

Математическое моделирование системы выработки энергии на фотоэлектрических батареях для жилого района

Т. Г. Тедорадзе • П. И. Амади

*Кубанский государственный технологический университет
Институт морских технологий Университета Порт-Харкорта, Нигерия*

В условиях растущего осознания экологических и энергетических рисков, связанных с эксплуатацией невозобновляемых ресурсов, становится важным развитие и внедрение современных инновационных и устойчивых методов планирования городской инфраструктуры и энергетических систем, направленных на минимизацию этих угроз. Крайне актуальной является разработка математической модели для проектирования жилых районов, полностью функционирующих на основе возобновляемых и экологически чистых источников энергии. В данном исследовании представлены математические модели солнечных энергосистем как основы проектирования системы возобновляемых источников энергии, включающей солнечные фотоэлектрические установки и способной удовлетворить средние энергетические потребности жилого района. Выявлены потенциальные проблемы и преимущества технической и экономической осуществимости такой системы. Это исследование вносит вклад в научный дискурс о развитии фотоэлектрических технологий. Территориальная область исследования – Порт-Харкорт. Представленные решения и подходы обладают универсальностью и могут быть применены в различных регионах мира при условии соответствия базовым требованиям к ресурсной базе и энергетическим потребностям.

Математические модели, возобновляемые источники, солнечная энергетика, фотоэлектрические элементы, солнечные панели.

ВВЕДЕНИЕ

Современная солнечная энергетика, основанная на передовых мировых технологиях, представляет собой альтернативу традиционной топливной энергетике. По прогнозам, к 2050 году солнечная энергетика займёт доминирующее положение на рынке экологически чистых технологий, а к концу XXI века она сможет обеспечить от 75% до 90% всех глобальных потребностей в электричестве [Ано20].

Целью исследования является разработка математической модели для проектирования систем возобновляемой энергетики, объединяющих солнечные фотоэлектрические модули для нужд жилого района. Исследование основано на ранее проведённом авторами комплексном анализе технико-экономической целесообразности внедрения гибридных энергосистем. Научная значимость работы заключается в расширении теоретического базиса в области фотоэлектрических технологий, повышении осведомлённости о преимуществах возобновляемых источников энергии (ВИЭ), количественной оценке влияния ВИЭ на энергетический баланс городских территорий.

Научно-технический прогресс выступает в качестве ключевого фактора, способствующего развитию производственных процессов, что проявляется в постоянном увеличении потребления электрической энергии. В современном мире большинство энергетических систем по-прежнему основываются на традиционных источниках, таких как ископаемые виды

Тедорадзе Т. Г., Амади П. И. Математическое моделирование системы выработки энергии на фотоэлектрических батареях для жилого района // СИИТ. 2026. Т. 8, № 5(29). С. 146-152. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no5-p146. EDN: FSQNVТ.

Tedoradze T. G., Amadi P. I. "Mathematical modeling of a photovoltaic power generation system for a residential area" // SIIT. 2026. Vol. 8, no. 5(29), pp. 146-152. DOI: 10.54708/SIIT-2026-no5-p146. EDN: FSQNVТ. (In Russian).

топлива — нефть, уголь и природный газ, запасы которых формировались в недрах Земли на протяжении миллионов лет [Ted25]. Хотя процессы образования этих ресурсов продолжают под воздействием высоких температур и давления, их использование осуществляется значительно быстрее, чем происходит восполнение, что создаёт угрозу истощения ресурсов и возникновению экологических проблем [Опо22].

Фотоэлектрические технологии реализуют принцип прямого преобразования энергии солнечного излучения в электрическую энергию на основе фотоэлектрического эффекта. В рамках глобальной трансформации энергетического сектора данные технологии демонстрируют устойчивую динамику развития и занимают значимую нишу в структуре ВИЭ, обладая рядом конкурентных преимуществ по сравнению с альтернативными решениями [Dix20].

Согласно результатам аналитического исследования авторов, ключевыми эксплуатационными достоинствами фотоэлектрических систем выступают:

- отсутствие акустического воздействия на окружающую среду (бесшумность работы);
- нулевые локальные выбросы загрязняющих веществ в атмосферный воздух;
- высокая климатическая устойчивость (работоспособность в экстремальных погодных условиях);
- минимальные требования к оперативному техническому обслуживанию [Ma14, Ted25].

Авторы подчёркивают существенный потенциал масштабирования фотоэлектрических установок для организации крупномасштабного производства электроэнергии, что подтверждает их стратегическую значимость в энергетическом переходе. Вместе с тем технологический процесс изготовления солнечных панелей сопряжён с рядом экологических и гигиенических рисков:

- использование опасных химических веществ;
- работа с наноразмерными полупроводниковыми материалами;
- образование специфических отходов производства.

Данные факторы обуславливают необходимость:

- строгого контроля технологических процессов;
- внедрения комплексных мер производственной безопасности;
- организации специализированной системы утилизации отходов [Dix20].

Исследователи подчёркивают, что фотоэлектрические системы, наряду с ветряными установками, которые используют солнечное излучение и ветровые ресурсы для производства электроэнергии, становятся доминирующими в контексте развития наряду с другими источниками зелёной энергии [Has23]. Для решения актуальных энергетических и экологических задач всё чаще привлекаются ВИЭ, обладающие рядом значительных преимуществ. Основные из них — это неисчерпаемость и высокий уровень экологичности, что делает ВИЭ жизнеспособной альтернативой традиционным источникам энергии [Rom22, Mos22]. Эти технологии способны одновременно решать три глобальные проблемы: обеспечение энергетической безопасности, охрану окружающей среды и продовольственную безопасность [Бум21]. Их развитие поддерживается внедрением современных технологий, таких как метеорология, аэродинамика, теплоэнергетика и электроэнергетика, что также способствует увеличению внутреннего спроса на продукцию машиностроения и расширению экспортных возможностей страны [Has24, Mos22].

Учёные выделяют несколько инновационных направлений в электроэнергетике, обусловленных недавними технологическими достижениями. Эти новшества позволяют интегрировать разнообразные источники энергии в единую систему электроснабжения, что содействует созданию устойчивых энергетических решений, таких как небольшие солнечные установки, ветровые системы и традиционные крупномасштабные генераторы [Hen20, Tpe17, Zeb21].

В работе изучаются технические характеристики и функциональные преимущества систем в контексте их надёжности, эффективности и уровня выработки энергии на основе проведённого анализа.

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

Математическое моделирование фотоэлектрических решёток представляет собой важный инструмент в области возобновляемых источников энергии, способствующий оптимизации проектирования и повышения эффективности солнечных энергетических систем. Фотоэлектрические решётки, состоящие из множества солнечных панелей, преобразуют солнечную энергию в электрическую, и их производительность зависит от различных факторов, включая географические условия, ориентацию панелей и структуру материала.

Одной из ключевых задач математического моделирования является разработка комплексных моделей, позволяющих учесть физические и химические процессы, происходящие в материалах солнечных элементов. Это включает в себя моделирование фотогальванических процессов, трансформации света в электричество и динамики тепловых процессов. Использование дифференциальных уравнений и моделей на основе конечных элементов позволяет анализировать поведение фотоэлектрических элементов под различными условиями эксплуатации. Кроме того, математическое моделирование способствует оптимизации расположения панелей в пределах фотоэлектрической решётки. Алгоритмы, основанные на теории оптимизации, используют результаты моделирования для определения углов наклона и ориентации панелей, что позволяет максимизировать солнечную инсоляцию и, следовательно, повысить общую эффективность системы. Это особенно актуально в контексте интеграции фотоэлектрических решений в существующую инфраструктуру и в условиях ограниченного пространства.

Уравнение для расчёта выходной электрической мощности P_B фотоэлектрической решётки (ФЭР) задаётся в виде

$$P_B = \mu_B \times S_B \times G_{\text{ГСИ}}, \quad (1)$$

где P_B – выходная мощность ФЭР; μ_B – КПД фотоэлектрического генератора; S_B – площадь фотоэлектрического генератора; $G_{\text{ГСИ}}$ – глобальное солнечное излучение.

Выходная электрическая мощность P_B ФЭР представляет собой детерминированную функцию трёх фундаментальных параметров. Уравнение (1) выражает выходную мощность фотоэлектрической решётки P_B , которая является функцией площади фотоэлектрического генератора S_B , который определяет геометрическую характеристику приёмной поверхности, непосредственно участвующей в преобразовании солнечной энергии. В практических расчётах учитывается только площадь, занятая фотоактивными элементами, без конструктивных элементов (рам, зазоров, крепёжных узлов). Второе, КПД фотоэлектрического генератора μ_B , который количественно выражает эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую. Третье, глобального излучения $G_{\text{ГСИ}}$ – энергии, получаемая от солнца в виде электромагнитного излучения. Значение его подвержено временной и пространственной изменчивости, обусловленной:

- астрономическими факторами (высота Солнца, время суток, сезон);
- метеорологическими условиями (облачность, атмосферная прозрачность);
- ориентацией решётки.

Уравнение для расчёта энергии E , выработанной за временной интервал $\Delta t = [t_1, t_2]$ задаётся в виде

$$E = \int_{t_1}^{t_2} P_B(t) dt = \int_{t_1}^{t_2} \mu_B S_B G_{\text{ГСИ}} \cdot \quad (2)$$

Глобальное солнечное излучение зависит от наклона измеряемой поверхности, высоты Солнца над поверхностью Земли и атмосферных условий.

Эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую в фотоэлектрических системах значительно зависит от ряда факторов, среди которых ключевую роль играют наклон

измеряемой поверхности, высота солнца над горизонтом и атмосферные условия. Эти параметры определяют, как количество солнечного излучения, достигающего поверхности, так и его качество, что непосредственно влияет на производительность солнечных панелей.

Наклон измеряемой поверхности, то есть угол, под которым солнечные панели ориентированы относительно горизонта, критически важен для максимизации поглощения солнечного излучения. Оптимальный угол наклона позволяет минимизировать отражение солнечного света и обеспечить максимальную инсоляцию. Исследования показывают, что даже небольшие отклонения от оптимального угла могут привести к значительным потерям в производительности, особенно в условиях высокой солнечной активности. Угол наклона должен адаптироваться в зависимости от времени года и географического положения, что требует применения систем трекинга, позволяющих следить за движением солнца по небосводу.

Высота солнца над поверхностью Земли, определяемая углом его нахождения над горизонтом, также оказывает значительное влияние на интенсивность солнечного излучения, достигающего поверхности:

$$I = I_0 \cos \theta, \quad (3)$$

где I – интенсивность солнечного излучения на поверхности Земли; I_0 – солнечная постоянная (интенсивность солнечного излучения вне атмосферы); θ – угол падения солнечных лучей.

Согласно уравнению (3) в полуденные часы, когда солнце находится в зените, инсоляция достигает максимума, тогда как в утренние и вечерние часы, когда солнце находится низко над горизонтом, интенсивность света значительно снижается. С учётом этого, проектирование фотоэлектрических систем должно учитывать динамику изменения высоты солнца в течение дня и сезонов, что позволяет оптимизировать их производительность.

Атмосферные условия, такие как облачность, загрязнение воздуха, влажность и наличие аэрозолей, также играют важную роль в процессе поглощения солнечного излучения. Облачные условия могут существенно уменьшить уровень доступного света, в то время как загрязнение воздуха может снижать качество солнечного излучения, изменяя его спектральный состав. Эти факторы могут приводить к значительным колебаниям в эффективности работы солнечных панелей даже в течение одного дня.

Уравнение (4) выражает эффективность фотоэлектрического генератора μ_B , на которую влияет температура окружающей среды:

$$\mu_B = \mu_Э (1 - \varphi \cdot (T_C - T_{КСЭ})), \quad (4)$$

где μ_B – КПД фотоэлектрического генератора; $\mu_Э$ – эталонный КПД фотоэлектрического модуля; φ – постоянный температурный коэффициент кремниевых элементов; T_C – температура солнечного элемента; $T_{КСЭ}$ – контрольная температура солнечного элемента, т. е. 25°C.

Эффективность солнечных панелей проверяется при температуре 25°C. Номинальная рабочая температура элемента определяется как температура солнечной панели на основе следующих четырёх основных стандартных эталонных условий:

- мощность солнечной панели – 800 Вт/м².
- скорость ветра – 1 м/с.
- температура воздуха – 20°C.
- угол наклона (с открытой стойкой) – 45° от горизонтали.

Зависимости между температурой солнечного излучения, температурой окружающей среды, номинальной рабочей температурой фотоэлектрических элементов и глобальным уровнем облучения является ключевым аспектом в оценке эффективности солнечных энергетических систем. Эти параметры взаимосвязаны и оказывают значительное влияние на производительность фотоэлектрических установок. Температура солнечного излучения, как правило, определяется интенсивностью солнечного света и углом падения солнечных лучей. В условиях повышенной инсоляции, когда уровень облучения достигает максимума, температура солнечного элемента также повышается. Это приводит к увеличению теплового напряжения

в материале, из которого он изготовлен, что, в свою очередь, может ухудшить его электрические характеристики. Исследования показывают, что с увеличением температуры солнечного элемента его эффективность преобразования солнечной энергии в электрическую снижается, в частности, за счёт увеличения уровня тока утечки и снижения ширины запрещённой зоны полупроводникового материала.

Температура окружающей среды играет важную роль в динамике тепловых процессов. При высоких температурах окружающей среды эффективность фотоэлектрических элементов дополнительно снижается, поскольку они не могут эффективно рассеивать тепло. Это создаёт дополнительные потери производительности, особенно в жарких климатических условиях. Номинальная рабочая температура (НРТ) элемента, как правило, устанавливается производителем и определяется как температура, при которой элементы должны функционировать с заданной эффективностью. Сравнение НРТ с фактическими температурными условиями эксплуатации позволяет прогнозировать возможные отклонения в производительности.

Глобальный уровень облучения, представляющий собой сумму прямого и рассеянного солнечного излучения, также оказывает значительное влияние на производительность фотоэлектрических систем. Высокий уровень облучения может компенсировать некоторые потери, вызванные повышенной температурой солнца, но только в пределах, не превышающих их термические пределы. При этом в условиях увеличения облачности или загрязнения атмосферы уровень облучения может существенно снизиться, что в сочетании с высокими температурами приводит к значительным потерям энергии.

Уравнение (5) показывает зависимость между температурой солнечного излучения, температурой окружающей среды, номинальной рабочей температурой элемента и глобальным уровнем облучения:

$$T_C = T_{\text{окс}} + \left(\frac{N_{\text{РТЭ}} - T_B}{P_{\Pi}} \right) G_{\text{ГСО}}, \quad (5)$$

где T_C – температура солнечного излучения; $T_{\text{окс}}$ – температура окружающей среды; $N_{\text{РТЭ}}$ – номинальная рабочая температура элемента (25°C); T_B – температура воздуха; $G_{\text{ГСО}}$ – глобальная солнечная освещённость; P_{Π} – мощность солнечной панели.

Таким образом, комплексное изучение зависимости между температурой солнечного излучения, температурой окружающей среды, номинальной рабочей температурой элементов и глобальным уровнем облучения позволяет глубже понять механизмы, влияющие на эффективность фотоэлектрических систем. Эти знания критически важны для разработки методов оптимизации их работы, выбора подходящих технологий и материалов, а также для адаптации систем к различным климатическим условиям, что в конечном итоге способствует более эффективному использованию солнечной энергии. Зависимость эффективности солнечных систем от наклона измеряемой поверхности, высоты солнца над поверхностью Земли и атмосферных условий подчёркивает необходимость комплексного подхода к проектированию и эксплуатации фотоэлектрических установок. Учёт этих факторов позволяет повысить общую производительность систем, что является важным шагом на пути к более эффективному использованию солнечной энергии в различных климатических условиях.

Для определения количества фотоэлектрических панелей, необходимых для массива, применяется уравнение:

$$N = P_O / P_B, \quad (6)$$

где P_O – общая мощность солнечной фотоэлектрической установки в ваттах (Вт); P_B – выходная мощность на панель в ваттах (Вт); N – необходимое количество панелей.

Определение размера земельного участка, необходимого для размещения системной инфраструктуры, является необходимой частью проектирования и анализа системы. Размер фотоэлектрических панелей, расстояние между панелями и пространство для помещения диспетчерской, хранения батарей, инверторов и другого вспомогательного оборудования – все

это определяющие факторы, которые необходимо учитывать при расчёте и распределении площади участка.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Математическое моделирование фотоэлектрических решёток представляет собой важный элемент современных исследований в области солнечной энергетики. Оно способствует углублённому пониманию процессов, оказывающих влияние на эффективность данных систем, а также открывает возможности для инноваций в проектировании, эксплуатации и управлении фотоэлектрическими установками. Применение эффективных моделей может значительно повысить общую производительность использования солнечной энергии, что, в свою очередь, содействует переходу к устойчивым источникам энергии на глобальном уровне.

Таким образом, инвестиции в возобновляемые источники энергии обладают двойным преимуществом: удовлетворяют растущий спрос на электроэнергию как в городских, так и в удалённых регионах, одновременно способствуя охране природных ресурсов и снижению негативного воздействия на окружающую среду. Внедрение и развитие гибридных систем формирует основу для устойчивого энергетического будущего, которое объединяет экономические выгоды с экологической ответственностью. Дальнейшее развитие работы связано техническому и экономическому анализу и будет представлен на результатах исследования для проектирования гибридных систем в области возобновляемой энергетики.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ | REFERENCES

- [Ano20] Anoune K., Ghazi M., et al. Optimization and techno-economic analysis of photovoltaic-wind-battery based hybrid system // Journal of Energy Storage. 2020. Vol. 32. P. 101878. [10.1016/j.est.2020.101878](https://doi.org/10.1016/j.est.2020.101878). ENRUOO.
- [Dix20] Dixit S. Solar technologies and their implementation: an overview // Materials Today: Proceedings. 2020. [10.1016/j.matpr.2020.04.134](https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.134). QZUAIS.
- [Has24] Hassan Q., Viktor P., et al. The renewable energy role in the global energy transformations // Renewable Energy Focus. 2024. Vol. 48. P. 100545. [10.1016/j.ref.2024.100545](https://doi.org/10.1016/j.ref.2024.100545). ZETZLE.
- [Has23] Hassan Q., Tabar V. S., et al. A review of green hydrogen production based on solar energy; techniques and methods // Energy Harvesting and Systems. 2023. Vol. 20. P. 101621. [10.1016/j.rineng.2023.101621](https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101621). BJHAUU.
- [Hen20] Henríquez B. L. P. Energy sources for sustainable transportation and urban development // Transportation, Land Use, and Environmental Planning. Elsevier Inc., 2020. P. 281–297. [10.1016/B978-0-12-815167-9.00015-3](https://doi.org/10.1016/B978-0-12-815167-9.00015-3).
- [Mos22] Mossa M. A., Gam O., Bianchi N. Performance enhancement of a hybrid renewable energy system accompanied with energy storage unit using effective control system // International Journal of Robotics Control Systems. 2022. Vol. 2, No. 1. P. 140–171. KYXNIK.
- [Ma14] Ma T., Yang H., Lu L. Solar photovoltaic system modeling and performance prediction // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2014. Vol. 36. P. 304–315. [10.1016/j.rser.2014.04.057](https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.04.057).
- [Rom22] Romanov R. V. Renewable energy sources in Russia: Development and perspective // Nauchnye zapiski molodykh issledovatelei - Scientific notes of young researchers. 2022. T. 10, № 3. С. 5–11. CEUHDD.
- [Ted25] Tedoradze T., Amadi P., Camogni A. Analysis of a hybrid photovoltaic power generation system for a residential area // Proc. Int. Conf. "Scientific Research of the SCO Countries: Synergy and Integration". December 30, 2025. Beijing, PRC. [10.34660/INF.2025.68.84.062](https://doi.org/10.34660/INF.2025.68.84.062). PSZRPH.
- [Zeb21] Zebra E. I. C., Van Der Windt H. J., et al. A review of hybrid renewable energy systems in mini-grids for off-grid electrification in developing countries // Renewable and Sustainable Energy Reviews. 2021. Vol. 144. P. 111036. [10.1016/j.rser.2021.111036](https://doi.org/10.1016/j.rser.2021.111036). EGEQUS.
- [Буш21] Бушукина В. И. Особенности развития возобновляемой энергетики в мире и в России // Финансовый журнал. 2021. № 13(5). С. 93–107. UNLPDP. [Bushukina V. I. Specifics of the development of renewable energy globally and in Russia // Financial Journal. 2021. No. 13(5). Pp. 93–107. UNLPDP. (In Russian).]
- [Опо22] Ополева Г. Н. Электроснабжение промышленных предприятий и городов. Москва: ИД «ФОРУМ»: ИНФРА-М, 2022. 416 с. [Opoleva G. N. Power Supply for Industrial Enterprises and Cities. Moscow: FORUM Publishing House: INFRA-M, 2022. 416 p. (In Russian).]
- [Тре17] Тремясов В. А., Кривенко Т. В. Теория надёжности в энергетике. Надёжность систем генерации, использующих ветровую и солнечную энергию. Красноярск: Сиб. федер. ун-т, 2018. 164 с. XRATJR. [Tryasyasov V. A., Krivenko T. V. Reliability Theory in the Power Industry: Reliability of Generation Systems Utilizing Wind and Solar Energy. Krasnoyarsk: Siberian Federal University, 2018. 164 p. XRATJR. (In Russian).]

ОБ АВТОРАХ | ABOUT THE AUTHORS

ТЕДОРАДЗЕ Теона Гуладиевна

Кубанский государственный технологический университет,
Россия.

tedoradze.t@mail.ru ORCID: 0000-0002-8895-1585.

Доц. каф. физики. Канд. пед. наук.

АМАДИ Пол Иккена

Университет Порт-Харкорта, Институт морских технологий,
Нигерия.

paulamadi39@gmail.com ORCID: 0009-0006-3690-7175.

Инженер Управления космической защиты. Магистр наук
в области возобновляемой энергетики.

TEDORADZE Teona Guladievna

Kuban State Technological University,
Russia.

tedoradze.t@mail.ru ORCID: 0000-0002-8895-1585.

Assoc. Prof., Dept. of Physics. Cand. of Pedagogical Sciences.

AMADI Paul Ikenna

University of Port Harcourt, Offshore Technology Institute,
Nigeria.

paulamadi39@gmail.com ORCID: 0009-0006-3690-7175.

Engineering Officer at the Defence Space Administration.
M. S. in Energy Access and Renewable Energy Technology.

МЕТАДАННЫЕ | METADATA

Заглавие: Математическое моделирование системы выработки энергии на фотоэлектрических батареях для жилого района.

Авторы: Тедорадзе Т. Г., Амади П. И.

Аннотация: В условиях растущего осознания экологических и энергетических рисков, связанных с эксплуатацией невозобновляемых ресурсов, становится важным развитие и внедрение современных инновационных и устойчивых методов планирования городской инфраструктуры и энергетических систем, направленных на минимизацию этих угроз. Крайне актуальной является разработка математической модели для проектирования жилых районов, полностью функционирующих на основе возобновляемых и экологически чистых источников энергии. В данном исследовании представлены математические модели солнечных энергосистем как основы проектирования системы возобновляемых источников энергии, включающей солнечные фотоэлектрические установки и способной удовлетворить средние энергетические потребности жилого района. Выявлены потенциальные проблемы и преимущества технической и экономической осуществимости такой системы. Это исследование вносит вклад в научный дискурс о развитии фотоэлектрических технологий. Территориальная область исследования – Порт-Харкорт. Представленные решения и подходы обладают универсальностью и могут быть применены в различных регионах мира при условии соответствия базовым требованиям к ресурсной базе и энергетическим потребностям.

Ключевые слова: Математические модели, возобновляемые источники, солнечная энергетика, фотоэлектрические элементы, солнечные панели.

Язык: Русский.

Статья поступила в редакцию 1 сентября 2026 г.

Title: Mathematical modeling of a photovoltaic power generation system for a residential area.

Authors: Tedoradze T. G., Amadi P. I.

Abstract: In the context of growing awareness of environmental and energy-related risks associated with the exploitation of non-renewable resources, it becomes crucial to develop and implement innovative and sustainable methods for planning urban infrastructure and energy systems aimed at minimizing these threats. Of particular relevance is the development of a mathematical model for designing residential areas that fully operate on the basis of renewable and environmentally friendly energy sources. This study presents mathematical models of solar energy systems as the foundation for designing a renewable energy system that includes photovoltaic installations capable of meeting the average energy demands of a residential area. The research identifies potential challenges and benefits, as well as the technical and economic feasibility of such systems. This work contributes to the scientific discourse on the advancement of photovoltaic technologies. The geographical scope of the study is not limited: the proposed solutions and approaches are universal and can be applied in various regions worldwide, provided they meet the basic requirements regarding resource availability and energy needs.

Key words: Mathematical models, renewable energy sources, solar energy, photovoltaic cells, solar panels.

Language: Russian.

The editors received the article on 1 September 2026.