



УДК 621.311.243

А. А. ФЕДОТОВ, аспирант кафедры теплогазоснабжения; **А. Г. КОЧЕВ**, д-р техн. наук, проф., зав. кафедрой теплогазоснабжения; **М. М. СОКОЛОВ**, канд. техн. наук, доц. кафедры теплогазоснабжения

ПРАКТИЧЕСКИЙ АСПЕКТ РАСЧЕТА И ПОДБОРА СОЛНЕЧНЫХ ПАНЕЛЕЙ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ АКТУАЛЬНЫХ ДАННЫХ МЕТЕОРОЛОГИЧЕСКИХ СЛУЖБ О СОЛНЕЧНОЙ ИНСОЛЯЦИИ

ФГБОУ ВО «Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет».

Россия, 603952, г. Н. Новгород, ул. Ильинская, д. 65.

Тел.: (831) 433-45-35; эл. почта: kochev.1961@mail.ru, araim1985@list.ru

Ключевые слова: солнечные панели, солнечная инсоляция, расчет и подбор солнечных панелей, оптимизация систем солнечной энергетики, системы теплоснабжения.

В статье приводится методика расчета и подбора солнечных панелей с учетом заданной нагрузки и данных метеорологических служб о солнечной инсоляции. Представлена блок-схема алгоритма. Рассматриваются особенности применения программы для конкретных климатических регионов. Приводятся графические значимости, построенные программой на основании полученных результатов. Технические аспекты полученных решений рассматриваются в выводах.

Введение

При проектировании инженерных систем, использующих возобновляемые источники энергии, для православных храмов наиболее оптимальным было выявлено сочетание солнечных панелей и теплового насоса [1–4], с возможным использованием ветрогенераторов [5, 6]. Однако существуют определенные сложности с подбором отдельных систем, поэтому в данной работе применен авторский подход к подбору солнечных панелей, включающий детальное объяснение алгоритма расчета и подбора солнечных панелей, основанное на фундаментальных принципах фотовольтаики и энергетики. Данный алгоритм представляет собой комплексную методологию, направленную на оптимизацию эффективности и целесообразности использования солнечной энергии.

Первым этапом алгоритма является анализ климатических условий и географических характеристик региона, что включает в себя оценку солнечной инсоляции, продолжительности светового дня и атмосферных условий.

Далее следует этап моделирования и симуляции работы фотоэлектрических систем с использованием специализированного программного обеспечения, что позволяет учесть такие параметры, как температурный коэффициент эффективности, коэффициент затенения и эксплуатационные потери [7–9].

Материалы и методы

Предварительно были проведены серии испытаний ряда солнечных панелей, как в лабораторных, так и в натурных условиях (рис. 1).

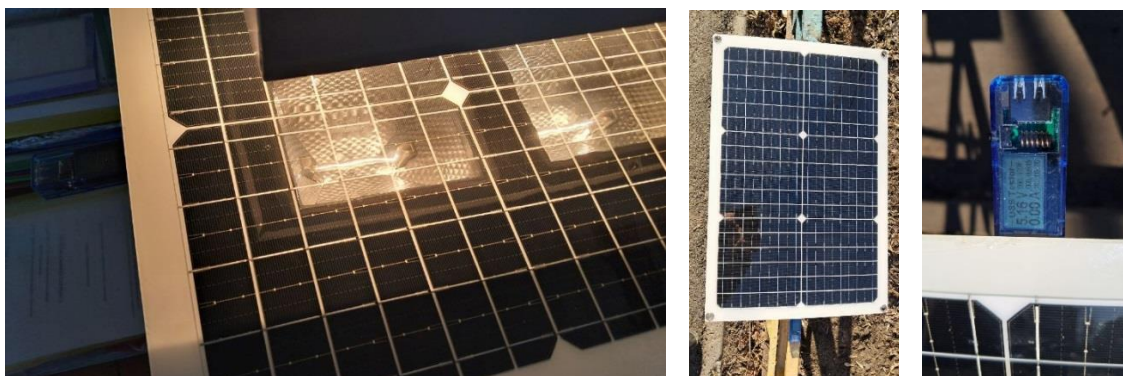


Рис. 1. Фрагменты исследования солнечных панелей в лабораторных и натуральных условиях

С целью изучения вопроса была разработана блок-схема, описывающая алгоритм расчета и подбора солнечных панелей на территории храма для заданной нагрузки (рис. 2, 3), который выполняется с использованием актуальных данных метеорологических служб о солнечной инсоляции в Нижнем Новгороде [10–12].

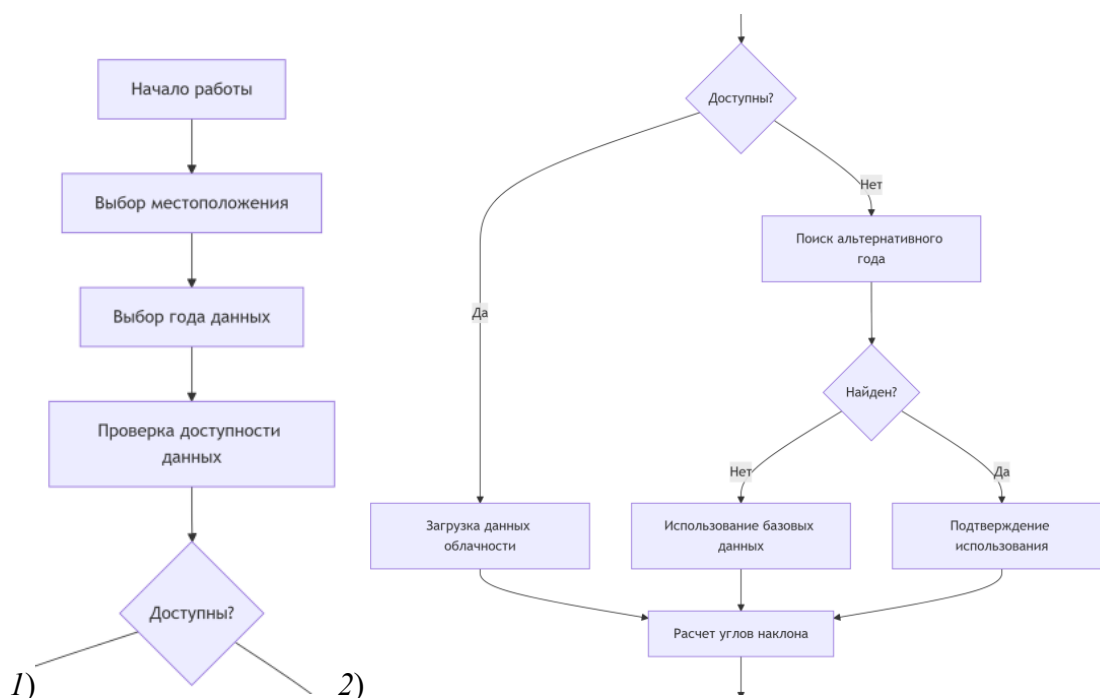


Рис. 2. Первая часть блок-схемы алгоритма расчета и подбора солнечных панелей

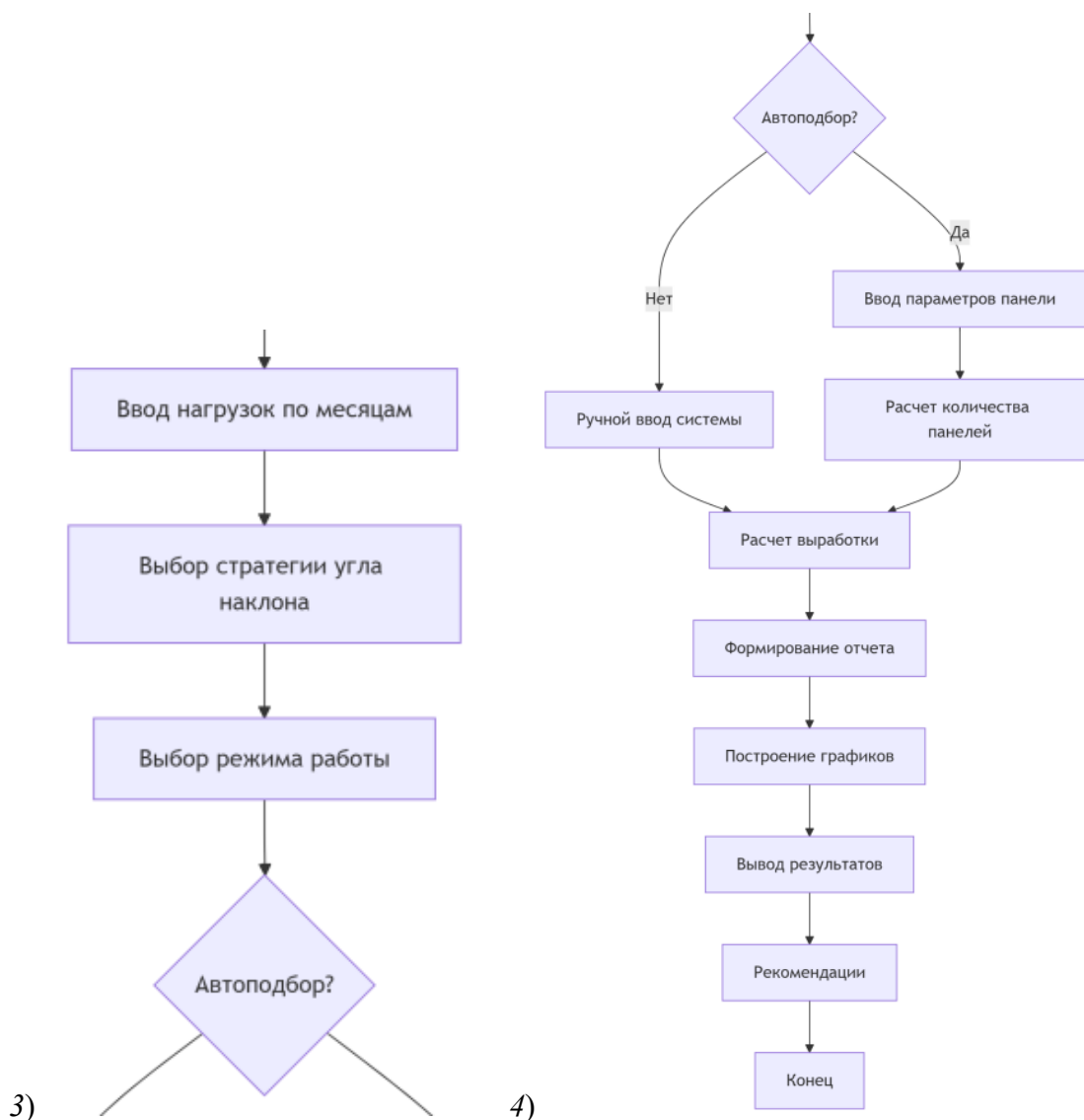


Рис. 3. Вторая часть блок-схемы алгоритма расчета и подбора солнечных панелей

На базе рассмотренного алгоритма расчета и подбора солнечных панелей был разработан код программы на *Python*, выполняющей расчет и подбор солнечных панелей для заданной нагрузки с учетом актуальных данных о солнечной инсоляции для г. Н. Новгорода и по координатам.

Основные этапы работы кода программы для ЭВМ (рис. 4):

1. Получение данных солнечной инсоляции для Нижнего Новгорода ($\text{кВт}\cdot\text{ч}/\text{м}^2$ в день) по месяцам.
2. Учет фактической погоды (облачность, осадки) через *API* метеорологических служб (для реальных данных потребуются доступ к *API*, но в примере можно использовать сохраненные данные).
3. Расчет выработки энергии солнечной панелью в зависимости от ее характеристик (мощность, эффективность, угол наклона и т.д.) и инсоляции.
4. Сравнение выработки с нагрузкой (потреблением) для определения необходимой мощности панелей.



```
print(f"\nЗагрузка данных инсоляции за {year} год...")
try:
    response = requests.get(url, params=params, timeout=15)
    if response.status_code == 200:
        data = response.json()
        if 'daily' in data and 'cloud_cover_mean' in data['daily']:
            print(f"✅ Данные за {year} год успешно загружены")
            return data['daily'], year
        else:
            print(f"⚠ В данных за {year} год отсутствует информация об облачности")
            return None, year
    else:
        print(f"⚠ Ошибка API ({response.status_code}) для {year} года: {response.text}")
        return None, year
except requests.exceptions.Timeout:
    print(f"⚠ Таймаут при загрузке данных за {year} год")
    return None, year
except Exception as e:
    print(f"⚠ Ошибка соединения для {year} года: {e}")
    return None, year

def check_data_availability(latitude: float, longitude: float, year: int):
    """Проверка доступности данных за указанный год"""
    print(f"Проверка доступности данных за {year} год...")
    try:
        # Быстрая проверка доступности данных
        test_params = {
            'latitude': latitude,
            'longitude': longitude,
            'start_date': f'{year}-01-01',
            'end_date': f'{year}-01-05',
            'daily': 'cloud_cover_mean',
            'timezone': 'Europe/Moscow'
        }
```

Рис. 4. Фрагмент исходного кода программы для ЭВМ на *Python*

В работе программы учтены:

- Угол наклона солнечных панелей [13, 14]. Для каждого месяца есть оптимальный угол, но если панели установлены стационарно, то обычно выбирают угол равный широте местности (для Нижнего Новгорода около 56 градусов) или средний угол около 45 градусов. В нашем расчете можно либо использовать фиксированный угол, либо менять его по месяцам.

- Потери на нагрев, загрязнение и т.д. (обычно 10–15 %).

- Коэффициент эффективности панели (зависит от типа панели).

Представленный в работе алгоритм расчета и подбора солнечных панелей является научно обоснованным и практико-ориентированным инструментом, который позволяет обеспечить эффективное и экономически выгодное использование солнечной энергии.

Программа предоставляет комплексное решение для проектирования солнечных энергосистем с учетом географических особенностей, реальных метеорологических данных и пользовательских требований.

Алгоритм работы программного комплекса обеспечивает гибкость настройки и предоставляет детализированные рекомендации для оптимальной конфигурации системы.

Результат работы программы представлен далее в виде скриншотов: фрагмента исходного кода, окна ввода данных и итогового отчета с графиками (рис. 5, 6).



```
*IDLE Shell 3.13.5*
File Edit Shell Debug Options Window Help

Октябрь: 280
Ноябрь: 350
Декабрь: 550

Загрузка данных инсоляции за 2024 год...
[✓] Данные за 2024 год успешно загружены
[✓] Корректировка инсоляции на облачность выполнена

Выберите стратегию угла наклона:
1 - Помесячная корректировка (максимальная эффективность)
2 - Фиксированный угол (проще в реализации)
Ваш выбор (1/2): 1

Выберите режим работы:
1 - Автоматический подбор количества панелей
2 - Ручной ввод параметров системы
Ваш выбор (1/2): 2

Мощность одной панели (Вт): 580
Количество панелей: 40
Площадь одной панели (м²): 2.65

⚙ Конфигурация системы:
- Панели: 40 x 580.0 Вт
- Общая мощность: 23.2 кВт
- Занимаемая площадь: 106.0 м²
- Стратегия угла наклона: Помесячная корректировка

=====
📄 ОТЧЁТ ДЛЯ СИСТЕМЫ: 40 x 580.0 Вт = 23.2 кВт
📍 Местоположение: Нижний Новгород (56.3267, 44.0059)
📅 Год данных инсоляции: 2024
📐 Стратегия угла наклона: Помесячная корректировка
=====

🔍 СВОДНЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ:
- Годовая выработка: 1803.5 кВт*ч
- Годовое потребление: 4160.0 кВт*ч
- Автономность: 4/12 месяцев
- Коэффициент использования: 77.7 кВт*ч/кВт
- Занимаемая площадь: 106.0 м²

⚠ ВНИМАНИЕ: Годовой дефицит 2356.5 кВт*ч (56.6%)
Проблемные месяцы: Январь, Февраль, Март, Апрель, Май, Октябрь, Ноябрь, Декабрь
Рекомендуется добавить: 576 панелей по 580.0 Вт
Дополнительная площадь: 1526.4 м²
```

Рис. 5. Ввод исходных данных и результат работы программы для расчета и подбора солнечных панелей

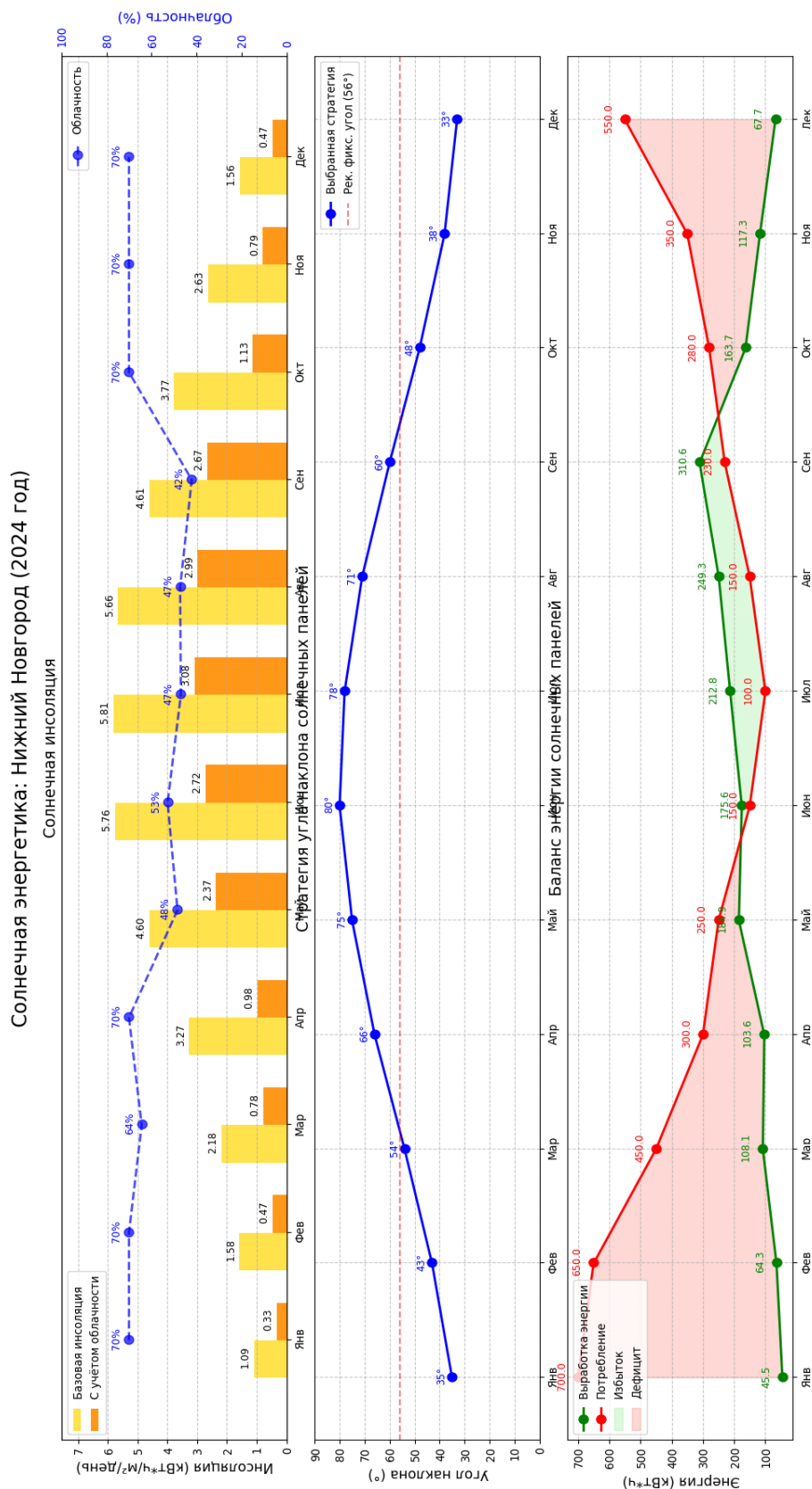


Рис. 6. Отчет с графиками, создаваемый программой по результатам расчета и подбора солнечных панелей



Программа формирует отчет в виде таблицы с помесечными данными: базовая и скорректированная инсоляция, угол наклона, выработка энергии, потребление, процент покрытия. Также генерируются графики: график солнечной инсоляции, график углов наклона и график баланса энергии.

В завершение программа выводит сводные показатели: годовая выработка/потребление, автономность (месяцы), коэффициент использования, занимаемая площадь. Затем производится анализ дефицита или избытка, выявляются проблемные месяцы и предлагаются варианты оптимизации, такие как установка дополнительных панелей, использование аккумуляторов или изменение конфигурации системы.

Выводы

1. На основании полученных данных (рис. 5 и 6) можно сделать вывод о существенном дефиците энергопотребления в рассматриваемой системе. Годовая выработка электроэнергии составляет 1803,5 кВт·ч, что ниже годового потребления в 4160 кВт·ч. Это приводит к дефициту в размере 2356,5 кВт·ч, что составляет 56,6 % от общего потребления.

2. Автономность системы составляет 4 месяца (июнь, июль, август и сентябрь), что указывает на сезонную зависимость энергопотребления, требующую мер для бесперебойной работы системы в зимний период.

3. Для обеспечения автономности на протяжении всего года рекомендуется установка дополнительных 576 шт. солнечных панелей, что позволит увеличить годовую выработку электроэнергии до 3511,2 кВт·ч, покрывая 84,4 % годового потребления. Однако для размещения такого количества панелей потребуется дополнительная площадь в размере 1526,4 м², что может потребовать оптимизации пространства и учета архитектурных особенностей объекта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1 Jeßberger, Jaromir. Florian Heberle, Dieter Brüggemann, Maximising the potential of deep geothermal energy: Thermal output increase by large-scale heat pumps / Jaromir Jeßberger, Florian Heberle, Dieter Brüggemann // *Applied Thermal Engineering*. – 2024. – Volume 257, part A. – 124240. – ISSN 1359-4311. – <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124240>.

2. Cavazzini, Giovanna. Analysis of a domestic air heat pump integrated with an air-geothermal heat exchanger in real operating conditions: The case study of a single-family building / Giovanna Cavazzini, Giacomo Zanetti, Alberto Benato // *Energy and Buildings*. 2024. Volume 315. 114302. ISSN 0378-7788. – <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114302>.

3. Wang, Xiaoyan. A field test of medium-depth geothermal heat pump system for heating in severely cold region / Liaoyang Wang, Tao Zhan, Guang Liu, Long Ni // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2023. – Volume 48. – 103125. – ISSN 2214-157X. – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103125>.

4. Competitive study of a geothermal heat pump equipped with an intermediate economizer for various ORC working fluids / Song Zhao, Azher M. Abed, Ahmed Deifalla, Ahmed Al-Zahrani, Yashar Aryanfar, Jorge Luis García Alcaraz, Ahmed M. Galal, Wei Sai // *Case Studies in Thermal Engineering*. – 2023. – Volume 45. – 102954. – ISSN 2214-157X. – <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102954>.

5. Saham, Sam. Aerodynamic efficiency assessment of a cross-axis wind turbine integrated with an offshore deflector // Sam Saham, Saber Rezaey // *Heliyon*. – 2024. – Volume 10, Issue 17. – e36412. – ISSN 2405-8440. – <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36412>.



6. Bayron, Paul Richard Kelso, Rey Chin, Experimental analysis of co-rotating and counter-rotating tandem horizontal-axis wind turbine performance and wake dynamics // Paul Bayron, Richard Kelso, Rey Chin // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. – 2024 / – Volume 253. – 105840. – ISSN 0167-6105. – <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105840>.

7. Wang, Zhihang Hybrid solar energy device for simultaneous electric power generation and molecular solar thermal energy storage // Zhihang Wan, Helen Hölzel, Lorette Fernandez, Adil S. Aslam, Paulius Baronas, Jessica Orrego-Hernández, Shima Ghasemi, Mariano Campoy-Quiles, Kasper Moth-Poulsen // *Joule*. – 2024. – ISSN 2542-4351. – <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.06.012>.

8. Wang, Zhihang. Chip-scale solar thermal electrical power generation / Zhihang Wang Wu, Zhiyu Hu, Jessica Orrego-Hernández, Erzhen Mu, Zhao-Yang Zhang, Martyn Jevric, Yang Liu, Xuecheng Fu, Fengdan Wang, Tao Li, Kasper Moth-Poulsen // *Cell Reports Physical Science*. – 2022. – Volume 3, Issue 3. – 100789. – ISSN 2666-3864. – <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.100789>.

9. Guo, Yongtao. Cost-benefit analysis of photovoltaic-storage investment in integrated energy systems / Yongtao Guo, Yue Xiang // *Energy Reports*. – 2022. – Volume 8, supplement 5. – Pages. 66–71. – ISSN 2352-4847. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.158>.

10. Анализ использования возобновляемых источников энергии для создания и поддержания требуемых параметров микроклимата в православных храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов А.А // *Приволжский научный журнал / Нижегородский государственный архитектурно-строительный университет*. – 2019. – № 4 (52). – С. 127–133.

11. Практическое использование альтернативных энергетических ресурсов в православных храмах / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов // *Известия высших учебных заведений. Строительство*. – 2019. – № 7 (727). – С. 78–85. – DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85.

12. Особенности сохранения исторического облика фасадов православных храмов при проектировании инженерных систем / А. Г. Кочев, М. М. Соколов, Е. А. Кочева, А. А. Федотов. В. А. Уваров // *Жилищное строительство*. – 2024. – № 12. – С. 29–34. – DOI 10.31659/0044-4472-2024-12-29-34.

13. Agrisolar, incentives and sustainability: Profitability analysis of a photovoltaic system integrated with a storage system / Idiano D'Adamo, Massimo Gastaldi, Sunil Luthra, Leonardo Rimoldi, *Energy Reports*. – 2024. – Volume 12. – Pages 251–258. – ISSN 2352-4847. – <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.06.033>.

14. Simulation test of 50 MW grid-connected “Photovoltaic+Energy storage” system based on pvsyst software, Results in Engineering / Fangfang Wang, Renjie Li, Guangjin Zhao, Dawei Xia, Weishu Wang. – 2024. – Volume 22. – 102331. – ISSN 2590-1230. – <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102331>.

FEDOTOV Artem Aleksandrovich, postgraduate student of the chair of heat and gas supply systems; KOCHEV Aleksey Gennadievich, doctor of technical sciences, professor, holder of the chair of heat and gas supply systems; SOKOLOV Mikhail Mikhailovich, candidate of technical sciences, associate professor of chair of heat and gas supply systems

PRACTICAL ASPECT OF CALCULATION AND SELECTION OF SOLAR PANELS USING CURRENT DATA FROM METEOROLOGICAL SERVICES ON SOLAR INSOLATION



Nizhny Novgorod State University of Architecture and Civil Engineering.

65, Iljinskaya St., Nizhny Novgorod, 603952, Russia.

Tel.: (831) 433-45-35; e-mail: kochev.1961@mail.ru, araim1985@list.ru

Key words: solar panels, solar insolation, calculation and selection of solar panels, optimization of solar energy systems, heating systems.

This article presents a methodology for calculating and selecting solar panels based on a given load and meteorological data on solar insolation. A flowchart of the algorithm is presented. The program's application to specific climate regions is discussed. Graphical values generated by the program based on the obtained results are presented. The technical aspects of the solutions obtained are discussed in conclusion.

REFERENCES

1. Jaromir Jeßberger, Florian Heberle, Dieter Brüggemann. Maximising the potential of deep geothermal energy: Thermal output increase by large-scale heat pumps, *Applied Thermal Engineering*, Vol. 257, Part A, 2024, 124240, ISSN 1359-4311, <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2024.124240>.
2. Giovanna Cavazzini, Giacomo Zanetti, Alberto Benato. Analysis of a domestic air heat pump integrated with an air-geothermal heat exchanger in real operating conditions: The case study of a single-family building, *Energy and Buildings*, Vol. 315, 2024, 114302, ISSN 0378-7788, <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2024.114302>.
3. Xiaoyan Wang, Tao Zhan, Guang Liu, Long Ni. A field test of medium-depth geothermal heat pump system for heating in severely cold region, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 48, 2023, 103125, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.103125>.
4. Song Zhao, Azher M. Abed, Ahmed Deifalla, Ahmed Al-Zahrani, Yashar Aryanfar, Jorge Luis García Alcaraz, Ahmed M. Galal, Wei Sai. Competitive study of a geothermal heat pump equipped with an intermediate economizer for various ORC working fluids, *Case Studies in Thermal Engineering*, Vol. 45, 2023, 102954, ISSN 2214-157X, <https://doi.org/10.1016/j.csite.2023.102954>.
5. Sam Saham, Saber Rezaey. Aerodynamic efficiency assessment of a cross-axis wind turbine integrated with an offshore deflector, *Heliyon*, Vol. 10, Issue 17, 2024, e36412, ISSN 2405-8440, <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e36412>.
6. Paul Bayron, Richard Kelso, Rey Chin. Experimental analysis of co-rotating and counter-rotating tandem horizontal-axis wind turbine performance and wake dynamics, *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*, Vol. 253, 2024, 105840, ISSN 0167-6105, <https://doi.org/10.1016/j.jweia.2024.105840>.
7. Zhihang Wang, Helen Hölzel, Lorette Fernandez, Adil S. Aslam, Paulius Baronas, Jessica Orrego-Hernández, Shima Ghasemi, Mariano Campoy-Quiles, Kasper Moth-Poulsen. Hybrid solar energy device for simultaneous electric power generation and molecular solar thermal energy storage, *Joule* 8, 2024. ISSN 2542-4351, <https://doi.org/10.1016/j.joule.2024.06.012>.
8. Zhihang Wang, Zhenhua Wu, Zhiyu Hu, Jessica Orrego-Hernández, Erzhen Mu, Zhao-Yang Zhang, Martyn Jevric, Yang Liu, Xuecheng Fu, Fengdan Wang, Tao Li, Kasper Moth-Poulsen. Chip-scale solar thermal electrical power generation, *Cell Reports Physical Science*, Vol. 3, Issue 3, 2022, 100789, ISSN 2666-3864, <https://doi.org/10.1016/j.xcrp.2022.100789>.
9. Yongtao Guo, Yue Xiang. Cost-benefit analysis of photovoltaic-storage investment in integrated energy systems, *Energy Reports*, Vol. 8, Supplement 5, 2022, Pages 66–71, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2022.02.158>.



10. Kochev A. G., Sokolov M. M., Kocheva E. A., Fedotov A. A. Ispolzovaniya vozobnovlyayemykh istochnikov energii dlya sozdaniya i podderzhaniya trebuyemykh parametrov mikroklimata v pravoslavnykh khramakh [Analysis of the use of renewable energy sources to create and maintain the required microclimate parameters in Orthodox churches]. Privolzhskiy nauchnyy zhurnal [Privolzhsky Scientific Journal]. Nizhegorod. gos. arkhitektur.-stroit. un-t. 2019, № 4 (52), P. 127–133.

11. Kochev A. G., Sokolov M. M., Kocheva E. A., Fedotov A. A. Prakticheskoye ispolzovaniye alternativnykh energeticheskikh resursov v pravoslavnykh khramakh [Practical use of alternative energy resources in Orthodox churches]. Izvestiya vysshikh uchebnykh zavedeniy. Stroitelstvo [News of Higher Educational Institutions. Construction]. 2019, № 7 (727), P. 78–85. DOI: 10.32683/0536-1052-2019-727-7-78-85.

12. Kochev A. G., Sokolov M.M., Fedotov A. A., Uvarov V. A. Osobennosti sokhraneniya istoricheskogo oblika fasadov pravoslavnykh khramov pri proyektirovanii inzhenernykh sistem [Features of preserving the historical appearance of the facades of Orthodox churches when designing engineering systems] Zhilishchnoe stroitelstvo [Housing Construction]. 2024, № 12, P. 29–34. DOI 10.31659/0044-4472-2024-12-29-34.

13. Idiano D'Adamo, Massimo Gastaldi, Sunil Luthra, Leonardo Rimoldi. Agrisolar incentives and sustainability: Profitability analysis of a photovoltaic system integrated with a storage system, Energy Reports, Vol. 12, 2024, P. 251–258, ISSN 2352-4847, <https://doi.org/10.1016/j.egy.2024.06.033>.

14. Fangfang Wang, Renjie Li, Guangjin Zhao, Dawei Xia, Weishu Wang. Simulation test of 50 MW grid-connected “Photovoltaic+Energy storage” system based on pvsyst software, Results in Engineering, Vol. 22, 2024, 102331, ISSN 2590-1230, <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2024.102331>.

© А. А. Федотов, А. Г. Кочев, М. М. Соколов, 2025

Получено: 29.10.2025 г.