

УДК 620.9

DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-19-24

Подготовка кадров и научные исследования на базе учебно-экспериментального полигона «Возобновляемые источники энергии» Московского энергетического института

А.Г. Васьков, М.Г. Тягунов, В.Я. Шеин, Т.А. Шестопалова, Е.Л. Шуверов

Институт гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии ФГБОУ ВО «НИУ «МЭИ» — единственный институт в Российской Федерации, объединяющий кафедры, реализующие образовательные программы по направлениям электроэнергетики и электротехники, энергетического машиностроения и строительства, делающего акцент на энергетических и гидротехнических сооружениях. Необходимость подготовки высококвалифицированных кадров с широкими знаниями в сфере проектирования и эксплуатации гидроэлектрических, ветровых и солнечных электростанций привела к созданию уникального лабораторного комплекса. Дан ретроспективный обзор процесса формирования объединенной лаборатории института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии (ОЛ ИГВИЭ).

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, научные исследования, образование.

Для цитирования: Васьков А.Г., Тягунов М.Г., Шеин В.Я., Шестопалова Т.А., Шуверов Е.Л. Подготовка кадров и научные исследования на базе учебно-экспериментального полигона «Возобновляемые источники энергии» Московского энергетического института // Вестник МЭИ. 2022. № 4. С. 19—24. DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-19-24.

Staff Training and Scientific Research Activities on the Basis of the Moscow Power Engineering Institute's Renewable Energy Sources Educational and Experimental Site

A.G. Vas'kov, M.G. Tyagunov, V.Ya. Shein, T.A. Shestopalova, E.L. Shuverov

The Institute of Hydropower and Renewable Energy Sources at the National Research University Moscow Power Engineering Institute is the only one in the Russian Federation that unites departments implementing educational programs in the areas of electric power engineering, electrical engineering, and power machinery design and construction, with placing focus on power and hydraulic engineering facilities. The need of training high-skilled personnel with broad knowledge in the design and operation of hydroelectric, wind and solar power plants has led to the development of a unique laboratory complex. The article gives a retrospective review of the process through which the Joint Laboratory of the Institute of Hydropower and Renewable Energy Sources was established.

Key words: renewable energy sources, scientific research, education.

For citation: Vas'kov A.G., Tyagunov M.G., Shein V.Ya., Shestopalova T.A., Shuverov E.L. Staff Training and Scientific Research Activities on the Basis of the Moscow Power Engineering Institute's Renewable Energy Sources Educational and Experimental Site. Bulletin of MPEI. 2022;4:19—24. (in Russian). DOI: 10.24160/1993-6982-2022-4-19-24.

Введение

В 2015 г. кафедра гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии отметила свой 80-летний юбилей, имея за спиной огромный опыт использования разнообразного лабораторного оборудования для решения учебных и научных задач, с одной стороны, и необходимость дальнейшего развития и совершенствования лабораторной базы с другой [1]. В связи с этим и с учетом качественных изменений в энергетической стратегии страны, в НИУ «МЭИ» был создан Институт гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии (ИГВИЭ), объединивший кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии (ГВИЭ), гидравлики и гидравлических машин (ГТМ), а также энергетических и гидротехнических сооружений (ЭГТС) [2].

Для кафедры ГВИЭ основополагающим направлением деятельности было исследование особенностей проектирования и эксплуатации гибридных энергетических комплексов [3 — 5]. Изучение вопросов управления данными энергетическими объединениями в меняющихся внешних условиях первоначально решалось с помощью созданной в 2015 г. лаборатории «Интеллектуальные энергетические системы с возобновляемыми источниками энергии», обладающей, к сожалению, рядом технических ограничений, связанных с тем, что используемое оборудование носило чисто учебный характер. Постановка новых задач требовала наличия промышленного оборудования и создания лабораторных учебно-исследовательских установок, работающих в реальных условиях. Так, при поддержке ПАО «РусГидро» в НИУ «МЭИ» был создан учебно-

экспериментальный полигон «Возобновляемые источники энергии», отвечающий ряду требований:

- иметь избыточный состав оборудования, позволяющий исследовать работу гибридных энергетических комплексов различного состава и параметров;
- обладать разветвленной системой мониторинга как собственного режима работы, так и параметров окружающей среды.

По результатам предпроектной работы в состав полигона должны войти:

- учебно-экспериментальные солнечная и ветроэлектрическая электростанции;
- система генерации тепловой энергии на основе солнечных коллекторов и тепловых насосов;
- метеостанция;
- система накопления энергии на основе разнотипных аккумуляторов;
- электростанция на основе дизель-генераторных установок;
- автоматизированная система управления технологическими процессам с удалённым доступом.

По состоянию на начало 2022 г. в состав полигона входит следующее оборудование.

1. Макет ветродизельного комплекса (рис. 1):

— две дизель-генераторные установки по 30 кВт установленной мощности;

— две дизель-генераторные установки, обеспечивающие питание макетов ветроэнергетических установок номинальной мощностью 30 кВт каждая.

2. Макет солнечно-дизельного комплекса:

— две дизель-генераторные установки установленной мощностью 12 и 30 кВт, не имеющие синхронизации с сетью, поддерживающие работу двух имитаторов

СЭС, мощностью 10 кВт каждый, подключенные к сети через инвертор номинальной мощностью 12 кВт;

— система накопления энергии на основе свинцово-кислотных аккумуляторов ёмкостью 28 кВт·ч, подсоединенная к сети через три однофазных инвертора номинальной мощностью 10 кВт каждый;

3. Солнечные электростанции (рис. 2) суммарной пиковой мощностью 5 кВт, оборудованные своими контроллерами, с системой накопления энергии ёмкостью 19 кВт·ч, подключаемые к сети через источник бесперебойного питания номинальной мощностью кВт в однофазном режиме. Дополнительный инвертор производства RCT-Power с накопителем ёмкостью 5,7 кВт·ч на базе литий-ионных аккумуляторов.

4. Учебно-экспериментальная ветроэлектрическая станция (рис. 3), в состав которой включены вертикальноосевая ветроустановка номинальной мощностью 2 кВт с аккумуляторным накопителем ёмкостью 19 кВт·ч, подключенным через однофазный двунаправленный инвертор номинальной мощностью 3 кВт, и горизонтальноосевая ветроустановка номинальной мощностью 1,5 кВт.

Установленное оборудование, помимо выполнения учебных задач, связанных со знакомством со способами монтажа и обслуживания технологического оборудования, анализа режимов работы в реальных условиях и взаимовлияния разнотипных энергетических установок, имеет и вполне промышленное назначение, поскольку образуется более 100 кВт собственной генерирующей мощности, независимой от сети и позволяющей, в случае необходимости, обеспечить энергией учебные помещения нескольких корпусов главного корпуса университета.



Рис. 1. Оборудование макета ветродизельного комплекса



Рис. 2. Учебно-экспериментальная солнечная электростанция



Рис. 3. Ветроэлектрические установки учебно-экспериментальной ВЭС

Основная часть установленной мощности — дизель-генераторы, вносящие значительный вклад в углеродный след университета, из-за этого система автоматического управления работой полигона настроена на минимизацию их использования, и к работе они привлекаются только для обеспечения аварийно-бесперебойного питания и учебных задач. Низкоуглеродная генерация (учебно-экспериментальные СЭС и ВЭС) совокупной мощностью до 10 кВт служат в качестве бесперебойного источника энергии для ряда подразделений ИГВИЭ.

В настоящее время силами специалистов ОЛ ИГВИЭ дорабатываются алгоритмы, первичные и вторичные схемы подключения, налаживается несвязанное на сегодня оборудование различных установок, создаются системы диспетчерского управления для всех элементов полигона. Имеются определенные планы по развитию уже существующей инфраструктуры полигона.

Опишем процесс создания отдельных составляющих полигона, его текущее состояние и перспективы использования в учебном и научном процессах.

Учебно-экспериментальная солнечная электростанция

Солнечное излучение преобразуют в полезную энергию с помощью различных технологий, но наибольшее распространение на сегодняшний день получили фотоэлектрические преобразователи. В НИУ «МЭИ» студенты посещают курсы, связанные с проектированием и эксплуатацией солнечных электростанций. Безусловно, для технических специальностей крайне важны практические навыки и опыт работы с «железом». С этой целью в ИГВИЭ на территории кампуса реализован проект действующей солнечной электростанции, задействованной в ряде учебных и научных задач. При проектировании солнечной электростанции предъявлялись следующие требования:

- она должна располагаться таким образом, чтобы быть визуально видной и доступной для обслуживающего персонала и монтажа дополнительного оборудования;
- в отличие от промышленных СЭС учебная должна состоять из оборудования разных типов, чтобы потом, на этапе эксплуатации, была возможность проведения сравнительного анализа его работы;
- проект должен обладать возможностью полного технического контроля параметров электрической станции и управления режимами её работы.

В 2019 г. сотрудники и студенты института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии реализовали первый этап проекта — монтаж основного энергетического оборудования СЭС. Однако реальная работа над проектом началась ещё раньше. Так, в ходе торжественных мероприятий по поводу открытия института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии, созданного в 2014 г. при поддержке ПАО «РусГидро», ректору НИУ «МЭИ» Н.Д. Рогольву и председателю правления ПАО «РусГидро» Н.Г. Шульгинову был представлен проект учебно-исследовательской солнечной электростанции. Он получил безусловную поддержку, и его реализация началась незамедлительно.

Менее чем за полгода была полностью подготовлена аудитория, выделенная для монтажа центрального пульта управления. На крышу, выбранную для монтажа солнечных модулей, смонтирована лестница. Буквально за один день всё необходимое оборудование, конструкции и инструменты подняты на крышу с помощью подъёмного крана. На этапе монтажа СЭС начала участвовать в учебном процессе — был снят учебный фильм, демонстрирующий процесс монтажа солнечных модулей.

Последний и решающий этап реализации проекта СЭС — подключение оборудования к электроэнергетике.

тической системе — проходил в декабре 2019 г. — феврале 2022 г. Был смонтирован распределительный щит, собраны схемы постоянного и переменного тока, подключенные к массивам солнечных модулей и сети 380 В, установлено, подключено и настроено инверторное оборудование. Нестандартность этапа заключалась в том, что инверторов в проекте предусмотрено несколько, чтобы студенты могли исследовать режимы работы разного оборудования. К началу февраля 2020 г. подсоединены первые два массива солнечных модулей и 6 февраля 2020 г. солнечная электростанция выработала свои первые киловатт-часы!

С тех пор суммарная выработка электроэнергии СЭС составила более 3250 кВт·ч, а информация, получаемая системой мониторинга, используется в учебном процессе. В качестве примера приведем несколько практических задач, решаемых студентами на учебно-экспериментальной СЭС:

- оценка эффективности работы станции и её элементов, выявление «узких» мест электрической схемы СЭС;
- знакомство с процессом монтажа солнечных модулей на кровле с использованием опорных конструкций разного типа;
- исследование влияния загрязнений поверхности солнечных модулей, их затенения и температуры на эффективность работы.
- прогнозирование выработки электроэнергии на основе анализа временных рядов [6];
- краткосрочное прогнозирование солнечного излучения с использованием системы датчиков освещённости, размещенных на территории кампуса НИУ «МЭИ»;
- анализ методов расчёта величины солнечного излучения в плоскости заданной ориентации.

Макет ветро-солнечно-дизельного комплекса

Во время торжественного открытия ИВГИЭ в октябре 2018 г. НИУ «МЭИ» ПАО «РусГидро» был подарен комплект уникального действующего оборудования — макет ветро-солнечно-дизельного комплекса, предназначенный для решения учебных и научных задач.

Студенты, проходящие практику в ОЛ ИВГИЭ, могут, не выезжая за пределы МЭИ, познакомиться с устройством основного генерирующего оборудования (как с «традиционной» дизельной генерацией, так и энергоустановками на основе ВИЭ), изучить принципы автоматизации гибридных энергетических комплексов и особенности использования систем накопления энергии разного типа. Безусловным преимуществом использования макета стала возможность работы с реальным, а не учебным оборудованием.

К решаемым научным задачам следует отнести, в первую очередь, создание автоматизированных систем управления ветродизельным и солнечно-дизельным комплексами.

Макет ветро-солнечно-дизельного комплекса состоит из четырех контейнеров, размещенных во внутреннем дворе главного корпуса. Всё электротехническое оборудование контейнеров сведено в единую локальную энергосистему, может работать параллельно с энергосистемой ПАО «Мосэнерго», а также в изолированном режиме, обеспечивая энергией помещения ИВГИЭ. Уникальная особенность электротехнической части макета заключается в его возможности параллельной работы с программно-техническим комплексом Real Time Digital Simulator (RTDS) — специализированным комплексом, предназначенным для изучения стационарных режимов и электромагнитных переходных процессов в электроэнергетической системе в реальном времени. Таким образом, объединяются возможности физического и математического моделирования режимов работы энергосистем с возобновляемыми источниками энергии.

Учебно-экспериментальная ветроэлектрическая станция

В 2021 г. на полигоне возобновляемой энергетики НИУ «МЭИ» введена в эксплуатацию уникальная учебно-экспериментальная ветроэлектрическая станция. Запуск энергообъекта выполнен в рамках программы создания лабораторной и научной базы для исследования процессов проектирования и эксплуатации энергетических комплексов с использованием возобновляемых источников энергии, которую университет осуществляет совместно с ПАО «РусГидро». Учебно-экспериментальная ветроэлектрическая станция представляет собой комплекс взаимосвязанного оборудования и сооружений, предназначенный для преобразования энергии ветра в электрическую энергию. В ее состав входит ветроагрегат номинальной мощностью 1,5 кВт, состоящий из горизонтальноосевого трёхлопастного ветродвигателя, размещённого на валу электромеханического синхронного генератора на постоянных магнитах. Высота свободностоящей башни ВЭУ — 12 м. Инвертор ВЭУ отслеживает точку максимальной мощности ветроколеса, обеспечивая выдачу максимально возможной в имеющихся ветровых условиях выработки электроэнергии в сеть. Вторая машина — вертикальноосевая с номинальной мощностью в 2 кВт.

Научные исследования на базе полигона «Возобновляемые источники энергии»

В настоящее время в рамках программы стратегического академического лидерства «Приоритет-2030» совместно с ООО «Группа ЭНЭЛТ» на базе ОЛ ИВГИЭ ведутся работы по разработке прототипа автоматизированной гибридной электроустановки, интегрируемой с возобновляемыми источниками энергии. Цели проекта — создание устройств для обеспечения автономного электроснабжения хозяйственных и жилых объектов в

районах, не подключенных к сетям централизованного энергоснабжения, разработка технической документации на устройства для обеспечения автономного электроснабжения хозяйственных и жилых объектов.

Выделены два основных направления:

- проектирование автономных гибридных энергокомплексов блочно-модульного исполнения на базе возобновляемых источников энергии и систем накопления электроэнергии для параллельной работы с автономными источниками энергии в изолированных энергорайонах;

- разработка автоматизированной системы управления технологическим процессом производства электроэнергии и мониторинга автономных гибридных энергокомплексов блочно-модульного исполнения на базе возобновляемых источников энергии и систем накопления электроэнергии для параллельной работы с автономными источниками энергии в изолированных энергорайонах.

Работе по этим проектам предшествовало совместное создание программного обеспечения, служащего для оптимизации параметров и состава гибридных энергокомплексов на этапе их проектирования, особенностью которого стало моделирование в едином контуре процессов генерации энергии на солнечной и дизельной электростанциях (с учётом внутростанционной оптимизации ДЭС), а также процесса работы системы накопления энергии.

Литература

1. **Малинин Н.К., Матвиенко Н.И., Васьков А.Г., Кунакин Д.Н.** Учебно-научно-исследовательская лаборатория кафедры «Гидроэнергетика и возобновляемые источники энергии» // Гидротехническое строительство. 2015. № 7. С. 10—18.
2. **Васьков А.Г., Малинин Н.К., Тягунов М.Г., Шестопалова Т.А.** Институт гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии ФГБОУ ВО НИУ «МЭИ» // Гидротехническое строительство. 2019. № 2. С. 2—6.
3. **Molotov P., Vaskov A., Tyagunov M.** Modeling Processes in Microgrids with Renewable Energy Sources // Proc. Intern. Ural Conf. Green Energy. Chelyabinsk, 2018. Pp. 203—208.
4. **Vaskov A., Tyagunov M., Shestopalova T., Deryugina G., Ishchenko I.** Structure and Parameter Optimization of Renewable-based Hybrid Power Complexes // Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Hershey: IGI Global, 2018. Pp. 352—382.
5. **Тягунов М.Г., Афонин В.С., Васьков А.Г., Дeryugina Г.В., Шестопалова Т.А.** Системные свойства гибридных энергокомплексов на основе возобновляемых источников энергии // Энергобезопасность и энергосбережение. 2012. № 2(44). С. 20—27.

В 2021 г. начат процесс расширения возможностей программного комплекса. К его функционалу добавляется возможность оптимизации режима работы действующего солнечно-дизельного комплекса заданных параметров с учетом краткосрочного прогноза солнечного излучения. Впервые подобный подход был реализован в проекте солнечно-дизельного комплекса в пос. Верхоянск Республики Саха (Якутия).

В целях развития лаборатории накопителей энергии формируется новая гибридная система накопления, вошедшая в свой состав электрохимические аккумуляторы и суперконденсаторы. Лабораторная установка предназначена для исследования вопросов питания резкопеременной двигательной нагрузки от гибридного энергокомплекса с использованием ионисторов (суперконденсаторов) в составе гибридной системы накопления энергии для демпфирования качаний дизель-генераторных установок и солнечных инверторов при резких изменениях нагрузки. Указанные вопросы актуальны для проектов Группы «РусГидро», реализуемых на территориях с децентрализованными энергосистемами.

Собственными силами сотрудников ИГВИЭ и с помощью оборудования объединенной лаборатории разрабатываются программные средства принятия решений по управлению работой солнечно-дизельного комплекса с учетом краткосрочного прогноза прихода солнечного излучения.

References

1. **Malinin N.K., Matvienko N.I., Vas'kov A.G., Kunakin D.N.** Uchebno-nauchno-issledovatel'skaya Laboratoriya Kafedry «Gidroenergetika i Vozobnovlyаемые Iсточники Energii». Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo. 2015;7:10—18. (in Russian).
2. **Vas'kov A.G., Malinin N.K., Tyagunov M.G., Shestopalova T.A.** Institut Gidroenergetiki i Vozobnovlyаемых Iсточников Energii FGBOU VO NIU «MEI». Gidrotekhnicheskoe Stroitel'stvo. 2019;2:2—6. (in Russian).
3. **Molotov P., Vaskov A., Tyagunov M.** Modeling Processes in Microgrids with Renewable Energy Sources. Proc. Intern. Ural Conf. Green Energy. Chelyabinsk, 2018:203—208.
4. **Vaskov A., Tyagunov M., Shestopalova T., Deryugina G., Ishchenko I.** Structure and Parameter Optimization of Renewable-based Hybrid Power Complexes. Handbook of Research on Renewable Energy and Electric Resources for Sustainable Rural Development. Hershey: IGI Global, 2018:352—382.
5. **Tyagunov M.G., Afonin V.S., Vas'kov A.G., Deryugina G.V., Shestopalova T.A.** Sistemnye Svoystva Gibrnidnykh Energokompleksov na Osnove Vozobnovlyаемых Iсточников Energii. Energobezopasnost' i Energoberezhenie. 2012;2(44):20—27. (in Russian).

6. **Васьков А.Г., Нарынбаев А.Ф.** Обзор и классификация методов оценки и прогнозирования солнечной радиации // Вестник МЭИ. 2020. № 4. С. 49—61.

6. **Vas'kov A.G., Narynbaev A.F.** Obzor i Klassifikatsiya Metodov Otsenki i Prognozirovaniya Solnechnoy Radiatsii. Vestnik MEI. 2020;4:49—61. (in Russian).

Сведения об авторах:

Васьков Алексей Геннадьевич — кандидат технических наук, доцент кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: VaskovAG@mpei.ru

Тягунов Михаил Георгиевич — доктор технических наук, профессор кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: mtyagunov@mail.ru

Шейн Василий Яковлевич — заведующий учебной лабораторией кафедры гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: SheinVY@mpei.ru

Шестопалова Татьяна Александровна — кандидат технических наук, заведующая кафедрой гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: Tatyana64.08@mail.ru

Шуверов Евгений Леонидович — ведущий инженер объединенной научно-учебной лаборатории института гидроэнергетики и возобновляемых источников энергии НИУ «МЭИ», e-mail: ShuverovYL@mpei.ru

Information about authors:

Vas'kov Aleksey G. — Ph.D. (Techn.), Assistant Professor of Hydro Power Engineering and Renewable Energy Sources Dept., NRU MPEI, e-mail: VaskovAG@mpei.ru

Tyagunov Mikhail G. — Dr.Sci. (Techn.), Professor of Hydro Power Engineering and Renewable Energy Sources Dept., NRU MPEI, e-mail: mtyagunov@mail.ru

Shein Vasily Ya. — Head of the Educational Laboratory of Hydro Power Engineering and Renewable Energy Sources Dept., NRU MPEI, e-mail: SheinVY@mpei.ru

Shestopalova Tatyana A. — Ph.D. (Techn.), Head of Hydro Power Engineering and Renewable Energy Sources Dept., NRU MPEI, e-mail: Tatyana64.08@mail.ru

Shuverov Evgeniy L. — Leading Engineer of the Joint Research and Training Laboratory of Hydropower and Renewable Energy Sources Institute, NRU MPEI, e-mail: ShuverovYL@mpei.ru

Конфликт интересов: авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов

Conflict of interests: the authors declare no conflict of interest

Статья поступила в редакцию: 24.02.2022

The article received to the editor: 24.02.2022