

К ПРОБЛЕМЕ ВЕРИФИКАЦИИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГЕЛИОЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ СИСТЕМ С УЧЕТОМ СТОХАСТИЧНОСТИ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ

С.Е. Щеклеин¹, Ю.Е. Немихин¹, А.И. Попов¹, А.Т. Джайлани²

¹Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
620002 Екатеринбург, ул. Мира, д. 19

Тел./факс: (343) 375-97-37, e-mail: j.e.nemikhin@urfu.ru

²Александрийский университет
г. Александрия, Арабская Республика Египет
E-mail: ahmed.jilani@alexu.edu.eg

Заключение совета рецензентов: 23.05.15 Заключение совета экспертов: 27.05.15 Принято к публикации: 31.05.15

С целью выявления и детального анализа корреляционных связей между климатическими факторами, влиянием их на эффективность существующего в УрФУ парка установок возобновляемой энергетики была разработана и введена в эксплуатацию многоканальная быстродействующая система мониторинга климатических и энергетических характеристик. Система включает в себя распределенную сеть локальных устройств, связанных с центральным сервером, осуществляет сбор, накопление и обработку данных более чем по 100 измеряемым параметрам с периодичностью 1 с.

Ключевые слова: возобновляемая энергетика, система мониторинга, энергообеспечение, солнечная радиация.

ON THE PROBLEM OF VERIFYING THE EFFICIENCY OF SOLAR ENERGY SYSTEMS BASED ON STOCHASTIC CLIMATIC FACTORS

S.E. Shcheklein¹, Yu.E. Nemikhin¹, A.I. Popov¹, A.T. Jailany²

¹Ural Federal University named after the first President of Russia B.N. Yeltsin
19 Mira ave., Yekaterinburg, 620002, Russia

Tel.: (343) 375-97-37, e-mail: j.e.nemikhin@urfu.ru

²Aleksandria University
Alexandria, Arab Republic of Egypt
E-mail: ahmed.jilani@alexu.edu.eg

Referred: 23.05.15 Expertise: 27.05.15 Accepted: 31.05.15

A high-speed multi-channel monitoring system has been developed in order to identify and analyze in detail the correlations between climatic factors and their influence on the effectiveness of renewable energy installations existing in the Ural Federal University. The system includes a distributed network of local installations which are connected to a central server. The system carries out collecting, recording and processing the data on more than 100 measured parameters every second.

Keywords: renewable energy, monitoring system, power supply, solar radiation.



*Сергей Евгеньевич
Щеклеин
Sergey E. Shcheklein*

Сведения об авторе: д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Научный руководитель ряда реализованных инновационных проектов, в т. ч. «Энергоэффективный дом для села», «Системы солнечного энергоснабжения автономных потребителей специального назначения», «Солнечные системы охранной сигнализации» и др.

Член редколлегии журнала «Известия вузов. Ядерная энергетика», сборника трудов УГТУ-УПИ «Теплофизика ядерных энергетических установок», научно-технического журнала «Энергоэффективность и анализ». Заслуженный энергетик России, действительный член Международной энергетической академии.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ) (1972).

Область научных интересов: термодинамика ядерных энергетических установок, проблемы атомной энергетики и теплофизики двухфазных потоков, продление ресурса и повышение надежности оборудования АЭС, солнечная энергетика, ветровая энергетика, биоэнергетика, энергосбережение, энергоэффективность.

Публикации: более 450, в том числе 6 монографий и учебников, 28 изобретений.

Information about the author: doctor of technical science, professor, Urals State Technical University "Atomic Stations and Renewable Energy Sources" Department head.

A scientific director of several realized innovation projects, including "The energoefficient house for the village", "Special systems of individual consumer solar energy supply", "The solar systems for the guarding alarm" etc.

A member of the editorial board of "Institute of Higher Education News. Nuclear Power" magazine, "Nuclear power units heat engineering" USTU article collection, "Energoeffectiveness and analysis" scientific magazine. A Honoured power engineering specialist of Russian Federation, a member of International Energy Academy.

Education: Urals Polytechnic Institute (1972).

Research area: nuclear power units thermodynamics; questions of nuclear energy and thermophysics of the two-phase flows; NPP equipment lifetime enduring and reliability increasing; solar, wind and bioenergetics, energy conservation, energy efficiency.

Publications: more than 450 scientific works, including 6 monographs and textbooks, 28 inventions.

Сведения об авторе: ст. преподаватель кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Награды и научные премии: Почетная грамота министерства энергетики и жилищно-коммунального хозяйства Свердловской области за многолетний добросовестный труд по подготовке кадров для энергетических предприятий страны (2011).

Образование: Уральский гос. университет им. А.М. Горького (УрГУ) (1971).

Область научных интересов: разработка физических основ нетрадиционных и возобновляемых источников энергии, методы компьютерной диагностики и мониторинга в энергетике.

Публикации: более 30, в том числе 5 в реферируемых журналах.

Information about the author: senior lecturer of Nuclear power plants and renewable energy sources department, UrFU.

Diploma of the Ministry of Energy and Housing and Utilities of the Sverdlovsk region for many years of hard work training for energy companies in the country (2011).

Education: Ural State University (1971).

Research area: development of the physical foundations of non-conventional and renewable sources of energy, methods of computer diagnostics and monitoring in the energy sector.

Publications: more than 30, including 5 in refereed journals.

Сведения об авторе: канд. техн. наук, доцент кафедры «Атомные станции и возобновляемые источники энергии» УрФУ.

Награжден за период трудовой деятельности на заводе четырьмя медалями, знаком «Лучшие люди России», имеет почетное звание «Заслуженный предприниматель России», отмечен дипломом Российской Академии бизнеса и предпринимательства.

Образование: Уральский политехнический институт (УГТУ-УПИ), 1967.

Область научных интересов: системы автоматизации промышленных объектов, нетрадиционные и возобновляемые источники энергии.

Публикации: более 110, в том числе 88 патентов и а. с. на изобретения СССР и РФ.

Information about the author: candidate of technical sciences, associate professor of the department "Nuclear power plants and renewable energy sources" Urals State Technical University.

He was awarded during the period of work in the factory with 4 medals, the sign "Best People of Russia", has the honorary title of "Distinguished Entrepreneur of Russia", awarded was with a diploma of the Russian Academy of Business and Entrepreneurship.

Education: Ural Polytechnic Institute, 1967.

Research area: automation systems of industrial plants, non-traditional and renewable energy sources.

Publications: more than 110, including 88 patents and inventor's certificates of the USSR and RF.

Сведения об авторе: канд. техн. наук, ассистент профессор Агро-инженерной кафедры Сельскохозяйственного факультета Александрийского университета, Арабская Республика Египет.

Образование: Московский гос. агроинженерный университет им. В. П. Горячкина (2010).

Область научных интересов: возобновляемые источники энергии, комбинированные электростанции, энергоснабжение удаленных сельских мест.

Публикации: 14, в том числе патент РФ.

Information about the author: PhD, Assistant professor, Dpt. Of Agricultural Engineering, Faculty of Agriculture, Alexandria University, Egypt.

Education: PhD in technical sciences, Moscow State Agro-engineering University (2010).

Research area: renewable energy systems, hybrid electro-energy systems, remote area electrification.

Publications: 14 publications included patent of RF.



Юрий Евгеньевич
Немихин
Yurii E. Nemikhin



Александр Ильич
Попов
Alexander I. Popov



Ахмед Т.А. Джайлани
Ahmed T.A. Jailany

Введение

Возрастающий интерес к использованию возобновляемой энергетики в России, связанный со значительным потенциалом, характерным для большой территории страны [1], требует объективного понимания возможностей этих технологий для достижения тех целевых функций, которые ставятся перед любой энергетической технологией, – достаточности и надежности энергоснабжения, экономической эффективности. Широкому внедрению возобновляемой энергетики вредят как консервативный скептицизм, так и неоправданный оптимизм потенциальных потребителей энергоресурсов. Расчеты, основанные на усредненных показателях прихода энергии, неучет реальных колебаний характеристик внешней среды и графиков потребления энергии; непонимание проблем пусковых токов и качества энергии; пренебрежение правилами санитарно-гигиенической безопасности для установок горячего водоснабжения и пр. – приводят к многочисленным ошибкам при практическом создании многих проектов энергообеспечения [2]. Природно-климатические условия многих регионов России характеризуются аномально низкими температурами окружающей среды в течение 2/3 годового периода. На рис. 1 приведены сравнительные данные по определению показателя ГСОП (градусо-сутки отопительного периода), являющегося мерой тепловой энергии для обогрева зданий до температуры +20 °С. Анализ показывает, что РФ является одним из лидеров по требуемому количеству энергии.

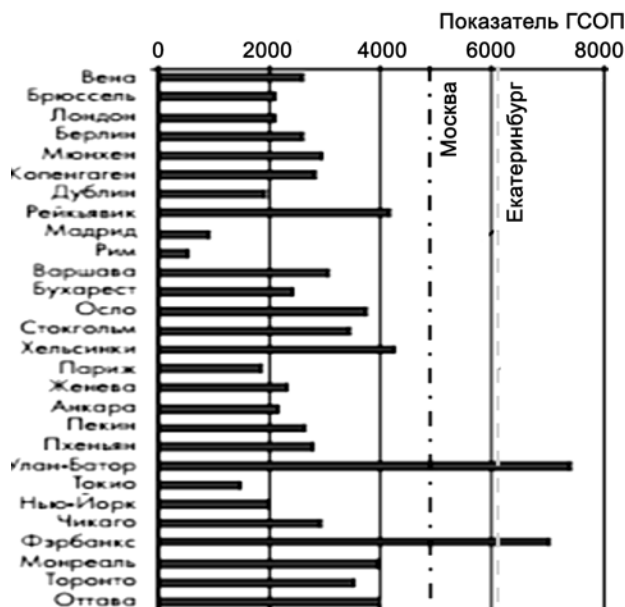


Рис. 1. Показатель градусо-сутки отопительного периода для ряда городов мира

Fig. 1. Heating Season Degree Day index for several world cities

Целью данной работы является анализ учета возможностей установок возобновляемой энергетики, действующих в суровых климатических условиях, для удовлетворения потребностей в тепловой и электрической энергии при помощи разработанной многоканальной, многопараметрической, быстродействующей, распределенной в пространстве, компьютерной системы мониторинга [3].

Система сбора измерительной информации

Характеристики системы сбора измерительной информации приведены в таблице.

Система сбора измерительной информации
Data Collection System

Стенд	Основные исследуемые параметры
Метеорологический комплекс	– температура; – влажность; – уровень осадков; – скорость ветра; – направление ветра; – полная солнечная радиация; – солнечная радиация в ИК диапазоне; – солнечная радиация в УФ диапазоне
Фотоэлектрическая установка	– напряжение выхода ФЭУ; – ток; – мощность
Ветроэнергетическая установка	– напряжение выхода ВЭУ; – ток; – мощность; – частота вращения
Солнечный коллектор	– температура входа;
Солнечный концентратор	– температура выхода;
Тепловой насос	– расход теплоносителя; – тепловая мощность
Биогазовая установка	– температура входа биомассы; – температура в биореакторе; – расход биогаза; – давление биогаза; – индекс pH в биореакторе

Система строится на базе программируемой платформы CompactRIO (Compact Reconfigurable Input Output) фирмы National Instruments, представляющей собой многофункциональную встраиваемую платформу для сбора данных и управления, разработанную для задач, требующих высокой производительности и надежности [4].

NI CompactRIO – встраиваемая контрольно-измерительная система, основой которой является технология реконфигурируемого ввода/вывода NI RIO. Она состоит из шасси с встроенной программируемой логической интегральной схемой (ПЛИС), контроллером реального времени и модулей ввода/вывода (рис. 2).



Рис. 2. Внешний вид платформы
Fig. 2. Appearance Measurement System

Ввиду пространственной распределенности исследуемых установок возобновляемой энергетики по значительной территории, не охватываемой единой

оптоволоконной сетью, связь локальных измерительных комплексов с центральной платформой и сервером организована при помощи Wi-Fi каналов.

Система осуществляет непрерывный сбор информации от более чем 100 первичных преобразователей и 6 быстродействующих видеокамер, контролирующих параметры и изображения ветроэнергетических, фотоэлектрических, биогазовых и прочих исследовательских стендов возобновляемой энергетики, распределенных по территории ряда корпусов УрФУ (рис. 3); 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 информационно-обрабатывающий программный комплекс.

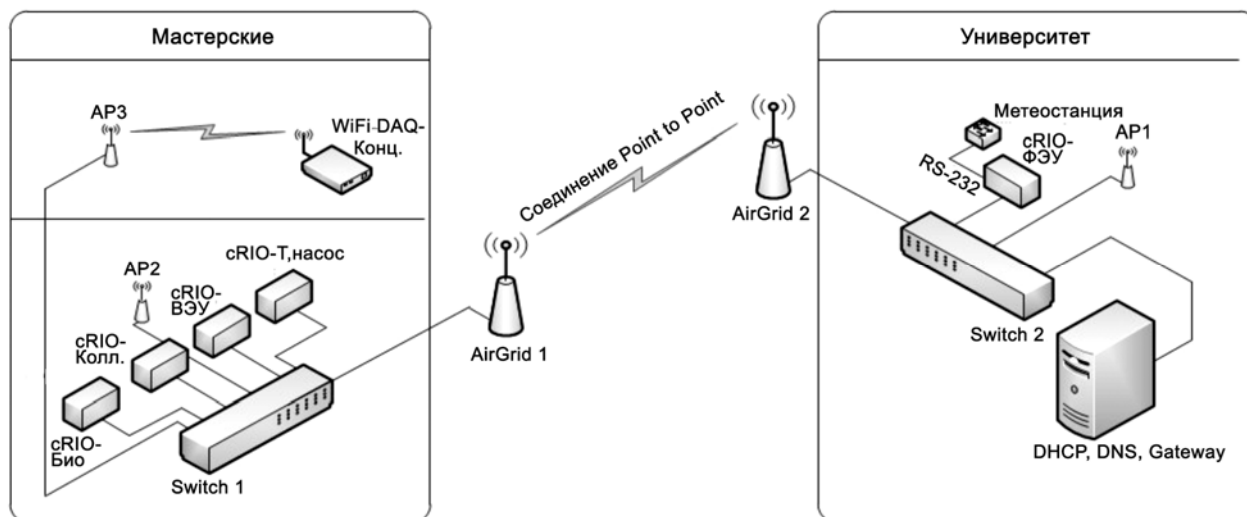


Рис. 3. Размещение стендов на территории УрФУ
Fig. 3. Stands location on the UrFU territory

При обращении к соответствующей установке справочная система интерфейса позволяет визуализировать конкретные точки и характеристики измеряемых параметров в виде блок-схемы измерений (рис. 4).

Разработанная система мониторинга позволяет с задаваемым временным интервалом от 1 с до 1 месяца формировать массивы измеренных величин, производить их статистическую обработку, хранить данные первичных измерений и обработки результатов в буферной памяти сервера.

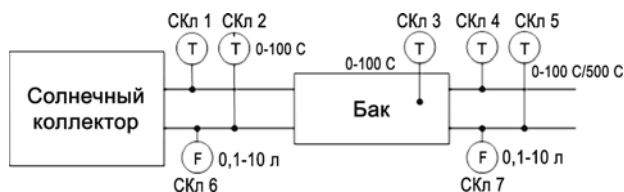


Рис. 4. Схема точек измерения для солнечного коллектора
Fig. 4. Solar collector measurement points scheme

Результаты исследований

Солнечная радиация

Результаты обработки данных приходов солнечной энергии за десятилетний промежуток времени (рис. 5) показывают статистическую устойчивость и сохранение средних значений и характера приходов солнечной энергии. Однако экспериментальные значения характеризуются значительными флуктуациями, связанными с локальными климатическими факторами.

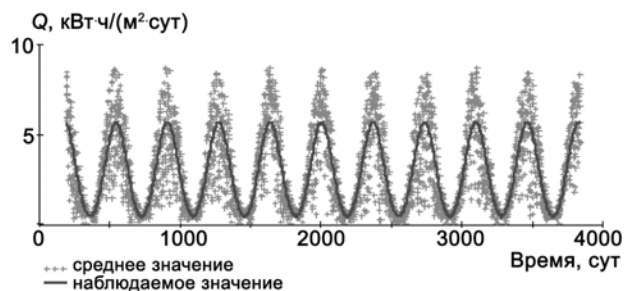


Рис. 5. График изменения суточных сумм солнечной радиации (10-летний цикл)
Fig. 5. Graph of solar radiation daily sums change (10-year cycle)

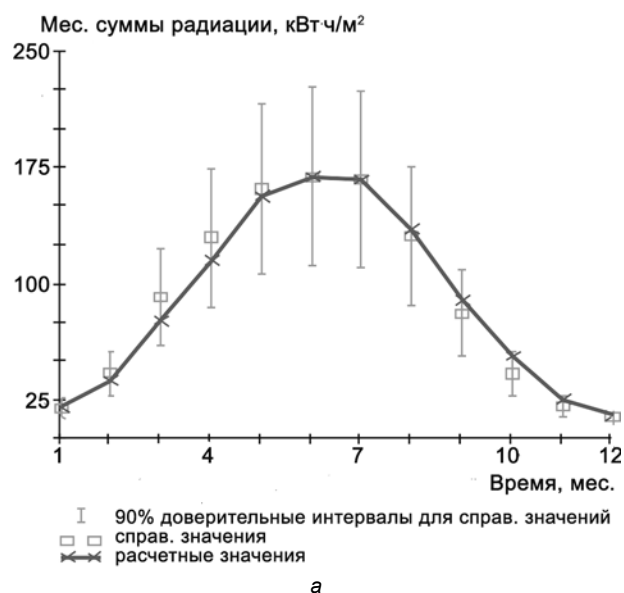
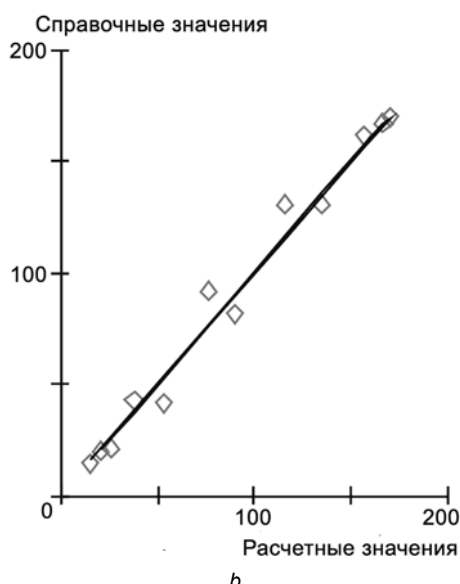


Рис. 6. Средние значения месячных сумм радиации, кВт·ч/м²
Fig. 6. Average values of the monthly amounts of solar radiation, kW·h/m²



Обработка экспериментальных данных за интервал T_i производилась по формулам

$$M_Q^{\text{меч}}(T_i) = \sqrt{\int_{-T_i/2}^{T_i/2} [M_Q(n)]^2 dt};$$

$$\sigma_Q^{\text{меч}}(T_i) = \sqrt{\int_{-T_i/2}^{T_i/2} [\sigma_Q^{\text{меч}}(n)]^2 dt},$$

где T_i – i -й временной интервал.

Сравнение результатов оценки вероятностных характеристик с данными длительных метеорологических наблюдений приведено на рис. 6. Характеристики средних значений и среднеквадратических отклонений, определенные путем обработки массива экспериментальных данных, хорошо согласуются с данными [5], что свидетельствует о надежности измерительного тракта компьютерной системы мониторинга.



Рис. 7. Удельная мощность поступления солнечной радиации для летнего месяца (июль 2014 г.)
Fig. 7. Specific power of solar radiation reception for the summer month (July 2014)

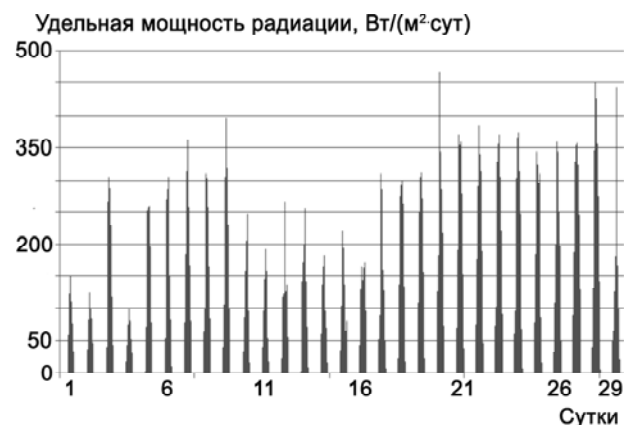


Рис. 8. Удельная мощность поступления солнечной радиации для зимнего месяца (февраль 2014 г.)
Fig. 8. Specific power of solar radiation reception for the winter month (February 2014)

Следует отметить, что суточные поступления солнечной радиации имеют выраженный стохастический характер. На рис. 7, 8 приведены данные

удельной мощности поступления солнечной радиации для характерных летнего и зимнего месяцев.

Эффективность работы фотоэлектрических установок в таких условиях также имеет выраженную статистическую нерегулярность. На рис. 9 приведены данные измерения в суточном цикле мощности тестовой фотоэлектрической установки номинальной мощностью 140 Вт.



Рис. 9. Мощность тестовой ФЭС по времени суток 9 июля 2014
Fig. 9. Power photovoltaic power plant test by time of day July 9, 2014

Оценка эффективности фотоэлектрической установки, произведенная по методике [6] оценки фактора эффективности (PR-фактор), дает среднесуточные значения в диапазоне 0,39-0,64.

Мониторинг температуры окружающей среды

Мониторинг температуры атмосферного воздуха подвержен значительным суточным колебаниям, особенно значительным в зимние и осенне-весенние периоды года. Характерные суточные колебания температуры воздуха показаны на рис. 10.

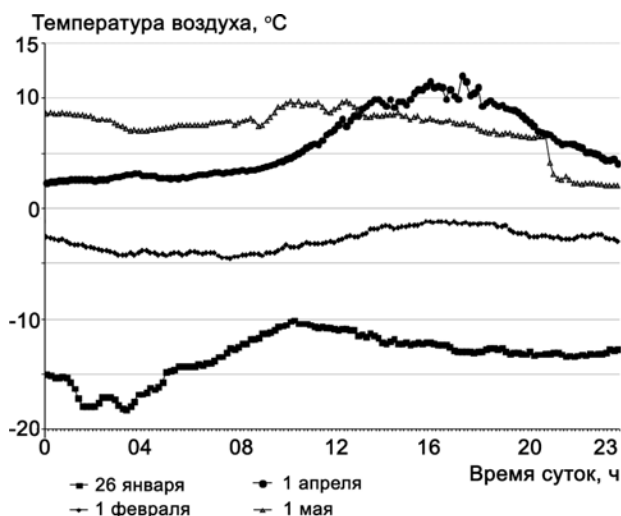


Рис. 10. Характерные графики изменения температуры воздуха
Fig. 10. Typical graphs of air temperature change

Статистическая обработка данных за многолетний период и сравнительные данные по осредненным среднемесячным температурам для ряда городов России приведены на рис. 11.

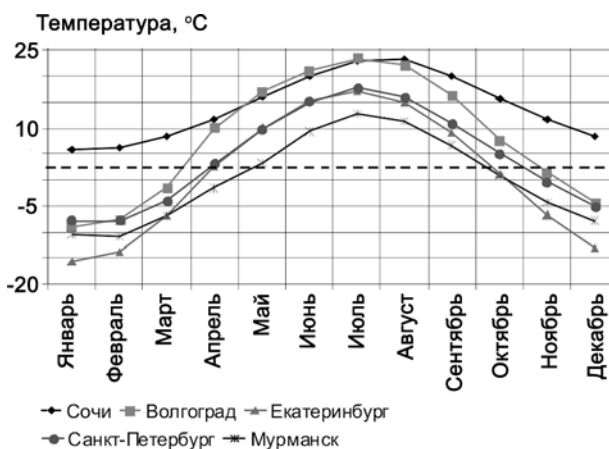


Рис. 11. Изменение среднемесячной температуры воздуха
Fig. 11. Change in average monthly air temperature

Полученные данные указывают на циклический характер изменения средних температур с существенно более низкими значениями и амплитудой годовых изменений для зон с выраженным резко-континентальным климатом.

Стохастичность графиков потребления электрической энергии

Наряду с мониторингом поступлений энергии от возобновляемых источников и характеристик окружающей среды выполнено исследование стохастических характеристик графиков энергопотребления. На рис. 12, 13 показаны типовые графики энергопотребления отдельного офисного здания в многолетнем (рис. 12) и суточном циклах (рис. 13).

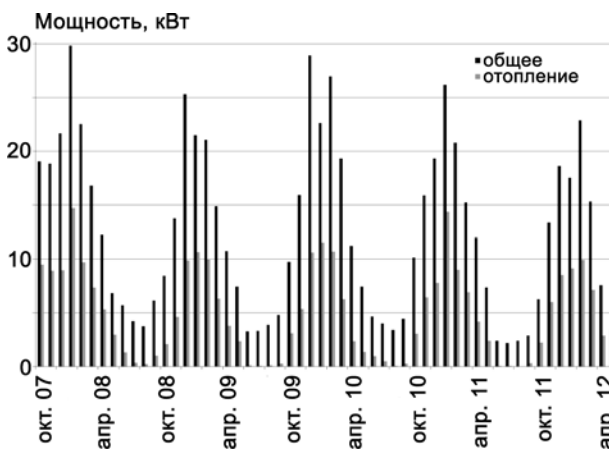


Рис. 12. График изменения потребляемой электрической энергии (5-летний цикл)
Fig. 12. Graph of electricity consumption changes (5-year cycle)

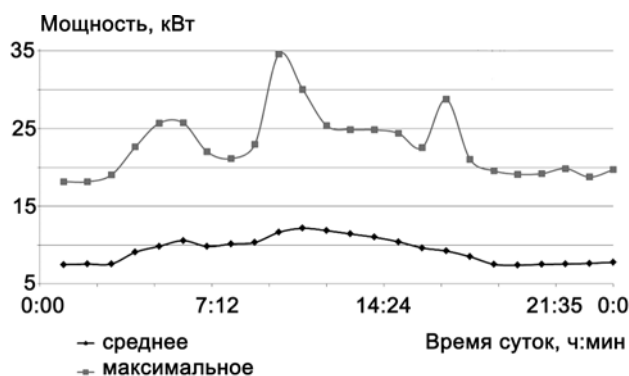


Рис. 13. Суточное потребление электрической энергии (5-летний цикл)

Fig. 13. Daily consumption of electric power electricity (5-year cycle)

Полученные результаты указывают на наличие сезонной и суточной неравномерности потребления энергии, характеризующиеся статистическим характером изменения.

Обсуждение результатов

Результаты мониторинга долговременных и мгновенных характеристик поступления солнечной радиации, температур окружающей среды и потребляемой мощности позволяют обнаружить некоторые общие закономерности:

- выраженный сезонный характер изменения перечисленных характеристик с минимумами (солнечная радиация, температура) и максимумом потребления энергии в зимний период;
- высокие поступления солнечной радиации и температуры окружающей среды с минимальной потребностью в энергии в летний период;
- выраженный стохастический характер изменения мгновенных значений всех перечисленных характеристик с высоким уровнем дисперсии.

Для обеспечения надежного энергоснабжения потребителей от установок, использующих возобновляемые источники энергии, возникает необходимость решения задачи оценки производимой мощности на уровне не ниже требуемой. Полагая, что график нагрузки солнечной энергетической установки характеризуется постоянным значением суточной потребности в энергии E_n , определим вероятность события, при котором рабочей мощности энергетической установки будет достаточно для покрытия нагрузки в виде:

$$Z(n) = P[E(n) \geq E_n] = \int_{E_n}^{\infty} f(E, M_{\Phi\Pi}(n), \sigma_{\Phi\Pi}(n)) dE = \frac{1}{2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{M_{\Phi\Pi}(n) - E_n}{\sqrt{2}\sigma_{\Phi\Pi}(n)} \right) \right),$$

где $\operatorname{erf}(x)$ – функция ошибок.

$M_{\Phi\Pi}(n)$, $\sigma_{\Phi\Pi}(n)$ – среднее значение и среднеквадратическое отклонение суточной выработки энергии солнечной энергетической установкой, определяемые соответствующими характеристиками $M_Q(n)$ и $\sigma_Q(n)$, а также углом наклона, КПД и общей площадью преобразователей солнечной энергии. Из полученных зависимостей видно, что $Z(n)$ имеет максимум в самый энергонапряженный период года, когда суммарная суточная солнечная радиация минимальна. Интегральная обеспеченность мощностью может быть определена из выражения

$$Z = \frac{1}{T} \int_{-T/2}^{T/2} Z(n) dn = \frac{1}{2T} \int_{-T/2}^{T/2} \left(1 + \operatorname{erf} \left(\frac{M_{\Phi\Pi}(n) - E_n}{\sqrt{2}\sigma_{\Phi\Pi}(n)} \right) \right) dn$$

Заключение

1. Разработана и введена в эксплуатацию многоканальная, многопараметрическая, быстросейсмическая, распределенная в пространстве, компьютерная система мониторинга поступлений энергии от возобновляемых источников разных типов.

2. Выполнены экспериментальные исследования поступлений солнечной энергии, температур окружающего воздуха и потребления тепловой и электрической энергии в многолетнем, месячном и суточном циклах.

3. Полученные экспериментальные результаты указывают на возможность энергообеспечения в климатических зонах с резко-континентальным климатом без использования дополнительных источников энергии традиционного типа в летний период года.

4. Показано принципиальное значение использования для получения состоятельных вероятностных оценок малых периодов дискретизации и достаточных объемов выборок исследуемых статистических параметров.

Список литературы

1. Научно-прикладной справочник по климату СССР: Серия 3, ч. 1-6, вып. 9. Пермская, Свердловская, Челябинская, Курганская области, Башкирская АССР. Ленинград: Гидрометеиздат, 1990.
2. Погонин А.О. Принципы формирования автономных жилых зданий в экстремальных условиях природного характера // Дис. ... канд. архитектуры по специальности «Архитектура зданий и сооружений». М., 2010.
3. Щеклеин С.Е., Немихин Ю.Е., Невьянцев С.В., Коржавин С.А. Комплекс дистанционного мониторинга установок возобновляемой энергетики с использованием Wi-Fi каналов и элементов технического зрения // WIT Transactions on Ecology and The Environment. 2014. Volume 2. P. 1185-1194.
4. Немков Д.А., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е. Исследование характеристик источников возобновляемой энергии с применением быстродействующей системы компьютерного мониторинга National Instruments. XIII Межд. научно-практ. конф. «Инженерные и научные приложения на базе технологий «National Instruments». Москва. Ноябрь 19-20, 2014, ДМК Пресс. С. 163-165.
5. NASA Langley Atmospheric Sciences Data Center (Distributed Active Archive Center)/ <http://eosweb.larc.nasa.gov/>.
6. Джайлани А.Т., Немихин Ю.Е., Щеклеин С.Е. Исследование производительности фотоэлектрической установки малой мощности в климатических условиях Екатеринбурга // Энерго- и ресурсоэффективность малоэтажных жилых зданий: Матер. науч. конф. с международным участием, Новосибирск, 24–26 марта 2015 г. Новосибирск: Изд-во Института теплофизики СО РАН, 2015. С. 203-207.

References

1. Naučno-prikladnoj spravočnik po klimatu SSSR: Seria 3, časti 1-6, vypusk 9. Permskaâ, Sverdlovskaa, Čelâbinskaâ, Kurganskaâ oblasti, Baškirskaâ ASSR. Leningrad: Gidrometeoizdat, 1990.
2. Pogonin A.O. Principy formirovaniâ avtonomnyh žilyh zdaniy v êkstremaal'nyh usloviâh prirodnogo haraktera // Dis. ... kand. arhitektury po special'nosti «Arhitektura zdaniy i sooruzhenij». M., 2010.
3. Šeklein S.E., Nemihin Ū.E., Nev'ancev S.V., Koržavin S.A. Kompleks distancionnogo monitoringa ustanovok vozobnovlâemoj ênergetiki s ispol'zovaniem Wi-Fi kanalov i êlementov tehničeskogo zreniâ // WIT Transactions on Ecology and The Environment. 2014. Volume 2. R. 1185-1194.
4. Nemkov D.A., Nemihin Ū.E., Šeklein S.E. Issledovanie harakteristik istočnikov vozobnovlâemoj ênergii s primeneniem bystrodejstvuûšej sistemy komp'ûternogo monitoringa National Instruments. XIII Mežd. naučno-prakt. konf. «Inženernye i naučnye prilozheniâ na baze tehnologij «National Instruments». Moskva. Noâbr' 19-20, 2014, DMK Press. S. 163-165.
5. NASA Langley Atmospheric Sciences Data Center (Distributed Active Archive Center)/ <http://eosweb.larc.nasa.gov/>.
6. Džajlani A.T., Nemihin Ū.E., Šeklein S.E. Issledovanie proizvoditel'nosti fotoelektričeskoj ustanovki maloj mošnosti v klimatičeskikh usloviâh Ekaterinburga // Ênergo- i resursoêffektivnost' maloëtažnyh žilyh zdaniy: Mater. nauč. konf. s meždunarodnym učastiem, Novosibirsk, 24–26 marta 2015 g. Novosibirsk: Izd-vo Instituta teplofiziki SO RAN, 2015. S. 203-207.

Транслитерация по ISO 9:1995

