

Н. Л. ТАРАНУХА
К. Ю. АНАНИН
М. Ю. НОВИКОВ
И. Д. КАНАКОВ

РАЗВИТИЕ ДОМОСТРОЕНИЯ С УЧЕТОМ ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ – ПРИМЕНЕНИЯ ГИБРИДНЫХ СИСТЕМ ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНОСТИ

DEVELOPMENT OF HOUSE CONSTRUCTION TAKING INTO ACCOUNT
ENERGY-SAVING TECHNOLOGIES – APPLICATION OF HYBRID
ENERGY EFFICIENCY SYSTEMS

Рассмотрены способы получения энергии из возобновляемых источников энергии (солнечного излучения и ветра) для применения в сфере градостроительства. Показаны принципы работы солнечных панелей и ветрогенераторов. Приведены рекомендации по их монтажу и эксплуатации для строительства энергоэффективных зданий. На примере Удмуртской Республики приведен расчет необходимой мощности солнечных панелей и ветрогенераторов, рассчитан срок окупаемости.

Ключевые слова: ветрогенератор, солнечные панели/батареи, энергоэффективное здание, возобновляемые источники энергии, энергосбережение, экология, солнечная энергия

The article discusses methods for generating electricity from renewable energy sources (solar radiation and wind) for use in urban development. The operating principles of solar panels and wind generators are shown. Recommendations for their installation and operation for the construction of energy-efficient buildings. Using the example of the Udmurt Republic, the calculation of the required capacity of solar panels and wind generators is given, and the payback period is calculated.

Keywords: wind turbine, solar panels/batteries, energy-efficient building, renewable energy sources, energy saving, ecology, solar energy

Введение

С каждым годом современное градостроительство расширяется – многоэтажные сооружения становятся доминирующими, что создает потребность в возведении более высоких зданий в качестве композиционных акцентов. Это позволяет формировать новый, запоминающийся силуэт города и его панорам. В современных мегаполисах высотные здания не только обеспечивают жилье и рабочие пространства, но и становятся важными элементами городской эстетики. Они помогают выделить ключевые места, задают тон для всей городской среды и способствуют созданию узнаваемых ландшафтов. Таким образом, за счет интеграции высотных объектов в архитектурный облик городской ландшафт обретает индивидуальность и характер, привлекая внимание как жителей, так и туристов. Это, в свою очередь, вносит вклад в развитие городской культуры, делает города более привлекательными для жизни и посещения и задает необходимость применения новых технологий, направленных,

в том числе, на решение экологических и экономических аспектов.

Применение гибридных систем на зданиях, сочетающих солнечные панели и устройство ветровых установок, позволяет обеспечить стабильное и экологическое энергоснабжение, а самое главное – снизить затраты на электроэнергию.

В солнечные дни здание получает основную часть электроэнергии от солнечных панелей, а в пасмурные дни или в ветреную погоду – за счёт ветрогенератора.

Фотоэлектрические батареи, более известные как солнечные панели, являются одним из самых чистых и надежных методов получения возобновляемой энергии. Каждая панель состоит из фотоэлектрических элементов, которые активируются под воздействием лучей солнца, поглощая их и преобразуя в чистую электроэнергию.

В состав гибридных систем энергосбережения входят ветрогенераторы, солнечные панели, инвертор, контроллер и накопитель заряда. В зависимости от конкретных потребностей по-

требителя и особенностей расположения объекта характеристики каждого из компонентов подбираются индивидуально.

Обычно солнечные панели монтируются на крышах или фасадах зданий, а ветрогенераторы – на мачтах на прилегающей территории. Все компоненты объединяются в электрическую цепь. Окупаемость проекта зависит от стоимости компонентов системы, сложности монтажа и от общего энергопотребления системы и в среднем составляет от 7 до 15 лет.

Солнечные панели становятся все более популярными, однако очень мало людей понимают принцип их работы и сталкивались с ними. Даже те, кто живут в домах или работают в офисах, питающихся от фотоэлектрических батарей, чаще всего не видели их вблизи. Объяснение есть – в течение многих лет солнечные батареи были большими и неприглядными устройствами, которые устанавливали на крышах домов; за счет размеров они давали больше энергии. Но сейчас благодаря новой технологии производства появилась возможность устанавливать компактные солнечные батареи в жилых и офисных зданиях на фасадах.

Цель научной статьи – рассмотреть и проанализировать развитие домостроения с учетом энергоэффективности, в качестве которого выступает применение фасадных солнечных батарей и ветровых установок; оценить потенциал и экономическую эффективность применения возобновляемых источников энергии (ВИЭ) в домостроении.

Развитие энергоэффективности

На сегодняшний день для стимулирования застройщиков, реализующих проекты энергоэффективных зданий, выделено 64 млрд руб. до 2030 года. Эта программа финансирования запущена еще в 2016 году. Построенные к тому времени дома оцениваются по фактическому потреблению энергоресурсов, а в проекты новостроек рекомендовано внедрять энергоэффективные технологии. В связи с этим каждому дому присваивается класс энергоэффективности (A++, A+, A, B, C, D, E, F и G) [1] с занесением в Единую информационную систему жилищного строительства (ЕИСЖС).

В соответствии с постановлением правительства РФ от 21 сентября 2021 г. № 1587 «Об утверждении критериев проектов устойчивого (в том числе зеленого) развития в Российской Федерации и требований к системе верификации инструментов финансирования устойчивого развития в Российской Федерации» сооружение относится к «зеленым», если оно соответствует классам A, A+ или A++. Основ-

ной показатель энергоэффективности – снижение потребления энергии более чем на 20 % (в кВт·ч/м²) [2].

Согласно региональной программе реновации, жилые дома должны иметь класс энергоэффективности не ниже уровня В и обеспечивать экономии ресурсов от 30 до 60 % относительно устаревшего пятиэтажного фонда. С 1 января 2016 года удельное потребление энергии на отопление, вентиляцию, кондиционирование, горячее водоснабжение должно быть не более 130 кВт·ч/м² в год для домов высотой 12 этажей и более, что на треть меньше потребления «хрущёвок». В информационном письме заместителя мэра Москвы и Правительства Москвы от 1 октября 2012 года № 25–11–3073/2–2 «О требованиях к проектной документации в части энергоэффективности» даны специальные методические рекомендации застройщикам, реализующим столичные госзаказы.

В настоящее время функционирует несколько национальных стандартов в области энергоэффективности, и они часто подвергаются обновлениям, что вполне допустимо в первые годы работы системы [2].

Уход с российского рынка иностранных компаний, способных внедрить национальные стандарты энергоэффективности в строительство (LEED, BREEAM, DGNB и др.), послужил толчком для отечественных производителей в разработке своих собственных проектов для повышения конкурентоспособности. Для эффективного развития энергоэффективности в строительной сфере требуется разнообразие технологий и товаров. В том числе и с учетом предложенных на рынке китайских производителей [2]. Это имеет решающее значение, поскольку по итогам первой половины 2024 года объем нераспроданных жилых помещений составил более 76,9 млн м². Кроме того, значительное уменьшение расходов на коммунальные услуги является сильным доводом в пользу застройщика на рынке недвижимости.

С целью улучшения энергоэффективности зданий сегодня используются как традиционные, так и современные методы.

Использование возобновляемых источников энергии (ВИЭ) повышает себестоимость недвижимости на начальных этапах эксплуатации, но в дальнейшем позволит значительно сэкономить на коммунальных платежах, повысить уровень комфорта и снизить негативное влияние на окружающую среду.

Основным нормативным документом, регламентирующим эксплуатацию электростанций, работающих на возобновляемых источниках энергии, является группа национальных стандартов РФ ГОСТ Р 56124-2014. Документ

является аналогом группы международных стандартов IEC/TS 62257:2005.

Перспективы развития энергосберегающих технологий

Солнечные батареи

Ежесекундно на поверхность Земли от Солнца поступает такое количество энергии, которое превышает суммарно потребляемую энергию во всём мире в 10 000 раз (около $1,2 \times 10^{12}$ Вт). Однако на практике такая эффективная впечатляющая статистика еще далека от совершенства по экономическим и техническим причинам.

В отличие от Европейских стран, в России использование солнечной энергии распространено недостаточно широко (на 2022 год всего 0,2 % от всей энергетической отрасли). С другой стороны, за счет большого количества свободных территорий (земель), а также благодаря исследованиям [3–6] в данной области (Сколковского института науки и технологий, Института неорганической химии им. А. В. Николаева Сибирского отделения Российской академии наук, Института проблем химической физики Российской академии наук), имеется высокий потенциал развития отрасли. В том числе и при проектировании энергоэффективных зданий.

В некоторых городах и областях России уже функционируют небольшие экспериментальные деревни (например в Краснодарском крае) и отдельные дома (в Москве, Владивостоке, Екатеринбурге, Уфе и др.).

Солнечные панели представляют собой один из самых экологически чистых и надежных способов производства возобновляемой энергии. Каждая панель состоит из фотоэлектрических элементов, которые активируются солнечным светом, поглощая его и преобразуя в чистую электрическую энергию.

С точки зрения строительства энергоэффективных зданий, еще недавно установка солнечных панелей была возможна только на крышах, т. е. в горизонтальном положении, с целью поглощения в такой ориентации большего количества солнечной энергии. Но за счет дальнейшего развития, технологии производства позволяют изготавливать и устанавливать компактные солнечные панели не только на крышах, но и на фасадах частных и многоквартирных жилых домов, а также на офисных и промышленных зданиях.

В Германии командой студентов Дармштадтского технического университета разработано двухэтажное здание в форме куба, поверхность крыши которого покрыта сорока

солнечными панелями, а фасад выполнен из панелей CIGS (рис. 1) [7]. Суммарная мощность системы составляет около 11,1 кВт. Ожидаемая вырабатываемая энергия должна превосходить потребляемую энергию здания в два раза.

Анализ рынка показывает, что сейчас представлены различные варианты облицовочных солнечных панелей для крыш и фасадов зданий, например панели немецкой фирмы Bekar Europe GmbH (рис. 2), которые отличаются простотой монтажа и эстетичным внешним видом [8].

При монтаже солнечных панелей должен учитываться ряд факторов, таких как ориентация по отношению к солнцу и угол наклона, обеспечивающих ее максимальную эффективность. Также необходимо минимизировать влияние внешних негативных факторов: пыль, влага, снег, механические повреждения и т. д.



Рис. 1. Здание с навесным фасадом из фотоэлектрических батарей [7]

Fig. 1. Building with curtain wall facade made of photovoltaic panels [7]

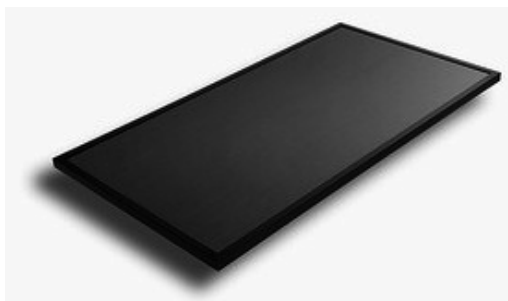


Рис. 2. Солнечная панель фирмы Bekar Europe GmbH [8]

Fig. 2. Solar panel from Bekar Europe GmbH [8]

Это требование обязывает проводить периодическую профилактику поверхности панелей. Еще одним немаловажным фактором является температурный режим эксплуатации, который в среднем находится в диапазоне от минус 40 до плюс 50 °С. Превышение указанного диапазона будет значительно влиять на эффективность преобразования солнечной энергии и длительность эксплуатационного периода.

Для обеспечения максимальной эффективности работы солнечных панелей следует руководствоваться следующими факторами:

- ориентация;
- угол наклона;
- затененность.

При выборе ориентации солнечной панели предпочтение отдается южному направлению, однако в некоторых случаях, из-за особенностей расположения здания, допускается ориентация в юго-восточном и юго-западном направлениях.

Отклонение от оптимального угла наклона менее 50° незначительно снижает эффективность преобразования солнечной энергии (менее 5 %). Изменение ориентации панели в западном или восточном направлениях снижает эффективность на 20 %.

Максимальное количество энергии солнечная панель получает, когда она установлена под углом от 15 до 90°. Угол в 15° считается минимальным для эффективной работы панели, так как обеспечивается естественная очистка от пыли и загрязнений. Для европейской части России оптимальным углом наклона считается диапазон от 30 до 60°.

Затененность солнечной панели является важным фактором при выборе места эксплуатации, поскольку даже небольшое попадание тени может значительно снизить эффективность всей системы. Перед установкой необходимо учитывать особенности ландшафта, расположение деревьев, зданий, линий электропередач, а также обеспечить оптимальное взаимное расположение панелей.

В зависимости от особенностей конструкции здания существует несколько способов монтажа солнечных панелей:

- горизонтальный (на плоские крыши);
- наклонный (на скатные крыши);
- свободностоящий (на специальных опорных конструкциях, без привязки к какому-либо объекту, полевой монтаж);
- интегрированный (солнечная панель является частью конструкции объекта, таких как окна, фасады).

Архитектура меняется с изобретением солнечных панелей. Этот новый вид солнеч-

ных батарей встраивается непосредственно в оболочку фасада. Гладкие панели становятся новым элементом дизайна в Европе и России. Навесные фасады из фотоэлектрических панелей создаются с помощью прозрачного или полупрозрачного остекления. Они не только наполняют внутренние помещения солнечным светом, но и выполняют более важную функцию – получение чистой электроэнергии.

Фасады на солнечных батареях получили признание в архитектуре и обществе, благодаря созданию экологически чистых решений.

В России готовых проектов с солнечными фасадами пока нет. Но в Уфе в 2021 году заявили о строительстве первого в стране жилого комплекса с фасадами из солнечных батарей общей площадью более 12 тыс. м². Согласно проекту, композитные панели заменят на фотоэлектрическую систему. Энергии должно хватить на снабжение лифтов и освещение всех внутренних помещений.

В Уральском федеральном университете на одном из корпусов установлена самая крупная на Урале фасадная солнечная электростанция (рис. 3). Ожидаемая пиковая мощность до 100 кВт позволит освещать 12-этажное здание университета [9].

Еще один проект в уральской столице – жилые дома в Академическом городке с солнечными панелями, установленными с южной и юго-западной сторон на парапетной части крыши (рис. 4) [10].



Рис. 3. Фасад одного из корпусов Уральского федерального университета в Екатеринбурге [9]

Fig. 3. The facade of one of the buildings of the Ural Federal University in Yekaterinburg [9]



Рис. 4. Жилой дом в Академическом городке Екатеринбурга [10]
Fig. 4. Residential building in the Academic town of Yekaterinburg [10]

Одним же из самых масштабных проектов в России по строительству жилых домов с интегрированными солнечными панелями является ЖК «Умный дом Гелиос» в Уфе (рис. 5). Суммарная мощность солнечного фасада, направленная на работу лифтов, освещение холлов, лестничных площадок и работу домофонов, превышает 180 кВт [11].



Рис. 5. ЖК «Умный дом Гелиос» в Уфе [11]
Fig. 5. Residential complex «Smart House Helios» in Ufa [11]

Ветровые установки

Ветровые установки используют энергию ветра для выработки электроэнергии. Они могут быть установлены на крышах зданий или вблизи них и обеспечивать непрерывное производство электроэнергии даже в отсутствие солнечного света или при слабом ветре. Перед выбором ветровой установки следует провести анализ о целесообразности его применения, а именно учесть:

- общее средневзвешенное количество дней с силой ветра более 3 м/с;
- примерную потребность в электроэнергии;
- возможность установки ветрогенератора.

Типовая схема установки с потребителями приведена на рис. 6.

Пример подбора солнечных панелей и ветроэнергетических установок на примере Удмуртской Республики

Удмуртская Республика относится ко II климатическому району, подрайону IIВ и расположена в I ветровом районе. По данным интегрированной приземной базы данных (ISD), которую ведет и публикует крупнейший в мире активный архив экологических данных Национальный центр экологической информации (NCEI) в Ижевске, столице Удмуртской Республики, средняя почасовая скорость ветра испытывает умеренные сезонные колебания

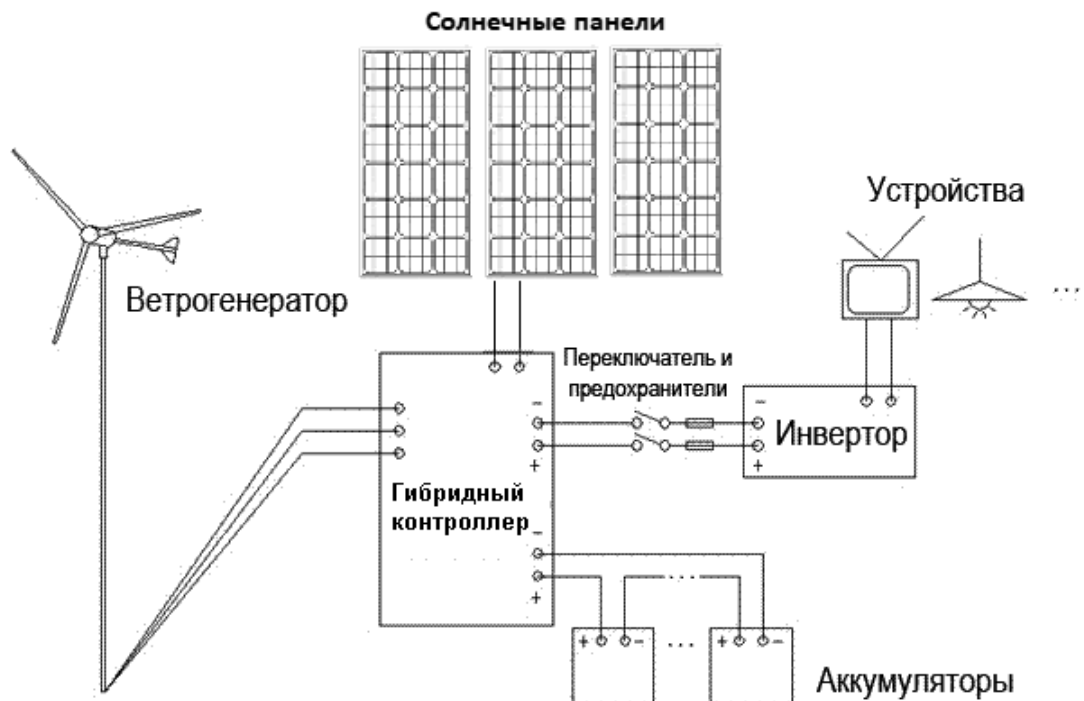


Рис. 6. Типовая схема ветрогенератора с потребителями [12]

Fig. 6. Typical diagram of a wind generator with consumers [12]

в течение года. Более ветреная часть года длится 7,6 мес. (с 3 октября по 21 мая), со средней скоростью ветра более 11,0 км/ч (более 3,06 м/с). Самый ветреный месяц в году в Ижевске – февраль, со среднечасовой скоростью ветра 12,8 км/ч (3,56 м/с). Более спокойное время года длится 4,4 мес. (с 21 мая по 3 октября).

Самый спокойный месяц в году – июль, со среднечасовой скоростью ветра 8,9 км/ч (2,47 м/с).

Расчетным методом определена средняя нагрузка $E_{\text{СУТ}}$ для обеспечения нужд многоквартирного дома, которая составила около 702,16 кВт·ч в сутки. Расчет произведен на основе эксплуатации наиболее востребованных электроприборов (холодильник, телевизор, чайник, лампа, электроплита, стиральная машина, компьютер, уют и т. д.), их мощности и времени работы в сутки.

Для выбора оптимальной ветряной установки необходимо [13]:

1) определить среднюю скорость ветра (выбирается на основе карты ветров (рис. 7) [14], для Ижевска равна 4,5 м/с [15]);

2) определить среднечасовое энергопотребление объекта:

$$E_{\text{ЧАС}} = \frac{E_{\text{СУТ}}}{24} = \frac{702,16 \text{ кВт} \cdot \text{ч}}{24} = 29,26 \text{ кВт} \cdot \text{ч};$$

3) определить номинальную мощность ВЭУ, которая может быть применена для энергоснабжения исследуемого объекта:

$$P_{\text{СПЕЦ}} = \frac{E_{\text{ЧАС}}}{1} = 29,26 \text{ кВт}.$$

При выборе энергетической установки необходимо убедиться, что ее мощность $P_{\text{ВЭУ}}$ превышает месячное потребление энергии $E_{\text{МЕС}}$:

$$E_{\text{МЕС}} = E_{\text{СУТ}} \cdot 30 = 21\,065 \text{ кВт} \cdot \text{ч}.$$

То есть должно быть обеспечено условие:

$$P_{\text{ВЭУ}} > E_{\text{МЕС}}.$$

Помимо этого, следует отдавать предпочтение малым ветровым установкам в связи с более продуктивной работой на слабых ветрах.

В процессе расчетов в качестве энергогенерирующего оборудования выбрана вертикально-осевая ветроэнергетическая установка ВЭУ 15 кВт «Энергия» («Модель 6») [16] в количестве 8 штук. Средняя выработка электроэнергии за календарный месяц для этой модели составляет 3 000 кВт·ч. Тогда для восьми ветроэнергетических установок выработка электроэнергии за календарный месяц $P_{\text{ВЭУ}}$ будет:

$$P_{\text{ВЭУ}} = 8 \cdot 3\,000 = 24\,000 \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$



Рис. 7. Карта ветров России [14]

Fig. 7. Wind map of Russia [14]

что удовлетворяет вышеприведённому условию ($24000 > 21065$ кВт·ч).

Рабочая скорость ветра выбранной ветроэнергетической установки – от 3 до 30 м/с, уровень шума – не более 45 дБ.

Выбраны солнечные панели SilaSolar мощностью 550 Вт в количестве 338 шт., расположенные на фасаде многоквартирного дома под оптимальным углом 57° .

Экономическая эффективность возобновляемых источников энергии

Экономическая эффективность оценивается с помощью математических моделей, которые учитывают такие показатели, как срок окупаемости, прирост чистой прибыли и дополнительные годовые эксплуатационные издержки. Простые критерии оценки применяются для малозатратных мероприятий, где единовременные затраты осуществляются в короткие сроки и достигнутые технико-экономические результаты остаются неизменными в течение последующих лет эксплуатации.

Окупаемость солнечных батарей зависит от множества факторов, включая стоимость самих батарей, тарифы на электроэнергию, уровень потребления и другие экономические условия. Министерство строительства и жилищной политики Удмуртской Республики утвердило тариф за электроэнергию на первое

полугодие 2025 года: для городского населения он составит 5,04 руб./кВт·ч [17]. Таким образом, срок окупаемости солнечных панелей составит 8 лет при цене одной панели 26752 руб. и усредненными расходами на обслуживание. Диаграмма окупаемости солнечных батарей представлена на рис. 8.

Расчет себестоимости ветроэнергетической установки $C_{ВЭУ}$ производится по формуле, учитывающей себестоимость ВЭУ15 мощностью 1 кВт и возрастание на 1 кВт с повышением 30 % себестоимости:

$$C_{ВЭУ} = ВЭУ15 \cdot (1 + 0,3 \cdot (N - 1)),$$

где ВЭУ15 – себестоимость установки; N – номинальная мощность ВЭУ, кВт.

Тогда получим:

$$C_{ВЭУ} = 382\,700 \cdot (1 + 0,3 \cdot (15 - 1)) = 1\,990\,040 \text{ руб.}$$

Окупаемость ветроэнергетической установки рассчитать чрезвычайно сложно, так как эта величина зависит от многих обстоятельств – начальной цены (т. е. цены ветроэнергетической установки с учетом доставки и монтажа), реальной скорости ветра в регионе, стоимости киловатт-часа, периодичности обслуживания, необходимости ремонта и т. д.

Срок окупаемости ВЭУ $T_{ВЭУ}$ вычисляется по формуле

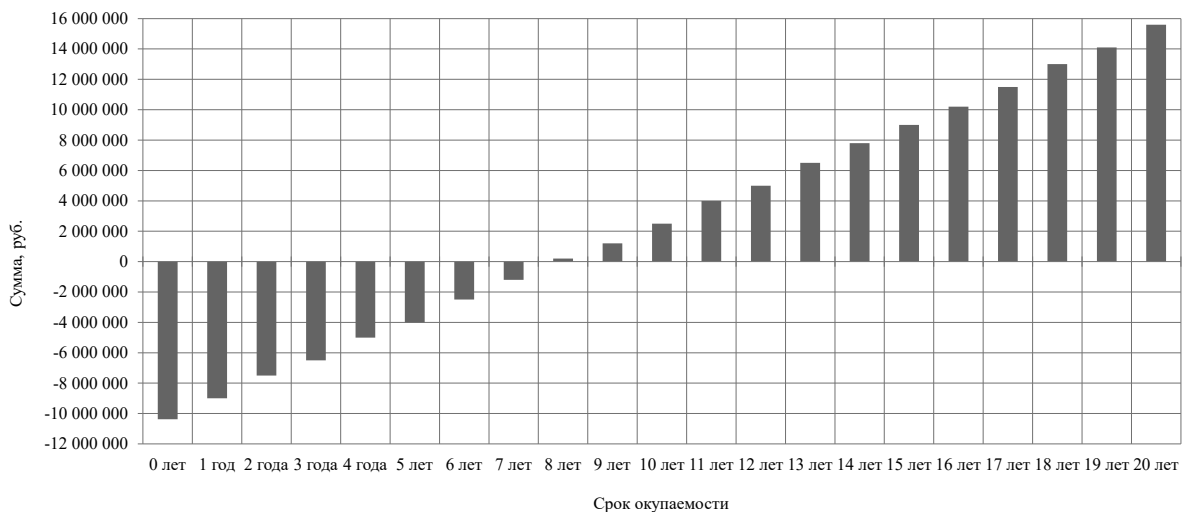


Рис. 8. Диаграмма окупаемости солнечных батарей
Fig. 8. Solar Panel Payback Chart

$$T_{\text{ВЭУ}} = \frac{C_{\text{ВЭУ}} + I_0 + I_p}{E_{\text{Год}} \cdot C},$$

где $E_{\text{Год}}$ – годовая выработка электроэнергии в годах; I_0 – издержки на обслуживание ВЭУ (они составляют, как правило, не более 20 % от $C_{\text{ВЭУ}}$ за весь срок эксплуатации ВЭУ); I_p – издержки на ремонт ВЭУ (на практике при эксплуатации ВЭУ известных производителей они практически равны нулю); C – стоимость 1 кВт·ч.

Тогда получим:

$$T_{\text{ВЭУ}} = \frac{1\,990\,040 + 398\,008 + 0}{29\,376 \cdot 4,63} = 17,56 \text{ лет.}$$

Полученный срок окупаемости ВЭУ является достаточно высоким. Как правило, максимальный срок окупаемости, принимаемый к рассмотрению, составляет 20 лет.

Гибридные системы на основе солнечных панелей и ветровых установок позволяют сочетать преимущества обоих источников энергии и обеспечить более стабильное энергоснабжение. Они включают в себя устройства для накопления и распределения энергии, что позволяет использовать ее даже при отсутствии солнечного света или ветра. Однако применение гибридных систем ВИЭ на зданиях связано с рядом проблем, таких как высокие первоначальные затраты на установку, необходимость в техническом обслуживании и ремонте, а также возможные потери энергии при ее передаче и распределении. Тем не менее развитие технологий и повышение эффективности солнечных панелей и ветровых установок, а также снижение стоимо-

сти их установки и обслуживания [18] могут способствовать расширению применения гибридных систем и повышению их конкурентоспособности на рынке. Таким образом, применение гибридных систем с солнечными панелями и ветровыми установками может стать одним из решений для обеспечения экологической и экономически эффективной энергосистемы зданий. Дальнейшее развитие и совершенствование технологий ВИЭ и их интеграция с традиционными системами энергоснабжения могут способствовать снижению зависимости от ископаемых источников энергии и улучшению экологии.

Выводы

В результате проведенного исследования была изучена эффективность использования возобновляемых источников энергии в строительстве. Определено оптимальное размещение солнечных панелей и ветряных установок на исследуемом объекте, а также расчетным методом определена пиковая нагрузка и подобраны соответствующие установки. Показаны преимущества и недостатки интеграции возобновляемых источников энергии в строительстве.

Определены сроки окупаемости энергетических установок и сделан вывод о наличии потенциала и экономической эффективности использования ВИЭ.

В настоящее время солнечная энергия остается довольно затратным вариантом, однако уверенно можно сказать, что пройдет всего 5–10 лет и применение солнечных панелей станет экономически выгодным. Фасадные системы в будущем, помимо своей защитной

и декоративной роли, начнут выполнять функции источника электроэнергии.

Использование гибридных электростанций, которые комбинируют солнечную энергию и силу ветра для генерации электроэнергии, представляют собой одно из наиболее эффективных решений для электрификации удаленных районов. В общих сетях населенных пунктов они выполняют функции резервных и дополнительных источников питания.

В труднодоступных местах со сложным рельефом прокладка электрических линий передач сопряжена со сложностями и высокими денежными затратами, поэтому для таких регионов использование гибридных ВИЭ наиболее перспективно.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Приказ Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации № 399/пр. от 06 июня 2016 «Об утверждении Правил определения класса энергетической эффективности многоквартирных домов».
2. Энергоэффективность зданий становится обязательным стандартом для девелоперов [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vedomosti.ru/esg/regulation/articles/2024/10/07/1066995-energoeffektivnost-zdaniy-stanovitsya-obyazatelnim-standartom-dlya-developerov> (дата обращения: 04.01.2025).
3. Жидкокристаллические малые молекулы: ключ к повышению эффективности перовскитных солнечных батарей // Актуальные проблемы органической химии – 2024: сборник тезисов Всероссийской молодежной научной школы-конференции / А.Н. Живчикова, М.М. Теплякова, И.Е. Кузнецов и др. 2024. С. 157.
4. Патент РФ на изобретение № 2789133/30.01.2023. Сопряженный полимер на основе замещенного флуорена, бензотиадиазола и тиофена и его применение в перовскитных солнечных батареях / И.Е. Кузнецов, М.И. Устинова, П.А. Трошин и др.
5. Аккуратов А.В. Синтез новых сопряженных полимеров на основе тиофена и бензотиадиазола – перспективных фотоактивных материалов для органических солнечных батарей: дис. ... канд. хим. наук. Черноголовка, 2015. 171 с.
6. Usoltsev A.N., Adonin S.A., Abramov P.A. et al. Polymeric iodobismuthates {[Bi₃I₁₀]} and {[BiI₄]} with N-heterocyclic cations: promising perovskite-like photoactive materials for electronic devices. *Journal of Materials Chemistry A*. 2019. V. 7. N. 11. P. 5957–5966. DOI: 10.1039/C8TA09204D.
7. Etherington R. Solar Decathlon house by Technische Universität Darmstadt [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dezeen.com/2009/10/16/solar-decathlon-house-by-technische-universitat-darmstadt> (дата обращения: 04.01.2025).
8. Bekar Europe GmbH [Электронный ресурс]. URL: <https://www.enfsolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/59171> (дата обращения: 04.01.2025).
9. В УрФУ установили самую крупную на Урале фасадную солнечную электростанцию [Электронный ресурс]. URL: <https://urfu.ru/ru/news/52190> (дата обращения: 21.01.2025).
10. В Академическом внедряют новые энергоэффективные решения [Электронный ресурс]. URL: <https://akademicheskii.org/news/2023-03-22/> (дата обращения: 04.01.2025).
11. Гелиос – первый в России масштабный проект жилого дома с солнечными панелями [Электронный ресурс]. URL: <https://stroifed.ru/news/28> (дата обращения: 04.01.2025).
12. Термодинамика. Схемы работы солнечной электростанции [Электронный ресурс]. URL: <http://www.termocool.ru/products/shemy-raboty-solnechnoj-elektrostantsii> (дата обращения: 04.01.2025).
13. Кирпичникова И.М., Соломин Е.В. Ветроэнергетические установки: расчет параметров компонентов. Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2013. 70 с.
14. Национальный атлас России. Климат. Ветровой режим [Электронный ресурс]. URL: <https://nationalatlas.ru/tom2/172.html> (дата обращения: 18.01.2025).
15. Климат и средняя погода круглый год в Ижевске [Электронный ресурс]. URL: <https://ru.weatherspark.com/y/105337/Обычная-погода-в-Ижевск-Россия-весь-год> (дата обращения: 18.01.2025).
16. Вертикально-осевая ветроэнергетическая установка «ВИЭ» 15 кВт [Электронный ресурс]. URL: <https://www.vsenerdgi.ru/product/vertikalno-osevaya-vetroenergeticheskaya-ustanovka-vie-15kvt/> (дата обращения: 18.01.2025).
17. Министерство строительства, жилищно-коммунального хозяйства и энергетики Удмуртской Республики. С 1 января 2025 года изменятся значения диапазонов потребления электроэнергии в Удмуртии [Электронный ресурс]. URL: <http://www.minstroy.ru/node/8325> (дата обращения: 18.01.2025).
18. Чиркова Е.В. Использование теплоты солнечной энергии в животноводческих зданиях // Градостроительство и архитектура. 2019. Т. 9, № 3. С. 56–62. DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.8.

REFERENCES

1. Order of the Ministry of Construction, Housing and Communal Services of the Russian Federation No. 399/pr. June 06, 2016 "On approval of the Rules for determining the class of energy efficiency of apartment buildings".
2. Energy efficiency of buildings becomes a mandatory standard for developers. Available at: <https://www.vedomosti.ru/esg/regulation/articles/2024/10/07/1066995-energoeffektivnost-zdaniy-stanovitsya-obyazatelnim-standartom-dlya-developerov> (accessed 04 January 2025).

3. Zhivchikova A.N., Teplyakova M.M., Kuznetsov I.E. et al. Liquid crystal small molecules: Key to improving efficiency of perovskite solar. *Aktual'nye problemy organicheskoy himii – 2024: Sbornik tezisev Vserossiyskoy molodezhnoy nauchnoy shkoly-konferencii* [Topical problems of organic chemistry - 2024: Collection of theses of the All-Russian Youth Scientific School-Conference]. 2024, P. 157.
4. Kuznetsov I.E., Ustinova M.I., Troshin P.A. et al. *Sopryazhennyj polimer na osnove zameshhennogo fluorena, benzotiadiazola i tiofena i ego primenenie v perovskitnykh solnechnykh batarejah* [Substituted fluorene, benzothiadiazole and thiophene conjugate polymer and its use in perovskite solar cells]. Patent RF, no. 2789133, 2023.
5. Akkuratov A.V. *Sintez novykh sopryazhennykh polimerov na osnove tiofena i benzotiadiazola – perspektivnykh fotoaktivnykh materialov dlya organicheskikh solnechnykh batarej*. Cand, Diss. [Synthesis of new conjugated polymers based on thiophene and benzothiadiazole – promising photoactive materials for organic solar cells. Cand. Diss.]. Chernogolovka, 2015. 171 p.
6. Usoltsev A.N., Adonin S.A., Abramov P.A. et al. Polymeric iodobismuthates {[Bi3I10]} and {[BiI4]} with N-heterocyclic cations: promising perovskite-like photoactive materials for electronic devices. *Journal of Materials Chemistry A*. 2019. V. 7. N. 11. P. 5957–5966. DOI: 10.1039/C8TA09204D.
7. Etherington R. Solar Decathlon house by Technische Universität Darmstadt [Электронный ресурс]. URL: <https://www.dezeen.com/2009/10/16/solar-decathlon-house-by-technische-universitat-darmstadt> (дата обращения: 04.01.2025).
8. Bekar Europe GmbH [Электронный ресурс]. URL: <https://www.ensolar.com/pv/panel-datasheet/crystalline/59171> (дата обращения: 04.01.2025).
9. *The largest facade solar power plant in the Urals was installed in UrFU*. Available at: <https://urfu.ru/ru/news/52190> (accessed 21 January 2025).
10. *Akademicheskyy introduces new energy-efficient solutions*. Available at: <https://akademicheskiiy.org/news/2023-03-22-/> (accessed 04 January 2025).
11. *Helios - Russia's first large-scale project of a residential building with solar panels*. Available at: <https://stroifed.ru/news/28> (accessed 04 January 2025).
12. *Thermodynamics. Schemes of solar power plant operation*. Available at: <http://www.termocool.ru/products/shemy-raboty-solnechnoy-elektrostantsii> (accessed 04 January 2025).
13. Kirpichnikova I.M., Solomin E.V. *Vetrojenergeticheskie ustanovki raschet parametrov komponentov* [Wind power plants calculation of component parameters]. Chelyabinsk, SUSU Publishing Center, 2013. 70 p.
14. *National Atlas of Russia. Climate. Wind regime*. Available at: <https://nationalatlas.ru/tom2/172.html> (accessed 18 January 2025).
15. *Climate and average weather all year round in Izhevsk*. Available at: <https://ru.weatherspark.com/y/105337/Обычная-погода-в-Ижевск-Россия-весь-год> (accessed 18 January 2025).
16. *Vertical-axial wind power plant "RES" 15 kW*. Available at: <https://www.vsenerdgi.ru/product/vertikalno-osevaya-vetroenergeticheskaya-ustanovka-vie-15kv/> (accessed 18 January 2025).
17. *Ministry of Construction, Housing and Communal Services and Energy of the Udmurt Republic. From January 1, 2025, the values of the ranges of electricity consumption in Udmurtia will change*. Available at: <http://www.minstroy.ru/node/8325> (accessed 18 January 2025).
18. Chirkova E.V. Use of Solar Energy Heat in Animal Breeding Buildings. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2019, vol. 9, no. 3, pp. 56–62. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2019.03.8

Об авторах:

ТАРАНУХА Наталья Леонидовна

доктор экономических наук, профессор кафедры
промышленного и гражданского строительства
Ижевский государственный технический университет
им. М. Т. Калашникова
426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7
E-mail: fpidpo@mail.ru

TARANUHA Natal'ya L.

Doctor of Economics, Professor of the Industrial
and Civil Engineering Chair
Kalashnikov Izhevsk State Technical University
426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
E-mail: fpidpo@mail.ru

АНАНИН Константин Юрьевич

аспирант кафедры промышленного и гражданского
строительства
Ижевский государственный технический университет
им. М. Т. Калашникова
426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7
E-mail: ji-bo@bk.ru

ANANIN Konstantin Yu.

Post-graduate student of the Industrial and Civil
Engineering Chair
Kalashnikov Izhevsk State Technical University
426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
E-mail: ji-bo@bk.ru

НОВИКОВ Михаил Юрьевич

аспирант кафедры промышленного и гражданского
строительства
Ижевский государственный технический университет
им. М. Т. Калашникова
426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7
E-mail: mi.novikov1998@yandex.ru

NOVIKOV Mihail Yu.

Post-graduate student of the Industrial and Civil
Engineering Chair
Kalashnikov Izhevsk State Technical University
426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
E-mail: mi.novikov1998@yandex.ru

КАНАКОВ Илья Дмитриевич

аспирант кафедры промышленного и гражданского
строительства
Ижевский государственный технический университет
им. М. Т. Калашникова
426069, Россия, г. Ижевск, ул. Студенческая, 7
E-mail: kanakov1999@bk.ru

KANAKOV Il'ya D.

Post-graduate student of the Industrial and Civil
Engineering Chair
Kalashnikov Izhevsk State Technical University
426069, Russia, Izhevsk, Studencheskaya st., 7
E-mail: kanakov1999@bk.ru

Для цитирования: Тарануха Н.Л., Ананин К.Ю., Новиков М.Ю., Канаков И.Д. Развитие домостроения с учетом энергосберегающих технологий – применения гибридных систем энергоэффективности // Градостроительство и архитектура. 2025. Т. 15, № 3. С. 72–82. DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.10.

For citation: Taranuha N.L., Ananin K.Yu., Novikov M.Yu., Kanakov I.D. Development of house construction taking into account energy-saving technologies – application of hybrid energy efficiency systems. *Gradostroitel'stvo i arhitektura* [Urban Construction and Architecture], 2025, vol. 15, no. 3, pp. 72–82. (in Russian) DOI: 10.17673/Vestnik.2025.03.10.

Принята: 27.04.2025 г.