



ДОСТИЖЕНИЕ НУЛЕВОГО УГЛЕРОДНОГО СЛЕДА В ЕДИНОЙ СИСТЕМЕ «ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЙ ДОМ – ЭЛЕКТРОМОБИЛЬ». Ч. 2

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»

Сектор зданий в России входит в число наиболее энергоемких отраслей, и именно в нем можно достичь наиболее значительных результатов по экономии энергии и, соответственно, снижению выбросов парниковых газов. Это подтверждается результатами экспериментального исследования единой системы «энергоэффективный дом – электромобиль», использующей в качестве основных источников энергии тепловой насос и солнечные панели¹.

¹ Начало статьи читайте в журнале «Энергосбережение» № 5–2024.

Таблица 1. Пройденное расстояние и расход электроэнергии на зарядку электромобиля в июне–декабре 2023 года

Июнь–декабрь 2023 года	Пройдено	Заряжено		Уд. расход	Цена	Заплатено	
Тип зарядки (заправки)	км	кВт•ч (Λ)*	%	кВт•ч/100 км (Λ/100 км)*	руб./кВт•ч (руб./Λ)*	руб./100 км	руб.
Домашняя зарядка, 7 кВт	2 657	476	36	17,9	3,37	60	1 606
Медленная зарядка, 7 кВт	2 031	503	38	24,7	0	0	0
Быстрая зарядка, 150 кВт	1 293	339	26	26,2	0	0	0
Всего зарядка электромобиля	5 981	1 318	100	22,0	1,22	27	1 606
Автомобиль с ДВС на бензине	5 981	658*	100	11,0*	55,0*	605	36 185
Экономия на электромобиле	5 981					578	34 579

* Размерность для автомобиля с ДВС на бензине.

Расход электроэнергии при эксплуатации электромобиля

Эксплуатация электромобиля Volkswagen ID.4 Crozz началась в июне 2023 года. При пройденном расстоянии 5 981 км расход электроэнергии на зарядку составил 1 318 кВт•ч, что составляет 22 кВт•ч/100 км (табл. 1). Зарядка осуществлялась на домашней зарядной станции TOUCH (рис. 1), доля которой составила 36 % от всей электроэнергии, а также на бесплатных медленных (38 %) и быстрых (26 %) зарядках сети «Энергия Москвы».

Стоимость зарядки электромобиля от солнечной электростанции составила 1 606 руб. Если сравнить эти затраты с ценой на бензин, удельный расход которого составляет 11 Λ/100 км, то мы увидим, что на бензин потребуется более чем в 22 раза больше средств, чем для зарядки электромобиля.

Из баланса электроэнергии видно (рис. 2), что на зарядку электромобиля в июне–сентябре 2023 года было истрачено 13 % электроэнергии, а в сеть было выдано 71 %. Если всю выработанную возобновляемую электроэнергию направить на зарядку электромобилей, то за указанные 4 месяца можно было бы зарядить более 6 электромобилей.



Рис. 1. Зарядка электромобиля от домашней зарядной станции TOUCH летом

² Получен из автоматизированной системы мониторинга данных «ПолиТЭР» [1].



Рис. 2. Баланс электроэнергии для дома и электромобиля в июне–сентябре 2023 года (кВт•ч; %)

Зарядка электромобиля от домашней зарядной станции осуществлялась в основном по ночному тарифу. Суточный график² электрической нагрузки дома (рис. 3) за 1 день (10 августа 2023 года) показывает, что за 5,5 ночных часа на зарядку электромобиля потребовалось 33,9 кВт•ч при средней мощности зарядки 6,2 кВт. Днем солнечная электростанция выработала 118,6 кВт•ч и выдала в сеть 94,8 кВт•ч, то есть почти в 3 раза больше.

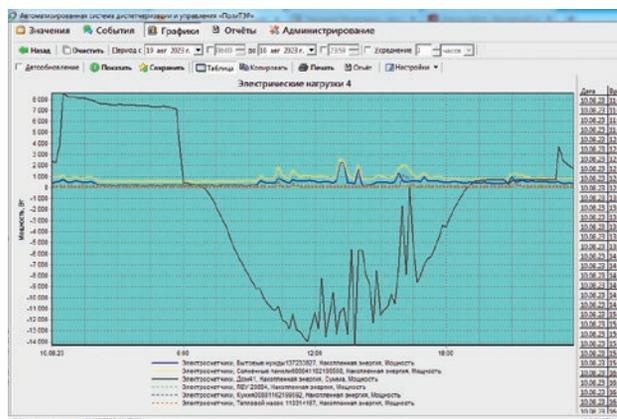


Рис. 3. Суточный график электрической нагрузки дома



Рис. 4. График быстрой зарядки ВВБ электромобиля, выполненной 13 ноября 2023 года

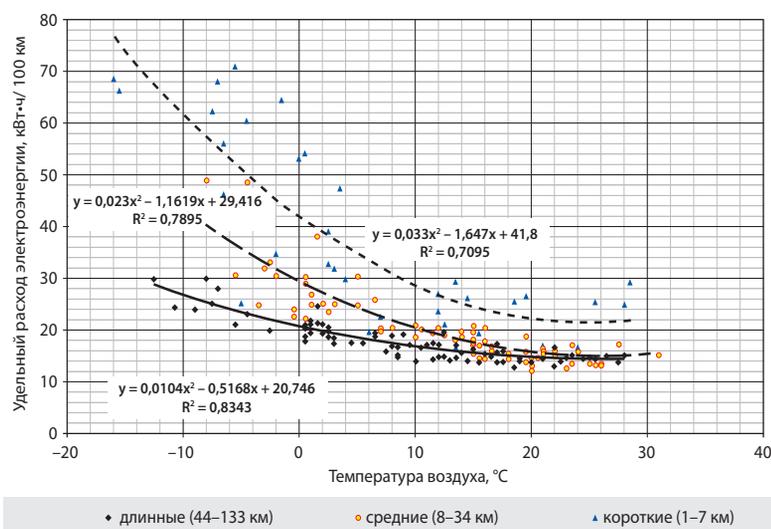


Рис. 5. Зависимость удельного расхода электроэнергии электромобиля от температуры окружающего воздуха и дистанции пробега

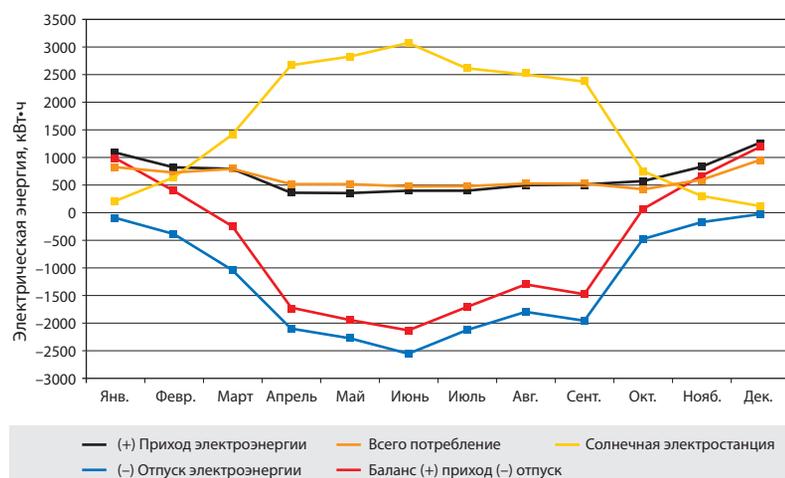


Рис. 6. Электроснабжение дома с нулевым углеродным следом за 2023 год

Быстрая зарядка (рис. 4) постоянным током на GB/T DC 150 кВт высоковольтной батареи (ВВБ) электромобиля Volkswagen ID.4 Crozz осуществляется за 42 мин, на что было истрачено 43,3 кВт·ч. При этом запас хода электромобиля увеличился с 107 км (25 %) до 354 км (80 %), а мощность зарядки изменялась в пределах 48–66 кВт.

За 7 месяцев 2023 года было установлено, что удельный расход электроэнергии на электромобиль сильно зависит от температуры окружающего воздуха (рис. 5). Причем на более коротких дистанциях эта зависимость проявляется значительно сильнее.

Анализ статистических данных о 203 поездках на электромобиле, выполненный в программе Statgraphics Centurion XV [2], показал, что на удельный расход электроэнергии помимо температуры воздуха и дистанции существенное влияние оказывает средняя скорость поездки. Была получена регрессионная зависимость удельного расхода электроэнергии E [кВт·ч/100 км] от температуры наружного воздуха T [°C], дистанции L [км] и средней скорости поездки V [км/ч]:

$$E = 13,5864 - 1,85421 \cdot T + 0,0264191 \cdot T^2 + 39,6578 / L + 321,72 / V + 0,0236357 \cdot T \cdot V - 342,521 / (L \cdot V).$$

Зависимость имеет достаточно высокое значение коэффициента детерминации $R^2 = 86,85$ %.

При изменении температуры наружного воздуха от -16 до $+31$ °C, дистанции пробега электромобиля от 1 до 88 км и средней скорости от 5 до 58 км удельный расход электроэнергии колебался в диапазоне от 12 до 71 кВт·ч/100 км.

#терминология

Коэффициент детерминации R^2 – это доля дисперсии зависимой переменной, объясняемая рассматриваемой моделью зависимости, то есть объясняющими переменными. На практике, если коэффициент детерминации близок к 1, это указывает на то, что модель работает очень хорошо (имеет высокую значимость), а если к 0, то это означает низкую значимость модели, когда входная переменная плохо объясняет поведение выходной, так как зависимость между ними отсутствует.

Таким образом, было показано, что использование солнечных панелей на крыше дома и на навесе зарядной станции для электромобиля фактически позволяет «обнулить» энергопотребление системы «энергоэффективное здание – электромобиль».

Конечно, удачный пример одного энергоэффективного здания не может служить основанием для обобщения в масштабах всей страны, но он способен показать путь к достижению нулевого углеродного следа для многих других зданий – индивидуальных и многоквартирных домов, а также общественных строений.

Электроснабжение исследуемого дома

Рассмотрим электроснабжение исследуемого дома с января по декабрь 2023 года (рис. 6) на основе данных системы мониторинга «ПолиТЭР». За год домом было потреблено 7,3 МВт•ч электроэнергии, выработка солнечной электростанции составила 19,5 МВт•ч, из сети поступило 7,9 МВт•ч, отпуск электроэнергии в сеть составил 15,0 МВт•ч. Стоит отметить, что все компоненты строительной и инженерной части дома реализованы с использованием имеющихся на рынке материалов и оборудования.

Таким образом, баланс отпуска и поступления электроэнергии составил $15,0 - 7,9 = 7,1$ МВт•ч/год. То есть превышение положительного баланса отпуска и поступления над поступлением составляет $(15,0 - 7,9) / 7,9 \cdot 100\% = 90\%$. В данном случае экономия электроэнергии как сумма потребления и отпуска в сеть составляет: $7,3 + 15,0 = 22,3$ МВт•ч. Именно столько потребовалось бы электроэнергии из общей сети для энергоснабжения дома, если бы не было установленных ВИЭ.

Снижение углеродного следа в системе «энергоэффективный дом – электромобиль»

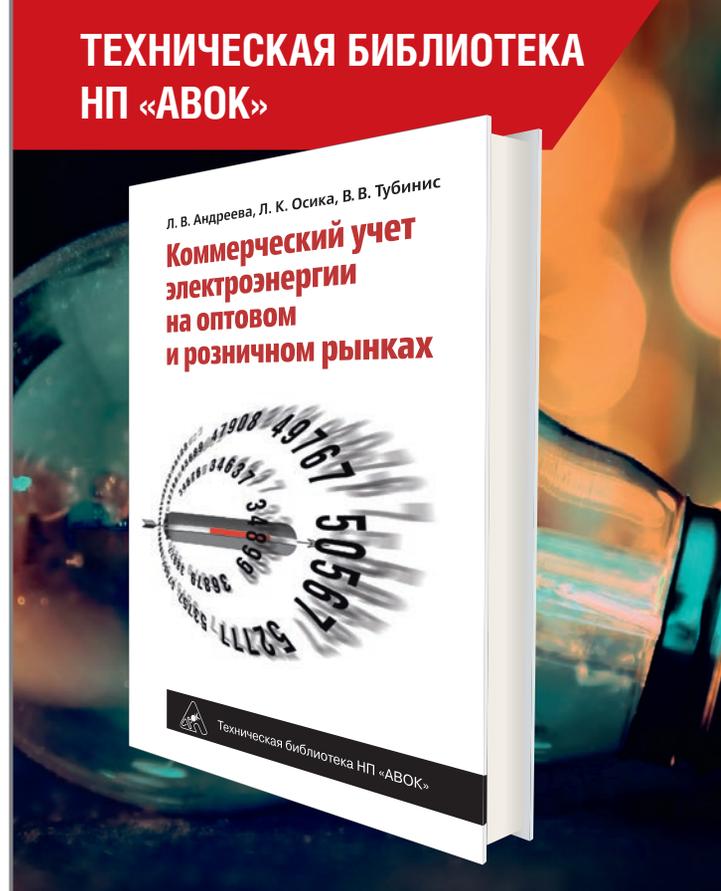
Определим снижение выбросов парниковых газов.

- За счет использования ВИЭ и утепления дома.

По данным ПАО «Мосэнерго» за 2020 год [3], удельный расход топлива на электроэнергию составлял 224,1 г у.т./кВт•ч. На ТЭЦ Москвы для производства электрической и тепловой энергии сжигается практически только природный газ [4]. Согласно методике определения выбросов парниковых газов³ коэффициент выбросов CO₂ для природного газа составляет 1,59 г CO₂/г у.т. На каждый киловатт-час электроэнергии от ТЭЦ приходится $224,1 \cdot 1,59 = 356$ г CO₂/кВт•ч.

Согласно [5] в результате энергетического моделирования для классического дома, построенного по нормативам тепловой защиты зданий в Москве, получена удельная нагрузка на отопление 105,1 кВт•ч/(м²•год). Это в 2,8 раза больше, чем для утепленного энергоэффективного дома. Разность расхода энергии на отопление классического и энергоэффективного домов составляет 12,6 МВт•ч в год. Тогда снижение расхода энергии за счет перехода от классического дома к энергоэффективному с использованием солнечной энергии составит: $22,3 + 12,6 = 34,9$ МВт•ч в год.

³ Приказ Минприроды России от 27 мая 2022 года № 371 «Об утверждении методик количественного определения объемов выбросов парниковых газов и поглощений парниковых газов».



КОММЕРЧЕСКИЙ УЧЕТ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ НА ОПТОВОМ И РОЗНИЧНОМ РЫНКАХ

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

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



Таблица 2. Оценка годовой экономии энергии и снижения выбросов парниковых газов

Показатели	Экономия энергии, МВт•ч	Снижение выбросов CO ₂ , т
Энергосберегающий эффект исследуемого дома по сравнению с классическим домом	12,6	4,5
Потребление энергии	7,3	3,1
Отпуск электроэнергии в сеть	15,0	4,8
Электромобиль вместо автомобиля с ДВС	1,23* т у. т.	2,5
Общий энергетический и экологический эффекты	35*	14,9

* Без учета пересчета экономии бензина из т у. т. в МВт•ч при переходе на электромобиль.

Снижение углеродного следа от перечисленных энерго-сберегающих мероприятий составит: $34,9 \cdot 356 = 12\,424$ кг CO₂ в год.

- За счет замены бензинового автомобиля электромобилем.

Автомобиль на бензине за предыдущие несколько лет проходил в среднем 10 тыс. км в год со средним расходом бензина 11 л/100 км. За год было истрчено 1100 л, или 825 кг бензина, учитывая, что его плотность равна 0,75 кг/л. Если перевести в условное топливо через топливный эквивалент бензина 1,49 кг у. т./кг, то получим $825 \cdot 1,49 = 1\,229$ кг у. т. в год.

Коэффициент выбросов CO₂ для бензина составляет⁴ 2,03 кг CO₂/кг у. т. Тогда эффект снижения углеродного следа за счет перехода на электромобиль, заряжаемый от солнечной энергии, составит: $1\,229 \cdot 2,03 = 2\,495$ кг CO₂ в год.

Таким образом, суммарное снижение выбросов парниковых газов для дома с нулевым углеродным следом составит: $12\,424 + 2\,495 = 14\,919$ кг CO₂ в год, или примерно 14,9 т CO₂/год.

Достижение целей углеродной нейтральности в России

В 2020 году согласно указу президента РФ № 666⁵ необходимо обеспечить «к 2030 году сокращение выбросов парниковых газов до 70 % относительно уровня 1990 года». На основе этого указа в 2021 году разработана «Стратегия социально-экономического развития Российской Федерации с низким уровнем выбросов парниковых газов до 2050 года»⁶, в которой говорится, что «реализация целевого (интенсивного) сценария приведет в 2050 году к сокращению нетто-выбросов парниковых газов на 60 % по сравнению с уровнем 2019 года и на 80 % по сравнению с уровнем 1990 года». Предполагается, что этого удастся добиться как за счет сокращения непосредственно выбросов парниковых газов, так и за счет компенсации лесами.

В октябре 2021 года президент РФ В. В. Путин на «Российской энергетической неделе» отметил: «Россия будет добиваться достижения углеродной нейтральности не позднее 2060 года» [6]. Такие страны, как Китай, Бразилия, Казахстан и другие, также объявили о намерении достичь углеродной нейтральности к 2060 году.

Поскольку сектор зданий России является крупнейшим потребителем энергии [7], он обладает и значительным потенциалом энергосбережения и, соответственно, снижения выбросов парниковых газов [4]. Дома с малым потреблением энергии уже существуют. Однако данный проект существенно отличается от остальных, прежде всего тем, что выполнялся на основе серьезной экспериментальной научно-технической базы НИУ «МЭИ», на которой опытные ученые совместно с молодыми специалистами разрабатывают и реализуют новые научные идеи и проекты. Так, в Институте энергоэффективности и водородных технологий НИУ «МЭИ» созданы два новых учебных курса: «Проектирование энергоэффективных зданий на основе BIM- и BEM-технологий» и «Цифровые технологии и инженерное оборудование энергоэффективных зданий». Это позволяет подготовить научно-технические кадры, способные добиться поставленных целей по углеродной нейтральности России к 2060 году.

Литература

1. 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.
2. Statgraphics. Data Analysis Solutions. <https://www.statgraphics.com/>.
3. Годовой отчет ПАО «Мосэнерго» за 2020 год. ПАО «Мосэнерго». https://mosenergo.gazprom.ru/d/textpage/f9/249/mosenergo_2020_22-06_ru_na-publikatsiyu.pdf.
4. Яворовский Ю. В., Султангузин И. А., Бартенев А. И., Калыкин И. Д., Яшин А. П. Стратегическое планирование развития города на основе моделирования и оптимизации топливно-энергетического баланса // С.О.К. 2022. № 9. С. 72–79.
5. Кругликов Д. А. Современный комплексный подход к проектированию, строительству и эксплуатации энергоэффективных домов на основе BIM-, BEM- и CFD-технологий / Магистерская диссертация. МЭИ, 2019. 124 с.
6. Путин: Россия будет добиваться достижения углеродной нейтральности не позднее 2060 года. ТАСС. 13 октября 2021 года. <https://tass.ru/ekonomika/12651091>.
7. Башмаков И. А. Энергоэффективность в российских зданиях. ЦЭНЭФ-XXI. <https://cenef-xxi.ru/articles/energoeffektivnost-v-rossijskih-zdaniyah>. ■

⁴ Приказ Минприроды России от 27 мая 2022 года № 371.

⁵ Указ Президента РФ от 4 ноября 2020 года № 666 «О сокращении выбросов парниковых газов».

⁶ Распоряжение Правительства РФ от 29 октября 2021 года № 3052-р.

АВОК-МАРКЕТ

ИНЖЕНЕРНОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ЗДАНИЙ,
ЭЛЕМЕНТЫ СИСТЕМ, СОПУТСТВУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ

АВОК
МАРКЕТ

ИЩИТЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

РАЗМЕЩАЙТЕ
ОБОРУДОВАНИЕ

- ОТОПЛЕНИЕ
- ВЕНТИЛЯЦИЯ
- КОНДИЦИОНИРОВАНИЕ ВОЗДУХА
- ВОДОСНАБЖЕНИЕ И ВОДОПОДГОТОВКА
- КАНАЛИЗАЦИЯ И ОЧИСТКА СТОЧНЫХ ВОД
- ПОЖАРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ
- АВТОМАТИЗАЦИЯ
- ОСВЕЩЕНИЕ
- ГЕНЕРАЦИЯ
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ,
ВИЗ, ЭЛЕКТРОСНАБЖЕНИЕ
- ЭЛЕКТРООБОРУДОВАНИЕ
- МАТЕРИАЛЫ
- УЧЕТ



MARKET-AVOK.RU