



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

111 250, Москва, проезд Завода Серп и Молот,
дом 10, офис 608, Тел. (495) +7 495 012 60 07
E-mail: dtv@nts-ees.ru, <http://www.nts-ees.ru/>
ИНН 7717150757



Основана в 1724 году

Российская Академия Наук
Секция по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по
системным исследованиям в энергетике

УТВЕРЖДАЮ

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

Н.Д. Рогалев

«30» мая

2023 г.

ПРОТОКОЛ № 5

совместного заседания Секций «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» и «Возобновляемая
энергетика и гибридные энергетические комплексы» НП «НТС ЕЭС»,
Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным
исследованиям в энергетике

11 мая 2023 года

г. Москва

Присутствовали: члены секций «Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», «Возобновляемая
энергетика и гибридные энергетические комплексы» НП «НТС ЕЭС», ФГБОУ
ВО «НИУ МЭИ», ООО «РТСофт-СГ», сотрудники НП «НТС ЕЭС», АО «НТЦ
ФСК ЕЭС», НИК С6 РНК СИГРЭ, ФГБУН «ИНЭИ РАН», ФГБУН «ИСЭМ СО
РАН», ФГАОУ ВО «Северо-Кавказский федеральный университет», ФГАОУ ВО
«Национальный исследовательский Томский политехнический университет»,
ФГБОУ ВО «Новосибирский государственный технический университет
(НЭТИ)», ФГБОУ ВО «Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», ФГБОУ ВО
«Сибирский федеральный университет», ФГБОУ ВО «Астраханский
государственный университет им. В.Н. Татищева», Комитет ВИЭ РосСНИО,
ООО «Солар Системс», ООО НПП «ЭКРА», всего **49** человек.

Со вступительным словом выступил председатель секции «Активные

системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. Илюшин П.В.

Во вступительном слове было отмечено, что по данным Европейской ассоциации солнечной энергетики SolarPower Europe в настоящее время доля выработки фотоэлектрических электростанций (ФЭС) в суммарной выработке электроэнергии в мире составляет около 3 %. А по установленной мощности ФЭС лидерами являются такие страны как Китай, Япония, США и Германия. В России уровень инсоляции варьируется от 810 кВт*ч/м² в год в отдаленных северных районах до 1400 кВт*ч/м² в год в южных районах, в Сибири и на Дальнем Востоке. Следовательно, наибольшие перспективы для строительства ФЭС имеются в следующих регионах: Северный Кавказ, Ставропольский край, Астраханская область, Алтайский край, Оренбургская область, Забайкальский край, Сибирь и Приморский край. Массовая интеграция ФЭС в энергосистемы России требует корректного учета их влияния на электрические режимы. Это позволит обеспечить принятие корректных технических решений при разработке схем выдачи мощности новых ФЭС, интегрируемых как в ЕЭС России, так и в изолированные энергорайоны. Кроме того, это будет содействовать надежному функционированию энергосистем, включая традиционные электростанции, а также бесперебойному электроснабжению потребителей. Поэтому тематика исследования является актуальной для отечественной электроэнергетики.

С докладом **«Особенности и преимущества всережимного моделирования режимов работы фотоэлектрических установок в составе электроэнергетических систем»** выступили Рудник Владимир Евгеньевич, ассистент Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет».

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

1. Представлен анализ внедрения генерирующих устройств на базе возобновляемых источников энергии (ВИЭ), в частности ФЭС, в ЕЭС России и в мире в целом. Также приведены результаты анализа особенностей ФЭС, которые заключаются в отсутствие прямого сопряжения с сетью и использования для подключения ФЭС в электроэнергетическую систему (ЭЭС) сетевых инверторов (СИ). В результате, внедрение таких ФЭС с СИ существенно изменяют динамические свойства ЭЭС из-за отличающийся динамики функционирования СИ и их систем управления, что может приводить к проблемам, связанным с возникновением колебаний различной частоты и амплитуды.

2. Отмечено, что особенно часто возникают обозначенные проблемы при внедрении ФЭС в региональные энергосистемы, в которых имеются удаленные энергорайоны с достаточно крупными узлами местной нагрузки и достаточно высоким процентом выработки электроэнергии на ФЭС. Эти энергорайоны

относятся к слабым сетям, в соответствии с международной терминологией, и характеризуются наличием слабых электрических связей в своей топологии, малой мощностью традиционных источников генерации относительно суммарной мощности нагрузки. Плотность такой сети возможно оценить с помощью коэффициента отношения короткого замыкания (ОКЗ). Также отмечено, что основным способом анализа проблем, возникающих при интеграции ФЭС в ЭЭС, является математическое моделирование.

3. Рассмотрены используемые виды обобщенных моделей ФЭС и их модификации, предложенные подкомитетом по моделированию и верификации рабочей группы по исследованию ВИЭ из Западного координационного совета по электроэнергии, США. Такие модели предназначены для изучения возникающих переходных процессов и устойчивости энергосистем в целом. Обозначены особенности модернизированных моделей: а) ФЭС представляется в виде источника напряжения, вместо источника тока; б) для синхронизации с сетью добавлен блок фазовой автоподстройки частоты (ФАПЧ); в) внутренний контур управления током (КУТ) аппроксимируется апериодическим звеном первого порядка с постоянной времени от 10 до 20 мс; г) цепь постоянного тока (ЦПТ) и её система автоматического управления (САУ) не воспроизводятся; д) динамика первичного источника энергии не воспроизводится.

4. Рассмотрены подходы к моделированию ЭЭС с ФЭС с помощью программно-вычислительных (ПВК) и программно-аппаратных (ПАК) комплексов. Отмечается, что при моделировании традиционных энергосистем ориентируются на временную шкалу электромеханических переходных процессов (от нескольких миллисекунд до минут), в то время как в современных ЭЭС временная шкала работы СИ и их систем управления, определяющих в целом переходный процесс для ФЭС, находится уже в диапазоне от нескольких микросекунд и охватывает уже высокочастотные процессы, которые при традиционном численном подходе к моделированию не воспроизводятся. Поэтому более предпочтительными для моделирования ЭЭС с ФЭС являются средства расчета электромагнитных переходных процессов. Отдельно представлены особенности, возникающие при использовании цифровых ПВК и ПАК для моделирования энергосистем с СИ. В первом случае происходит значительное увеличение времени расчета при увеличении количества силовой преобразовательной техники в рассматриваемой модели, а во втором возникает необходимость разделения модели на фрагменты с разными шагами расчета, во введении фиктивных линий и трансформаторов связи для обеспечения взаимодействия между фрагментами, а также в ограничении возможной пропускной способности вычислительных модулей.

5. Ввиду присущих особенностей цифровому математическому моделированию при анализе и исследовании процессов в больших ЭЭС с ФЭС, в научно-исследовательской лаборатории «Моделирование электроэнергетических систем» Томского политехнического университета было предложено использовать гибридный подход к моделированию, который заключается в

комплексном применении нескольких методов моделирования: аналогового, цифрового и физического. Данный подход реализован в средстве моделирования российского производства – Всережимный моделирующий комплекс реального времени электроэнергетических систем (ВМК РВ ЭЭС).

6. В рамках гибридного подхода, а также на основе анализа специфики функционирования ФЭС в ЭЭС сформированы конкретные положения подхода к их всережимному моделированию в реальном времени: а) синтезируется и применяется всережимная модель ФЭС; б) для решения систем дифференциальных уравнений математически моделируемого оборудования ФЭС используется способ методически точного непрерывного неявного интегрирования в реальном времени; в) для реализации указанного способа интегрирования разрабатываются и применяются специализированные параллельные цифро-аналоговые структуры – гибридные сопроцессоры (ГСП); г) воспроизведение спектра силовых преобразователей обеспечивается с помощью цифруправляемых физических моделей на базе цифруправляемых аналоговых ключей (ЦУАК); д) взаимодействие ФЭС с другими специализированными гибридными процессорами (СПП) воспроизводимого оборудования в составе ЭЭС осуществляется на модельном физическом уровне; е) управление коэффициентами и параметрами математически моделируемого оборудования ФЭС, состоянием ЦУАК, отображение и преобразование информации осуществляется с помощью информационно-управляющей системы посредством цифро-аналогового и аналого-цифрового преобразования.

7. Приведено детальное описание обозначенного гибридного подхода к моделированию, где на аналоговом уровне выполняется решение дифференциальных уравнений различных элементов и оборудования ФЭС с помощью интегрирования на базе операционных усилителей. Сформированные в результате неявного непрерывного интегрирования математические переменные токов, которые представлены на аналоговом уровне непрерывными изменениями напряжений, поступают на вход преобразователей напряжение-ток. С помощью преобразователей напряжение-ток математические переменные токов преобразуются в соответствующие им модельные физические токи, что определяет физический уровень в рамках гибридного моделирования, за счет которого также осуществляется взаимодействие между основными элементами ФЭС. На цифровом уровне реализуются различные системы управления, а также осуществляются все необходимые информационно-управляющие функции, которые заключаются в задании параметров оборудования, обработке и передаче информации пользователю. Ввиду отсутствия надёжного математического описания коммутационных процессов, наиболее эффективным методом их воспроизведения является модельный физический уровень, который обеспечивается применением цифруправляемых аналоговых ключей. Поэтому на физическом уровне осуществляется воспроизведение силовых полупроводниковых ключей повышающего преобразователя постоянного тока и сетевого инвертора.

8. В соответствии с гибридным подходом создан специализированный гибридный процессор (СПП) ФЭС, предназначенный для детального моделирования ФЭС в ЭЭС, включающий в себя: а) микропроцессорный узел, обеспечивающий все информационное управление СПП ФЭС; б) модель солнечного элемента (СЭ), которая воспроизводится с помощью сопроцессора на цифровом уровне; в) модель СИ, повышающего преобразователя постоянного тока, продольно-поперечного коммутатора, воспроизведение которых обеспечивается с помощью ЦУАК; г) процессор коммутации (ПК), который обеспечивает управление ЦУАК физических моделей; д) модели реактора, цепи постоянного тока, фильтра высших гармоник, трансформатора, которые реализуются на аналоговом уровне; е) центральный процессор (ЦП), который осуществляет информационно-управляющее взаимодействие по локальной компьютерной сети между сервером ВМК РВ ЭЭС и периферийными процессорами. Представлено детальное описание всех составных элементов СПП ФЭС и их взаимодействие.

9. Представлены результаты разработки сопроцессора модели СЭ. Согласно ряду исследований, двух-диодная модель СЭ адекватно воспроизводит протекающие в ней процессы. Несмотря на это, была выполнена верификация разработанной математической модели СЭ, на основе экспериментальных данных (модель СЭ KG200GT) полученных из открытых источников. Также проведено сравнение с программным комплексом MATLAB. Результаты показали высокую точность совпадения.

10. Для проверки функционирования модели СПП ФЭС была подготовлена двухмашинная тестовая схема. Сравнение выполнялось с ПАК RTDS, предназначенного для моделирования ЭЭС в режиме реального времени, в котором также была реализована двухмашинная тестовая схема. Проводились испытания динамики работы при моделировании различных видов коротких замыканий (КЗ). Результаты показали высокую точность совпадения.

11. Помимо сравнения созданных средств с моделями в ПАК выполнялось сравнение с результатами натурных испытаний, приведенных в открытых источниках. В качестве примера были рассмотрены результаты, полученные при проведении испытаний генерирующего оборудования реальной ФЭС. В проведенных экспериментах для того, чтобы СИ осуществил ограничение активной мощности, в органах управления СИ осуществлялась коррекция измеряемой частоты напряжения на заданные значения. Фактическая частота напряжения сети не изменялась, составляя 50 Гц. Рассмотрено несколько опытов с изменением мощности СИ на разную величину, важным было оценить скорость сброса и набора мощности СИ и сравнить полученные результаты при использовании СПП ФЭС. Результаты показали высокую точность совпадения.

12. Для подтверждения свойств, возможностей и корректного функционирования устройства СПП ФЭС в составе ВМК РВ ЭЭС проведен комплекс испытаний в модели ЭЭС, разработанной на основе топологии реальной энергосистемы. Исходная модель ЭЭС содержит электрические сети

разных классов напряжений, основные электростанции, нагрузки, средства компенсации реактивной мощности, силовые трансформаторы и автотрансформаторы, линии электропередач (ЛЭП). Реализованы два направления исследований: а) верификация модернизированной обобщенной модели ФЭС; б) оценка возможности воспроизведения колебаний режимных параметров при функционировании ФЭС в слабых сетях с помощью СГП ФЭС. В рамках первого направления рассмотрены следующие сценарии: а) изменение мощности, выдаваемой ФЭС, в качестве внутреннего малого возмущения и наброс нагрузки в точке подключения ФЭС в качестве внешнего малого возмущения; б) плавное увеличение мощности ФЭС и трехфазное КЗ. Это КЗ воспроизводилось на шинах 220 кВ ПС 196 и ПС 153; в) воспроизводилось трехфазное КЗ для оценки определения с помощью модернизированной обобщенной модели ФЭС предельного времени отключения КЗ. В рамках второго направления рассмотрены следующие сценарии: а) отключение ЛЭП 184-185; б) увеличение солнечной инсоляции.

13. Проведенные исследования показали, что модернизированная обобщенная модель ФЭС в целом с высокой достоверностью воспроизводит различные малые возмущения для любой конфигурации сети. При воспроизведении различных больших возмущений влияние на достоверность результатов моделирования оказывают место возмущения, интенсивность и плотность сети. При близком КЗ погрешность преимущественно связана с исключением динамики ЦПТ в модернизированной обобщенной модели. Модернизированная обобщенная модель показала удовлетворительный отклик при любых видах КЗ в случае сильной сети. При определении предельного времени КЗ наибольшие погрешности возникали в слабой сети при близком КЗ с использованием модернизированной обобщенной модели ФЭС. Также при определении предельного времени КЗ играет роль способ интеграции ФЭС в сеть. В слабой сети формировалась большая погрешность при воспроизведении КЗ с помощью модернизированной обобщенной модели ФЭС. Также с помощью модернизированной обобщенной модели не удавалось воспроизвести неустойчивость, обусловленную функционированием СИ в слабой сети, из-за упрощенной динамики функционирования САУ СИ.

14. В рамках исследования была реализована интеграция ФЭС в слабые сети, где ФЭС оказывает различное влияние на колебания режимных параметров. Экспериментально доказано, что с помощью разработанного СГП ФЭС могут быть воспроизведены субсинхронные колебания режимных параметров различной частоты и амплитуды при изменении основных, влияющих на них факторов: настройка блока ФАПЧ и изменение плотности сети. Так же САУ СИ в СГП ФЭС была дополнена регулятором демпфирования колебаний для их эффективного подавления. Отмечено, что в разработанном СГП ФЭС возможно осуществлять модернизацию САУ СИ. В дальнейшем это позволит разрабатывать мероприятия по демпфированию такого рода колебаний.

15. В заключении отмечается, что широкомасштабное внедрение ФЭС на

базе СИ существенно изменяет динамику протекания переходных процессов в ЭЭС из-за особенностей функционирования СИ и их САУ. Вследствие этого в ЭЭС, особенно в слабых сетях, могут наблюдаться явления, связанные с возникновением слабозатухающих и незатухающих колебаний режимных параметров различной частоты и амплитуды, которые возникают по причине неподходящей настройки САУ СИ ФЭС для разной плотности сети. Для решения возникающих проблем необходима полная и достоверная информация о процессах в ФЭС и ЭЭС в целом. Основной способ получения такой информации – математическое моделирование. Ввиду ряда ограничений в ПВК и ПАК, предложен альтернативный гибридный вариант моделирования ФЭС в составе ЭЭС. В соответствии с гибридным подходом был создан СГП ФЭС. Проведённые экспериментальные исследования подтверждают свойства и возможности разработанного подхода и средств его реализации, необходимые для надежного и эффективного решения задач проектирования, исследования и эксплуатации ФЭС в составе ЭЭС, особенно в слабых сетях.

В обсуждении доклада и прениях выступили:

Елистратов В.В. (ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»), Гусев Ю.П., Тягунов М.Г., Вольный В.С., Суслов К.В. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»), Виноградов И.В. (ООО «Солар Системс»), Куликов А.Л. (ФГБОУ ВО «НГТУ им. Р.Е. Алексеева»), Зайнутдинова Л.Х. (ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет им. В.Н. Татищева»), Матисон В.А. (ООО НПП «ЭКРА»), Илюшин П.В. (НП «НТС ЕЭС», ФГБУН «ИНЭИ РАН»).

Елистратов В.В. – Заместитель директора по научной работе Инженерно-строительного института, Директор Научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе» ФГАОУ ВО «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого», д.т.н., профессор.

Отметил, что требуется корректировка формулировок, связанных с положениями, выносимыми на защиту.

Задал докладчику следующие вопросы:

- по какой специальности планируется защита диссертации?
- как моделируется график поступления солнечной энергии и ее изменчивость?
- каковы граничные значения мощности ФЭС и мощности ЭЭС?
- что значит всережимное моделирование?
- каким образом осуществляется переход от модели солнечного элемента к фотоэлектрическому модулю и к модели ФЭС?
- каким образом моделирует МРРТ контроллер?
- какая система инверторов использовалась в модели СГП ФЭС,

распределённая или сосредоточенная и как они взаимодействуют?

- какова практическая значимость данного исследования?

Гусев Ю.П. – Профессор кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ», к.т.н., профессор.

Отмечено, что требуется корректировка формулировок, связанных с положениями, выносимыми на защиту.

Задал докладчику следующие вопросы:

- проводился ли анализ возможности использования дополнительных элементов, применительно к разработанному СГП ФЭС, в виде накопителей энергии?
- какова природа колебаний в реальных ЭЭС при внедрении в них ФЭС?
- какова природа колебаний, полученных с помощью СГП ФЭС?

Виноградов И.В. – Директор проектов ООО «Солар Системс».

Обратил внимание, что для домохозяйств будут проблемы, при использовании инверторов, которые работают на островном режиме. В соответствии с этим, с помощью разработанного СГП ФЭС, с учетом его модернизации, возможно проводить анализ работы таких видов инверторов.

Отметил, что результаты исследования были бы полезны для больших ФЭС, функционирующих на базе инверторов, ведомых сетью.

Задал докладчику следующие вопросы:

- проводился ли анализ действующих нормативных документов при проведении данного исследования?
- какие виды инверторов использовались в разработанной модели СГП ФЭС?

Куликов А.Л. – Профессор кафедры «Электроэнергетика, электроснабжение и силовая электроника» ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный технический университет им. Р.Е. Алексеева», д.т.н., профессор.

Отметил масштабность и актуальность проделанной работы. Рекомендовал скорректировать положения, выносимые на защиту.

Обратил внимание, что при настройке блока фазовой автоподстройки частоты необходимо учитывать различный набор параметров в нормальных и аварийных режимах работы. Возможно реализовывать многоступенчатый блок фазовой автоподстройки частоты для корректной работы сетевого инвертора.

Задал докладчику следующие вопросы:

- в чем преимущество разработанного СГП ФЭС перед существующими моделями ФЭС, которые реализуются в других программно-вычислительных и программно-аппаратных комплексах?
- насколько важным показателем является скорость расчёта

(быстродействие) при моделировании?

– менялись ли параметры блока фазовой автоподстройки частоты в эксперименте с течением времени или оставались постоянными? Каким образом подбирались значения параметров для настройки блока ФАПЧ?

– были ли срывы автоподстройки частоты ФЭС при моделировании различных режимов работы ФЭС и при использовании разных коэффициентов блока ФАПЧ?

Зайнутдинова Л.Х. – Руководитель научно-образовательного центра «Альтернативная энергетика», профессор кафедры «Электротехника, электроника и автоматика» ФГБОУ ВО «Астраханский государственный университет имени В. Н. Татищева», д.п.н., к.т.н., профессор.

Отметила многоплановость, содержательность и масштабность проделанной работы.

Задала докладчику следующие вопросы:

– двухдиодная модель солнечного элемента была разработана или использовалась существующая?

– каким образом подбирались параметры для двухдиодной модели солнечного элемента?

Матисон В.А. – Заместитель технического директора по цифровизации электроэнергетики ООО НП «ЭКРА», к.т.н.

Задал докладчику следующие вопросы:

– моделировались ли несимметричные КЗ для оценки работы СГП ФЭС?

– почему применялось именно всережимное моделирование ФЭС в ЭЭС?

– могут ли возникнуть сложности и проблемы при всережимном моделировании?

Подчеркнул важность и актуальность представленной работы.

Обратил внимание на то, что при исследовании электрических режимов отсутствует необходимость в детальном воспроизведении коммутационных характеристик силовых ключей. При этом достаточно их моделировать с учетом идеального прямого включения.

Отметил, что подобный уровень детализации необходим при разработке структуры преобразователей и исследовании возможности резонанса их параметров с электрической сетью в точке общего присоединения.

Тягунов М.Г. – Профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», д.т.н., профессор.

Подчеркнул актуальность представленной разработки и ее перспективы развития.

Отметил, что требуется скорректировать основные формулировки, связанных с научной новизной и положениями, выносимыми на защиту.

Вольный В.С. – старший преподаватель кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ».

Задал докладчику следующие вопросы:

- какой коэффициент мощности использовался у моделируемого сетевого инвертора?
- учитывается ли реактивная мощность в уравнении для оценки плотности сети (коэффициент отношения короткого замыкания)?
- почему время отключения КЗ было принято 0,5 с?
- каким образом реализуется стратегия «недогрузки» ФЭС и какой процент резерва мощности следует использовать?

Сулов К.В. – профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», д.т.н., доцент.

Подчеркнул масштабность и актуальность представленной работы.

Отметил, что требуется корректировка формулировок положений, выносимых на защиту.

Илюшин П.В. – Председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

Подчеркнул актуальность представленной работы, ее перспективы развития и масштабирования. Также отметил, что выступление по теме диссертационной работы было представлено в виде расширенного доклада.

Отметил, что в России большое количество изолированных энергосистем, и та проблема, которая была затронута в данном исследовании, будет актуальной в процессе дальнейшего развития и массового внедрения возобновляемых источников энергии на территории России, что и происходит в настоящее время.

Обратил внимание на важность детального моделирования ФЭС при их внедрении в изолированные энергорайоны и слабые сети, так как именно в таких сетях могут возникать нештатные ситуации, которые приводят к колебаниям режимных параметров, вызывающих погашение энергорайонов.

Подчеркнул, что в России уже сталкивались с проблемами крутильных колебаний, которые возникали в изолированных энергосистемах. Данная проблема является актуальной и важной, требует детальной проработки и анализа, чтобы в будущем избежать ситуаций, связанных с крутильными колебаниями, о чем также упоминается в представленном исследовании.

Отметил, что требуется корректировка формулировок положений, выносимых на защиту и научной новизны работы.

Задал докладчику следующий вопрос:

- рассматривался ли аварийный сценарий в ваших исследованиях, по аналогии с аварией в Китайской энергосистеме?

Заслушав выступления экспертов по результатам дискуссии совместное заседание Секций «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», «Возобновляемая энергетика и гибридные энергетические комплексы» НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике **отмечает:**

1. Актуальность проблемы, связанной с возникновением колебаний режимных параметров при внедрении ФЭС в ЭЭС, в частности в слабые сети.
2. Важность и целесообразность применения гибридного подхода к моделированию для получения необходимой полной и достоверной информации о процессах, протекающих в ФЭС при их функционировании в составе ЭЭС.
3. Целесообразность применения СГП ФЭС для детального моделирования ФЭС в ЭЭС, особенно в слабых сетях.
4. Перспективность использования СГП ФЭС для настройки САУ СИ и ее возможной модернизации с помощью различных регуляторов демпфирования колебаний.

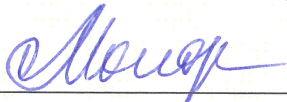
Совместное заседание Секций «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», «Возобновляемая энергетика и гибридные энергетические комплексы» НП «НТС ЕЭС» и Секции по проблемам НТП в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике **решило:**

1. Рекомендовать автору учесть в дальнейшей работе по рассмотренной тематике замечания и предложения, высказанные участниками совместного заседания секций НП «НТС ЕЭС» в ходе обсуждения доклада.
2. Рекомендовать автору для проведения дальнейших исследований модернизировать и адаптировать сетевой инвертор в СГП ФЭС с целью его возможного использования в составе изолированных энергорайонов.
3. Рекомендовать автору продолжить исследования, связанные с модернизацией САУ СИ ФЭС, которые будут полезны в области демпфирования колебаний режимных параметров при функционировании ФЭС в слабых сетях.
4. Рекомендовать собственникам ФЭС, представителям проектных организаций, электросетевых компаний и региональных диспетчерских управлений АО «СО ЕЭС» ознакомиться с результатами данного исследования для их использования при разработке и согласовании проектов интеграции ФЭС в изолированные энергорайоны и энергорайоны со слабыми связями.
5. Рекомендовать собственникам промышленных предприятий, функционирующих в изолированных энергорайонах и внедряющих генерацию на основе ВИЭ, включая ФЭС, обратить особое внимание на способы предотвращения возможностей возникновения субсинхронных колебаний режимных параметров различной частоты и амплитуды с целью обеспечения надежного функционирования ФЭС и электроснабжения потребителей.

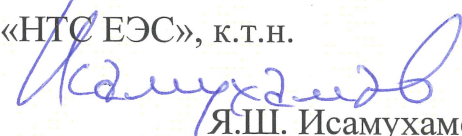
6. Рекомендовать автору после внесения корректировок в положения, выносимые на защиту, а также научной новизны, представить диссертационную работу к защите в диссертационный совет.

С заключительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. Илюшин П.В., в котором отметил, что при массовом строительстве ФЭС, интегрируемых в ЭЭС, энергорайоны со слабыми связями и изолированные энергорайоны необходимо наиболее тщательно подходить к математическому моделированию оборудования ФЭС в процессе разработки схем выдачи мощности и выполнении расчетов переходных процессов. Это позволит избежать проблемных вопросов при эксплуатации ФЭС, которые могут приводить к нарушениям нормальной работы ФЭС, других объектов генерации и электроснабжения особо ответственных потребителей.

Первый заместитель Председателя
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

 В.В. Молодюк

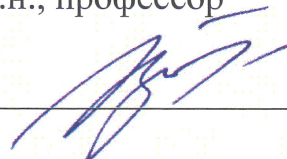
Ученый секретарь
Научно-технической коллегии
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

 Я.Ш. Исамухамедов

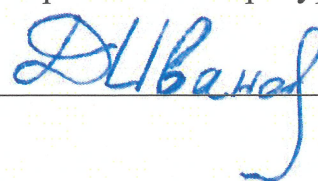
Председатель секции «АСРЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС», ученый секретарь
Секции по проблемам НТП в энергетике
Научного совета РАН по системным
исследованиям в энергетике, д.т.н.

 П.В. Илюшин

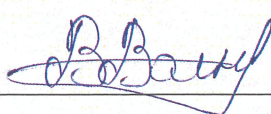
Председатель секции
«Возобновляемая энергетика и
гибридные энергетические
комплексы» НП «НТС ЕЭС»,
д.т.н., профессор

 М.Г. Тягунов

Ученый секретарь секции
«Активные системы распределения
электроэнергии и распределенные
энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»

 Д.А. Ивановский

Ученый секретарь секции
«Возобновляемая энергетика и
гибридные энергетические
комплексы» НП «НТС ЕЭС»

 В.С. Вольный