

**Федеральное государственное бюджетное образовательное  
учреждение высшего образования  
«Национальный исследовательский университет «МЭИ»**

**Институт гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии**

**Центр испытаний и исследований работы  
объектов малой распределённой энергетики  
с возобновляемыми источниками энергии**

**Шуркалов Петр Сергеевич, к.т.н.,  
доцент кафедры «Гидроэнергетики и  
возобновляемые источники энергии»**

**12.12.2024**



## Содержание:

1. Устойчивое развитие удалённых и труднодоступных регионов.
2. Центр испытаний и исследований работы объектов малой распределённой энергетики с возобновляемыми источниками энергии (ЭТК «ВИЭ»).
3. Испытательный стенд «Ветро-дизельный комплекс» (ИС «ВДК»).
4. Испытательный стенд «Солнечно-дизельный комплекс» (ИС «СДК»).
5. Учебно-экспериментальная СЭС.
6. Ветровые электростанции ВЭС 1 и ВЭС 2.
7. Автоматический измерительный комплекс ЭТК «ВИЭ».
8. Интеллектуальная система автоматизированного управления ЭТК «ВИЭ».
9. Заключение.

# Устойчивое развитие удалённых и труднодоступных регионов



Экономическое и социальное развитие общества включает многие цели, среди которых:

- ❖ обеспечение надёжного и современного энергоснабжения;
- ❖ обеспечение доступа к недорогостоящей и чистой энергии.

Особенно важным в современных условиях видится развитие удалённых и труднодоступных регионов Российской Федерации, где находится огромное количество изолированных энергетических объектов, чаще всего работающих от дизельных электростанций (ДЭС).

Одной из ключевых проблем автономного энергоснабжения в таких регионах является высокая стоимость электроэнергии, что связано с топливными издержками и эксплуатацией ДЭС.

# Устойчивое развитие удалённых и труднодоступных регионов



Ветро- и солнечно-дизельные энергетические комплексы являются гибридным решением, способным снизить затраты на энергию за счёт возобновляемых источников энергии (ВИЭ).

Однако управление такими комплексами является сложной задачей, т.к. необходимо учитывать:

- ❖ высокую изменчивость скорости ветра и его направления;
- ❖ изменчивость прихода солнечного излучения;
- ❖ неопределённость выработки энергоустановок возобновляемой энергетики.

В связи с этим разработка систем автоматического управления (САУ) гибридными энергетическими комплексами (ГЭК) на основе ВИЭ приобретает особую важность.

# Центр испытаний и исследований работы объектов малой распределённой энергетики с возобновляемыми источниками энергии



Центр испытаний и исследований работы объектов малой распределённой энергетики с возобновляемыми источниками энергии (далее - ЭТК «ВИЭ») представляет собой уникальную исследовательскую и испытательную платформу, разработанную для анализа состояний отдельных элементов и оптимизации состава и параметров ГЭК на основе ВИЭ.

**Цель ЭТК «ВИЭ»** - разработка технологий малой распределённой энергетики для удалённых и слаборазвитых территорий, что требует интеграции различных источников энергии - возобновляемых и традиционных.

Это даёт возможность проведения испытаний различных конфигураций гибридных энергосистем в реальных условиях, обеспечивая уникальные возможности для инноваций в энергетике.

# Основные элементы ЭТК «ВИЭ»

- ❖ Испытательный стенд «Ветро-дизельный комплекс» (ИС «ВДК»).
- ❖ Испытательный стенд «Солнечно-дизельный комплекс» (ИС «СДК»).
- ❖ Учебно-экспериментальная солнечная электростанция (СЭС).
- ❖ Солнечная энергетическая установка (СЭУ) с системой слежения за Солнцем.
- ❖ Ветровые электростанции ВЭС 1 и ВЭС 2.
- ❖ Солнечные коллекторы.



- ❖ Тепловые насосы.
- ❖ Автоматический измерительный комплекс (метеостанция).
- ❖ Система накопления энергии (СНЭ).



# Функциональная схема ЭТК «ВИЭ»



## Статистика

Сводка о работе объектов

- Макет ВДК
- Макет СДК
- ВЭУ (гор. осевая)
- ВЭУ (верт. осевая)
- СЭС-1
- СЭС-2
- СЭС-3
- СЭС-4
- Геотермальная станция
- Система накопления энергии 1
- Система накопления энергии 2
- Метеостанция
- RTDS

## Сервисы

Данные о внешних сервисах

- Сервис прогноза погоды
- Среда обмена данными
- Сервис запроса тарифов

## Частоты АС-сети

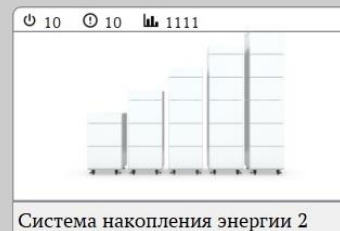
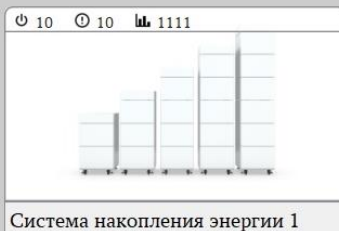
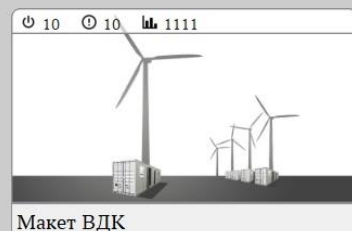
ЕЭС России и ИГВИЭ

ЕЭС 50,010 Hz

ИГВИЭ 50,010 Hz

## Диспетчерский пункт ИГ ВИЭ

Выберите энергоресурс или объект для перехода к окну с дополнительными сведениями

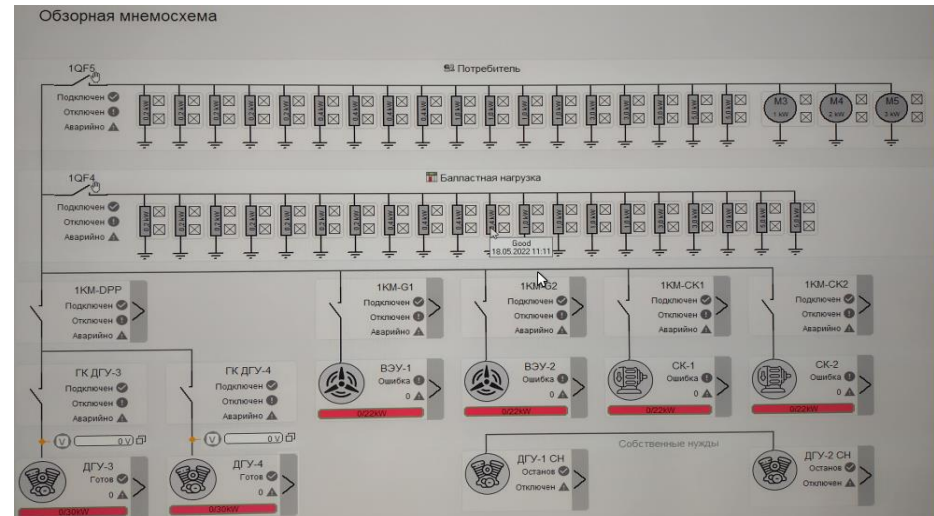


# Диспетчерский пункт ЭТК «ВИЭ»





# Испытательный стенд «Ветро-дизельный комплекс» (ИС «ВДК»)



- ❖ 4 ДГУ мощностью 30 кВт каждая.
- ❖ 2 имитатора ВЭУ, представленные асинхронными двигателями мощностью 22 кВт каждый.
- ❖ Имитатор ветрового потока представлен преобразователем частоты FR-F740-00470-EC мощностью 22 кВт.
- ❖ 2 имитатора синхронных компенсаторов представлены

- ❖ синхронными генераторами мощностью 32 квар и 62 квар.
- ❖ Балластная нагрузка и имитатор 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.

# Испытательный стенд «Ветро-дизельный комплекс» (ИС «ВДК»)



Имитаторы ВЭУ с асинхронными генераторами создают динамическую и контролируемую ветровую генерацию, что позволяет обрабатывать 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.

## **НИР и ОКР:**

- ❖ Разработка системы управления ветро-дизельными комплексами.
- ❖ Исследование энергетических характеристик ДГУ.

# Испытательный стенд «Солнечно-дизельный комплекс» (ИС «СДК»)



- ❖ 2 ДГУ мощностью 12 кВт и 30 кВт.
- ❖ Имитатор СЭС представлен 2-я управляемыми источниками постоянного тока Delta Elektronika BV SM 660-AR-11 и сетевым трёхфазным инвертором SMA Sunny Tripower STP 12000TL-20 (мощность – 12 кВА).
- ❖ СНЭ представлена 3-я двунаправленными однофазными

- инверторами Victron Energy Quattro 48/10000/140 (мощность – 10 кВА) и кластером свинцово-кислотных аккумуляторных батарей (АКБ) Yellow GB 12-200.
- ❖ 9 модулей суперконденсаторных «Феникс МСК-96-58». Номинальная ёмкость модуля – 96 Ф.

# Испытательный стенд «Солнечно-дизельный комплекс» (ИС «СДК»)



ИС «СДК» использует двунаправленные инверторы, что позволяет оптимизировать передачу энергии и её аккумуляцию в АКБ.

## Учебные научно-исследовательские работы:

- ❖ Монтаж фотоэлектрических систем.
- ❖ Анализ эффективности инверторного оборудования.
- ❖ Исследование СНЭ.

## НИР и ОКР:

- ❖ Разработка системы управления солнечно-дизельными комплексами.
- ❖ Исследование режимов работы гибридной системы накопления энергии с суперконденсаторами при автономной работе СЭС.

# Учебно-экспериментальная СЭС



- ❖ 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.
- ❖ Батареиный 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.

## Учебные научно-исследовательские работы:

- ❖ Влияние окружающих условий на энергетические показатели СЭС.
- ❖ Прогнозирование солнечного излучения.

## НИР и ОКР:

- ❖ Комплексные решения для повышения надёжности энергоснабжения потребителей энергии.
- ❖ Разработка методики краткосрочного планирования выработки СЭС.
- ❖ Решения по созданию систем управления микроэнергосистемами.

# Ветровые электростанции ВЭС 1 и ВЭС 2



## ВЭС 1:

- ❖ Горизонтально-осевая ВЭУ WESWEN WH3.8-2KW мощностью 2 кВт.
- ❖ Преобразователь SUN-2000GTIL2-WAL-WIFI мощностью 2 кВт.

## ВЭС 2:

- ❖ Вертикально-осевая ВЭУ «Вертикаль-К3-1500» мощностью 1,5 кВт.
- ❖ Двухнаправленный преобразователь напряжения - выпрямитель WSCH-11S мощностью 2 кВт.
- ❖ Двухнаправленный преобразователь напряжения - инвертор МАП Sine Wave мощностью 3 кВт.
- ❖ Батарейный кластер Vektor Energy VPbC 12-200.



# Автоматический измерительный комплекс ЭТК «ВИЭ»



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;
- ❖ температура воздуха и пр.



# Автоматический измерительный комплекс ЭТК «ВИЭ»



## Учебные научно-исследовательские работы:

- ❖ Влияние окружающих условий на энергетические показатели СЭС.
- ❖ Прогнозирование солнечного излучения.



## НИР и ОКР:

- ❖ Разработка методики краткосрочного планирования выработки СЭС.



# Интеллектуальная система автоматизированного управления ЭТК «ВИЭ»



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.



# Интеллектуальная система автоматизированного управления ЭТК «ВИЭ»



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.

# Интеллектуальная система автоматизированного управления ЭТК «ВИЭ»



Программный комплекс, который лёг в основу подсистемы «Оптимизация состава и параметров солнечно-дизельного комплекса», осуществляет быструю и надёжную оптимизацию состава, параметров и режимов функционирования ГЭК 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 %.

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ		<b>RU2023669762</b>
		
ФЕДЕРАЛЬНАЯ СЛУЖБА ПО ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ ГОСУДАРСТВЕННАЯ РЕГИСТРАЦИЯ ПРОГРАММЫ ДЛЯ ЭВМ		
Номер регистрации (свидетельства): 2023669762	Автор(ы): Васьков Алексей Геннадьевич (RU), Моздер Николай Юрьевич (RU), Сигель Александр Станиславович (RU), Шестопалова Татьяна Александровна (RU)	
Дата регистрации: 20.09.2023	Правообладатель(и): Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет «МЭИ» (ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ») (RU)	
Номер и дата поступления заявки: 2023668686 11.09.2023		
Дата публикации и номер бюллетеня: 20.09.2023 Бюл. № 9		
Контактные реквизиты: нет		
Название программы для ЭВМ: Программный комплекс «Оптимизация состава и параметров солнечно-дизельного комплекса»		
Реферат: Программа позволяет оптимизировать работу в солнечно-дизельных комплексах с системами накопления энергии. Программа реализует математические и имитационные модели для оценки эффективности проектных решений. Программа позволяет определять структуру солнечно-дизельного комплекса и его параметры. Полученные результаты могут быть использованы при планировании режима работы существующих или проектируемых комплексов. Тип ЭВМ: ПК с процессорами Pentium или аналогичными. ОС: Windows ME/2000/XP/Vista/7/8.		
Язык программирования:	Python	
Объем программы для ЭВМ:	597 КБ	

# Заключение

---



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.



**Спасибо за внимание!**