



**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. Роголев

«18» декабря 2024 г.

**ПРОТОКОЛ № 10**

совместного заседания Секций «Гидроэлектростанции, гибридные энергетические комплексы и возобновляемые источники энергии» и «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НИ «НТС ЕЭС»

12 декабря 2024 года

г. Москва

**Присутствовали:** члены секций «Гидроэлектростанции, гибридные энергетические комплексы и возобновляемые источники энергии», «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НИ «НТС ЕЭС», ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», сотрудники НИ «НТС ЕЭС», НИК С6 РНК СИГРЭ, ФГБУН «ИНЭИ РАН», Комитет ВИЭ РосСНИО, ООО «АльтЭнергия», ПАО «РусГидро», ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», АО «Росатом возобновляемая энергия» и др., всего **45** человек.

Со вступительным словом выступил сопредседатель секции «Гидроэлектростанции, гибридные энергетические комплексы и возобновляемые источники энергии», профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», д.т.н., профессор, Тягунов М.Г.

Во вступительном слове было отмечено, что в последнее время активно развиваются научно-исследовательские центры возобновляемых источников

энергии на базе высших учебных заведений, что в будущем позволит осуществлять стендовые испытания оборудования на территории России. Один из таких учебных центров находится на кафедре «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

С докладами по теме **«Повышение надежности планирования режима работы солнечно-дизельных энергетических комплексов»** выступили Шуркалов Петр Сергеевич, к.т.н., доцент кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», Васьков Алексей Геннадьевич, к.т.н., доцент кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ».

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

1. Рассмотрены основные положения устойчивого развития устойчивого развития удаленных и труднодоступных регионов: обеспечение надежного и современного энергоснабжения, а также доступа к недорогостоящей и чистой энергии. Отмечено, что одной из проблем автономного энергоснабжения является высокая стоимость электроэнергии, что связано с топливными издержками и эксплуатацией дизельных электростанций.

2. Наибольшую эффективность от применения электроустановок на основе возобновляемых источников энергии (ВИЭ) имеет место при использовании их в разнообразном составе. Для таких целей на базе ФГБОУ «НИУ «МЭИ» был создан центр испытаний и исследований работы объектов малой распределённой энергетики с ВИЭ – ЭТК «ВИЭ».

3. Продемонстрированы основные элементы ЭТК «ВИЭ» на базе: испытательных стендов «Ветро-дизельный комплекс» (ИС «ВДК») и «Солнечно-дизельный комплекс» (ИС «СДК»); учебно-экспериментальной солнечной электростанции (СЭС); солнечной энергетической установки (СЭУ) с системой слежения за солнцем; ветровых электростанций ВЭС 1 и ВЭС 2; солнечных коллекторов; тепловых насосов; автоматического измерительного комплекса (метеостанция) и системы накопления энергии (СНЭ).

4. Испытательный стенд «Ветро-дизельный комплекс» (ИС «ВДК») состоит из: 4 ДГУ мощностью 30 кВт каждая; 2 имитаторов ВЭУ, представленных асинхронными двигателями мощностью 22 кВт каждый; имитатора ветрового потока представлен преобразователем частоты FR-F740-00470-ES мощностью 22 кВт; 2 имитаторов синхронных компенсаторов представлены синхронными генераторами мощностью 32 кВар и 62 кВар; балластной нагрузки и имитатора полезной нагрузки представляют собой единый модуль, состоящий из 38-и отдельно управляемых трубчатых электронагревателей; к имитатору полезной нагрузки также относятся 3 асинхронных двигателя мощностью 1 кВт, 3 кВт и 5,5 кВт. Имитаторы ВЭУ с асинхронными генераторами создают динамическую и контролируемую

ветровую генерацию, что позволяет отрабатывать сценарии работы ветровых установок с переменной генерацией. ИС «ВДК» позволяет изучать поведение ветро-дизельных энергокомплексов в условиях автономной работы или при слабой связи с электрической сетью, что является ключевым для удалённых регионов.

5. Испытательный стенд «Солнечно-дизельный комплекс» (ИС «СДК») состоит из: 2 ДГУ мощностью 12 кВт и 30 кВт; имитатор СЭС представлен 2-я управляемых источников постоянного тока Delta Elektronika BV SM 660-AR-11 и сетевым трёхфазным инвертором SMA Sunny Tripower STP 12000TL-20 (мощность – 12 кВА); СНЭ, представленной 3-я двунаправленными однофазными инверторами Victron Energy Quattro 48/10000/140 (мощность – 10 кВА) и кластера свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АКБ) Yellow GB 12-200 и 9 модулей суперконденсаторных «Феникс МСК-96-58». Номинальная ёмкость модуля – 96 Ф. ИС «СДК» использует двунаправленные инверторы, что позволяет оптимизировать передачу энергии и её аккумуляцию в АКБ, что позволяет изучать: монтаж фотоэлектрических систем, анализ эффективности инверторного оборудования и СНЭ.

6. Учебно-экспериментальная СЭС включает: 5 кластеров солнечных фотоэлектрических модулей (СФЭМ) разного типа: кластеры 1 и 2 включают в себя по 3 СФЭМ мощностью 320 Вт каждый, кластер 3 – 7 СФЭМ по 270 Вт, кластеры 4 и 5 – по 8 СФЭМ мощностью 200 Вт каждый. гибридный инвертор RTC Power Storage DC 6.0; гибридный инвертор SMA Sunny Island 5048; гибридный инвертор Samil Power SolarRiver 3400-TL-D; гибридный инвертор SOFAR SOLAR Sunny Dog 2200TL; кластер литий-железо-фосфатных АКБ (LiFeP04) RTC Power Battery Stack и батарейный кластер Vektor Energy VPbC 12-200. СФЭМ учебно-экспериментальной СЭС могут работать как в сетевом, так и в автономном режимах, что позволяет тестировать их работу и эффективность при различной нагрузке, что позволяет осуществлять следующие типы работ: влияние окружающих условий на энергетические показатели СЭС и прогнозирование солнечного излучения.

7. Ветровые электростанции ВЭС 1 и ВЭС 2 состоят из: ВЭС 1 (горизонтально-осевая ВЭУ WESWEN WH3.8-2KW мощностью 2 кВт и преобразователь SUN-2000GTIL2-WAL-WIFI мощностью 2 кВт) и ВЭС 2 (вертикально-осевая ВЭУ «Вертикаль-К3-1500» мощностью 1,5 кВт, двунаправленный преобразователь напряжения – выпрямитель WSCH-11S мощностью 2 кВт, двунаправленный преобразователь напряжения – инвертор МАП Sine Wave мощностью 3 кВт и батарейный кластер Vektor Energy VPbC 12-200).

8. Автоматический измерительный комплекс (метеостанция Vaisala AWS310) представляет собой систему для сбора метеорологических данных, осуществляющий автоматическое измерение, обработку и хранение параметров

погоды для профессионального использования, от метеорологических и научных исследований до синоптических наблюдений. В состав измерительного комплекса входят датчики, электроника, телеметрия, источник питания и мачта. Основные измеряемые параметры: солнечное излучение, скорость и направление ветра и температура воздуха и прочее, что позволяет изучать: влияние окружающих условий на энергетические показатели СЭС и прогнозирование солнечного излучения.

9. Рассмотрена интеллектуальная система автоматизированного управления (САУ) ЭТК «ВИЭ» интегрирована с системой мониторинга состояния оборудования, что позволяет в реальном времени отслеживать работу всех компонентов энергокомплекса, контролировать уровень заряда аккумуляторов, потребление энергии и состояние дизельных генераторов. Мониторинг позволяет оперативно реагировать на любые неисправности или изменения в системе, обеспечивая бесперебойную работу комплекса. Подсистема «Оптимизация состава и параметров солнечно-дизельного комплекса» САУ ЭТК «ВИЭ» отвечает за управление ИС «СДК». Основные функции подсистемы: Автоматизация и прогнозирование – система прогнозирует работу энергокомплекса на сутки вперёд, планируя включение ДГУ и распределение нагрузок в зависимости от метеорологических данных и прогнозов; Интеллектуальные алгоритмы оптимизации – САУ использует алгоритмы оптимизации для распределения энергии между СФЭМ, АКБ и ДГУ, что позволяет снизить расход топлива и повысить надёжность энергоснабжения. Программный комплекс, который лёг в основу подсистемы «Оптимизация состава и параметров солнечно-дизельного комплекса», осуществляет быструю и надёжную оптимизацию состава, параметров и режимов функционирования ГЭЖ в условиях эксплуатации, близких к реальным: период заблаговременности планирования режима работы СДК – 24 часа; расчётный интервал – 1 час; максимально допустимое время выполнения прогноза – не более 10 минут; планируемый эффект: прогнозное снижение удельного расхода топлива ДЭС – не менее чем на 5 %.

10. В заключении отображено, что центр испытаний и исследований работы объектов малой распределённой энергетики с возобновляемыми источниками энергии ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» представляет собой уникальную разработку, совмещающую передовые решения для интеграции ВИЭ с традиционными источниками энергии. ЭТК «ВИЭ» обеспечивает возможность проведения полномасштабных испытаний и тестирования технологий малой распределённой энергетики, что открывает перспективы для внедрения таких решений в удалённых и труднодоступных регионах, снижая их зависимость от централизованных источников энергии и улучшая экологическую обстановку.

11. Рассмотрены области применения солнечно-дизельных комплексов (СДК): в 2024 году на Дальнем востоке действует 34 СДК; предусмотрена реализация проектов модернизации дизельной генерации в 79 изолированных поселках и труднодоступных населенных пунктах Республики Саха (Якутии) и Камчатского края. Отмечены особенности реализации проектов СД: многие ДЭС требуют модернизации; стохастический характер работы СЭС и необходимость высокого уровня автоматизации. Указана классификация СДК по соотношению доли СЭС к мощности локальной энергосистемы.

12. Рассмотрены цели и задачи исследования СДК. Цель: разработка алгоритмических основ функционирования централизованной автоматизированной системы управления (АСУ) режимом работы СДК, осуществляющей в режиме реального времени выбор оптимального состава включённого генерирующего оборудования с учётом прогноза выработки электроэнергии на СЭС. Функциональные особенности: выполнение краткосрочного (на сутки вперёд с часовыми интервалами времени) прогнозирования солнечного излучения на основе метеорологического прогноза и оптимизация состава, параметров и режимов функционирования солнечно-дизельного комплекса с учётом выбора наиболее энергетически эффективного состава работающих дизель-генераторных установок.

13. Представлена локальная вычислительная сеть АСУ ТП Макета; функциональная схема АСУ ТП Макета, которая связана с базой данных для оптимизации режимов работы Макета.

14. Рассмотрена общая структура системы управления СДК: прогноз работы СДК на сутки вперед (прогноз солнечного излучения; расчёт баланса мощности; критерий — минимум эксплуатационных затрат) и выбор состава включённого генерирующего оборудования (контроль выполнения плана работы СДК; распределение мощности ДЭС между ДГУ и критерий — минимум удельного расхода топлива). Прогнозирование мощности СЭС: моделирование СИ на основе данных ТМУ; моделирование вольтамперной характеристики ФЭМ; моделирование вольтамперной характеристики батареи ФЭМ; моделирование системы преобразования постоянного тока в переменный; расчёт мощности СЭС. Прогнозирование мощности СЭС на основе метеоданных: прогноз с нормализованной среднеквадратичной ошибкой не более 18 % и горизонт прогнозирования – 36 часов, дискретность – 1 час

15. Приведены характеристики скорости заряда-разряда СНЭ используемого оборудования, что позволяет получить более точные результаты эффективности работы СДК. Также были отличия в моделировании расходных характеристик ДГУ в зависимости от применяемой модели. Установлено, что модель, регламентированная Минэнерго России, выдает наиболее приближенные результаты.

16. Рассмотрены средства проведения внутростанционной оптимизации ДЭС с указанием технических ограничений на режимы работы оборудования СДК и вид целевой функции позволяют отнести оптимизационную задачу к области смешанного целочисленного нелинейного программирования (MINLP).

17. Продемонстрированы результаты моделирования, в которых указано, что учет натуральных параметров оборудования СДК дает результаты, отличающиеся от нескольких процентов до несколько десятков процентов.

**В обсуждении доклада и прениях выступили:**

Монаков Ю.В. (ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ»), Бык Ф.Л. (ФГБОУ ВО «НГТУ (НЭТИ)»), А.В. Темеров (ООО «АльтЭнергия»), Илюшин П.В. (НП «НТС ЕЭС», ФГБУН «ИНЭИ РАН»), Безруких П.П. (Комитет ВИЭ РосСНИО), Ачитаев А.А. (ПАО «РусГидро»), Суворов А.А. (ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет»), Сигитов О.Ю. (АО «Росатом возобновляемая энергия»).

**Монаков Ю.В.** – Заведующий кафедрой «Электрические станции» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», к.т.н., доцент.

Обратил внимание на масштабность исследования. И задал следующий вопрос о том, чем обусловлено место установки ВЭУ?

**Бык Ф.Л.** – Доцент кафедры «Автоматизированные электроэнергетические системы», в.н.с. научно-образовательного центра «Интеллектуальная энергия» ФГБОУ ВО «НГТУ (НЭТИ)», к.т.н., доцент.

Отметил о необходимости дополнения балансового уравнения и учитывать режимы работы СНЭЭ.

Задал следующие вопросы:

- в чем ведении находится тепловые насосы?
- какой продолжительности формируется график нагрузки: какого временного разреза и продолжительности?
- разрабатывалась система автоматического управления или система автоматизированного управления СДК?
- в работе осуществлялось исследование макета или модели СДК?
- исследовалась надежность планирования или прогнозирования солнечной инсоляции СДК?

**Темеров А.В.** – Директор ООО «АльтЭнергия», председатель Ассоциации специалистов ВИЭ «Зеленый Килловатт», член комитета РосСНИО, академический советник РИА.

Обратил внимание на необходимость учета надежности ВЭУ в общей надежности электроснабжения.

Задал следующие вопросы:

- каким образом исследовался вопрос надежности?
- как рассматривался режим работы ТЭН в качестве нагрузки?
- рассматривался режим работы резкого сброса нагрузки, в котором СЭС оказывает негативное влияние на ДГУ?

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

Отметил обширность доклада и задал следующие вопросы:

- что из себя представляет модуль реактивной нагрузки?
- есть ли в дальнейших задачах исследование двигательной нагрузки для изолированных промышленных районов?
- использовались ли в исследовании расходные характеристики дизель-генераторных установок зарубежных заводов-изготовителей или отечественного производства?
- в каком диапазоне нагрузки исследовались расходные характеристики дизель-генераторных установок?
- учитывались ли в исследовании деградиационные процессы в аккумуляторных батареях СНЭЭ? Использовались ли они при разработке методики управления СДК?

**Безруких П.П.** – Председатель Комитета ВИЭ РосСНИО, д.т.н., профессор.

Задал следующие вопросы:

- в каком режиме находится работа ДГУ в составе СДК?
- ДГУ используется в качестве поддержки частоты в зависимости от графика нагрузки?

**Ачитаев А.А.** – Ведущий эксперт Управления развития гидроэнергетики Департамента инноваций ПАО «РусГидро», к.т.н., доцент.

Отметил необходимость продолжение исследований совместно с ПАО «РусГидро», в том числе направленных на использовании энергосервисных контрактов.

Задал следующие вопросы:

- какие типологии СДК использовали в работе для тиражирования АГЭК?
- какие протоколы передачи информации использовались в СДК?

**Суворов А.А.** – Доцент Отделения электроэнергетики и электротехники Инженерной школы энергетики ФГАОУ ВО «Национальный исследовательский Томский политехнический университет», к.т.н., доцент.

Отметил значимость доклада и задал следующие вопросы:

- почему в докладе не были представлены натурные эксперименты режимов работы СДК?
- как сейчас осуществляется существующих АГЭК?
- осуществлялось ли сравнение существующих систем управления СДК с существующими решениями АГЭК?

**Сигитов О.Ю.** – Руководитель направления отдела нормативно-технического регулирования АО «Росатом возобновляемая энергия», к.т.н.

Задал следующие вопросы:

- будут ли в дальнейшем рассматриваться другие целевые функции?
- планируется ли рассматриваться многокритериальные задачи?

Заслушав выступления экспертов по результатам дискуссии совместное заседание Секций «Гидроэлектростанции, гибридные энергетические комплексы и возобновляемые источники энергии» и «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» **отмечает:**

1. Большой объем работы, проведенной авторами при выполнении разработки.
2. Полезность привлечения студентов и магистрантов к работе, имеющей не только учебное, но и практическое значение.

Совместное заседание Секций «Гидроэлектростанции, гибридные энергетические комплексы и возобновляемые источники энергии» и «Активные системы распределения электроэнергии и распределенные энергетические ресурсы» НП «НТС ЕЭС» **решило:**

1. Одобрить работу молодежной лаборатории ИГВИЭ НИУ «МЭИ».
2. Продолжить исследования на основе информации об эксплуатации аналогичных по составу энергетических комплексов.
3. Рекомендовать распространить информацию о практических возможностях созданного на кафедре «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» НИУ «МЭИ» научно-исследовательском комплексе для привлечения внимания исследователей из других ВУЗов России с целью совместного проведения работ на представленном в докладе оборудовании.

С заключительным словом выступил сопредседатель секции «Гидроэлектростанции, гибридные энергетические комплексы и возобновляемые



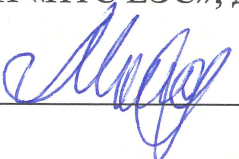
источники энергии», профессор кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ», д.т.н., профессор, Тягунов М.Г., в котором отметил, что:

1. Работа молодежной лаборатории на базе кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» основана на исследовании одной из вариаций АГЭК, что позволяет в дальнейшем использовать полученные результаты в процессе разработки нормативно-технических документов по АГЭК.

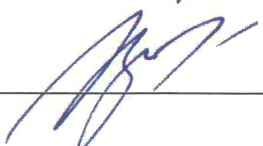
2. Полученные замечания и вопросы в рамках заседания будут учтены в дальнейшей научно-исследовательской деятельности и совместной работе с промышленными партнерами, заинтересованными в развитии АГЭК.

3. Результаты проделанной работы имеют практическое значение и внедрены в одном из СДК, находящемся в эксплуатации.

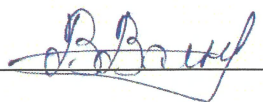
Первый заместитель Председателя  
Научно-технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», д.т.н., профессор

  
\_\_\_\_\_ В.В. Молодук

Сопредседатель секции  
«Гидроэлектростанции, гибридные  
энергетические комплексы и  
возобновляемые источники энергии»  
НП «НТС ЕЭС»,  
д.т.н., профессор

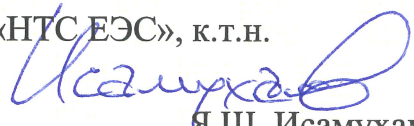
  
\_\_\_\_\_ М.Г. Тягунов

Ученый секретарь секции  
«Гидроэлектростанции, гибридные  
энергетические комплексы и  
возобновляемые источники энергии»  
НП «НТС ЕЭС»

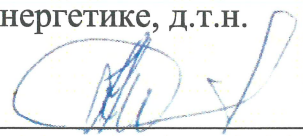
  
\_\_\_\_\_ В.С. Вольный

Ученый секретарь

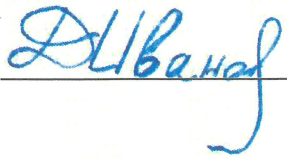
Научно-технической коллегии  
НП «НТС ЕЭС», к.т.н.

  
\_\_\_\_\_ 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

Ученый секретарь секции  
«Активные системы распределения  
электроэнергии и распределенные  
энергетические ресурсы» НП «НТС  
ЕЭС», к.т.н.

  
\_\_\_\_\_ Д.А. Ивановский