



**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

УТВЕРЖДАЮ

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

Н.Д. Рогалев

«30» декабря 2020 г.

ПРОТОКОЛ № 7

заседания секции «Активные системы распределения электроэнергии и
распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» для рассмотрения
доклада по теме: **«Опыт работы Энергомашиностроительного
Конструкторского Бюро по созданию и эксплуатации оборудования для
объектов распределенной генерации»**

15 декабря 2020 года

г. Москва

Присутствовали: члены секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», сотрудники НП «НТС ЕЭС», ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», АО «НТЦ ФСК ЕЭС», ООО «Компания ДЭП», НИК Сб РНК СИГРЭ, ФГБУН «ИИЭИ РАН», ООО «Интеллектуальная энергия», ФГБОУ ВО «Новосибирский ГТУ», АО «Техническая инспекция ЕЭС», АО «Русатом Автоматизированные системы управления», ООО Калининградский инновационный центр «Техноценоз», ООО «Энергомашиностроительное Конструкторское Бюро», всего **36** 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 развитие распределенной энергетики (РЭ) невозможно без проведения научно-технических разработок и внедрения современных технологий на реальных объектах. Несмотря на то, что большая часть применяемого в настоящее время оборудования и технологий на объектах РЭ зарубежного производства, в России имеются компании, занимающиеся разработкой и производством инновационного электротехнического оборудования, а также поставками его за рубеж.

Одним из перспективных направлений в области распределенной энергетики является развитие малой гидроэнергетики, так как Россия обладает достаточным объемом гидроресурсов, создавая все условия для интеграции малых ГЭС в ЕЭС России в зоне централизованного электроснабжения, а также в изолированные энергосистемы и сети внутреннего электроснабжения удаленных потребителей.

Кроме того, разработка российских технических решений и их воплощение в оборудование для использования на объектах РЭ создает благоприятные условия для развития отечественной науки, так как позволяет ученым из прикладных областей науки участвовать в решении проблемных технических вопросов, возникающих в процессе эксплуатации данного оборудования.

С докладом «**Опыт работы Энергомашиностроительного Конструкторского Бюро по созданию и эксплуатации оборудования для объектов распределенной генерации**» выступил Ашрапов Далер Фархатович – начальник отдела Силовой электроники ООО «Энергомашиностроительное Конструкторское Бюро».

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

Основным профилем «Энергомашиностроительного Конструкторского Бюро» (ЭКБ) является создание электромеханических систем, включающих силовые электронные преобразователи, микропроцессорные системы управления и индукторные электрические машины для их использования в составе генерирующих систем электростанций (гидро, ветро, солнечных), приводах различного назначения, в том числе тяговых транспортных.

За последние годы сконструировано и введено в эксплуатацию оборудование для малых ГЭС целого ряда стран ближнего и дальнего зарубежья суммарной мощностью в несколько десятков мегаватт. Оборудование включает в себя гидротурбины, генераторы, силовые электронные преобразователи, системы автоматизированного управления, удалённые диспетчерские центры для управления каскадами малых ГЭС. Предприятие осуществляет полный цикл поставки оборудования:

- разработка конструкторской документации;
- изготовление комплекта оборудования, которое производится под авторским надзором сотрудников ООО «ЭКБ», с использованием производственных мощностей ряда подрядчиков, как российских, так и зарубежных;
- монтаж готового оборудования на объекте;
- ввод объекта в эксплуатацию и последующее его сервисное

сопровождение.

Имея в штате команду высококвалифицированных инженеров и конструкторов, обладающих уникальным профессиональным опытом, основу текущей деятельности ООО «ЭКБ» составляют работы по разработке схем, конструкций, технологий для решения инновационных, научно-исследовательских и опытно-конструкторских задач в областях энергетики: возобновляемые источники энергии (ВИЭ) – гидро, ветро, солнечные, электрогенерация, транспортные двигатели (газотурбинные установки, вентильные генераторные установки). ООО «ЭКБ» принимает активное участие в реализации государственных программ НИОКР.

Преимущественных результатов в области гидроэнергетики ООО «ЭКБ» достигло благодаря собственным инновационным разработкам применительно к генераторным системам (генераторные установки с переменной частотой вращения) и системам управления гидроагрегатом (включая микропроцессорные системы управления).

Современные достижения в области исследований, разработок и технологии производства электромеханических устройств, а также систем передачи распределения электроэнергии до потребителя предопределяют новые решения по организации энергетических систем.

Наряду с другими системами и устройствами энергосистем, создание генераторов, адаптирующихся к изменяемым условиям по нагрузке и источнику энергии, среди которых и генераторы с переменной частотой вращения, получает все большее развитие. Из них в области гидроэнергетического оборудования, наиболее актуальные задачи и цели, которые могут быть достигнуты в ближайшей перспективе следующие:

- повышение выработки электрической энергии агрегатами ГЭС при сохранении существующих типов и конструкций гидротурбин за счет повышения их КПД во всем регулировочном диапазоне;

- расширение регулировочного мощностного диапазона гидроагрегатов. Это наиболее эффективно в агрегатах на базе гидротурбин с жестко закрепленными лопастями (радиально-осевые и пропеллерные). Данная проблема также решается за счет применения генерирующих систем с переменной частотой вращения;

- обеспечение более высоких показателей качества регулирования устойчивости энергосистем со стороны гидроэлектростанций для современных (на переменном токе) и перспективных (гибридных на постоянном и переменном токе) систем распределения электроэнергии;

- повышение унификации и серийности. Применение переменной частоты вращения позволит сократить номенклатуру, типоразмер гидротурбин за счет

расширения их диапазона функционирования по напору и расходу. В ряде случаев возможно существенное упрощение конструкций механических регуляторов турбин. Ожидаемый результат – повышение серийности, унификации, снижение стоимости гидротурбинного оборудования за счет серийности, в особенности это важно для малых ГЭС.

- устранение кавитационных ограничений номинальной мощности турбин; отстройка от резонансных явлений и снижение вибрационных нагрузок на агрегат при изменяющихся условиях функционирования;
- повышение показателей аппаратной надежности гидроагрегатов.

Агрегаты с переменной частотой вращения, разрабатываемые ЭКБ, выполнены по схеме с использованием синхронного индукторного генератора, включенного в сеть через вставку постоянного тока. Таким образом, частота вращения турбины (двигателя или иного привода) не влияет на частоту отдаваемого в энергосистему тока, формируемого преобразователем напряжения.

Индукторный генератор – компактная и эффективная электрическая машина. Индукторный генератор обладает рядом существенных преимуществ для использования в качестве источника электроэнергии совместно с вентильными полупроводниковыми преобразователями:

- многофазность и высокая частота напряжения на выходе генератора обеспечивают низкие пульсации выпрямленного напряжения;
- низкие токи короткого замыкания обеспечивают безопасность эксплуатации и снижение рисков повреждения оборудования при коротких замыканиях;
- наличие регулируемой обмотки возбуждения на статоре обеспечивает возможность поддержания напряжения на шине постоянного тока в заданном диапазоне, а также возможность параллельной работы машин на общую шину постоянного тока;
- отсутствие обмоток на роторе генератора обеспечивает высокие динамические характеристики и устойчивость к высоким частотам вращения;
- конструктивная простота и технологичность обеспечивают простоту внедрения на производстве.

Силовые преобразователи и системы управления силовыми преобразователями, разрабатываемые и поставляемые ЭКБ, обеспечивают:

- формирование шины постоянного тока;
- питание обмотки возбуждения постоянным током и регулирование тока возбуждения для поддержания заданного напряжения на шине постоянного тока;
- преобразование напряжения шины постоянного тока в переменное

напряжение с регулируемой частотой, фазой, амплитудой, для обеспечения выдачи требуемой мощности в сеть, либо питания изолированного потребителя;

- электрические защиты генератора, инвертора;
- синхронизацию с сетью и автоматический переход к режиму питания изолированной сети при отключении связи с энергосистемой;
- автоматическое управление источником и параметрами выдаваемой мощности при работе на сеть, в составе группы источников либо на изолированного потребителя.

Системы управления и диспетчеризации объектов генерации, разрабатываемые и поставляемые ЭКБ, обеспечивают управление технологическими системами, технологические защиты, выполнение алгоритмов и последовательностей пуска, останова, регулирования агрегатов, архивирование и отображение информации, удаленное управление объектом.

Опыт внедрения агрегатов с переменной частотой вращения показывает существенные преимущества таких машин в проектах с изменяющимися условиями функционирования, источников, обеспечивающих питание изолированного потребителя, либо работающих в «слабых сетях» с источниками сравнимой мощности.

Одним из проектов реализованных ЭКБ является проект малой ГЭС Миту в Колумбии, введенный в эксплуатацию в 2013 году. Малая ГЭС обеспечивает питание в изолированном регионе совместно с дизель-генераторными установками или самостоятельно на изолированного потребителя. За счет использования агрегатов с переменной частотой вращения были достигнуты следующие результаты:

- снижение массо-габаритных параметров оборудования более чем в 3 раза по сравнению с классическим решением на базе синхронных гидрогенераторов за счёт применения мультипликатора и генератора со скоростью вращения до 4500 об/мин, что позволяет уменьшить габариты здания, стоимость оборудования и затраты на логистику;
- увеличение эффективности турбины при изменении расхода/напора за счёт применения переменной частоты вращения позволяет увеличить среднегодовую выработку на десятки процентов по сравнению с классическими турбинами;
- упрощение органов регулирования – зафиксированный направляющий аппарат и лопасти рабочего колеса;
- отсутствие временных ограничений на работу генератора на угловых скоростях;
- отсутствие необходимости применения маховиков и массивных роторов для обеспечения качества электроэнергии и устойчивости функционирования

агрегатов в «слабой сети»;

- отсутствие гидравлической станции высокого давления сокращает эксплуатационные издержки;
- возможность работы в широком диапазоне напоров (от 1,3 до 3,2 метров);
- возможность удалённого контроля и диагностики оборудования;
- отсутствие негативного влияния на окружающую среду (отсутствуют протечки масла в русло реки);
- возможность эксплуатации малой ГЭС без постоянного оперативного персонала.

На базе существующих решений ЭКБ разрабатывает новые системы генерации и распределения электроэнергии с объединением источников по шинам или линиям постоянного либо переменного тока.

Особенности индукторного генератора позволяют построить локальную сеть распределения энергии на базе линий постоянного тока среднего напряжения без использования повышающих трансформаторов, с выдачей мощности на переменном токе в точках подключения потребителя или сети переменного тока.

Сети переменного тока, построенные на базе индукторных генераторов и силовых преобразователей, обладают существенно более высоким быстродействием при регулировании параметров отдаваемой мощности и обеспечивают простоту создания локальных систем энергоснабжения при помощи таких источников.

Агрегаты с переменной частотой вращения позволяют добиться качественно более эффективных решений при построении систем распределенной генерации.

Применение агрегатов с переменной (регулируемой) частотой вращения позволяет повысить эффективность генерирующих установок в изменяемых условиях функционирования – при изменениях нагрузки, внешних условий (гидрологических, температуры воздуха и др.).

Использование вставки постоянного тока и электронного управления выдачей мощности через преобразователь обеспечивает упрощение органов регулирования и снижение требований к скорости регулирования первичного источника, упрощает конструкцию агрегатов и повышает надежность механических систем.

Высокая скорость регулирования отдаваемой мощности обеспечивает высокую устойчивость функционирования агрегатов с переменной частотой вращения в сети и возможность применения их в «слабых» и изолированных сетях, а также в составе комбинированных источников без ограничений.

Агрегаты с переменной частотой вращения способны выполнять широкий спектр системных задач – компенсация реактивной мощности, автоматический подхват сети при кратковременных отключениях, способны выполнять роль интеллектуальных источников энергии в современных энергетических проектах.

В обсуждении доклада и прениях выступили: Илюшин П.В. (председатель секции), Гусев Ю.П. (ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ»), Горожанкин П.А. (ООО «Компания ДЭП»), Папков Б.В. (НГИЭУ), Грибков С.В. (Комитет ВИЭ РосСНИО), Щепетков С.К. (АО «Техническая инспекция ЕЭС»).

Гусев Ю.П. – Заведующий кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВО «НИУ МЭИ», к.т.н., доцент.

Отметил, что элементная база, которая входит в состав электротехнического оборудования на основе силовой электроники, зарубежного производства. Это связано с тем, что среди отечественных аналогов отсутствуют комплектующие необходимой мощности с требуемыми показателями надежности.

Обратил внимание, что отказы в работе оборудования на основе силовой электроники в условиях умеренного климата происходят, как правило, не связанны с элементной базой, а с устройствами микроэлектронных систем управления. Однако в условиях влажного климата также могут иметь место и отказы элементной базы.

Отметил, что в процессе строительства малых ГЭС электроснабжение собственных нужд строительной площадки может быть организовано как по временной схеме, при наличии питающей электрической сети, так и с помощью дизель-генераторных установок.

Горожанкин П.А. – Главный эксперт ООО «Компания ДЭП», к.т.н.

Обратил внимание, что в электрических сетях постоянного тока существующим проблемным техническим вопросом является отсутствие коммутационных аппаратов, способных отключать большие токи короткого замыкания.

Отметил, что в случае отказа инверторного оборудования гидрогенератор развозбуждается управляемой обмоткой возбуждения, переставая вырабатывать мощность. Время гашения поля в генераторе составляет не более 0,1 с.

Щепетков С.К. – Советник Генерального директора АО «Техническая инспекция ЕЭС».

Обратил внимание, что при коротких замыканиях мощность, выдаваемая

генератором при работе с инверторным оборудованием, ограничивается уставкой защиты инвертора, которая, как правило, не превышает 1,2 – 1,3 номинальной величины, с учетом допустимой перегрузочной способности. Поэтому момент на валу генератора не превысит номинального значения.

Отметил, что усталость в генерирующем оборудовании от циклических нагрузок имеет место быть, но данные проблемы более характерны для газопоршневых агрегатов. В агрегатах с переменной частотой вращения, например, гидрогенераторах, пульсирующий циклический момент отсутствует.

Илюшин П.В. – Председатель секции «АСРЭиРЭР», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н.

Обратил внимание, что в перспективе имеется возможность изготовления гидрогенераторов для малых ГЭС, выдающих мощность в распределительную сеть напряжением 6 – 35 кВ.

Отметил, что индукторные гидрогенераторы концептуально не отличаются от синхронных машин и в настоящее время в ООО «ЭКБ» были проведены оценочные расчеты, подтверждающие возможность использования данной технологии для создания генераторов единичной мощностью более 100 МВт.

Обратил внимание, что напряжение 60 кВ является нестандартным для отечественной электроэнергетики, что может потребовать дополнительных затрат на изготовление нетипового трансформаторного оборудования.

Заслушав выступления и мнения экспертов по результатам дискуссии, заседание секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» отмечает:

1. Применение агрегатов с переменной (регулируемой) частотой вращения позволяет повысить эффективность генерирующих установок в изменяемых условиях функционирования – при изменениях нагрузки, внешних условий (гидрологических, температуры воздуха и др.).

2. Использование вставки постоянного тока и электронного управления выдачей мощности через преобразователь обеспечивает упрощение органов регулирования и снижение требований к скорости регулирования первичного источника, упрощает конструкцию агрегатов и повышает надежность механических систем.

3. Высокая скорость регулирования отдаваемой мощности обеспечивает высокую устойчивость функционирования агрегатов с переменной частотой вращения в сети и возможность применения их в «слабых» и изолированных сетях, а также в составе комбинированных источников без ограничений.

4. Агрегаты с переменной частотой вращения способны выполнять широкий спектр системных задач – компенсация реактивной мощности, автоматический подхват сети при кратковременных отключениях, способны выполнять роль интеллектуальных источников энергии в современных энергетических проектах.

Заседание секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» решило:

1. Положительно оценить работу авторского коллектива ООО «ЭКБ» в области создания электромеханических систем, включающих силовые электронные преобразователи, микропроцессорные системы управления и индукторные электрические машины, для использования в составе генерирующих систем.

2. Рекомендовать руководителям и специалистам электроэнергетических компаний России ознакомиться с разработками ООО «ЭКБ» в области создания электромеханических систем, а также опытом эксплуатации установленного оборудования на действующих объектах в различных странах мира.

3. Рекомендовать собственникам объектов распределенной энергетики рассмотреть возможность применения на планируемых к строительству объектах генерирующих установок с переменной (регулируемой) частотой вращения, с целью повышения эффективности их функционирования при изменениях нагрузки и внешних условий.

4. Рекомендовать проектным организациям, занятым в проектировании объектов распределенной энергетики, рассмотреть возможность применения в выполняемых проектах генерирующих установок, интегрируемых в сеть через вставки постоянного тока, обеспечивающих гибкое управления выдачей мощности в различных схемно-режимных ситуациях.

5. Рекомендовать к применению вышеуказанные генерирующие установки в сетях со слабыми связями, изолированных энергорайонах, а также в составе гибридных энергетических комплексов, учитывая их очевидные преимущества.

6. Рекомендовать к использованию генерирующие установки с переменной частотой вращения для решения задач компенсации реактивной мощности, а также для автоматического подхвата сети при кратковременных отключениях параметров режима.

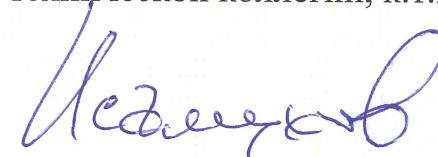
С заключительным словом выступил председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических

систем и распределенной энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН», д.т.н. Илюшин П.В. в котором отметил, что важным аспектом является подготовка научно-технических публикаций по материалам, представленным в докладе, с целью ознакомления профессионального энергетического сообщества с результатами проделанной ООО «ЭКБ» работы. Целесообразно организовать тесное взаимодействие представителей ООО «ЭКБ» с проблемными рабочими группами, действующими в рамках Национального исследовательского комитета С6 РНК СИГРЭ, которые занимаются вопросами разработки устройств релейной защиты и автоматики, в том числе для сетей постоянного тока, а также вопросами создания гибридных энергетических комплексов на основе распределенных энергетических ресурсов. Одним из перспективных направлений развития ООО «ЭКБ» может стать взаимодействие с организациями, занимающимися восстановлением малых ГЭС в России.

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

 В.В. Молодюк

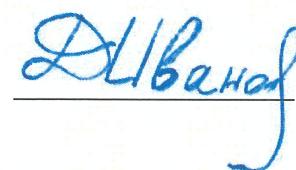
Ученый секретарь Научно-
технической коллегии, к.т.н.

 Я.Ш. Исамухамедов

Председатель секции «Активные
системы распределения ЭЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС», д.т.н.

 П.В. Илюшин

Ученый секретарь секции «Активные
системы распределения ЭЭ и РЭР»
НП «НТС ЕЭС»

 Д.А. Ивановский