



ДОСТИЖЕНИЕ НУЛЕВОГО УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА В ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ДОМ – ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ». ЧАСТЬ 1

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: энергоэффективный дом, нулевой углеродный след, электромобиль, тепловой насос, солнечная панель, солнечный коллектор

И. А. Султангузин, доктор техн. наук, профессор, Национальный исследовательский университет «Московский энергетический институт» (НИУ «МЭИ»); **А. В. Говорин**, директор по развитию, ООО «ТАЧ Продакшн»; **И. Д. Калякин**, канд. техн. наук, ассистент, НИУ «МЭИ»; **Т. В. Яцюк**, аспирант, НИУ «МЭИ»; **Ю. В. Яворовский**, канд. техн. наук, завкафедрой промышленных теплоэнергетических систем НИУ «МЭИ»; **В. Ю. Чайкин**, аспирант, ассистент, НИУ «МЭИ»; **Бу Дакка Баидаа**, аспирант, ассистент, НИУ «МЭИ»; **Цэрэндорж Цэцгээ**, аспирант, ассистент НИУ «МЭИ»

Строительная и транспортная отрасли относятся к числу наиболее энергоемких секторов экономики и обладают значительным потенциалом для экономии энергии и сокращения выбросов парниковых газов. Представляем результаты экспериментального исследования единой системы «энергоэффективный дом – электромобиль», использующей в качестве основных источников энергии тепловой насос и солнечные панели, что позволило добиться нулевых выбросов углекислого газа.

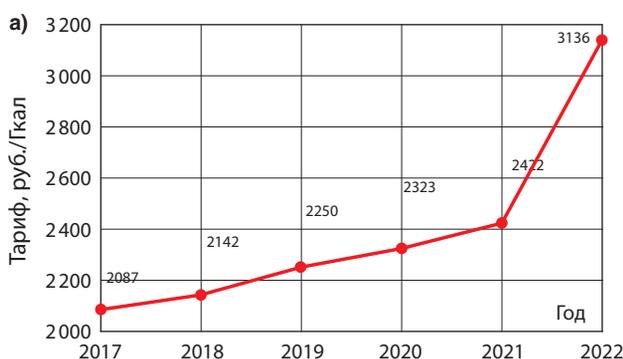
Рост тарифов на энергетические ресурсы как стимул использования ВИЭ

Статистика применения тепловых насосов и возобновляемых источников энергии во всем мире, казалось бы, не имеет отношения к России с ее большими газовыми и нефтяными месторождениями. Однако, несмотря на это, стоимость традиционных энергоносителей в нашей стране постоянно растет (рис. 1): например, тариф на тепловую энергию каждый год увеличивался примерно на 3–5 % [1]. За 10 лет, начиная с 2010 года, стоимость энергоресурсов возросла примерно на 50 %, тогда как только за пару лет (с 2020 по 2022 год) стоимость тепловой энергии увеличилась на 35 % (рис. 1а), а стоимость электроэнергии выросла на 17 % для одноставочного тарифа и на 25–29 % для двухставочного тарифа [2].

Увеличение темпов роста тарифов на энергоресурсы сокращает срок окупаемости технологий, основанных на использовании ВИЭ, или тепловой изоляции зданий, который достаточно велик и составляет 10–11 лет. За период 2020–2022 годов срок окупаемости снизился до 6–7 лет (рис. 2, [3]).

Прогноз изменения стоимости энергоресурсов на ближайшие годы

Известно, что с 1 июля 2024 года средний по стране рост тарифов ЖКХ на энергоресурсы (электроэнергия, газ, тепло и др.) составит¹ 9,8 %, в том числе по Московской области – 10,7 %. Никто не знает, как в дальнейшем будут изменяться эти тарифы, но можно предположить, что их рост продолжится. Значит срок окупаемости энергосберегающих проектов, выполненных ранее, будет неуклонно снижаться.



Темпы роста тарифов на тепловую энергию для населения Центрального федерального округа			
Период	2021/2020	2022/2021	2022/2020
Темп роста тарифа, %	4	29	35
Тариф, руб. / Гкал	2323	2422	3136

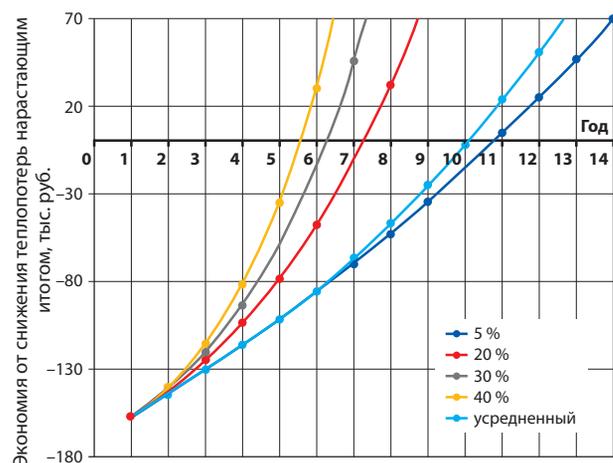
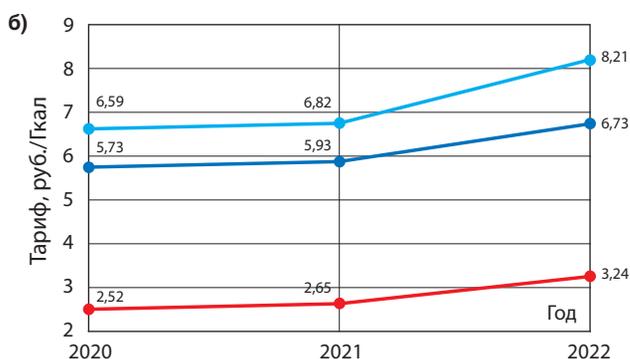


Рис. 2. Изменение срока окупаемости в зависимости от темпов роста тарифов на энергоресурсы

Возводимые дома планируется эксплуатировать как минимум 50–100 лет. При реконструкции зданий в Германии срок окупаемости даже в 15–20 лет считается приемлемым [4]. Постоянный рост стоимости энергии приводит к тому, что все энергосберегающие проекты окупаются примерно в 2 раза быстрее по сравнению с вариантом без учета роста стоимости энергии.

Оценка срока окупаемости энергоэффективного дома

Вопрос окупаемости энергоэффективного дома часто вызывает споры, поскольку существуют разные методы оценки, учитывающие разные параметры. Исключенные из расчета характеристики способны привести к существенной ошибке в экономической оценке и, как результат, к неправильному



Темпы роста тарифов на электроэнергию для населения, Московская область			
Период	2021/2020	2022/2021	2022/2020
Одноставочный	3 %	13 %	17 %
Двухставочный	–	–	–
Ночная зона Т2(23:00–07:00)	5 %	22 %	29 %
Дневная зона Т1(7:00–23:00)	3 %	20 %	25 %

Рис. 1. Рост тарифов на энергетические ресурсы России: а) на тепловую энергию (отопление) [1], б) на электроэнергию [2]

¹ Распоряжение Правительства РФ от 10 ноября 2023 года № 3147-р «Об индексах изменения размера вносимой гражданами платы за коммунальные услуги в среднем по субъектам Российской Федерации и предельно допустимых отклонениях по отдельным муниципальным образованиям от величины указанных индексов на 2024–2028 годы».

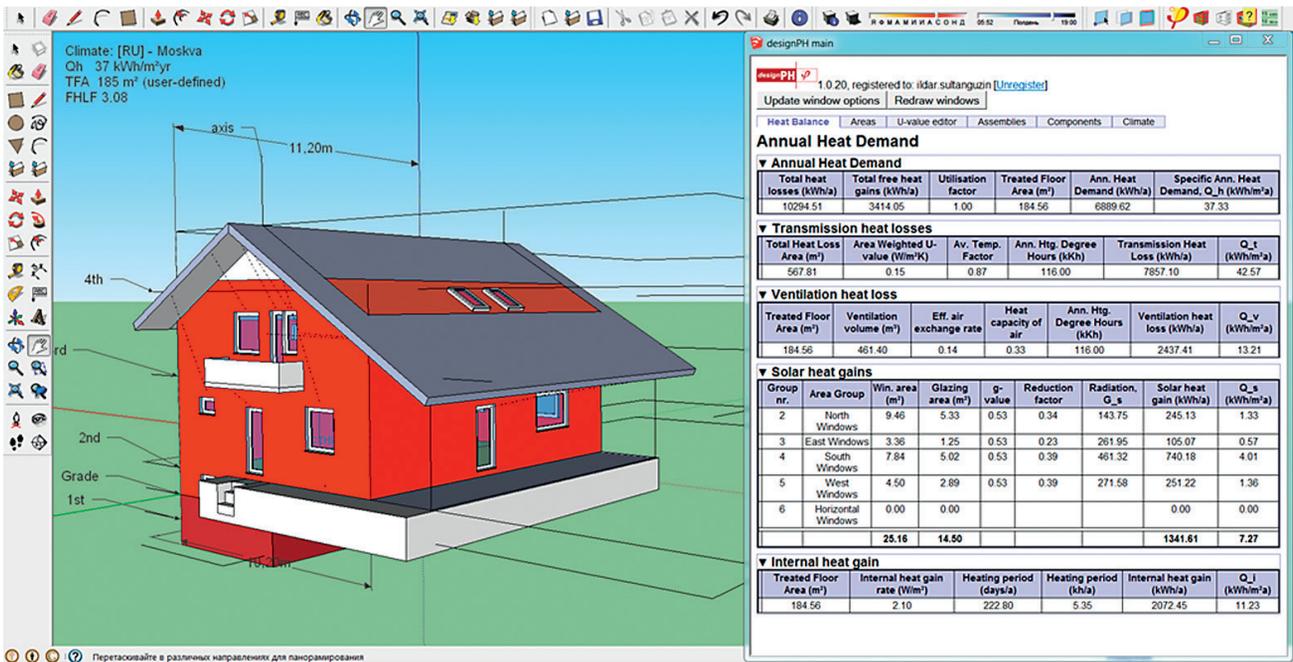


Рис. 3. Моделирование дома в программе designPH

решению. Причем цена исправления ошибки может быть так велика, что из-за высоких затрат на строительство покрыть ее окажется невозможно.

Большинство инвесторов и заказчиков акцентируют свое внимание лишь на максимальном уменьшении капитальных затрат без учета расходов на эксплуатацию. Вопрос комфортного проживания для человека практически не рассматривается в контексте частного дома. Дом, имеющий здоровый микроклимат (заданные температуру и влажность внутреннего воздуха, концентрацию CO₂) в помещении независимо от климатического сезона и погодных условий, способствует повышению качества жизни и активности человека, что является ценностью само по себе.

Также актуально обеспечить независимость частных домов от централизованных систем энергоснабжения, надежность которых снижается в периоды пиковой нагрузки: возможны сбои и отключения. Решить проблему позволяет установка ВИЭ, например солнечных панелей и аккумуляторных батарей (АКБ).

Используемые в проекте программы моделирования зданий

На первом этапе проекта на основе технологий информационного (Building Information Modeling, BIM) и энергетического (Building Energy Modeling, BEM) моделирования зданий была построена математическая модель дома. Пакет планирования пассивного дома PHPP позволил определить его тепловую нагрузку 37 кВт·ч/(м²·год), рассчитать необходимые источники энергии и доказать возможность достижения нулевого энергопотребления благодаря солнечным панелям суммарной мощностью 11,5 кВт [3].

Информационным моделированием создается пространственная параметрическая модель здания с учетом

конструктивных решений и оболочки здания, в которой на разных этапах проектирования постепенно размещаются все элементы здания и инженерные системы. Сначала создается концептуальная модель с предварительными параметрами, которые будут учтены при энергетическом моделировании.

Инструментами энергетического моделирования проверяется выбранная концепция здания и подбираются параметры под поставленные задачи. Далее информационная модель здания изменяется и дополняется с учетом подобранных параметров и инженерных систем. После обоснования выбранной концепции с применением информационного и энергетического моделирования разрабатывается рабочая документация и реализуется проект. Таким образом мы получаем обоснованные характеристики будущего здания, которые и будут реализованы.

Для моделирования использовались:

- Программы **Passive House Planning Package (PHPP)** и **designPH**, разработанные Институтом пассивного дома (Германия) и предназначенные для моделирования всех составляющих системы энергоснабжения [5]. Преимущества программы PHPP состоят в том, что она позволяет учитывать различные типы ограждающих конструкций здания, внутренние тепловыделения и теплопоступления от солнечной радиации, рассчитывать большое количество тепловых схем с применением тепловых насосов, газовых котлов, приточно-вытяжных установок с рекуперацией тепла, солнечных коллекторов, солнечных панелей и т. д. [6–8]. В программе designPH построена математическая модель дома, описывающая геометрические размеры, ориентацию по отношению к сторонам света, теплоизоляционные свойства материалов (рис. 3).

- Программа проектирования зданий **ArchiCAD** [9], обеспечивающая многостадийный подход. Здесь на каждом этапе задается вопрос «Что будет, если?..». Например, если мы изменим размеры дома, или заменим фасад, или выбо-

рем интерьер в стиле лофт и т. д. Причем в каждом случае определяется экономия выбранного решения.

Комплексное проектирование энергоэффективных домов на основе информационного (BIM) и энергетического (BEM) моделирования с использованием таких программ, как ArchiCAD, PHPP и designPH, позволяет выбрать наилучшую архитектуру и энергосистему.

Реализованные в проекте технологии и оборудование

Правильное решение основных задач при проектировании и строительстве энергоэффективных зданий позволяет достигнуть наиболее высокого синергетического эффекта от всех используемых технологий. Выбор основных параметров, таких как конструкция здания, этажность и увеличенная толщина теплоизоляции, позволяет сократить затраты энергии в 3 раза по сравнению с нормативными.

В исследуемом доме основными источниками тепла являются тепловой насос и солнечные коллекторы. Отопление осуществляется через систему низкотемпературного отопления при помощи теплого пола и потолка с функцией охлаждения летом. Также применяется система вентиляции с функцией рекуперации тепла и влаги. Для контроля системы теплоснабжения и сбора данных применяются системы мониторинга «ПолиТЭР» и управления «ТеплоМОНИТОР», которые осуществляют постоянный сбор показаний термометров, расходомеров, электросчетчиков и тепловычислителей, а также управление всей системой энергоснабжения дома.

При проектировании и строительстве энергоэффективного дома было выбрано и внедрено следующее инженерное оборудование в системах жизнеобеспечения [10]:

- Геотермальный тепловой насос BUDERUS Logatherm WVP S II.
- Тепловой аккумулятор JASPI GTV Teknik RD с функцией проточного приготовления горячей воды и подключения солнечных коллекторов.
- Рекуператор на систему вентиляции Турков ZENIT 550 HECO.
- Теплоаккумулирующий камин Tulikivi KTU 1010/92 с КПД = 91 %.
- Низкотемпературная система отопления, теплый пол с улучшенными характеристиками. Работа в диапазоне теплоносителя 22–30 °С.
- Низкотемпературная система отопления – потолочные панели MC-system. Работа в диапазоне теплоносителя 25–35 °С.
- Пассивная система охлаждения здания работает за счет циркуляции теплоносителя через геотермальные зонды. На собственные нужды данной системы тратится всего 130 Вт. С помощью циркуляции воды с температурой 16–19 °С (охлажденной в грунте) через потолочные панели MC-system обеспечивается охлаждение помещений.
- Гелиосистема «ЯSolar» российского производителя «Новый Полюс» выполняет функцию нагрева воды в системе горячего водоснабжения, а также поддерживает систему отопления.
- Солнечные панели электрической мощностью 11,9 кВт установлены на крыше дома.
- Управление инженерным оборудованием осуществляется на основе системы «ГидроЛОГО».



КОММЕРЧЕСКИЙ УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОПТОВОМ И РОЗНИЧНОМ РЫНКАХ

Л. В. Андреева, Л. К. Осика, В. В. Тубинис
(под общей редакцией Л. К. Осика)

В данной книге впервые всесторонне рассматривается система коммерческого учета электроэнергии на оптовом и розничном рынках: нормативные, методические, технические и организационные вопросы создания и эксплуатации данной системы. Особое внимание уделяется метрологическому обеспечению автоматизированных измерительных систем, включая АИИС КУЭ. Приведена методология работы с учетными показателями, даны рекомендации по использованию измерительной информации в ряде практических задач, включая разработку балансов и определение технических потерь электроэнергии в электрических сетях.

Книга предназначена для руководителей и специалистов в области коммерческого учета, энергосбытовой деятельности, эксплуатации электроустановок. Может быть полезна научным работникам, преподавателям и студентам высших учебных заведений.

Реклама

Дополнительная информация
по тел. (495) 107-91-50 или
на www.abokbook.ru



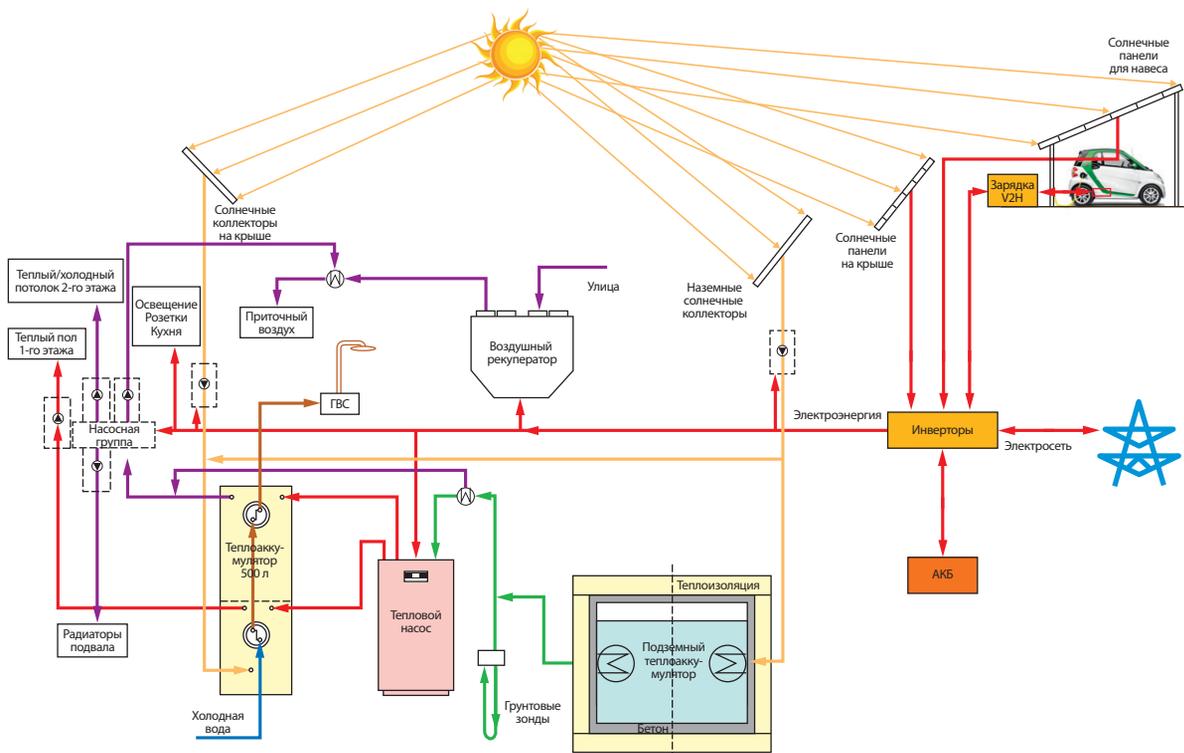


Рис. 4. Схема энергоснабжения энергоэффективного дома с тепловым аккумулятором, навесом и зарядной станцией для электромобиля

- Сбор информации реализован в АСКУЭ на базе ПТК «ПолиТЭР» о работе всех компонентов через контроллер с хранением данных для последующего анализа. Установлено 15 расходомеров, 35 термодатчиков, 4 тепловычислителя «КАРАТ», 7 электросчетчиков «Энергомера».
- Подземный тепловой аккумулятор емкостью 37 м³, нагреваемый от наземных солнечных коллекторов «ЯSolar», обеспечивает сезонное хранение тепловой энергии и ее использование в осенне-весенний период для отопления дома, когда тепловой насос не работает.
- Навес из солнечных панелей и зарядная станция для электромобиля, который используется вместо бензинового

автомобиля с двигателем внутреннего сгорания. Электроэнергия для зарядной станции вырабатывается солнечными панелями, что обеспечивает полностью нулевой выброс парниковых газов для дома и транспорта за год.

Все системы объединены в гибридную систему и работают на получение максимального энергосберегающего эффекта и на достижение нулевого углеродного следа.

Солнечные панели и коллекторы

В соответствии с законом² № 471-ФЗ частный дом с установленной солнечной электростанцией сможет отдавать в сеть до 15 кВт электрической мощности. На основании про-



Рис. 5. BIM-модель системы энергоснабжения дома с подземным теплоаккумулятором и наземными солнечными коллекторами

² Федеральный закон от 27 декабря 2019 года № 471-ФЗ «О внесении изменений в Федеральный закон «Об электроэнергетике» в части развития микрогенерации».

веденных расчетов [3] было решено установить 30 солнечных панелей суммарной мощностью 11,9 кВт на крыше с южной стороны дома (рис. 4), чтобы вывести дом на нулевое годовое энергопотребление с возможностью продавать излишки электроэнергии в сеть [11]. Для установки выбрано 3 вида солнечных панелей:

- DELTA BST 360-24m – подобные панели ранее были установлены в системе дома;
- DELTA BST 380-72 M – современные панели мощностью 380 Вт для использования на менее нагруженной фазе;
- DELTA BST 450-72 M HC – современные панели повышенной мощности 450 Вт для использования на наиболее нагруженной фазе. Модули с половинчатыми элементами (Half-Cut) имеют солнечные элементы, которые разрезаны пополам, что улучшает эффективность и долговечность модуля.

Была выбрана гибридная схема солнечной электростанции с использованием 4 аккумуляторных литий-железо-фосфатных батарей LFP 12.8-200 Smart суммарной емкостью 10,24 кВт•ч. В трехфазную схему электроснабжения дома были встроены гибридные инверторы SmartWatt Hybrid 5K.

На крыше дома установлены 4 солнечных коллектора «ЯSolar» общей площадью 8 м². Солнечные коллекторы обеспечивают теплом, что позволяет затрачивать энергию только на насосы. Применение низкотемпературных систем отопления в виде теплого пола и потолка позволяет избежать лишних потерь и избыточной температуры воздуха в помещении.

Система сезонного аккумулирования тепловой энергии

Для повышения энергетической эффективности и получения уникальных результатов было принято решение об установке сезонного аккумулятора тепловой энергии. Он дает возможность хранить и использовать тепловую энергию в течение нескольких месяцев [12, 13].

В рамках проекта была поставлена задача создать и исследовать подземный аккумулятор для существующей системы теплоснабжения энергоэффективного дома. Были разработаны алгоритмы работы в различные сезоны с использованием дополнительных солнечных коллекторов и теплового насоса. При подключении подземного аккумулятора к системе энергоснабжения установлено 12 наземных солнечных коллекторов «ЯSolar». Проектирование подземного теплового аккумулятора с наземными солнечными коллекторами (рис. 5) выполнено с помощью BIM-моделирования: произведено моделирование тепловых процессов и выбраны необходимые толщины тепловой изоляции.

Экологически чистая зарядная станция для электромобиля

Если в единой системе «энергоэффективный дом – электромобиль» последний заряжается электроэнергией, вырабатываемой при сжигании традиционного топлива на тепловых электростанциях, то вредные выбросы с улиц просто переносятся на дымовую трубу. Поэтому электромобиль может стать экологически чистым только тогда, когда он заряжается от зеленой энергии, выработанной ВИЭ.

Приблизиться к нулевому углеродному следу для всей системы «энергоэффективный дом – электромобиль» позволяет установка солнечного навеса для электромобиля. Однако данная идея становится полноценной при условии встраивания системы зарядки электромобиля в систему электроснабжения дома. Электромобиль может обладать мощной современной аккумуляторной батареей (АКБ) емкостью более 80 кВт•ч, тогда как в доме установлены литий-железо-фосфатные АКБ емкостью порядка 10 кВт•ч. Это позволит повысить энергонезависимость дома с одних суток до нескольких дней.



Рис. 6. Вид участка с навесом, покрытым солнечными панелями



Установленная мощность
Солнечные модули 22,1 кВт
Инверторы 25 кВт

Экспозиция СМ
Азимут 191,7°
Угол наклона 31,3°

Генерация
Система генерирует 23 826 кВт·ч в год
Потребление выработанной энергии
6 587 кВт·ч (28 %)

Замещение сетевой электроэнергии
Замещение потребления за 25 лет
73,3 % (80,9 % за первый год)

Рис. 7. Расчет суммарной выработки электроэнергии фотоэлектрической системой

Для решения проблемы была доработана в программе ArchiCAD исходная BIM-модель здания с учетом приусадебного участка, а также проработан и реализован проект системы энергоснабжения дома, включающей покрытый солнечными панелями навес для электромобиля (рис. 6).

В рамках данного этапа определена суммарная выработка электроэнергии, включающая вклад солнечных панелей, расположенных на крыше (рис. 7). Установлены 32 солнечные панели DELTA BST-320-60M (8 рядов по 4 панели) суммарной электрической мощностью 10,24 кВт.

Солнечные панели подключены к системе энергоснабжения дома, к которой также подсоединили зарядную станцию фирмы TOUCH серии Home Mini с дистанционным управлением [14]. Расчеты показали, что вырабатываемой ими электроэнергии будет достаточно для зарядки электромобиля и для выдачи в сеть.

Литература

1. Росстат, ЕМИСС. Средние потребительские цены (тарифы) на продовольственные, непродовольственные товары и услуги. <https://www.fedstat.ru/indicator/31448>.
2. Полная версия тарифов на 2023 год. Мосэнергосбыт. <https://www.mosenergosbyt.ru/individuals/tariffs-n-payments/tariffs-mo/polnaya-versiya-tarifov-mo.php>.
3. Калякин И. Д. Повышение энергетической эффективности энергоснабжения зданий на основе математического моделирования / Дисс. к. т. н. МЭИ, 2022. 154 с.
4. Габриель И., Ладенер Х. Реконструкция зданий по стандартам энергоэффективного дома. СПб.: БХВ-Петербург, 2011. 480 с.
5. Файст В. Основные положения по проектированию пассивных домов. М.: ООО «KONTIPRINT», 2015. 144 с.
6. Султангузин И. А., Шютц У., Калякин И. Д., Говорин А. В., Яворовский Ю. В., Жигулина Е. В., Хромченков В. Г., Малахова А., Ланцке Б., Дамен А. Расчет, строительство и обследование фасада энергоэффективного дома // Строительство и реконструкция. 2017. № 4. С. 110–118.
7. Султангузин И. А., Кругликов Д. А., Яворовский Ю. В., Жигулина Е. В., Калякин И. Д., Говорин А. В., Яцюк Т. В., Бартенев А. И., Хромченков В. Г. Применение BIM, BEM и CFD

технологий для проектирования, строительства и эксплуатации энергоэффективного дома // С.О.К. 2019. № 9. С. 36–42.

8. Яворовский Ю. В., Султангузин И. А., Кругликов Д. А., Калякин И. Д., Яцюк Т. В. Сравнение результатов энергетического моделирования жилого дома с помощью разных программных средств // Вестник МЭИ. 2020. № 3. С. 31–39.

9. Яцюк Т. В., Султангузин И. А., Кругликов Д. А., Яворовский Ю. В., Христенко Б. А., Чайкин В. Ю. BIM-моделирование для жизненного цикла здания: реалии современности и потребности развития в России // С.О.К. 2021. № 2. С. 30–39.

10. Говорин А. В., Султангузин И. А. Энергоэффективный жилой дом с минимальным потреблением энергии от внешних сетей (Ашукино, Московской области) // Материалы III Климатического форума городов России «Климатическая адаптация и сокращение парниковых газов мегаполиса: ВИЭ в моем дворе». М., 2019. С. 19–21.

11. Chaikin V.Y., Sultanguzin I.A., Yavorovsky Yu.V., Kalyakin I.D., Skorobatyuk A.V., Demidov E.A. Solar Power Plant for Energy Supply of Building // Proceedings of the 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2022. Moscow, March 17–19, 2022. 6 p.

12. Шайхеева А. Р., Чайкин В. Ю., Султангузин И. А., Яворовский Ю. В., Нечаев А. Н., Скоробатюк А. В. Исследование режимов работы сезонного аккумулятора тепловой энергии энергоэффективного дома // Труды Одиннадцатой Всероссийской конференции с международным участием «Энергосбережение – теория и практика». Москва, НИУ «МЭИ», 10–14 октября 2022 года. М.: ООО Центр полиграфических услуг «Радуга», 2022. С. 57–62.

13. Chaikin V.Y., Tsetsgee Ts., Bo Dakkah B., Sultanguzin I.A., Yavorovsky Yu.V., Nechaev A.N. Annual Cycle of a Seasonal Heat Accumulator of Thermal Energy of an Energy-Efficient House // Proceedings of the 2023 5th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering, REEPE 2023, Moscow, March 16–18, 2023. 5 p.

14. Зарядные станции для электромобилей TOUCH. <https://touch-station.com/>. ■

Продолжение статьи читайте в следующем номере журнала «Энергосбережение».