



Некоммерческое партнерство  
«НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ СОВЕТ  
Единой энергетической системы»



Основана в 1724 году

Российская академия наук  
Научный совет РАН  
по системным исследованиям в энергетике



Исполнительный комитет  
Электроэнергетического совета СНГ

## Обзор трендов развития и опыта использования распределённых энергетических ресурсов по состоянию на 2022 г.

2 ноября 2022 г. прошло совместное заседание Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС», секций «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» и «Малая и нетрадиционная энергетика» НП «НТС ЕЭС», секций по проблемам НТП в энергетике и по проблемам надёжности и безопасности больших систем в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике на тему «**Обзор трендов развития и опыта использования распределённых энергетических ресурсов по состоянию на 2022 г.**».

Заседание подготовлено секцией «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» (председатель Секции доктор техн. наук **П. В. Илюшин**). В нём очно и онлайн приняли участие: члены Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС», члены секций «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» и «Малая и нетрадиционная энергетика» НП «НТС ЕЭС», секций по проблемам НТП в энергетике и по проблемам надёжности и безопасности больших систем в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике, АО «СО ЕЭС», представители ПАО «Россети», НИУ МЭИ, АО «НТЦ ФСК ЕЭС», НИК С6 РНК СИГРЭ, ИНЭИ РАН, ИСЭМ СО РАН, ИРФЭ ОНЦ СО РАН, Комитета ВИЭ

РосСНИО, Нижегородского государственного инженерно-экономического университета», ИСЭиЭПС ФИЦ Коми НЦ УрО РАН, НГТУ, ИрНИТУ, Общевойсковой академии ВС РФ, Нижегородского ГТУ им. Р. Е. Алексеева, УрФУ, «Южно-Российского государственного политехнического университета (НПИ) им. М. И. Платова, Сибирского федерального университета, Астраханского государственного университета, Севастопольского государственного университета, филиала ООО «Энерго-Юг»–«Южэнергосетьпроект», ООО НПП «ЭКРА», ООО «РТСофт-СГ», всего 107 человек.

Также онлайн в заседании приняли участие эксперты **Научно-экспертного совета ЭЭС СНГ**: РУП «БЕЛТЭИ», ИЭ НАН Беларуси, Казахская национальная компания по управлению электрическими сетями АО «KEGOC», ГПУ им. П. О. Сухого, ГПО «Белэнерго», ЗАО «НИИЭ Республики Армения».

Со вступительным словом выступил президент НП «НТС ЕЭС», доктор техн. наук, профессор **Н. Д. Роголев**. Он отметил, что деятельность CIGRE вносит значительный вклад в развитие научных направлений мировой энергетики. Сессии CIGRE позволяют научному сообществу рассматривать и обсуждать инновационные разработки и передовые идеи, которые будут в последующем внедряться в энергосистемах различных стран. Анализ и обобщение международного опыта по разным научным направлениям позволяют российским

учёным и специалистам ознакомиться с наиболее интересными и перспективными разработками, которые могут быть использованы в отечественной электроэнергетике.

На заседании представлен обзор трендов развития и опыта использования распределённых энергетических ресурсов, подготовленный на основании докладов 49-й сессии CIGRE, которая прошла в период с 28 августа по 2 сентября 2022 г. в Париже.

В 49-й сессии CIGRE приняло участие более 2300 делегатов и представителей мировых энергетических компаний, научно-исследовательских организаций, регулирующих структур, производителей оборудования и материалов для электроэнергетики, проектных институтов и высших учебных заведений из 80 стран мира, в том числе из России. В рамках пленарной сессии рассмотрены проблемы трансформации энергосистем, направления дальнейшего развития технологий и оборудования в отрасли, возможности и перспективы внедрения новых рыночных и управленческих механизмов, а также процессов управления.

С докладом «**Обзор трендов развития и опыта использования распределённых энергетических ресурсов по состоянию на 2022 год**» выступил **В. О. Самойленко**, канд. техн. наук, представитель РФ в SC C6 CIGRE, доцент кафедры «Автоматизированные электрические системы» Уральского федерального университета им. первого Президента России Б. Н. Ельцина.

Основные положения доклада, состоящего из шести разделов, представлены далее.

## Раздел 1. Накопители энергии

Представлены существующие и вводимые накопители энергии на основе литиевых аккумуляторных батарей. Накопители энергии успешно применяются в различных проектах в разных странах мира для следующих целей:

- вторичного и третичного регулирования частоты и мощности (часто в островных, территориальных энергосистемах и энергосистемах с ограниченной пропускной способностью сечений связи с другими энергообъединениями);
- поддержания баланса активной мощности в условиях неравномерной и резко переменной выработки возобновляемых источников энергии и снижения скорости набора/сброса нагрузки электростанций на углеводородном топливе;
- резервирования электроснабжения маломощных потребителей;
- поддержания напряжения в прилегающей распределительной сети.

## Раздел 2. Вопросы перспективного развития энергосистем и новых технологий

Отмечены следующие важные аспекты:

- многие страны мира переходят на практику выдачи распределённым энергоресурсам технических условий на технологическое присоединение без фиксированного значения разрешённой к выдаче мощности. Мощность определяется фактическими схемно-режимными условиями и контролируется устройствами автоматики;
- положения принятых концепций абсолютной децентрализации энергоресурсов, углубления взаимной интеграции стран, минимизации воздействия на климат и электрификации всех отраслей промышленности на практике противоречат друг другу;
- синтезируемое водородное топливо, рассматриваемое в качестве альтернативы углеводородному, требует стабильного высокоэнергетического и экологичного источника энергии для электролиза, однако такой источник не предложен ни в одном докладе;
- аналогичная проблема возникает и при массовом переводе легкового автотранспорта на электротягу в странах, в которых используется завозное топливо и отсутствуют соответствующие выбывающие мощности нефтепереработки;
- требуется снизить себестоимость систем производства и накопления водорода, которая на текущий момент в 2,5–3 раза выше, чем даже для дорогостоящих накопителей на основе литиевых аккумуляторных батарей;

- ежегодно в мире реализуется до нескольких десятков технико-экономически эффективных проектов распределительных сетей и систем электроснабжения на постоянном токе, что становится возможным благодаря интегрированному планированию энергетических ресурсов.

## Раздел 3. Регулирование напряжения в распределительных сетях и активных распределительных системах

Содержание раздела:

- бытовые сети среднего и низкого напряжения довольствуются централизованным регулированием напряжения вольтодобавочной техникой и местным, не очень точным, регулированием с помощью инверторов распределённых энергоресурсов;
- в зарубежных странах обосновывается не повышение, а снижение напряжения в соответствии со статическими характеристиками нагрузки по напряжению для экономии энергоресурсов;
- напряжение на шинах центров питания в распределительных сетях поддерживается в основном за счёт установки простой, но массовой конденсаторной техники, что оставляет потенциал для оптимизации размещения подобных источников;
- внедрение современных производительных и высокоэффективных устройств FACTS в активные распределительные системы имеет место в промышленных системах электроснабжения и железнодорожных тяговых сетях.

## Раздел 4. Информационное обеспечение балансовых и рыночных задач электроэнергетики

Основные положения:

- при работе с распределёнными энергетическими ресурсами мощностью несколько мегаватт информационное обеспечение балансовых задач должно поддерживать дискретность 1–5 мин., а для задач качества электроэнергии дискретность должна составлять 1–3 с;
- при использовании получасовых или часовых измерений SCADA/EMS погрешность расчётов на основе измеренных данных может превышать 50 %;
- важен высокоточный прогноз погоды и обеспечение метеопараметрами с высоким пространственным разрешением для прогнозирования мощности и выработки ВИЭ;
- для создания активной распределительной системы недостаточно создания объектов систем сбора и передачи информации, обязательным является развитие телекоммуникационных

систем, информационных сервисов и финансовых технологий.

## Раздел 5. Идентификация параметров схемы замещения. Определение места повреждения электрической сети

Ключевые выводы по материалам раздела:

- поскольку переходные процессы с распределёнными энергетическими ресурсами и особенно в микроэнергосистемах происходят в очень широкой части частотного спектра, а не только при частоте 50/60 Гц, при идентификации стремятся получить первичные эквивалентные параметры как  $s(0)$ ,  $L$  и  $C$ , а не вторичные как  $R$  и  $X$ ;
- распределённые энергетические ресурсы влияют на подпитку токов короткого замыкания по нетривиальным закономерностям, включая метеопараметры, долю занятых машиномест электрозаправочных станций, степень их загрузки и т. п., что требует сложного математического аппарата для определения места повреждения;
- погрешность определения места повреждения составляет около 5 % по трассе ЛЭП при использовании методов искусственного интеллекта, при использовании традиционных схемотехнических методов —кратно выше.

## Раздел 6. Обзор деятельности рабочих групп по научному направлению SC C6 CIGRE

Подготовлены к публикации две технические брошюры.

В технической брошюре C1.C6.37 рассматривается возможная процедура планирования капиталовложений в магистральные и распределительные сети в условиях неопределённости сценариев развития электрических нагрузок и распределённых энергоресурсов.

Техническая брошюра C6.36 посвящена моделированию распределённых энергетических ресурсов временными рядами квазиустановившихся режимов.

### По докладу сделаны следующие основные выводы

1. Распределённые энергетические ресурсы находятся в стадии качественного и количественного роста и развития в большинстве стран.
2. Развитие распределённых энергетических ресурсов в корне меняет технические, технико-экономические и технологические свойства электроэнергетических систем.

### В обсуждении доклада и прениях выступили

П. В. Илюшин, председатель секции «Активные системы распределения

электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС»; **К. В. Суслов**, заведующий кафедрой «Электроснабжение и электротехника» ФГБОУ ВО «ИрНИТУ», доктор техн. наук, доцент; **В. В. Елистратов**, профессор Высшей школы гидротехнического и энергетического строительства, директор научно-образовательного центра «Возобновляемые виды энергии и установки на их основе», доктор техн. наук; **Ю. П. Гусев**, профессор кафедры «Электрические станции» НИУ МЭИ, канд. техн. наук; **А. И. Федотов**, профессор кафедры «Электрические станции» ФГБОУ ВО «Казанский государственный энергетический университет», доктор техн. наук; **Ф. Л. Бык**, доцент кафедры «Автоматизированные электро-энергетические системы», ведущий научный сотрудник научно-образовательного центра «Интеллектуальная энергия» НГТУ (НЭТИ), канд. техн. наук; **Б. А. Косарев**, доцент кафедры «Электрическая техника» ОмГТУ, канд. техн. наук; **П. П. Безруких**, руководитель Комитета ВИЭ РосНИИО, доктор техн. наук, профессор; **В. Г. Николаев**, директор АНО НИЦ «Атмограф», доктор техн. наук, профессор; **А. В. Бобыль**, ведущий научный сотрудник лаборатории физико-химических свойств полупроводников Физико-технического института имени А. Ф. Иоффе РАН, доктор физ.-мат. наук, профессор; **Ю. Г. Федоров**, начальник отдела стандартизации Департамента параллельной работы и стандартизации АО «СО ЕЭС», ответственный секретарь ТК 016 «Электроэнергетика» Росстандарта.

Илюшин П. В. отметил обзорный характер доклада, отнесение доклада строго к тематике активных распределительных систем и распределённых энергоресурсов, а также необходимость адаптации международного опыта к российским условиям.

Сулов К. В. инициировал обсуждение принципа действия технических условий на технологическое присоединение без фиксированного значения разрешённой к выдаче мощности.

Елистратов В. В. задал вопросы о величине погрешности прогноза возобновляемых источников энергии и масштабах использования накопителей энергии.

Гусев Ю. П. высказал суждения о возможных режимах работы нейтральных трансформаторов в распределительных сетях и активных распределительных системах в различных странах.

Федотов А. И. задал вопросы о ресурсе накопителей энергии и стандартизации напряжения на стороне постоянного тока накопителя.

Бык Ф. Л. уточнил условия и критерии необходимости участия накопителей

энергии в регулировании частоты и напряжения в изолированных энергосистемах, высказал сомнение в детальной проработке планов по использованию водорода в современных энергетических концепциях. Он также запросил информацию об использовании проточных накопителей энергии.

Косарев Б. А. проявил интерес к наличию публикаций CIGRE об электроснабжении резкопеременной и толковой нагрузки.

Безруких П. П. отметил важность выбора моделей электрической нагрузки, используемых для моделирования нагрузки в изолированных энергосистемах.

Николаев В. Г. инициировал обсуждение степени востребованности различных видов накопителей энергии в странах мира.

Бобыль А. В. предложил обсудить особенности управления фотоэлектрическими станциями в энергосистеме CAISO, Калифорния, США.

Федоров Ю. Г. задал вопросы о стандартизации выбора мощности и ёмкости накопителей энергии для ВИЭ.

#### Совместное заседание отмечает

1. Российским субъектам электроэнергетики важно знакомиться с передовым опытом использования распределённых энергетических ресурсов и учитывать их при формировании перспективных планов развития распределённых энергетических ресурсов в нашей стране.

2. Учёт положительных и отрицательных аспектов применения распределённых энергетических ресурсов в других странах позволит избежать применения неудачных технических решений, а также адаптировать наиболее удачные решения к особенностям отечественной энергетики.

3. Необходимо предоставить желающим возможность более подробно ознакомиться со статьями и докладами, использованными докладчиком в представленном обзоре.

#### Совместное заседание решило

1. Рекомендовать докладчику продолжить исследования и разработки в данном научном направлении как индивидуальные, так и по рассматриваемой тематике.

2. Продолжить периодическое представление обзоров докладов на совместных заседаниях Научно-технической коллегии НП «НТС ЕЭС», секций «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» и «Малая и нетрадиционная энергетика НП «НТС ЕЭС», секций по проблемам НТП в энергетике и по проблемам надёжности и безопас-

ности больших систем в энергетике Научного совета РАН по системным исследованиям в энергетике.

3. Рекомендовать научному сообществу проанализировать, какие из рассмотренных тематик являются наиболее перспективными для дальнейшей проработки в области распределённых энергетических ресурсов в России, а научным руководителям аспирантов и научным консультантам докторантов – прорабатывать темы диссертационных исследований, связанных с распределёнными энергетическими ресурсами, с учётом представленного международного опыта.

**С заключительным словом** выступил доктор техн. наук **П. В. Илюшин**, председатель секции «Активные системы распределения электроэнергии и распределённые энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС», руководитель Центра интеллектуальных электроэнергетических систем и распределённой энергетики ФГБУН «Институт энергетических исследований РАН». Он отметил, что обзоры опыта использования распределённых энергетических ресурсов являются полезными как с научной, так и образовательной точек зрения. В динамике за 10 лет такие обзоры дают возможность определить направления развития науки и техники в рассматриваемой научной области. Международный опыт может быть весьма ценным при развитии территориальных и изолированных энергосистем в России.

**В. В. МОЛОДЮК**,  
Первый заместитель Председателя  
Научно-технической коллегии НП  
«НТС ЕЭС», доктор техн. наук,  
профессор; [vm@nts-ees.ru](mailto:vm@nts-ees.ru)  
**Я. Ш. ИСАМУХАМЕДОВ**,  
учёный секретарь Научно-технической  
коллегии НП «НТС ЕЭС»,  
канд. техн. наук  
**М. Г. ТЯГУНОВ**, председатель секции  
«В и НЭ» НП «НТС ЕЭС»,  
доктор техн. наук, профессор  
**П. В. ИЛЮШИН**, Председатель секции  
«АСРЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС»,  
учёный секретарь Секции по проблемам  
НТП в энергетике Научного  
совета РАН по системным исследованиям  
в энергетике, доктор техн. наук  
**Д. А. ИВАНОВСКИЙ**, учёный секретарь  
секции «Активные системы распределения  
ЭЭ и РЭР» НП «НТС ЕЭС»  
**Н. А. РУСТАМОВ**, учёный секретарь  
секции «В и НЭ» НП «НТС ЕЭС»,  
канд. физ.-мат. наук