



**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/>
ИИН 7717150757

УТВЕРЖДАЮ

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

Рогалев

Н.Д. Рогалев

«20» декабря 2017 г.

ПРОТОКОЛ

заседания секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС»
по рассмотрению доклада по теме:

**«Анализ возможностей участия солнечных электростанций в
регулировании частоты и напряжения»**

11 октября 2017 года

г. Москва

Присутствовали: члены секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС», сотрудники «НИУ «МЭИ», АО «СО ЕЭС», НИЦ «Атмограф», АО «НТЦ ЕЭС (Московское отделение)», АО «Институт «Энергосетьпроект», АО «РТСофт», ООО «Авелар Солар Технолоджи», Shenzhen Hopewind Electric, ТК 016 «Электроэнергетика», всего 17 чел.

С вступительным словом выступил председатель секции «Распределенные источники энергии», Проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н. Илюшин П.В.

Во вступительном слове отмечен интенсивный рост вводов в России и мире энергообъектов на базе возобновляемых источников энергии (далее – объекты ВИЭ) с использованием как ветроэнергетических установок, так и солнечных фотоэлектрических систем. Соответственно, особого внимания заслуживают вопросы, связанные с наличием возможности регулирования указанными объектами ВИЭ режимных параметров и поддержания параметров качества электроэнергии в электрической сети. Данные аспекты являются актуальными как для энергорайонов со слабыми связями и изолированных энергосистем, так и для единой энергетической системы в целом.

Еще одним из проблемных вопросов является отсутствие утвержденных технических требований к генерирующими установкам на базе ВИЭ, а также к работе объектов возобновляемой энергетики в составе, как единой энергетической системы, так и в изолированных энергосистемах, которые были бы закреплены в национальных стандартах или отраслевых нормативно-технических документах.

В связи с этим в настоящее время важным является анализ международного опыта в области эксплуатации объектов ВИЭ в энергорайонах со значительной долей генерации от подобных энергообъектов, возможности регулирования ими режимных параметров и поддержания параметров качества электроэнергии в соответствии с требованиями межгосударственного стандарта ГОСТ 32144-2013 «Электрическая энергия. Совместимость технических средств электромагнитная. Нормы качества электрической энергии в системах электроснабжения общего назначения».

С докладом «Анализ возможностей участия солнечных электростанций в регулировании частоты и напряжения» выступил Начальник управления эксплуатации солнечных электростанций ООО «Авелар Солар Технолоджи», Сейт Р.И.

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

1. Рассмотрен состав оборудования солнечной электростанции (далее – СЭС), структура и состав инверторной станции, технические характеристики инвертора напряжения.

2. Отмечено, что преобразование постоянного напряжения в переменное выполняется по синусоидальному закону с помощью широтно-импульсной модуляции. Частота модуляции находится в пределах 3000 Гц.

3. Рассмотрены следующие функции, используемые в нормальных режимах работы СЭС:

- компенсация реактивной мощности по функции $Q(U)$;
- компенсация реактивной мощности по функции $\cos\phi(P)$;
- регулирование активной мощности при изменении частоты электрической сети $P(f)$;
- ограничение активной мощности вследствие повышения напряжения $P(U)$ на выводах;
- ограничение скорости набора активной мощности.

4. Отмечено, что компенсация реактивной мощности в режиме $Q(U)$ предполагает конфигурирование функции реактивной мощности от напряжения электрической сети. Для возможности автоматического контроля компенсации реактивной мощности, с учетом величины текущей активной мощности, задаются уставки, при которых функция $Q(U)$ включается и отключается. Использование порогов включения по активной мощности функции $Q(U)$ используется для получения необходимого значения $\cos\phi$ в точке присоединения СЭС к электрической сети.

5. Отмечено, что компенсация реактивной мощности в режиме $\cos\phi(P)$ является альтернативой функции $Q(U)$. Для данного режима задаются точки активной мощности и соответствующий $\cos\phi$. Также имеется возможность контроля напряжения электрической сети для случаев влияния изменения $\cos\phi$ на напряжение в точке присоединения СЭС к электрической сети, что дает возможность находиться в допустимом для нагрузки диапазоне напряжений.

6. Рассмотрена функция регулирования активной мощности при изменении частоты сети $P(f)$.

7. Рассмотрены функции, применяемые при ненормальных режимах работы внешней, по отношению к СЭС, сети:

7.1. Функция подхвата при низком и высоком напряжении (LVRT – low voltage ride-through; HVRT – high voltage ride-through). При изменении напряжения в точке присоединения СЭС к сети в заданном диапазоне, инвертор остается в работе и продолжает генерировать электроэнергию, выдавая ее в прилегающую сеть. Данная функция особенно актуальная для аварийных и послеаварийных режимов, когда необходимо обеспечить достаточную скорость восстановления напряжения на шинах ответственных электроприемников, не допуская нарушения устойчивости двигательной нагрузки.

7.2. Функция подхвата при низкой и высокой частоте (FRT – Frequency Ride Through). Данная функция по принципу действия схожа с функцией подхвата при низком и высоком напряжении, только параметром, на который реагирует автоматика, является частота в электрической сети. Данная функция особенно актуальная для аварийных и послеаварийных режимов, когда необходимо обеспечить поддержание частоты в допустимом диапазоне, не допустив срабатывания устройств автоматической частотной разгрузки (АЧР), действующих на отключение электроприемников потребителей при снижении частоты, или срабатывания технологических защит машин и механизмов, действующих на отключение при повышении частоты.

7.3. Поддержка системы реактивной мощностью при работе функции LVRT/HVRT. Работа данной функции заключается в выдаче реактивной мощности при снижении напряжения в электрической сети и потреблении реактивной мощности при повышении напряжения в сети. Для максимальной загрузки инверторного оборудования реактивной мощностью, режим поддержки сопровождается мгновенным снижением генерируемой активной мощности и набором реактивной до заданного характеристикой уровня. Данная функция особенно актуальна, когда в сети находится значительное количество электроприемников, особенно критичных к уровням напряжения на выводах, например асинхронные двигатели в технологических системах промышленных предприятий. Разгрузка СЭС по активной мощности и загрузка по реактивной мощности обеспечивает поддержание напряжения на допустимом уровне и нормальное функционирование АД в энергорайоне, не допуская их опрокидывания и отключения защитами минимального напряжения (ЗМН).

7.4. Плавное увеличение активной мощности при отключении инвертора и повторном его включении. Данная функция необходима для исключения флюктуаций частоты в послеаварийном режиме работы. Для ее реализации имеется возможность задать уставку по нарастанию активной мощности от 0% до P_{max} . Также задается минимальная активная мощность, при которой активируется функция ее плавного увеличения. В некоторых случаях при плавном увеличении мощности напряжение звена постоянного тока может превысить максимальное значение, для этого задается максимальное напряжение постоянного тока, при котором функция может быть активна.

8. Отмечено, что при повышении частоты более, чем 50,2 Гц активная мощность должна снижаться с градиентом 40% от текущей активной мощности на 1 Гц, при достижении частоты 51,5 Гц должно произойти отключение генерирующей единицы СЭС от электрической сети.

9. Рассмотрен пример выделения СЭС на изолированную работу. Отмечено, что изолированный режим работы сопровождался флюктуациями частоты, которые коррелируют с включением и отключением инверторного оборудования, что является подтверждением влияния СЭС на электроэнергетические режимы в аварийных ситуациях.

10. Проведен анализ зарубежных требований к работе солнечных фотоэлектрических систем в составе энергосистемы.

11. Отмечено, что выбор параметров интеграции СЭС в ЕЭС должен быть отражен в технических требованиях к силовому оборудованию и системам регулирования встроэнергетических установок и солнечных фотоэлектрических систем электростанций на базе ВИГ.

В обсуждении доклада и прениях выступили: Илюшин П.В. (председатель секции), Николаев В.Г. (НИЦ «Атограф»), Жуков А.В., Сафонов А.Н. (АО «СО ЕЭС»), Федоров Ю.Г. (ТК 016 «Электроэнергетика»), Наровлянский В.Г., Горожанкин П.А. (АО «Институт «Энергосетьпроект»), Ярош Д.Н., Антонов П.С. (АО «НТИ ЕЭС Московское отделение»), Крамской Ю.Г. (Shenzhen Hopewind Electric), Исамухamedов Я.Ш. (НП «НТИ ЕЭС»).

С экспертными заключениями по тематике доклада **выступили:**

Сафонов А.Н. – Начальник отдела режимной автоматики службы внедрения противоаварийной и режимной автоматики АО «СО ЕЭС».

Отметил, что дискретность считываемого сигнала по частоте в электрической сети должна составлять не более 10 мГц.

Обратил внимание, что имеется возможность задать функцию регулирования активной мощности при изменении частоты сети $P(f)$ как инкрементно, так и перманентно, при этом:

– отличительной особенностью инкрементной кривой, является наличие возможности возврата инвертора к прежнему режиму работы за установленное в настройках время после снижения активной мощности СЭС и последующего восстановления частоты в электрической сети до заданного уровня;

– отличительной особенностью перманентной кривой, является то, что мощность непрерывно балансирует в заданных диапазонах, поддерживая частоту в электрической сети.

Отметил достаточную трудоемкость при проведении сбора и верификации характеристик инверторного оборудования СЭС.

Наровлянский В.Г. – Начальник департамента методов и средств управления АО «Институт «Энергосетьпроект».

Обратил внимание на важность проведения исследований в области способов измерения параметра частоты в точке присоединения СЭС к электрической сети для задания корректных настроек инверторного оборудования и обеспечения устойчивой работы СЭС при кратковременных переходных процессах.

Отметил важность проведения исследований и анализа зарубежного опыта в области обеспечения устойчивости энергосистемы при больших объемах генерации от объектов ВИЭ.

Антонов П.С. – Начальник отдела развития электроэнергетических систем АО «НТЦ ЕЭС (Московское отделение)».

Обратил внимание, что при росте мощности и количества инверторного оборудования СЭС, а также использовании инверторов разной мощности, целесообразно рассмотреть возможность применения центрального контроллера управления инверторным оборудованием при работе СЭС в нормальном режиме.

Отметил, что при переходных процессах целесообразно применение локальной системы управления инверторным оборудованием.

Обратил внимание, что минимальная частота электрической сети, при которой СЭС остаются в работе определяется полосой пропускания частотных фильтров и составляет около 42 Гц.

Илюшин П.В. – председатель секции, Проректор по научной работе ФГАОУ ДПО «ПЭИПК», к.т.н.

Обратил внимание, что для определения достоверных фактических внешних характеристик инверторного оборудования СЭС, необходимо провести исследование при выделении СЭС на работу в изолированном энергорайоне.

Отметил, что отечественные СЭС должны обеспечивать возможность реализации команд по абсолютному ограничению выдаваемой мощности и относительному ограничению выдаваемой мощности (с целью обеспечения «горячего» резерва), предусмотренные международными стандартами, в которых также содержатся требования к скорости набора и сброса нагрузки.

Обратил внимание, что за рубежом уставки технологических защит инверторного оборудования по частоте выставляются согласно сетевым стандартам при значении 47 Гц, однако реальные возможности работы инверторного оборудования при снижении частоты гораздо шире.

Федоров Ю.Г. – ответственный секретарь Технического комитета 016 «Электроэнергетика», председатель секции «Стандартизация в электроэнергетике» НП «НТС ЕЭС».

Обратил внимание, что Международная электротехническая комиссия (далее – МЭК) ведет активную деятельность по разработке международных

стандартов, определяющих технические требования как непосредственно к солнечным фотоэлектрическим системам, так и к их присоединению к электрическим сетям.

Отметил важность и необходимость непосредственного участия отечественных экспертов в рабочих группах Технических комитетов МЭК, разрабатывающих стандарты по вопросам интеграции СЭС в энергосистему.

Заслушав выступления и мнения экспертов по результатам дискуссии **заседание секции «Распределенные источники энергии» отмечает:**

1. В нормальном режиме работы СЭС для регулирования параметров электрической сети имеется возможность применять следующие функции:

- компенсация реактивной мощности по функции $Q(U)$;
- компенсация реактивной мощности по функции $\cos\phi(P)$;
- регулирование активной мощности при изменении частоты электрической сети $P(f)$;
- ограничение активной мощности вследствие повышения напряжения $P(U)$ на выводах;
- ограничение скорости набора активной мощности.

2. В отечественной энергетике отсутствуют стандарты, в которых содержатся требования к параметрам оборудования СЭС, интеграции и функционированию СЭС в изолированных энергорайонах и в составе ЕЭС.

3. Необходимо проведение дальнейших исследований для получения достоверных фактических внешних характеристик инверторного оборудования СЭС, например, при выделении СЭС на питание нагрузки в изолированном энергорайоне.

4. Важность и необходимость непосредственного участия отечественных экспертов в рабочих группах Технических комитетов МЭК по развитию стандартизации в области объектов ВИЭ.

Заседание секции «Распределенные источники энергии» решило:

1. Положительно оценить опыт ООО «Авелар Солар Технолоджи» в области эксплуатации СЭС.

2. Рекомендовать ООО «Авелар Солар Технолоджи» продолжить исследования в области анализа возможностей регулирования СЭС параметров режимов энергетической системы.

3. Сформировать и рассмотреть на одном из последующих заседаний секции «Распределенные источники энергии» НП «НТС ЕЭС» требования к параметрам настройки и алгоритмам работы инверторного оборудования, а также работе СЭС в изолированных энергорайонах и в составе ЕЭС.

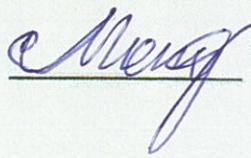
4. Рекомендовать подкомитету ПК-5 «Распределенная генерация (включая ВИЭ)» ТК 016 «Электроэнергетика» Росстандарта использовать в работе над национальными стандартами, международный опыт стандартизации в области объектов ВИЭ, имеющийся в МЭК/ТК8 «Системные аспекты электроснабжения» и МЭК/ТК 82 «Солнечные фотоэлектрические энергосистемы».

5. Рекомендовать экспертам в области ВИЭ учитывать в работе новые документы МЭК: по вопросам присоединения, управления и планирования работы объектов ВИЭ в распределительных электрических сетях – публикацию IEC TS 62786:2017; по вопросам перспективного развития ВИЭ – серию публикаций IEC 62786 совместной рабочей группы двух МЭК/ТК – ТК8 и ТК82.

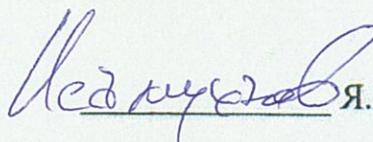
6. Рекомендовать ООО «Авелар Солар Технолоджи» делегировать эксперта для участия в работе Технических комитетов МЭК по стандартизации в области солнечных электростанций в составе группы экспертов от Российской Федерации, по согласованию с секретариатом ТК 016 «Электроэнергетика» Росстандарта.

С заключительным словом выступил председатель секции «Распределенные источники энергии», к.т.н. Илюшин П.В.

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

 В.В. Молодюк

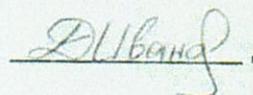
Ученый секретарь Научно-технической
коллегии, к.т.н.

 Я.Ш. Исамухамедов

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

 П.В. Илюшин

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

 Д.А. Ивановский