

ВОЗМОЖНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ ДЛЯ НЕЗАВИСИМОГО ЭНЕРГООБЕСПЕЧЕНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ ООО «ЧЕЛЯБИНСКСПЕЦГРАЖДАНСТРОЙ»

В.Р. Низамутдинов, v.r.nizamutdinov@gmail.com

И.А. Моисеев, moiseevigor.99@mail.ru

И.А. Берсенева[✉], berseneva606@mail.ru

А.В. Курмангулов, kurmangulov99@bk.ru

К.В. Осинцев, pte2017pte@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0791-2980>

Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия

Аннотация. В статье обозначена важность планирования электропотребления производственных предприятий и представлена возможность использования фотоэлектрических панелей с оптимизационной моделью на основе прогнозных методов регулирования. Показано, что существует проблема использования как возобновляемых, так и традиционных источников энергии в России, в частности в Челябинской области. В статье рассмотрена возможность использования фотоэлектрических панелей на ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой» для покрытия как кратковременных небалансов, так и для полной децентрализации сети предприятия. Приведены результаты расчетов теплового потока солнечной панели с двум стёклами при заданной температуре окружающей среды и рассчитанным коэффициентом пропускания атмосферы на день расчёта по традиционной методике и результаты компьютерного моделирования в программном комплексе ANSYS. Результаты представлены в таблице. Проанализировано влияние среднесуточной температуры окружающей среды на величину теплового потока солнечной батареи для одного месяца 2021 года. Также затронута тема использования нейросетевых алгоритмов, позволяющих за счёт прогнозного регулирования снизить энергопотребление потребителя, а также выявить алгоритм потребления энергетических ресурсов. Описаны особенности обучения Хебба и Ойя. По результатам расчетов и компьютерному моделированию сделан вывод о степени влияния температуры окружающей среды на величину теплового потока. Описаны направления дальнейшего исследования по данной тематике.

Ключевые слова: солнечная батарея, нейросетевые алгоритмы, тепловой поток, лученспускание

Благодарности. Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-19-20011, <https://rscf.ru/project/22-19-20011/>.

Для цитирования: Возможности использования возобновляемых источников энергии для независимого энергообеспечения промышленного предприятия ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой» / В.Р. Низамутдинов, И.А. Моисеев, И.А. Берсенева и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Энергетика». 2023. Т. 23, № 1. С. 89–98. DOI: 10.14529/power230109

THE POSSIBILITIES OF USING RENEWABLE ENERGY SOURCES FOR THE INDEPENDENT ENERGY SUPPLY OF THE INDUSTRIAL ENTERPRISE “CHELYABINSKSPECGRAJDANSTROI”

V.R. Nizamutdinov, v.r.nizamutdinov@gmail.com

I.A. Moiseev, moiseevigor.99@mail.ru

I.A. Berseneva[✉], berseneva606@mail.ru

A.V. Kurmangulov, kurmangulov99@bk.ru

K.V. Osintsev, pte2017pte@mail.ru, <https://orcid.org/0000-0002-0791-2980>

South Ural State University, Chelyabinsk, Russia

Abstract. This article highlights the importance of planning the power consumption of industrial enterprises and presents the possibility of using photovoltaic panels with an optimization model based on predictive control methods. It is shown that there is a problem in the use of renewable and traditional energy sources in Russia, in particular the Chelyabinsk region. The article considers the possibility of using photovoltaic panels at LLC “ChelyabinskSpecGrajdanStroi” to cover short-term imbalances and for the complete decentralization of the enterprise network. It provides calculations of the heat flux of a solar panel with two glass panels at a given ambient temperature and the atmospheric transmittance calculated according to the traditional method and the results of computer modeling in the ANSYS software package. The influence of the average daily ambient temperature on the value of the solar cell heat flux for one month of 2021 is analyzed. The use of neural network algorithms, which allow a reduction in the energy consumption through predictive regulation and the identification of an algorithm of energy consumption are also touched upon. The features of Hebba and Oya's training are described. Based on calculations and computer modeling, conclusions were made about the degree of influence of ambient temperature on the amount of heat flow. Directions for further research on this topic are described.

Keywords: photovoltaic panel, neural network algorithms, heat flux, radiation

Acknowledgments. The study was supported by the Russian Science Foundation grant No. 22-19-20011, <https://rscf.ru/project/22-19-20011/>.

For citation: Nizamutdinov V.R., Moiseev I.A., Berseneva I.A., Kurmangulov A.V., Osintsev K.V. The possibilities of using renewable energy sources for the independent energy supply of the industrial enterprise “ChelyabinskSpecGrajdanstroi”. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Power Engineering*. 2023;23(1):89–98. (In Russ.) DOI: 10.14529/power230109

Введение

Планирование электропотребления является важной составляющей работы любого предприятия. Для уточнения планов может быть использована установка фотоэлектрических панелей и перевод непромышленных помещений производства на систему энергообеспечения за счет возобновляемых источников энергии с предлагаемой нами оптимизационной моделью на основе прогнозных методов регулирования.

В России в качестве государственной политики технологического развития электро- и теплоэнергетики [1, 2] рассматривается интеллектуальная электроэнергетическая система (ЭЭС) с активно-адаптивной сетью [1–4]. Концепция такой системы основывается на интеграции инновационных направлений для каждого из ее участников, от производства энергии и до ее потребления [2, 5–7].

Под активно-адаптивной сетью понимают сеть, способную меняться и подстраиваться под процессы, происходящие в ней, с целью децен-

трализации, анализа энергопотребления и сохранения бесперебойного электроснабжения. Основными участниками такой сети являются источники генерации, как традиционные, так и возобновляемые, электрические сети и подстанции, а также потребители с источниками генерации, способными анализировать потребление и выработку электроэнергии и выдавать в сеть избыток мощности [8].

Возобновляемая генерация, источники мини- и микрогенерации – это одна из групп, на которые можно разделить участников активно-адаптивной сети, которая на сегодняшний день практически отсутствует, в отличие от традиционных источников энергии [9]. Солнечные электростанции, строящиеся сегодня в России, не оснащаются интеллектуальными системами по выработке и накоплению энергии, поэтому не способны качественно прогнозировать количество выработанной энергии, а в часы пиковой выработки накапливать энергию и выдавать ее в сеть при провалах.

Но, помимо этого, в стране все еще очень остро стоит вопрос газификации не только населения, но и промышленных предприятий [10]. Самыми большими потребителями газа являются энерговырабатывающие предприятия, на их долю приходится порядка 60 % потребляемого газа. Однако не все предприятия имеют возможность подвести газ к своим цехам. Так, на 2021 год в Челябинской области около 7 % промышленных зон предприятий не имеют доступа к газу, что заставляет предприятия пользоваться автономными системами газоснабжения. Однако на малых предприятиях, в зависимости от сферы деятельности, газификация в принципе отсутствует. Газификация же самой Челябинской области составляет порядка 70 %, что является вторым показателем по Уральскому федеральному округу, уступая только Тюменской области [11].

Трансформация энергетики России из угольно-газовой энергетической системы с высокими экологическими затратами к низкоуглеродной и экологически чистой энергетической системе длится уже несколько десятилетий. В последнее время произошли позитивные изменения: в Комитете по энергетике Государственной Думы России подготовлен проект закона об использовании возобновляемых источников энергии [12, 13]. Концепция технической политики в тепло- и электроэнергетике России до 2030 года на экспертном уровне оценивает перспективную площадь солнечных панелей и коллекторов в 10 млн м² [14]. Данные оценки подтверждают активное развитие солнечной энергетики на промышленном российском рынке. Челябинск имеет продолжительность солнечного сияния от 2000 до 2200 часов в год, такую же, как южные города Ростов-на-Дону либо Краснодар. Поэтому можно с уверенностью утверждать, что в скором времени солнечная энергетика в Челябинской области выйдет на новый уровень. Продолжение внедрения использования солнечной энергии света будет отражено на повышенной производительности промышленных предприятий и снижении процента причинения вреда окружающей среде.

Материалы и методы

Основным фактором, влияющим на режимы работы и выработки энергии фотоэлектрическими панелями, являются погодные условия [15]. Применение алгоритмов прогнозных методов регулирования дает возможность более полного анализа энергопотребления потребителей за счёт учёта графика потребления и выработки энергии. В случае избытка выработки – накопление энергии и выдача в сеть при дефиците мощности. Используемая нами математическая модель, построенная на принципах действия биологических нейронных сетей, получая входные сигналы, впоследствии будет обрабатывать их по определённому алго-

ритму и, согласно результату обработки, передавать выходной сигнал.

Выбор нейросетевых алгоритмов обоснован возможностью обучения, в процессе которого параметры нейронной сети настраиваются посредством моделирования среды, в которую эта сеть встроена. В ходе проекта будет использован алгоритм обучения без учителя. В случае применения сигнального метода обучения Хебба и Ойя обучающее множество будет состоять лишь из входных векторов, а алгоритм подстраивает веса сети так, чтобы предъявление достаточно близких входных векторов давало одинаковые выходы [16].

На первоначальном этапе изучения проблематики прогнозных методов регулирования необходимо смоделировать тепловые процессы с помощью программы ANSYS. Используя пакет ANSYS для анализа эффективности солнечной батареи опытной установки, мы можем выявить основные факторы, влияющие на эффективность ее работы. Это позволит найти такие оптимальные условия эксплуатации, при которых батарея будет поглощать максимальное количество солнечной энергии.

В программном комплексе ANSYS все расчеты производятся по методу конечных элементов (МКЭ) [17]. Метод конечных элементов – это метод решения вариационных задач. Идея метода состоит в том, что значения, например, функционала

$$\Phi(y) = \int_a^b F(x, y, y') dx, \quad (1)$$

рассматриваются не на произвольных, непрерывных и допустимых в данной задаче кривых $y = y(x)$, а на всевозможных ломаных (рис. 1), которые состоят из n прямолинейных звеньев с заданными абсциссами вершин, которые называются узлами (nodes).

Если ординаты вершин ломаной линии обозначить через

$$y(a), y_1, y_2, \dots, y_n, y(b), \quad (2)$$

то функционал $\Phi(y)$ на таких ломаных становится функцией ординат $y_1, y_2, \dots, y_n$ вершин этих ломаных, т. е.

$$\Phi = \Phi(y_1, y_2, \dots, y_n), \quad (3)$$

так как ломаная вполне определяется заданием узловых ординат. Производные y' могут быть выражены через конечные разности значений функции в узлах, а интеграл можно приближенно заменить суммой отдельных значений F , умноженных на Δx .

Действительно получим, что

$$\Phi = \Phi(y_1, y_2, \dots, y_n) = \sum_{i=0}^{n-1} F\left(x_i, y_i, \frac{y_{i+1} - y_i}{\Delta x}\right) \Delta x. \quad (4)$$

Таким образом, задача о минимуме функционала сводится к задаче о минимуме функции многих переменных – узловых значений $y_1, y_2, \dots, y_n$.

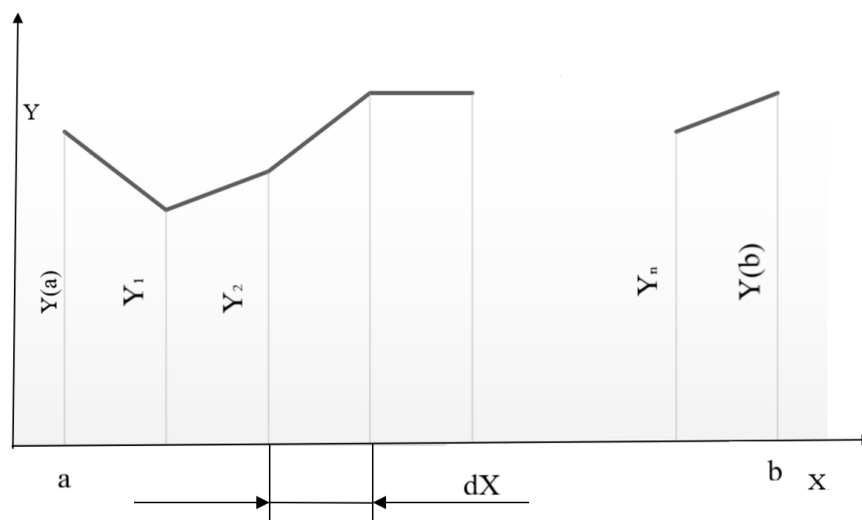


Рис. 1. Разбиение кривой на прямолинейные звенья
Fig. 1. Splitting the curve into straight links

Для решения этой задачи нужно составить систему уравнений:

$$\left. \begin{aligned} \frac{\partial \Phi}{\partial y_1} &= 0; \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y_2} &= 0; \\ \dots\dots\dots \\ \frac{\partial \Phi}{\partial y_n} &= 0. \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

В результате решения этой системы относительно неизвестных узловых значений $y_1, y_2, \dots, y_n$ находятся эти значения, и тем самым находится и ломаная, доставляющая минимум функционалу.

По методу конечных элементов на выбранном конечном участке Δx функция $y(x)$ не обязательно заменяется линейной зависимостью, а может быть составлена в виде полинома:

$$y = a_1 + a_2x + a_3x^2 + \dots + a_kx^{k-1}. \quad (6)$$

При решении задач теплопроводности используется следующая последовательность.

1. В рассматриваемой области фиксируется конечное число точек. Эти точки называются узловыми.

2. Значение температуры T_i в каждой точке i считается неизвестным и подлежащим определению.

3. Область определения температуры разбивается на конечное число подобластей, называемых конечными элементами. Эти элементы имеют общие узловые точки и в совокупности аппроксимируют (приближают) форму области.

4. Искомая непрерывная величина температуры t аппроксимируется в каждом элементе полиномом, который определяется с помощью узловых значений температуры T_i . Для каждого конечного элемента определяется свой полином, но эти полиномы подбираются так, чтобы (при размерности

задачи, равной двум и более) сохранить непрерывность температурного поля вдоль границ элемента.

5. В пределах конечного элемента приближенное значение температуры $\bar{t}$ в общем случае трехмерного поля представляется зависимостью

$$\bar{t}^e(x, y, z) = \sum_{i=1}^m F_i^e(x, y, z) T_i, \quad (7)$$

где F_i – так называемые функции формы, зависящие от вида выбранного полинома и формы конечного элемента;

T_i – узловые значения температуры;

m – число узлов в конечном элементе;

e – индекс, указывающий, что величина относится к конечному элементу.

6. Соотношения типа (7) суммируются по элементам:

$$\bar{t} = \sum_{e=1}^E \bar{t}^e \sum_{i=1}^m F_i^e(x, y, z) T_i, \quad (8)$$

что и дает выражение для приближенного решения задачи о температурном поле в данной области через узловые значения температуры T_i , которые пока неизвестны. После их нахождения из решения системы алгебраических линейных уравнений будет получено окончательное приближенное аналитическое решение задачи.

7. Искомые узловые значения температуры T_i определяются из условия ортогональности невязки к функциям формы, если вместо вариационного метода применить метод взвешенных невязок Галеркина.

В МКЭ соответствующая сумма образуется из локальных (местных) функций формы F_i^e . Глобальные функции должны не только удовлетворять главным граничным условиям, но и достаточно полно описывать геометрию, физические свойства тела и другие характеристики. Все эти условия в сложных случаях трудновыполнимы.

При локальной аппроксимации получаются функции более простого вида, но значительно увеличивается объем вычислений. Последний недостаток МКЭ легко преодолевается при использовании быстродействующих ЭВМ.

Для сравнения были проведены расчеты по методике, описанной в [18], и в программе ANSYS. Это сравнение было сделано для того, чтобы выяснить процент расхождения результатов, полученных в программе ANSYS и результатов, полученных с помощью традиционной методики, представленной в [18].

При расчете по методике [18] было сначала определено лучеиспускание.

Склонение по приближенному уравнению Купера [18]:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (9)$$

где n – параметр, задаваемый для каждого дня месяца, согласно табличным данным.

Косинус угла падения лучевого излучения (зенитного угла Солнца):

$$\cos(\theta_z) = \cos(\varphi) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(\omega) + \sin(\varphi) \cdot \sin(\delta), \quad (10)$$

где θ_z – зенитный угол, отсчитываемый от вертикали;

φ – широта – угловое положение приёмной поверхности к северу или югу от экватора;

ω – часовой угол – угловое смещение Солнца к востоку или западу от местного меридиана;

δ – угол склонения Солнца – угловое положение Солнца в солнечный полдень относительно плоскости экватора.

Коэффициент пропускания атмосферы для уравнения пучкового излучения с учётом зенитного угла, высоты для стандартной атмосферы, а также поправки для четырёх типов климата:

$$\tau_b = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot e^{\left(\frac{-k}{\cos(\theta_z)}\right)}, \quad (11)$$

где α_0 , α_1 , k – константы для стандартной атмосферы, зависящие от высоты воспринимающей поверхности над уровнем моря A :

$$\alpha_0 = 0,4237 - 0,00821 \cdot (6 - A)^2; \quad (12)$$

$$\alpha_1 = 0,5055 + 0,00595 \cdot (6,5 - A)^2; \quad (13)$$

$$k = 0,2711 - 0,01858 \cdot (2,5 - A)^2. \quad (14)$$

Для учёта определённого типа климата необходимо умножить константы на соответствующие коэффициенты: соответственно r_0 , r_1 и r_k согласно табличным данным.

Расчёт излучения рассчитаем по системе уравнений:

$$G_{on} = \begin{cases} G_{sc} \cdot \left(1 + 0,033 \cdot \cos\left(\frac{360 \cdot n}{365}\right)\right); \\ G_{sc} \cdot (1,000110 + 0,034221 \cdot \cos(B) + 0,001280 \cdot \sin(B) + 0,000719 \cdot \cos(2B) + 0,000077 \cdot \sin(2B)), \end{cases} \quad (15)$$

где G_{sc} – солнечная постоянная, $G_{sc} = 1367$ Вт/м²;

G_{on} – внеатмосферное излучение Солнца;

B – коэффициент, зависящий от порядкового номера дня года n :

$$B = (n - 1) \cdot \frac{360}{365}. \quad (16)$$

Тепловой поток был рассчитан по методике [19]:

$$q_{пол} = G_{on} - U \cdot (T_{п} - T_0), \quad (17)$$

где $q_{пол}$ и $q_{погл}$ – удельные полный и поглощаемый потоки солнечной радиации;

U – коэффициент потерь;

$T_{п}$, T_0 – соответственно средняя температура поверхности панели и температура окружающей среды.

Полный коэффициент U для большинства конструкций равен 0,5...1,0 Вт/м²К.

Лучеиспускание и тепловой поток были рассчитаны для оптимального для нашей широты угла наклона солнечной панели 47°. Значения температуры были получены из данных за март 2021 года для каждого дня [20]. В таблице приведены результаты расчета.

Расчет теплового потока был сделан и в программном комплексе ANSYS. Результаты приведены в таблице. Моделирование проводилось для аналогичных условий для каждого дня марта 2021 года.

Расчетные значения лучеиспускания и теплового потока за март 2021 года
The radiation and heat flux values for March 2021

Дата	Значения температуры	Угол падения солнечных лучей на фотоэлектрическую панель, °	Лучеиспускание света для чистого неба в горизонтальной поверхности, Вт/м ²	Тепловой поток расчётный, Вт/м ²	Значение теплового потока по ANSYS, Вт/м ²
01.03	-12	47	231,56	2854,44	3470,38
02.03	-7	47	225,3	2860,7	3376,5
03.03	-3	47	224,92	2861,08	3370,86
04.03	-2	47	230,67	2855,33	3457,02
05.03	3	47	237,92	2848,08	3565,68
06.03	-3	47	239,84	2846,16	3594,45
07.03	-8	47	234,45	2851,55	3513,65
08.03	-9	47	227,11	2858,89	3403,68
09.03	0	47	224,24	2861,76	3360,65
10.03	-4	47	228,02	2857,98	3417,3
11.03	-12	47	235,52	2850,48	3529,7
12.03	-12	47	240,06	2845,94	3597,75
13.03	-5	47	237,07	2848,93	3552,92
14.03	-4	47	229,58	2856,42	3440,71
15.03	-2	47	224,54	2861,46	3365,16
16.03	2	47	225,92	2860,08	3385,82
17.03	1	47	232,69	2853,31	3487,29
18.03	-2	47	239,15	2846,85	3584,10
19.03	-4	47	239,03	2853,57	3582,29
20.03	0	47	232,43	2860,24	3483,39
21.03	0	47	225,76	2861,39	3382,07
22.03	-1	47	224,61	2856,17	3366,21
23.03	1	47	229,83	2848,73	3444,46
24.03	3	47	237,27	2845,97	3555,93
25.03	4	47	240,03	2850,72	3597,30
26.03	9	47	235,28	2858,21	3526,11
27.03	6	47	227,79	2861,77	3413,84
28.03	2	47	224,23	2858,68	3360,50
29.03	6	47	227,32	2851,3	3406,84
30.03	2	47	234,70	2846,1	3517,40
31.03	6	47	239,9	2846,1	3594,35

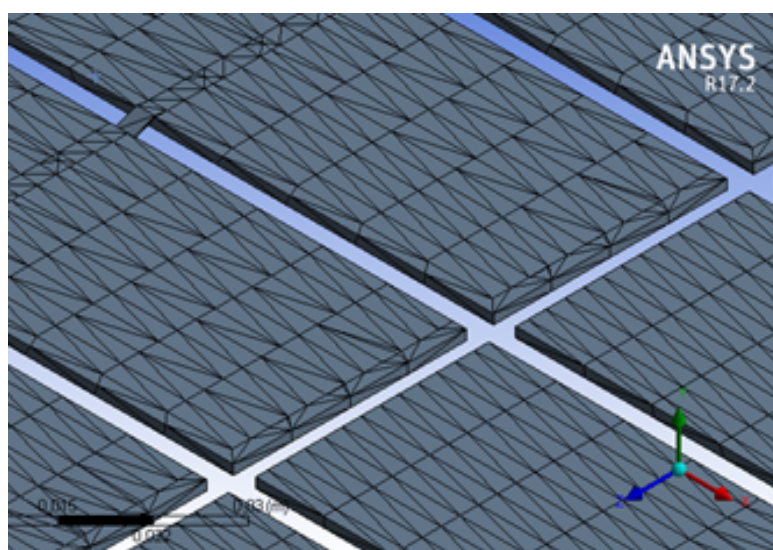


Рис. 2. Сетка конечных элементов в виде тетраэдров
Fig. 2. A grid of finite elements in the form of tetrahedra

При решении нашей задачи были выбраны конечные элементы типа Tetrahedron (рис. 2).

Выбор программы ANSYS обусловлен тем, что, по сравнению с другими аналогами, данный продукт может обмениваться данными с большинством ведущих CAE-систем автоматического инженерного анализа (CAE – Computer Aids Engineering). Фирма ANSYS Inc. активно работает со многими другими разработчиками с целью создания более совершенных расчетных средств, помогающих пользователям работать производительно.

Результаты и обсуждение

При подсчете среднего значения теплового потока в интервале температур от 9 до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ для марта 2021 года получили следующие результаты. Среднее значение теплового потока, полученного по методике [19], – $2854,14\text{ Вт/м}^2$. Среднее значение теплового потока, полученного при моделировании в программе ANSYS, – $3474,33\text{ Вт/м}^2$. Изменение величины теплового потока, рассчитанного по методике [19], в рассматриваемом интервале температур составило 0,5 %. Изменение теплового потока, рассчитанного по программе ANSYS, составило 6,8 % в данном интервале температур.

Расхождение результатов величин теплового потока, рассчитанного по методике и по программе ANSYS, составляет 17,8 %.

Для уточнения полученных значений планируется провести натурный эксперимент на ООО «ЧелябинскСпецГражданСтрой» с солнечным модулем Delta SM 150-12 P мощностью 150 Вт. Для замера теплового потока будет использован измеритель теплового потока ЦИТ-2 ИТП. Сравнивая

полученные в ходе эксперимента значения теплового потока с рассчитанными по методике и в программном комплексе ANSYS, можно рассчитать погрешность расхождения результатов и учитывать её при дальнейших исследованиях влияния различных параметров на количество вырабатываемой электрической энергии солнечным модулем.

Выводы

После анализа полученных результатов можно сделать вывод, что в интервале температур от 9 до $-12\text{ }^{\circ}\text{C}$ величина теплового потока практически не меняется. Таким образом, количество получаемой электроэнергии не зависит от температуры окружающей среды. Так как в формулу для расчета лучеиспускания входят угловые величины φ , δ , ω , которые, в свою очередь, зависят от положения Земли относительно Солнца в разное время года, то величина теплового потока будет существенно зависеть от угла наклона солнечной панели относительно падающих на неё солнечных лучей и в меньшей степени – от температуры окружающей среды. Поэтому для разных времен года для данного предприятия необходимо подобрать оптимальные углы наклона солнечной батареи, чтобы получить наибольшие значения теплового потока, а следовательно, получить большее количество электроэнергии [21].

Использование совместно с солнечными панелями прогнозного регулирования позволяет найти ещё один подход к решению одной из самых актуальных проблем последних десятилетий во всех сферах человеческой жизни – проблемы энергоэффективности и энергосбережения [21].

Список литературы

1. Новицкий Н.Н. Методические проблемы интеллектуализации трубопроводных систем и направления развития теории гидравлических цепей для их решения // Тр. XIV Всерос. науч. семинара «Математические модели и методы анализа и оптимального синтеза развивающихся трубопроводных и гидравлических систем». Иркутск: ИСЭМ СО РАН. 2014. 280 с. ISBN 978-5-93. С. 301–318.
2. Стенников В.А. О реформировании теплоснабжения России // Энергосбережение. 2014. № 5. С. 63–66; № 6. С. 62–67.
3. Воропай Н.И. Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы // Автоматизация и ИТ в энергетике. 2011. № 3 (20). С. 11–16.
4. Дорофеев В.В., Макаров А.А. Активно-адаптивная сеть – новое качество ЕЭС России // Энерго-эксперт. 2009. № 4. С. 28–34.
5. Воропай Н.И., Стенников В.А. Интегрированные интеллектуальные энергетические системы // Известия Российской академии наук. Энергетика. 2014. № 1. С. 64–73.
6. Modeling of Integrated Energy Supply Systems: Main Principles, Model, and Applications / N. Voropai, V. Stennikov, S. Senderov et al. // Journal of Energy Engineering. 2017. Vol. 143 (5). P. 04017011. DOI: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000443
7. Основные положения концепции интеллектуальной энергосистемы с активно-адаптивной сетью [Электронный ресурс]. URL: <https://docplayer.com/414731-Osnovnye-polozeniya-koncepcii-intellektualnoy-energosisistemy-s-aktivno-adaptivnoy-setyu.html> (дата обращения: 11.12.2021).
8. Глебов И. Интеллектуальные энергетические системы городов с активно-адаптивной сетью (Smart Grid): настоящее и будущее [Электронный ресурс]. URL: <https://www.eprussia.ru/epr/339/3180950.htm> (дата обращения: 11.12.2021).

9. Лукутин Б.В., Суржикова О.А., Шандарова Е.Б. Возобновляемая энергетика в децентрализованном электроснабжении. М.: Энергоатомиздат, 2008. 231 с.
10. Сухарев М.Г. Состояние, проблемы и методы обеспечения надежности систем газоснабжения // Надежность систем энергетики: проблемы, модели и методы их решения. Новосибирск: Наука, 2014. С. 165–189.
11. Правительство Челябинской области. Постановление. О региональной программе газификации жилищно-коммунального хозяйства, промышленных и иных организаций в Челябинской области на 2017– 2021 годы [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/543703618> (дата обращения: 11.12.2021).
12. Shishkov A.N., Osintsev K.V. Modernization of technological equipment in the waste water purification process behind the coke oven using the organic Rankine cycle // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. Vol. 1064 (1). P. 012032. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012032
13. Osintsev K.V., Shishkov A.N. Increasing the energy efficiency of the industrial enterprise technological and mechanical equipment due to the use of converter steam // IOP Conference Series Materials Science and Engineering. Vol. 1064 (1). P. 012033. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012033
14. ОАО РАО «ЕЭС России» – Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г. [Электронный ресурс]. URL: <https://bib.convdocs.org/v23396/?download=file> (дата обращения: 11.12.2021).
15. Прогнозное управление локальной городской системой теплоснабжения на основе нейросетевого моделирования / Г.В. Нетбай, В.Д. Онискив, В.Ю. Столбов, Р.Р. Каримов // Вестник ЮУрГУ. Серия «Компьютерные технологии, управление, радиоэлектроника». 2020. Т. 20, № 3 С. 29–38. DOI: 10.14529/ctcr200303
16. Комаров Н.М., Жаров В.Г. Управление инженерными системами интеллектуального здания с использованием информационного и инфографического моделирования // СЕРВИС Plus. 2013. № 2. С. 74–81.
17. Чернявский А.О. Практическое применение метода конечных элементов в задачах расчета на прочность: учеб. пособие. Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. С. 5–22.
18. Aqlan A.M., Aqlan M., Momin A.E. Solar-powered desalination, a novel solar still directly connected to solar parabolic trough // Energy Reports. 2021. Vol. 7. P. 2245–2254. DOI: 10.1016/j.egy.2021.04.041
19. Амерханов Р.А. Оптимизация сельскохозяйственных энергетических установок с использованием возобновляемых видов энергии. М.: КолоС, 2003. 532 с.
20. Moiseev I.A., Shishkov A.N., Berseneva I.A., Osintsev K.V. Simulation of the operation of the solar panel of the pilot plant in the Ansys software package // IOP Conference Series Earth and Environmental Science. 2022; Vol. 990 (1). P. 012059. DOI: 10.1088/1755-1315/990/1/012059
21. Бушуев В.В. «Умная» энергетика на базе новых организационно-технологических принципов управления инфраструктурными системами // XI Международная научно-техническая конференция «Интеллектуальная электроэнергетика, автоматика и высоковольтное коммутационное оборудование». Москва, 2011. 22 с.

References

1. Novitsky N.N. [Methodical Problems of Intellectualization of Pipeline Systems and Directions of Development of the Theory of Hydraulic Circuits for Their Solution]. In: *Tr. XIV Vseros. nauch. seminar "Matematicheskie modeli i metody analiza i optimal'nogo sinteza razvivayushchikhsya truboprovodnykh i gidravlicheskih system"* [Mathematical Models and Methods of Analysis And Optimal Synthesis of Developing Pipeline and Hydraulic Systems]. Irkutsk: ISEM SO RAN; 2014. P. 301–318. (In Russ.)
2. Stennikov V.A. [On Reforming the Heat Supply in Russia]. *Energoberezhenie* [Energy Saving]. 2014;5:63–66. 2014;6:62–67. (In Russ.)
3. Voropay N.I. [Intelligent Electric Power Systems: Concept, State, Prospects]. *Avtomatizatsiya i IT v energetike* [Automation and IT in the Energy Sector]. 2011;3(20):11–16. (In Russ.)
4. Dorofeev V.V. [Active-Adaptive Network – a New Quality of the UES of Russia]. *Energoekspert* [Energy Expert]. 2009;4:28–34. (In Russ.)
5. Voropai N.I., Stennikov V.A. Integrated smart energy systems. *Proceedings of the Russian academy of sciences. Power engineering*. 2014;1:64–73. (In Russ.)
6. Voropai N., Stennikov V., Senderov S., Barakhtenko E., Voitov O., Ustinov A. Modeling of Integrated Energy Supply Systems: Main Principles, Model, and Applications. *Journal of Energy Engineering*. 2017;143(5):04017011. DOI: 10.1061/(ASCE)EY.1943-7897.0000443
7. *Osnovnyye polozheniya kontseptsii intellektual'noy energosistemy s aktivno-adaptivnoy set'yu* [The Main Provisions of the Concept of an Intelligent Energy System with an Active-Adaptive Network]. (In Russ.) Available at: <https://docplayer.com/414731-Osnovnye-polozeniya-koncepcii-intellektualnoy-energosishtemy-s-aktivno-adaptivno-setyu.html> (accessed 11.12.2021).

8. Glebov I. *Intellektual'nyye energeticheskiye sistemy gorodov s aktivno-adaptivnoy set'yu (Smart Grid): nastoyashcheye i budushcheye* [Intelligent Energy Systems of Cities with an Active-Adaptive Network (Smart Grid): Present and Future]. (In Russ.) Available at: <https://www.eprussia.ru/epr/339/3180950.htm> (accessed 11.12.2021).
9. Lukutin B.V., Surzhikova O.A., Shandarova E.B. *Vozobnovlyayemaya energetika v detsentralizovannom elektrosnabzhenii* [Renewable energy in decentralized power supply]. Moscow: Energoatomizdat; 2008. 231 p. (In Russ.)
10. Sukharev M.G. [State, problems and methods of ensuring the reliability of gas supply systems]. In: *Reliability of energy systems: problems, models and methods for solving them*. Novosibirsk: Nauka; 2014. P. 165–189. (In Russ.)
11. *Pravitel'stvo Chelyabinskoy oblasti. Postanovleniye. O regional'noy programme gazifikatsii zhilishchno-kommunal'nogo khozyaystva, promyshlennykh i inyykh organizatsiy v Chelyabinskoy oblasti na 2017–2021 gody* [Government of the Chelyabinsk region. Decree. On the regional program for gasification of housing and communal services, industrial and other organizations in the Chelyabinsk region for 2017–2021]. (In Russ.) Available at: <https://docs.cntd.ru/document/543703618> (accessed 11.12.2021).
12. Shishkov A.N., Osintsev K.V. Modernization of technological equipment in the waste water purification process behind the coke oven using the organic Rankine cycle. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 1064(1):012032. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012032
13. Osintsev K.V., Shishkov A.N. Increasing the energy efficiency of the industrial enterprise technological and mechanical equipment due to the use of converter steam. *IOP Conference Series Materials Science and Engineering*. 1064(1):012033. DOI: 10.1088/1757-899X/1064/1/012033
14. *ОАО РАО ЕЭС России – Основные положения (Концепция) технической политики в электроэнергетике России на период до 2030 г.* [Russian Joint Stock Company “United Energy System of Russia” – Basic provisions (Concept) of the technical policy in the electric power industry of Russia for the period up to 2030]. Available at: <https://bib.convdocs.org/v23396/?download=file> (accessed 11.12.2021).
15. Netbay G.V., Oniskiv V.D., Stolbov V.Yu., Karimov R.R. Management of a Local Urban Heat Supply System Based on Neural Network Modeling Taking into Account the Weather Forecast. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Computer Technologies, Automatic Control, Radio Electronics*. 2020;20(3):29–38. (In Russ.) DOI: 10.14529/ctcr200303
16. Komarov N.M., Zharov V.G. [Management of engineering systems of an intelligent building using information and infographic modeling]. *SERVICE Plus*. 2013;2:74–81.
17. Chernyavskiy A.O. *Prakticheskoye primeneniye metoda konechnykh elementov v zadachakh rascheta na prochnost': ucheb. posobiye* [Practical application of the finite element method in problems of strength calculation]. Chelyabinsk: South Ural St. Univ. Publ.; 2001. P. 5–22. (In Russ.)
18. Aqlan A.M., Aqlan M., Momin A.E. Solar-powered desalination, a novel solar still directly connected to solar parabolic trough. *Energy Reports*. 2021;7:2245–2254. DOI: 10.1016/j.egyr.2021.04.041
19. Amerkhanov R.A. *Optimizatsiya sel'skokhozyaystvennykh energeticheskikh ustanovok s ispol'zovaniyem vozobnovlyayemykh vidov energii* [Optimization of agricultural power plants using renewable types of energy]. Moscow: KoloS; 2003. 532 p. (In Russ.)
20. Moiseev I.A., Shishkov A.N., Berseneva I.A., Osintsev K.V. Simulation of the operation of the solar panel of the pilot plant in the Ansys software package. *IOP Conference Series Earth and Environmental Science*. 2022;990(1):012059. DOI: 10.1088/1755-1315/990/1/012059
21. Bushuev V.V. [“Smart” energy based on new organizational and technological principles for managing infrastructure systems]. In: *XI Mezhdunarodnaya nauchno-tehnicheskaya konferentsiya “Intellektual'naya elektroenergetika, avtomatika i vysokovol'tnoe kommutatsionnoye oborudovanie”* [XI International scientific and technical conference “Smart electric power industry, automation and high-voltage switching equipment”]. Moscow; 2011. 22 p.

Информация об авторах

Низамутдинов Вадим Ринатович, студент, кафедра промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; v.r.nizamutdinov@gmail.com.

Моисеев Игорь Алексеевич, студент, кафедра промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; moiseevigor.99@mail.ru.

Берсенева Ирина Александровна, канд. техн. наук, доц., кафедра промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; berseneva606@mail.ru.

Курмангулов Александр Викторович, студент, кафедра промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; kurmangulov99@bk.ru.

Осинцев Константин Владимирович, канд. техн. наук, доц., заведующий кафедрой промышленной теплоэнергетики, Южно-Уральский государственный университет, Челябинск, Россия; pte2017pte@mail.ru.

Information about the authors

Vadim R. Nizamutdinov, Student, Department of Industrial Thermal Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; v.r.nizamutdinov@gmail.com.

Igor A. Moiseev, Student, Department of Industrial Thermal Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; moiseevigor.99@mail.ru.

Irina A. Berseneva, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Department of Industrial Thermal Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; berseneva606@mail.ru.

Aleksandr V. Kurmangulov, Student, Department of Industrial Thermal Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; kurmangulov99@bk.ru.

Konstantin V. Osintsev, Cand. Sci. (Eng.), Ass. Prof., Head of the Department of Industrial Thermal Power Engineering, South Ural State University, Chelyabinsk, Russia; pte2017pte@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 08.04.2022; одобрена после рецензирования 21.11.2022; принята к публикации 21.11.2022.

The article was submitted 08.04.2022; approved after review 21.11.2022; accepted for publication 21.11.2022.