

Щеклеин Сергей Евгеньевич

докт. техн. наук, профессор,
УрФУ, зав. каф. АС и ВИЭ,
s.e.shcheklein@urfu.ru, Екатеринбург, Россия

Немихин Юрий Евгеньевич

УрФУ, ст. препод. каф. АС и ВИЭ,
j.e.nemikhin@urfu.ru, Екатеринбург, Россия

Попов Александр Ильич

УрФУ, ст. препод. каф. АС и ВИЭ,
a.i.porov@urfu.ru, Екатеринбург, Россия

Велькин Владимир Иванович

докт. техн. наук, профессор,
УрФУ, профессор, АС и ВИЭ,
v.i.velkin@urfu.ru, Екатеринбург, Россия

Коржавин Сергей Александрович

УрФУ, зав. лабор. АС и ВИЭ,
s.a.korzHAVIN@urfu.ru, Екатеринбург, Россия

Алван Насир Тавфик

УрФУ, инженер каф. АС и ВИЭ,
nassir.towfeek79@gmail.com, Екатеринбург, Россия

ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРИ ИЗУЧЕНИИ СТУДЕНТАМИ ИСТОЧНИКОВ ВОЗОБНОВЛЯЕМОЙ ЭНЕРГЕТИКИ

УДК 620.92

Аннотация: Статья посвящена разработке и опыту использования в образовательном процессе цифровой системы оценки характеристик и эффективности возобновляемых источников энергии (ВИЭ). Показаны широкие возможности выполнения исследований при помощи быстродействующей системы цифрового мониторинга установок возобновляемой энергетики, позволяющей получать информацию с периодичностью от 1 сек. Полученные результаты показывают перспективность использования в образовательном процессе цифровых технологий при исследовании процессов и верификации теоретических моделей, позволяют ставить задачу о дальнейшем совершенствовании моделей расчета установок возобновляемой энергетики.

Ключевые слова: цифровые технологии, возобновляемая энергия.

DIGITAL TECHNOLOGIES IN STUDENTS' STUDY OF RENEWABLE ENERGY SOURCES

Abstract. The current study is devoted to the development and experience of using a digital system in the educational process to evaluate the performance characteristics of renewable energy sources (RES). The wide possibilities of conducting the research are shown using a high-speed digital monitoring system for renewable energy installations, which allows obtaining information at a frequency of 1 second. The results obtained show the promise of using digital technologies in the educational process in the study of processes and verification of theoretical models, which allows us to define the task of improving calculation models for renewable energy installations.

Keywords: digital technologies, renewable energy.

Введение

Подготовка специалистов по специальности «Нетрадиционные и возобновляемые источники энергии» начата в УрФУ в 1991 году по инициативе Президента РАО ЕС чл. корр. РАН А. Ф. Дьякова, поддержанной Правительством Свердловской области. В основе подготовки специалистов данной специальности в УрФУ лежит привлечение студентов всех курсов под руководством профессорско-преподавательского состава, аспирантов и научных сотрудников УрФУ к разработке и освоению новых энергетических технологий в области солнечной, ветровой, малой гидравлической и биологической энергетики, а также электрохимических, термоэмиссионных, термоэлектрических технологий прямого преобразования термической и химической энергии в электрическую форму.

Методология работы

В отличие от других учебных заведений было принято решение развивать материальную базу учебного процесса путем освоения крупномасштабных научно-учебных стендов и установок с целью дальнейшего применения их на территории области, разработки новых типов установок, адаптированных к местным условиям.

Для координации работ по проектированию, конструированию, изготовлению, и монтажу наладке большого количества стендов и установок в УрФУ в 2008 г. организован Центр возобновляемых источников энергии и энергосбережения. Директором Центра был назначен доцент кафедры атомных станций и ВИЭ А. И. Попов.

На рисунке 1 приведена фотография одной из таких установок. Всего создано и испытано более 100 образцов энергетических систем разного типа.



Рис. 1. Гибридная теплогенерирующая установка

Цифровая система сбора измерительной информации

Наличие большого количества постоянно действующих в круглосуточном цикле экспериментальных установок и стендов потребовало создания специальной, быстродействующей, многоканальной системы мониторинга необходимых характеристик установок с синхронной регистрацией параметров окружающей среды. В таблице приведены основные установки и измеряемые параметры, вошедшие в состав системы.

Таблица 1 – Основные установки и измеряемые параметры, вошедшие в состав системы

Наименование	Основные исследуемые параметры
Метеорологический комплекс	<ul style="list-style-type: none"> -температура -влажность, -уровень осадков -скорость ветра -направление ветра -полная солнечная радиация - солнечная радиация в ИК диапазоне - солнечная радиация в УФ диапазоне
Фотоэлектрическая установка	<ul style="list-style-type: none"> - напряжение выхода ФЭУ - ток - мощность
Ветроэнергетическая установка	<ul style="list-style-type: none"> - напряжение выхода ВЭУ - ток -мощность - частота вращения

Солнечный коллектор	<ul style="list-style-type: none"> - температура входа - температура выхода - расход теплоносителя - тепловая мощность
Солнечный концентратор	<ul style="list-style-type: none"> - температура входа - температура выхода - расход теплоносителя - тепловая мощность
Тепловой насос	<ul style="list-style-type: none"> - температура входа - температура выхода - расход теплоносителя - тепловая мощность
Биогазовая установка	<ul style="list-style-type: none"> - температура входа биомассы - температура в биореакторе - расход биогаза - давление биогаза - индекс рН в биореакторе

С целью оценки эффективности энергетического использования разработана и реализована система сбора измерительной информации о поступлении и эффективности преобразования энергии в комплексе установок [4, 17]. Система строится на базе программируемой платформы NI Compact RIO (Compact Reconfigurable Input Output), представляющей собой многофункциональную встраиваемую платформу для сбора данных и управления, разработанную для задач, требующих высокой производительности и надежности [2, 17]. NI Compact RIO – встраиваемая контрольно-измерительная система, основой которой является технология реконфигурируемого ввода/вывода NI RIO. Она состоит из шасси с встроенной ПЛИС, контроллером реального времени и модулей ввода/вывода (Рис. 2).

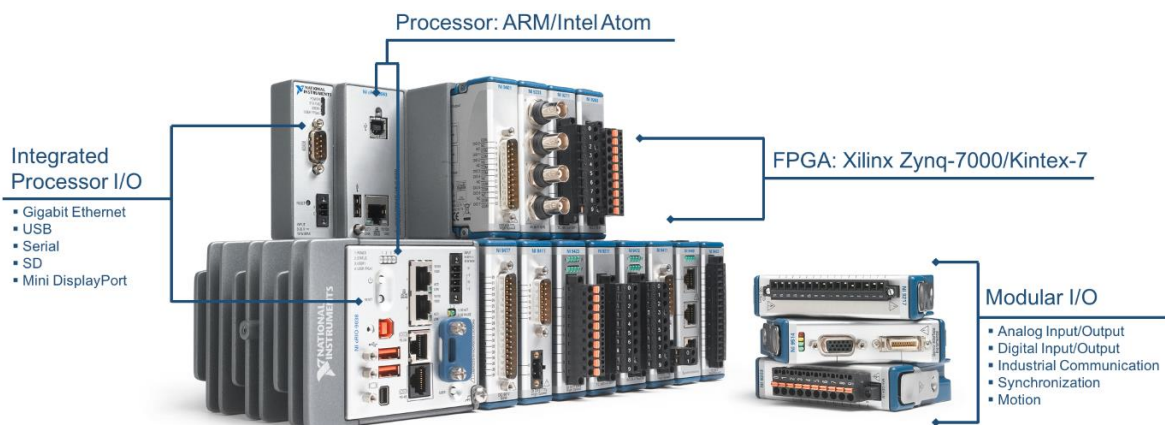


Рис. 2. Внешний вид платформы NI Compact RIO

Ввиду пространственной распределенности исследуемых установок по значительной территории, не охватываемой единой оптоволоконной сетью, связь локальных измерительных комплексов с центральной платформой и сервером организована при помощи Wi-Fi каналов (Рис. 3).

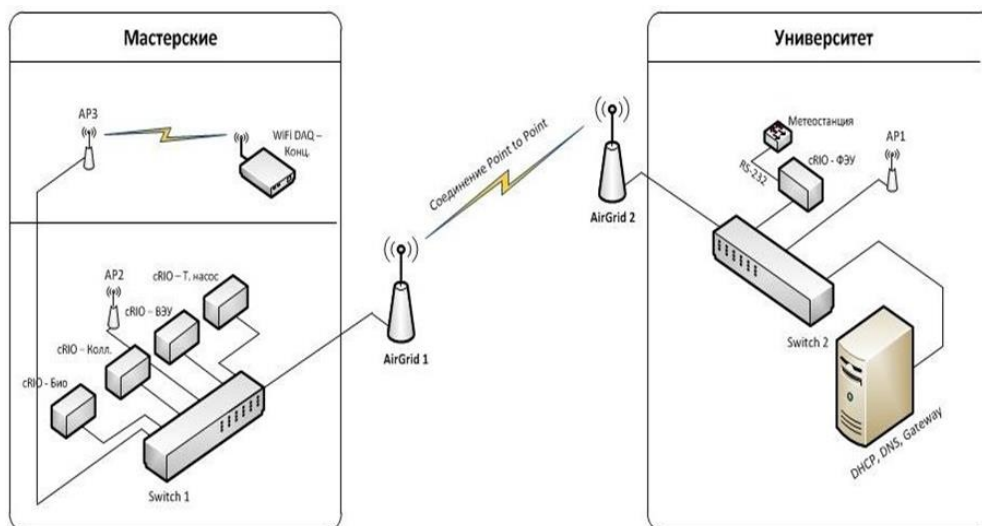


Рис. 3. Размещение стенов NI Compact RIO на территории УрФУ

Система осуществляет непрерывный сбор информации от более, чем 100 первичных преобразователей и трех быстродействующих видеокамер, контролирующих параметры и изображения ветроэнергетических, фотоэлектрических, биогазовых и прочих исследовательских стенов возобновляемой энергетики, распределенных по территории ряда корпусов УрФУ; хранит их и транслирует через каналы Wi-Fi на сервер и периферийные рабочие станции пользователей для последующего анализа и обработки.

Для оперативного мониторинга характеристик установок в среде LabVIEW разработан программный комплекс, экранный интерфейс которого представлен на рисунке 4.

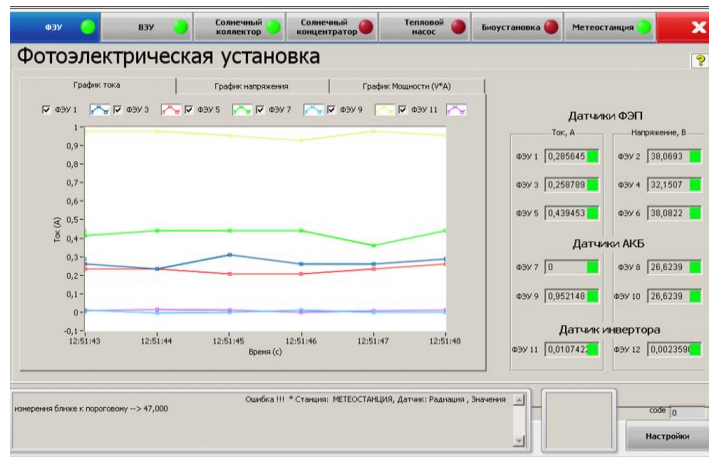


Рис. 4 – Экранный интерфейс системы мониторинга NI Compact RIO

При обращении к соответствующей установке справочная система интерфейса позволяет визуализировать конкретные точки и характеристики измеряемых параметров в виде блок-схемы измерений (рис. 5).

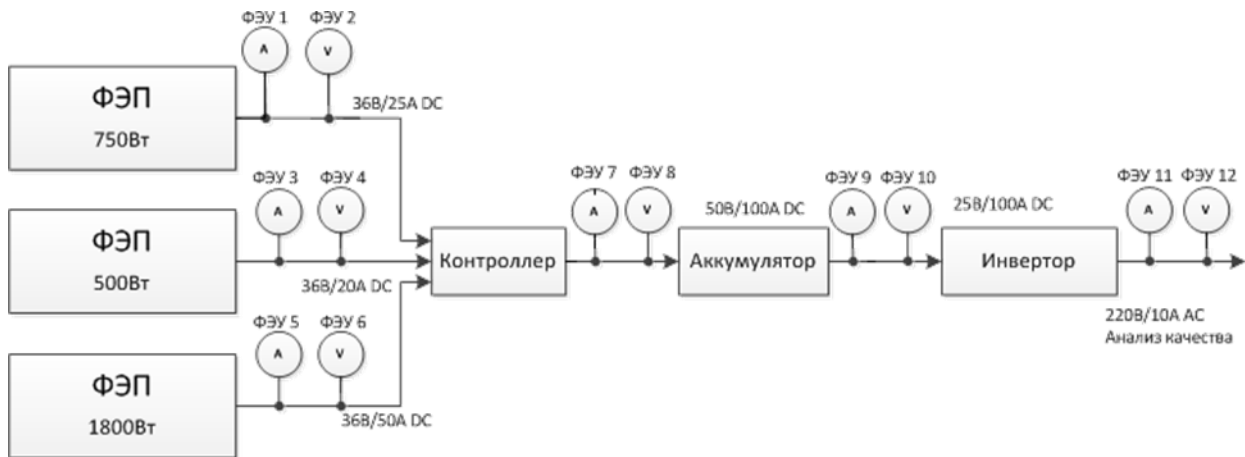


Рис. 5. Схема точек измерения для фотоэлектрической станции

Разработанная система мониторинга позволяет с задаваемым временным интервалом от 1 секунды до 1 месяца формировать массивы измеренных величин, производить их статистическую обработку, хранить данные первичных измерений и обработки результатов в буферной памяти сервера, получать по запросу Пользователя через сеть Интернет синхронную информацию об изменении климатических параметров и эффективности установок.

Некоторые результаты экспериментальных исследований

Ниже приведен пример экспериментального исследования получения информации о достаточности приходов солнечной радиации для производства требуемого количества энергии и определение необходимости и объемов систем накопления энергии в годовом, месячном и суточном циклах.

На рисунках 6, 7 приведены экспериментальные данные поступлений солнечной радиации по характерным месяцам летнего и зимнего периодов.

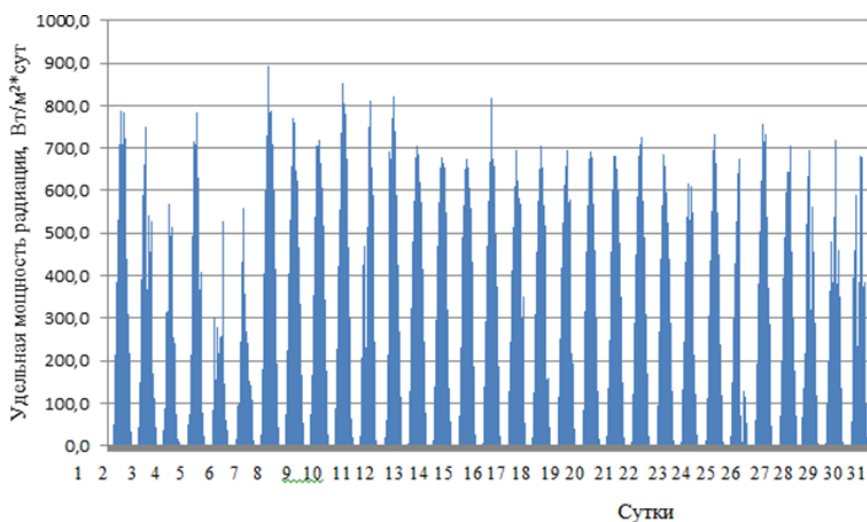


Рис. 6. Удельная мощность поступления солнечной радиации для летнего месяца (июль 2014 г.)

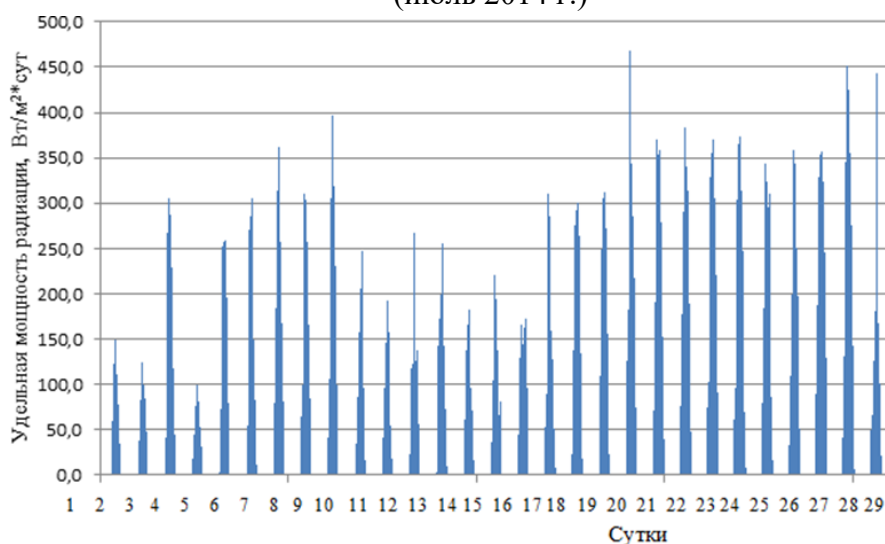


Рис. 7. Удельная мощность поступления солнечной радиации для зимнего месяца (февраль 2014 г.)

Анализ результатов показывает существенное снижение удельной, суточной продолжительности поступления солнечной энергии в зимний

период. Данные результаты полностью подтверждают адекватность разработанной математической модели и адекватность прогнозирования на ее основе осредненных характеристик поступлений солнечной энергии. Полученные данные также показывают наличие различия в поступлении энергии по дням месяца, особенно значительное в зимние месяцы (рис. 7). Данное обстоятельство указывает на необходимость иметь в составе системы энергоснабжения компенсирующий источник энергии на основе традиционных энергетических технологий.

Результаты исследования поступлений энергии по часам суток для летнего периода года приведены на рисунках 8, 9.

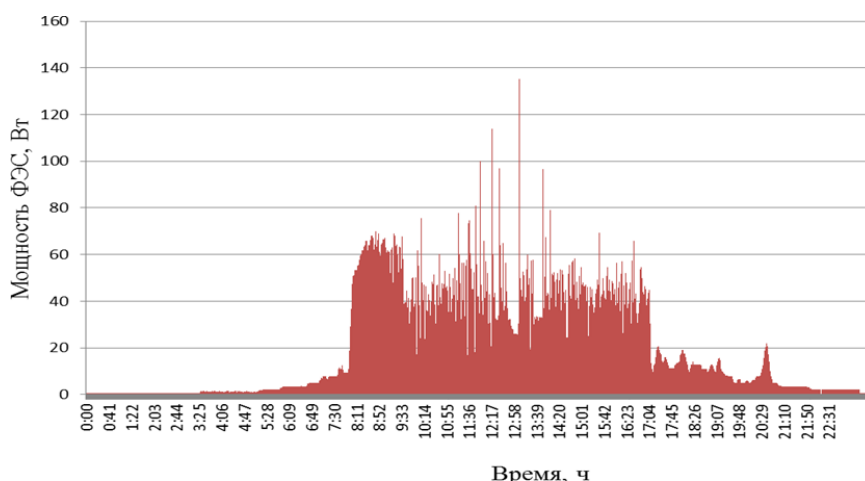


Рис. 8. Мощность тестовой ФЭС по часам суток (данные 7.07.2014)

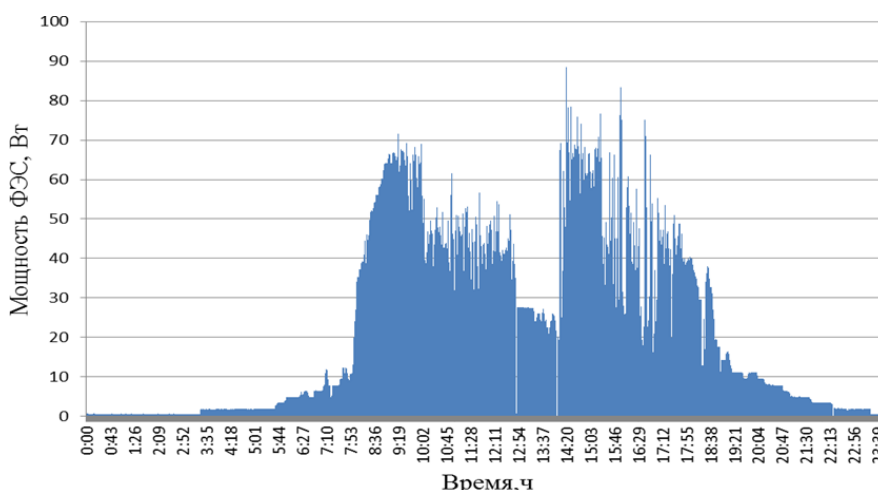


Рис. 9. Мощность тестовой ФЭС по часам суток (данные 9.07.2014)

Полученные результаты указывают на наличие неравномерности поступления солнечной энергии даже в условиях летнего периода. Выработка

энергии тестовой ФЭС (пиковой мощностью 150 Вт), вследствие влияния облачности ниже потенциальных значений 1,5–2 раза.

Устойчивое энергообеспечение потребителей в условиях стохастического характера поступления энергии требует применения в составе системы энергоснабжения аккумулирующего устройства, способного к сглаживанию интегрированию колебаний поступления энергии солнца.

Выполненные верификационные исследования позволили разработать ряд технических решений, позволяющих обеспечить надежное энергообеспечение потребителей при комбинировании солнечной энергетики с традиционными энергетическими технологиями [14–16].

На рисунке 10 приведена в качестве примера принципиальная схема комбинированной системы обеспечения тепловой энергией потребителей с использованием солнечных коллекторов.

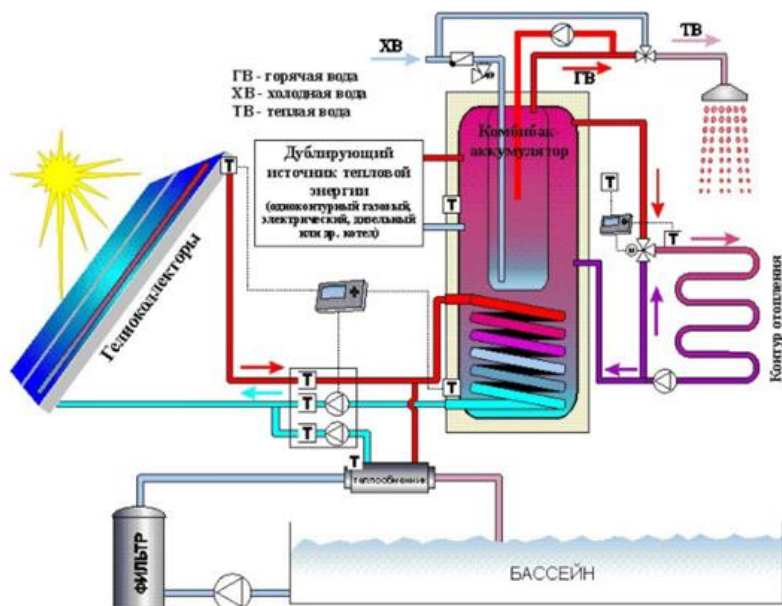


Рис. 10. Схема комбинированной системы обеспечения тепловой энергией потребителей с использованием солнечных коллекторов

Данная система обеспечивает надежное производство тепла в летний период за счет использования энергии солнца и в зимний период за счет энергии газового топлива, электрических тэнов, либо работы теплового насоса. Бак аккумулятор- сглаживает неравномерность поступления солнечной энергии

в суточном цикле и дает возможность накопления тепла за счет использования низкого ночного тарифа на электрическую энергию из энергосистемы в зимний период года.

Практическое применение результатов исследований и разработок

Использование массовой цифровизации исследований позволило быстро и с высокой надежностью отрабатывать новые конструкции установок и проверять эффективность новых идей. Студенты и магистранты кафедры по специальности «Энергетические установки, электростанции на базе нетрадиционных и возобновляемых источников энергии», в том числе магистранты, находящиеся за рубежом, выполняют лабораторные, практические работы, готовят материалы для выпускной квалификационной работы, используя данные по работе установок из системы мониторинга, размещенные на сайте этой системы. Только за последние 5 лет сотрудниками, аспирантами и студентами УрФУ зарегистрировано более 50 изобретений. По поручению правительства области и промышленных предприятий разработано более 10 проектов. Реализован типовой проект энергоэффективного сельского дома с использованием ВИЭ (Рис. 11).



Рис. 11. Энергоэффективный сельский дом с использованием ВИЭ

Работы УрФУ по разработке и внедрению установок возобновляемой энергетики в жилищное строительство удостоены Национальной экологической

премии им. В. И. Вернадского. Решение многочисленных экспериментальных задач оказалось возможным благодаря опережающему созданию в УрФУ мощного интегрального измерительного комплекса.

Заключение

Разработанная система мониторинга с высокой разрешающей способностью показала наличие ряда эффектов, не описываемых традиционными методами – значительные вариации поступлений солнечной энергии в течение суточного и месячного циклов.

Полученные экспериментальные результаты указывают на принципиальную невозможность энергообеспечения в климатических зонах с суровым и резко- континентальным климатом без использования дополнительных источников энергии традиционного типа.

На основании полученных данных с участием студентов разработаны варианты оптимизированных схем комбинированного производства тепловой и электрической энергии с использованием энергии солнца, обеспечивающие наименьшие экономические затраты в условиях сурового и резко- континентального климата.

Список использованной литературы

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Серия 3, части 1-6, выпуск 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990 г, 557 с.
2. NASA Langley Atmospheric Sciences Data Center URL: <http://eosweb.larc.nasa.gov/> (дата обращения 20.10.2020)
3. Дж. Бендат, А. Пирсол. Измерение и анализ случайных процессов / М.: Мир, 1974 г. 463 с.
4. Щеклеин С.Е., Власов В.В. Моделирование нестационарных случайных процессов в задачах обоснования возобновляемых источников энергии// Альтернативная энергетика и экология. 2012. №3. С. 67-71

5. National instruments URL: [https:// www.ni.com](https://www.ni.com) / (дата обращения 20.10.2020)
6. Андерсон Т. Статистический анализ временных рядов. – М.: Мир, 1976, 755 с.
7. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных: Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
8. Бендат Дж. Пирсол А. Применение корреляционного анализа и спектрального анализа: Пер. с англ. – М.: Мир, 1983. – 312 с.
9. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов. Прогноз и управление. – М.: Мир, 1974, 405 с.
10. V. Vlasov., Y. Nemihin, S. Shcheklein. The use low hydropower possibilities for the increase of the auxiliary's redundancy reliability //Tenth International Conference Advanced Methods in the Theory of Electrical Engineering. AMTEE 11. September 6- 9, 2011, Klatovy, Czech Republic. pp. 23-24.
11. Васько П.Ф. Расчет показателей технической эффективности применения ветроэнергетических установок по результатам почасовых измерений скорости ветра. //Техн. электродинамика. -2001. - № 6. - С. 45-49
12. Jangamshetti Suresh H. Optimum siting of wind turbine generators //IEEE Trans. Energy Convers. -2001. -v. 16, N 1. - P.8-13
13. Weisser D., Foxon T. J. Implications of seasonal and diurnal variations of wind velocity for power output estimation of a turbine: a case study of Grenada//Int. J. Energy Res.-2003.- Т.27, N 13.
14. Велькин В.И., Щеклеин С.Е. Обеспечение минимальных энергетических потребностей удаленного дома за счет солнечных ФЭП//Международный научный журнал "Альтернативная энергетика и экология". 2012. № 3.С.52-54
15. Матвеев А.В., Щеклеин С.Е., Пахалуев В.М. Энергоэффективный дом с системой солнечного горячего водоснабжения//Промышленная энергетика. 2008. № 6. С. 52-55

16. Попов А.И., Щеклеин С.Е. Солнечная установка для выработки спирта и сопутствующих материалов //Бюллетень изобретений. 2014.№ 3 патент на изобретение RUS 25055203.
17. Shcheklein S.E., Nemikhin Y.E., Nevyantsev S.V., Korzhavin S.A., Postovalov A.O., Nosov D.A., Zagafuranova Y.Z. Renewable energy-based plant remote monitoring complex using wi-fi channels and elements of artificial vision// WIT Transactions on Ecology and the Environment.2014. T. 190. V.2. p.1185-1194.