



**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

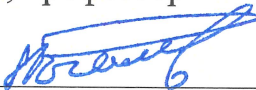


Основана в 1724 году

**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

«07» октября 2024 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

17 сентября 2024 г.

г. Москва

**Присутствовали:** члены секции «Активные системы распределения  
электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» и «Возобновляемая  
энергетика и гибридные энергетические комплексы» НП «НТС ЕЭС»,  
представители ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», ФГБУН «ИНЭИ РАН», ФГБУН  
«ИСЭМ СО РАН», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», АО «СО ЕЭС»,  
Электроэнергетического совета стран СНГ, ООО «Институт проблем  
энергетики», Комитет ВИЭ РосСНИО, ГБОУ ВО «Нижегородский  
государственный инженерно-экономический университет», ФГБОУ ВО  
«Нижегородский ГТУ им. Р.Е. Алексеева», ФГБОУ ВО «Новосибирский  
государственный технический университет», ФГАОУ ВО «Уральский  
федеральный университет им. Б.Н. Ельцина», ФГБОУ ВО «Сибирский

федеральный университет», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», АНО «НИЦ-«АТМОГРАФ», ООО НПП «ЭКРА», ООО «РТСофт-СГ» и др., всего 63 человека.

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 Международного агентства по возобновляемым источникам энергии в последние годы в мире наблюдается рекордный рост вводов в эксплуатацию генерирующего оборудования на ветровых (ВЭС) и солнечных (СЭС) электростанциях, превышающих по суммарной мощности вводы генерирующего оборудования на традиционных электростанциях. В России за последние 5 лет в соответствии с программой ДПМ ВИЭ 1,0 было введено в эксплуатацию более 2,1 ГВт на ВЭС. Важно отметить, что интеграция и функционирование ВЭС в составе энергосистем, как в России, так и в мире, сопровождается рядом проблемных вопросов, требующих своевременного решения. Для этого необходимо, в том числе, внесение соответствующих изменений в действующие нормативно-технические документы (НТД) для их использования при разработке схем выдачи мощности вновь вводимых в эксплуатацию ВЭС. В докладе будут рассмотрены не только проблемные вопросы, но и способы их решения, с учетом особенностей энергосистем России и требований действующих НТД.

С докладом **«Совершенствование методических основ интеграции и функционирования ветровых электростанций в составе энергосистем»** выступил Симонов Александр Владимирович – директор обособленного подразделения в г. Екатеринбург ООО «РТСофт – СГ», аспирант ФГБУН «Институт энергетических исследований Российской академии наук».

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

1. Представлена информация о возникающих проблемных вопросах, связанных с функционированием современных ВЭС, построенных и введенных в эксплуатацию по программе ДПМ ВИЭ 1.0:

- излишние отключения ветроэнергетических установок (ВЭУ) функцией LVRT;
- завышенные расчетные значения токов короткого замыкания (КЗ), приводящие к:
  - неселективной работе устройств релейной защиты и автоматики (РЗА);

- невозможности обеспечения чувствительности устройств РЗА.
- повреждения электротехнического оборудования ВЭУ из-за перенапряжений при возникновении резонансных явлений на частотах, кратных промышленной частоте.

2. Представлена информация о планах развития ВИЭ на 5 лет в России. В соответствии со Схемой и программой развития электроэнергетических систем России на период 2023 – 2028 гг., запланирован ввод в эксплуатацию более 20 ВЭС суммарной установленной мощностью более 2,3 ГВт.

3. Для снижения рисков возникновения рассматриваемых в докладе проблемных вопросов на ВЭС, находящихся в эксплуатации, а также на планируемых к строительству ВЭС, предлагается разработать методические основы интеграции и функционирования ВЭС в составе ЕЭС России на основе результатов имитационного моделирования и расчетов электрических режимов. Это позволит исключить некорректную работу оборудования ВЭС, а также устройств РЗА в коллекторной и прилегающей сети.

4. Для достижения указанной цели были сформулированы следующие задачи исследования:

- определение технических требований к оборудованию ВЭС для обеспечения устойчивой работы в составе ЕЭС России на основе анализа действующих отечественных и зарубежных стандартов;

- разработка способов обеспечения устойчивой работы ВЭУ при функционировании ВЭС в составе ЕЭС России;

- определение влияния режимов работы ВЭС на показатели качества электрической энергии в точке присоединения к электрической сети;

- разработка предложений по расчету параметров схем замещения ВЭС в отечественных программных комплексах RastrKZ, АРУ РЗА для целей повышения точности расчета токов подпитки от ВЭУ мест КЗ в коллекторной сети и прилегающей электрической сети.

5. Представлены результаты анализа требований к ВЭУ для обеспечения устойчивой работы ВЭС в составе ЕЭС России из действующих НТД России.

6. Выполнен обзор требований зарубежных стандартов, по которым оборудование ВЭУ, поставляемое в Россию, было спроектировано и изготовлено с функциями: Поддержание непрерывности энергоснабжения при возмущениях (Fault Ride Through – FRT) или Поддержание непрерывности электроснабжения при низком напряжении (Low Voltage Ride Through – LVRT). Приведена информация о совершенствовании функции LVRT ВЭУ в зарубежных странах.

7. Предложены подходы к оценке допустимости заданных настроек функции LVRT из зарубежных стандартов при интеграции ВЭС в ЕЭС России посредством выполнения расчетов электромеханических переходных процессов.

8. На введенных в эксплуатацию ВЭС был выполнен анализ результатов расчетов электромеханических переходных процессов с сопоставлением остаточного напряжения на шинах инверторных преобразователей ВЭУ с заданными настройками функции LVRT из зарубежных стандартов. Был выявлен ряд аварийных возмущений в прилегающей сети, при которых ВЭУ отключаются функцией LVRT. Технические мероприятия, регламентированные действующими НТД в России, в части сокращения времени ликвидации КЗ за счет модернизации устройств РЗА, замены коммутационного оборудования в прилегающей сети не всегда позволяют исключить вероятность отключения ВЭУ действием функции LVRT.

9. Предложен новый подход к обеспечению устойчивой работы ВЭС в составе ЕЭС России, позволяющий перейти от адаптации прилегающей сети под ВЭС, к адаптации ВЭУ и коллекторной сети под прилегающую сеть.

10. В качестве способов по обеспечению устойчивой работы ВЭС (недопущения срабатывания функции LVRT) предложено:

- повысить величину остаточного напряжения на шинах инверторных преобразователей ВЭУ при внешних КЗ за счет установки устройства Статком на шинах 35 кВ ВЭС;

- повысить величину остаточного напряжения на шинах инверторных преобразователей ВЭУ при внешних КЗ за счет установки токоограничивающего реактора в цепи 35 кВ повышающего трансформатора ВЭС (отходящей ЛЭП);

- внести изменения во внутреннюю конструкцию инверторных преобразователей ВЭУ посредством добавления суперконденсатора и DC-DC конвертора в цепь постоянного тока каждой ВЭУ.

11. Анализ расчетов электромеханических переходных процессов показал, что наиболее эффективным способом повышения величины остаточного напряжения на шинах инверторных преобразователей при внешних КЗ является установка токоограничивающего реактора. Подключение суперконденсатора и DC-DC конвертора в цепь постоянного тока каждой ВЭУ требует проведения дополнительных исследований на опытных образцах.

12. Представлен анализ влияния ВЭС на показатели качества электрической энергии в точке присоединения к электрической сети.

13. Представлены риски возникновения резонанса напряжений при определенных значениях длин линий электропередачи, посредством которых осуществляется подключение ВЭС к ЕЭС России для случаев подключения к сети 35 кВ и 110 кВ. Разработаны мероприятия по поддержанию показателей качества электрической энергии в области допустимых значений.

14. Отмечено, что отсутствие действующего НТД в России с утвержденной методикой математического моделирования ВЭУ различных типов в

отечественных программных комплексах приводит к тому, что проектными организациями используются допущения при моделировании ВЭУ в АРМ СРЗА и RastrKZ, приводящие к существенному завышению расчётных значений токов подпитки мест КЗ от ВЭУ:

- применение для ВЭУ III и IV типа математических моделей в виде синхронного генератора;
- неучет периодической составляющей в токе подпитки места КЗ от ВЭУ I, II и III типа, которая быстро затухает (около 100 мс).

Данные допущения приводят к существенному завышению расчётных значений токов подпитки мест КЗ от ВЭУ, что в свою очередь влечет за собой завышение расчетных параметров настройки токовых защит по величине и времени срабатывания, впоследствии приводящее к:

- неселективной работе устройств РЗА;
- проблемам с обеспечением чувствительности устройств РЗА, особенно защит дальнего резервирования;
- излишним отключениям ВЭУ IV типа функцией LVRT инверторных преобразователей при штатной работе устройств РЗА при КЗ в коллекторной или прилегающей электрической сети;
- рискам повреждения электротехнического оборудования ВЭС.

15. Приведены подходы к повышению точности моделирования ВЭУ в отечественных ПК АРМ СРЗА и RastrKZ. Эффективность предложенных подходов оценена по результатам сравнительных расчетов на верифицированных моделях ВЭУ в ПК PowerFactory.

16. По результатам проведенных исследований разработаны предложения по внесению изменений в действующие НТД.

17. Представлены направления дальнейших исследований:

- выбор оптимального варианта организации заземления нейтрали в коллекторной сети 35 кВ ВЭС при ее интеграции в ЕЭС России;
- проведение подтверждающих экспериментов по конструктивным изменениям инверторного оборудования ВЭУ для адаптации функции LVRT;
- современные подходы к организации релейной защиты в коллекторной сети ВЭС и прилегающей сети при интеграции ВЭС в ЕЭС России.

**В обсуждении доклада и прениях выступили:**

Нигматулин Б.И. (ООО «Институт проблем энергетики»), Нагай В.В. (ФГБОУ ВО «ЮРГПУ(НПИ)»), Матисон В.А. (ООО НПП «ЭКРА»), Федотов А.И. (ФГБОУ ВО «КГЭУ»), Николаев В.Г. (АНО «НИЦ-«АТМОГРАФ»), Грибков С.В. (Комитет ВИЭ РосСНИО), Тягунов М.Г. (ФГБОУ ВО «НИУ

МЭИ»), Козырев А.В. (АО «СО ЕЭС»), Суворов А.А. (ФГАОУ ВО «ТПУ»), Илюшин П.В. (НП «НТС ЕЭС», ФГБУН «ИНЭИ РАН»).

**Нигматулин Б.И.** – Генеральный директор ООО «Институт проблем энергетики», д.т.н., профессор.

Отметил, что развивать ВЭС и СЭС в России не требуется, так как электроэнергетика в России достаточно чистая, а, следовательно, для покрытия графика нагрузки вполне достаточно традиционных электростанций.

Обратил внимание на целесообразность собственникам ВЭС и СЭС, а также проектным организациям учитывать в проектах строительства все дополнительные затраты на реконструкцию прилегающей электрической сети и модернизацию оборудования в ЕЭС России.

Отметил, что на сегодняшний день цена на электроэнергию в России в 1,5 раза выше, чем в США, по паритету покупательной способности. Ввод в эксплуатацию новых ВЭС и СЭС ведет еще к большему ее подорожанию.

**Нагай И.В.** – Доцент кафедры «Электрические станции и электроэнергетические системы» ФГБОУ ВО «Южно-Российский государственный политехнический университет (НПИ) им. М.И. Платова», к.т.н., доцент.

Обратил внимание, что строительство ВЭС и СЭС в России, в соответствии с действующими программами поддержки, будет продолжаться.

Отметил, что установка ТОР для повышения устойчивости ВЭУ может снизить токи подпитки КЗ от прилегающей сети, что в свою очередь может привести к проблемам с чувствительностью защит в коллекторной сети ВЭС.

Обратил внимание, что внесение изменений в конструкцию инверторных преобразователей в части установки суперконденсатора должно быть согласовано с заводом-изготовителем.

Отметил, что вопросы по исследованию организации заземления нейтрали, как и вопросы по организации релейной защиты в коллекторной сети ВЭС, очень актуальны в настоящее время.

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

Отметил, что требуется проверить, как установка ТОР повлияет на ограничения инверторных преобразователей ВЭУ в части поддержания напряжения в области допустимых значений.

Обратил внимание, что акцент в диссертационной работе необходимо сделать на необходимость учета технических требований к функции LVRT,

необходимости анализа качества электрической энергии в точке присоединения ВЭС к ЕЭС России в следующих документах: ТЗ на проектирование, ТЗ на разработку оборудования, а также в тендерных и других документах.

**Федотов А.И.** – Профессор кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», д.т.н., профессор.

Отметил, что установка ТОР для повышения устойчивости ВЭУ действительно может помочь, привел пример реализации данного мероприятия в сети 110 кВ для повышения устойчивости электроприемников одного из промышленных предприятий.

**Николаев В.Г.** – Директор Автономной некоммерческой организации «Научно-информационный центр – «АТМОГРАФ», д.т.н.

Задал вопросы, касающиеся интеграции ВЭС различной мощности в электрические сети напряжением 110, 220 и 330 кВ.

Отметил, что для каждого случая интеграции ВЭС должны быть определены оптимальные значения установленной мощности ВЭС с целью минимизации затрат на реализацию ее технологического присоединения к сети.

**Грибков С.В.** – Учёный секретарь Комитета ВИЭ РосСНИО, д.т.н.

Обратил внимание на разработки ВЭУ различной мощности, выполненные в советское время, и на возможности их использования на новых ВЭС, учитывая уход из России большинства зарубежных заводов-изготовителей ВЭУ.

Отметил высокую актуальность тематики научного исследования, представленного в докладе.

**Тягунов М.Г.** – Председатель секции «Возобновляемая энергетика и гибридные энергетические комплексы» НП «НТС ЕЭС», профессор кафедры «Гидроэнергетики и возобновляемые источники» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», д.т.н., профессор.

Отметил, что технологическое присоединение ВЭС к ЕЭС России в будущем должно рассматриваться совместно с накопителями электрической энергии (НЭЭ), рассчитанными на полную мощность ВЭС. Вопрос выбора энергоёмкости НЭЭ должен рассматриваться дополнительно.

Задал вопросы о доверии к верифицированным расчетным моделям ВЭУ, представленным в библиотеке ПК PowerFactory.

**Козырев А.В.** – Заместитель начальника Службы релейной защиты и автоматики АО «СО ЕЭС».

Обратил внимание на проблему отсутствия верифицированных моделей оборудования ВЭС и СЭС в отечественных программных комплексах по расчету токов короткого замыкания.

Отметил, что подстройка модели ВЭУ под фактические возмущения, записанные регистраторами аварийных событий, не позволяет повысить точность моделей ВЭУ под другие виды нормативных возмущений.

Задал вопрос относительно появления в национальном стандарте США требования к ограничению инъекции инверторным преобразователем ВЭУ токов обратной последовательности.

Обратил внимание на то, что концентрация ВЭС в ОЭС Юга может привести к проблемам с организацией работы РЗА, в том числе с настройками защит от несимметричных коротких замыканий.

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

Обратил внимание на отсутствие в большинстве случаев возможностей по получению верифицированных математических моделей на импортные генерирующие установки, поставляемые в Россию их различных стран. Это заводы-изготовители, как правило, обосновывают ноу-хау, которые они не раскрывают собственникам ВЭУ и других генерирующих установок.

Отметил необходимость получения или разработки моделей современных ВЭУ разработчиками расчетных программных и программно-технических комплексов в России.

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. Важность и актуальность поднятых в докладе проблемных вопросов в области интеграции и функционирования ВЭС в ЕЭС России.

2. Необходимость корректного учета технических характеристик ВЭУ в расчетных моделях отечественных ПК АРМ СРЗА и RastrKZ для исключения принятия неправильных технических решений при разработке схемы выдачи мощности ВЭС.

3. Необходимость своевременной реализации технических мероприятий для исключения возникновения аварийных ситуаций в ЕЭС России, связанных с



некорректной работой ВЭС.

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

1. Рекомендовать автору продолжить исследования в области интеграции ВЭС в ЕЭС России с проработкой следующих вопросов:

– проверить на математической модели величину снижения тока подпитки места КЗ в коллекторной сети от прилегающей сети при установке ТОР на ВЭС. Требуется оценить, приведет ли данное снижение тока подпитки места КЗ к проблемам с чувствительностью защит в коллекторной сети;

– на макете инверторного преобразователя ВЭУ провести эксперименты с целью обоснования допустимости конструктивных изменений с целью адаптации функции LVRT под действующие в России требования НТД;

– провести исследования и выбрать оптимальный вариант организации заземления нейтрали и организации релейной защиты в коллекторной сети 35 кВ ВЭС при ее интеграции в ЕЭС России;

– провести исследование для выяснения основания по введению требования в национальном стандарте США по ограничению инжекции инверторным преобразователем ВЭУ токов обратной последовательности;

– провести исследование по вопросу необходимости применения накопителей электрической энергии для интеграции ВЭС в ЕЭС России;

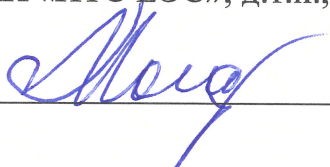
– провести исследование на математической модели ВЭС с целью оценки влияния ТОР на ограничения инверторного преобразователя ВЭУ в части поддержания напряжения в области допустимых значений.

2. Рекомендовать электросетевым компаниям России, к сетям которых осуществляется технологическое присоединение ВЭС, ознакомиться с результатами исследования, представленными в докладе и учитывать их при согласовании схем выдачи мощности новых ВЭС. При возникновении проблемных вопросов с функционированием ВЭС в составе ЕЭС России рассмотреть возможность реализации, в качестве пилотного проекта, предложенных в докладе технических мероприятий.

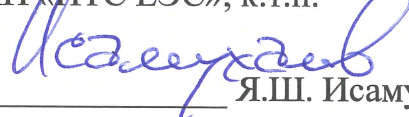
3. Рекомендовать Подкомитету ПК-5 «Распределенная генерация (включая ВИЭ)» ТК 016 «Электроэнергетика» Росстандарта рассмотреть возможность разработки НТД и инициирования внесения изменений в действующие НТД, в соответствии с предложениями, изложенными в докладе.

С заключительным 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., в котором отметил, что проблемные вопросы интеграции и функционирования ВЭС в ЕЭС России требуют их своевременного решения. Внесение необходимых изменений в действующие НТД позволит минимизировать риски повреждений как ВЭУ на ВЭС, так и другого электротехнического оборудования в прилегающей электрической сети, а также обеспечить надежную работу ВЭС в составе ЕЭС России. Кроме того, была отмечена целесообразность представления результатов диссертационных исследований аспирантов на заседаниях профильных секций НП «НТС ЕЭС» на промежуточных этапах с целью своевременного учета замечаний, предложений и рекомендаций по доработке диссертационной работы.


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

  
В.В. Молодюк

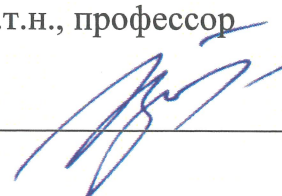
Ученый секретарь  
Научно-технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

  
Я.И. Исамухамедов

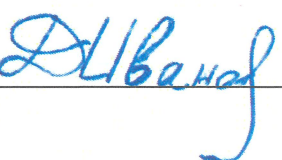
Председатель секции «АСРЭ и РЭР»  
НП «НТС ЕЭС», ученый секретарь  
Секции по проблемам НТП в энергетике  
Научного совета РАН по системным  
исследованиям в энергетике, д.т.н.

  
П.В. Илюшин

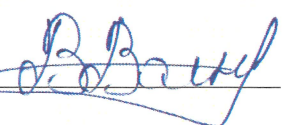
Председатель секции  
«Возобновляемая энергетика и  
гибридные энергетические  
комплексы» НП «НТС ЕЭС»,  
д.т.н., профессор

  
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