходимо в первую очередь определять наличие

условий для их функционирования (величины скоростных напоров ветра; величины инсоляции и т.п.), и только после этого осуществлять выбор оптимальной структуры генерирующих источников.

Отметила, что одной из задач методологии развития изолированных энергорайонов должно являться эффективное соотнесение максимумов нагрузки и генерации, с учетом особенностей выработки электроэнергии рассматриваемыми объектами генерации на базе ВИЭ. При этом необходимо обеспечить рассмотрение данной задачи для всего множества изолированных энергорайонов с различной структурой потребителей (промышленных и непромышленных) и генерирующих источников.

Илюшин П.В. – Председатель секции «Распределенные источники энергии», проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н.

Обратил внимание, что при решении задачи принудительной деформации графика нагрузки необходимо, в зависимости от фактических графиков нагрузки потребителей, с учетом возможности управления спросом на стороне потребителя, получить на основании расчетов оптимальное соотношение установленных мощностей между различными видами применяемых генерирующих установок: фотоэлектрические модули, ветроэнергетические установки, дизель-генераторы, а также накопители электроэнергии. Поэтому методология обоснования развития изолированных систем электроснабжения должна содержать рекомендации по выбору соотношений установленных мощностей различных видов и типов применяемых генерирующих установок.

Отметил, что выбор параметров генерирующих установок в изолированных энергорайонах необходимо производить не только для нормального режима, когда генерирующие установки на базе ВИЭ выдают мощность, но для режимов, когда выработка на ВЭС и СЭС в дневное время стремится к нулю, в результате плотного тумана и безветрия (данный режим в 2017 году в течение 7 дней наблюдался на территории Германии). Указанный режим будет наиболее критичным и требует детального рассмотрения, учитывая особую ответственность и социальную значимость электроприемников потребителей в изолированных энергорайонах.

Заслушав выступления и мнения экспертов по результатам дискуссии совместное заседание секций «Распределенные источники энергии» и «Электротехническое оборудование» отмечает:

1. Планирование развитие изолированных энергорайонов с учетом применения современных генерирующих установок, в том числе на базе ВИЭ, и систем накопления электрической энергии, является актуальной научно-технической задачей, имеющей особое значение для России.

2. Эксплуатация объектов распределенной генерации (РГ), в том числе на

базе ВИЭ, в изолированных энергорайонах имеет целый ряд особенностей и сталкивается с большим количеством проблемных вопросов, которые должны решаться на стадии проектирования активных изолированных систем электроснабжения.

3. Проектирование объектов РГ, в том числе на базе ВИЭ, в изолированных энергорайонах необходимо вести с учетом особенностей выдачи мощности станциями разных типов (технологические ограничения; ограничения по параметрам электрического режима; стохастический характер выработки электроэнергии на ВЭС и СЭС и т.п.).

4. При решении задачи принудительной деформации графика нагрузки необходимо на основании расчетов, в зависимости от фактических графиков нагрузки потребителей, с учетом возможности управления спросом на стороне потребителя, получить обоснованные рекомендации по оптимальному соотношению установленных мощностей между различными видами применяемых распределенных источников энергии, включая системы накопления электрической энергии.

5. С учетом международного опыта, для изолированных энергорайонов целесообразно рассматривать для сравнения варианты электроснабжения электроприемников потребителей постоянным током.

Совместное заседание секций «Распределенные источники энергии» и «Электротехническое оборудование» решило:

1. Положительно оценить результаты рассмотренной работы по теме «Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных систем электроснабжения».

2. Рекомендовать автору продолжить исследования в области разработки методики развития изолированных систем электроснабжения, более точно сформулировать постановку задачи, а также использовать в работе терминологию, принятую в отечественной электроэнергетике.

3. Рекомендовать промышленным предприятиям, функционирующим в изолированных энергорайонах, ознакомиться с предлагаемыми подходами к построению активных изолированных систем электроснабжения для их последующего использования при проведении реконструкции существующих систем электроснабжения.

4. Рекомендовать проектным организациям ознакомиться с предлагаемыми подходами к построению активных изолированных систем электроснабжения для их последующего использования при проектировании систем электроснабжения, с целью выбора оптимальных параметров генерирующих установок и накопителей электроэнергии.

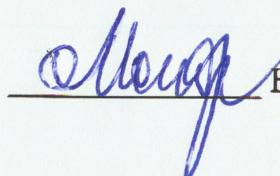
5. Рекомендовать высшим учебным заведениям дополнительного профессионального образования, которые проводят курсы повышения

квалификации по вопросам построения активных изолированных систем электроснабжения, использовать представленные материалы в учебном процессе.

С заключительными словами выступили председатель секции «Электротехническое оборудование», д.т.н., профессор Шакарян Ю.Г. и председатель секции «Распределенные источники энергии», к.т.н. Илюшин П.В.

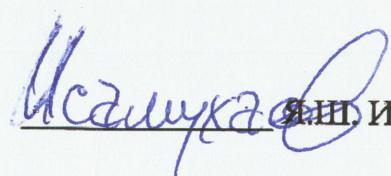
В заключительных словах отмечено, что представленные на рассмотрение основные положения работы направлены на совершенствование методических основ перспективного развития изолированных энергорайонов для обеспечения надежного и бесперебойного электро- и теплоснабжения потребителей. Актуальность, а также научная и практическая значимость представленной на рассмотрение работы «Модели и методы комплексного обоснования развития изолированных систем электроснабжения» очевидны.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии,
д.т.н., профессор

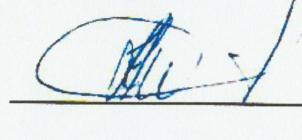
 В.В. Молодюк

Председатель секции
«Распределенные источники энергии»
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

Ученый секретарь
Научно-технической коллегии, к.т.н.

 И.И. Исамухамедов

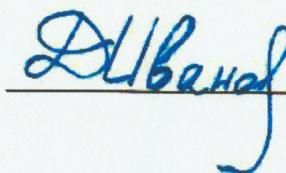
Председатель секции
«Электротехническое оборудование»
НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

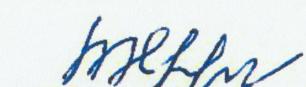
 П.В. Илюшин

Ученый секретарь секции
«Распределенные источники энергии»
НП «НТС ЕЭС»

 Ю.Г. Шакарян

Ученый секретарь секции
«Электротехническое оборудование»
НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

 Д.А. Ивановский

 А.Ю. Хренников