

Возможности декарбонизации в деревянном домостроении / The possibilities of decarbonization in wooden housing construction

текст

Вера Печенина

Красноярский государственный аграрный университет

Людмила**Фаткулина-Яськова**

Научно-образовательный центр «Енисейская Сибирь» (Красноярск)

Сергей Медведев

Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева (Красноярск)

text

Vera Pechenina

Krasnoyarsk State Agrarian University

Lydumila Fatkulina-Yaskova

World-class scientific and educational center "Yenisei Siberia" (Krasnoyarsk)

Sergey Medvedev

Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (Krasnoyarsk)

Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 22-78-10002, <https://rscf.ru/project/22-78-10002/>Acknowledgements: The research was carried out within the Russian Science Foundation grant No. 22-78-10002, <https://rscf.ru/en/project/22-78-10002/>

Рассматривается использование «зеленого» стандарта индивидуального жилищного строительства для проектирования деревянного дома-трансформера по технологии двойного бруса для повышения энергоэффективности дома. Даётся оценка экономии инвестиционных и эксплуатационных затрат, в том числе за счёт экономии энергии в период эксплуатации, а также расчет потенциала сокращения эмиссии CO₂. Рассмотрены применение альтернативных источников энергии и инструменты мотивации их использования в Сибири.

Ключевые слова: деревянное домостроение; энергоэффективный дом-трансформер; «зеленый» стандарт индивидуального жилищного строительства; декарбонизация; эмиссия CO₂.

The article discusses the use of the “Green” standard for individual housing construction for the design of a wooden house-transformer using double-beam technology to improve the energy efficiency of the house and the assessment of savings in investment and operating costs, including through energy savings during operation, as well as the calculation of the potential for reducing CO₂ emissions, including the use of alternative energy sources and tools for motivating their use in Siberia.

Keywords: wooden housing construction; energy-efficient transformable house; green standard of individual housing construction; decarbonization; CO₂ emissions.

Декарбонизация – это сокращение содержания парниковых газов (эквивалентных CO₂) в окружающей среде. В мировой практике для декарбонизации используют два основных способа – сокращение эмиссии углекислого газа (низкоуглеродная экономика) и поглощение его из атмосферы (лесоклиматические проекты) [1].

Сибирский регион обладает огромным потенциалом для развития не только лесоклиматических проектов, которые воздействуют на окружающую среду, экономику и общество [2], но и декарбонизации экономики в целом и отдельных ее сфер, в частности строительства и ЖКХ, эмиссия CO₂ которых составляет до 40%, по оценкам разных исследователей [3, 4].

Максимальный эффект в декарбонизации строительной отрасли и ЖКХ достигается за счет повышения энергоэффективности зданий и использования чистой энергии. Декарбонизация оценивается через сокращение выбросов парниковых газов (в эквиваленте CO₂) на всех этапах жизненного цикла объекта: проектирования, производства строительных материалов, эксплуатации здания, ремонта и реконструкции, а также утилизации материалов после завершения использования здания.

На достижение углеродной нейтральности оказывает влияние сертификация и финансирование «зеленых» проектов, т. е. особые условия кредитования в зависимости от уровня выбросов парниковых газов, а также от используемых материалов и технологий, направленных на повышение энергоэффективности жилья, особенно в условиях сокращения иных стимулов ипотечного кредитования. АО «ДОМ. РФ» разработал «зеленые» стандарты для МКД (многоквартирного дома) (ГОСТ Р 70346–2022) и для индивидуального жилищного строительства (ИЖС) (ГОСТ Р 71392–2024), правила применения которых установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 года № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации».

Деревянное домостроение

В настоящее время в России активно развиваются проекты, направленные на развитие деревянного домостроения. Так, по заказу и при финансовой поддержке Научно-образовательного центра (НОЦ) мирового уровня

«Енисейская Сибирь» в 2024 году реализован проект «Развитие деревянного домостроения в Красноярском крае как механизм декарбонизации и обеспечения массовым и доступным жильем» для выполнения задачи разработки технических решений объектов малоэтажной застройки с использованием наиболее энергоэффективной технологии деревянного малоэтажного строительства в Сибирском регионе с учетом требований декарбонизации. Он направлен на сокращение выбросов CO₂ в строительстве и в процессе эксплуатации индивидуального жилого дома-трансформера в соответствии с требованиями «зеленого» стандарта ИЖС. Эскизные проектные решения представлены на дом-трансформер для растущей семьи или семей, состоящих из 3, 5, 7 человек. Апробация проектирования для сертификации по «зеленому» стандарту ИЖС выполнена на примере разработанного в рамках программы деятельности НОЦ «Енисейская Сибирь» проекта деревянного индивидуального жилого дома-трансформера,озводимого по технологии «двойной брус» с применением низкоуглеродных строительных материалов (дерево, эковата) и с использованием энергоэффективного оборудования для отопления и водоснабжения (рис. 1).

Технология деревянного строительства «двойной брус»

Важным аспектом предлагаемых разработок является использование технологии «двойной бруса». Стены из двойного бруса состоят из двух параллельных брусьев, между которыми располагается слой утеплителя. Двойной брус изготавливается из натуральной древесины и не содержит вредных веществ. Конструкции из двойного бруса паропроницаемы. Это позволяет избежать образования конденсата. В составе утеплителя 81% целлюлозного волокна, которое обработано антиприренами и антисептиками, а также защищено от огня, грибка, насекомых и грызунов. Благодаря наличию слоя утеплителя, стены из двойного бруса обладают низкой теплопроводностью по сравнению с обычным бруском, что позволяет сократить затраты энергии (на отопление и кондиционирование) и эмиссию CO₂.



а



б

«Зеленый» стандарт ИЖС

Восемь категорий ГОСТ Р 71392–2024, по которым оценивают проекты ИЖС на соответствие «зеленому» стандарту, представлены на рис. 2. Критерии оценки проектов основаны на международной практике BREEAM, LEED и опыте российских компаний, реализующих комплексные проекты ИЖС. На стадиях проектирования, строительства и эксплуатации используют три типа критериев – обязательные, по выбору и добровольные. Так, например, при оценке в категории «Архитектура» к обязательным критериям относят энергоэффективные объемно-планировочные решения, а к добровольным критериям – качество архитектурных решений (наличие и доля акцентных зданий в жилом комплексе), а также наличие эксплуатируемой кровли. Этот подход подчеркивает значимость энергоэффективности для «зеленого» стандарта и декарбонизации.

Для получения рейтинга «Золото» проект ИЖС должен отвечать всем обязательным критериям не только для значения «Золото», но и для рейтинговых значений «Серебро» и «Бронза». В каждой категории «зеленого» стандарта присутствует несколько обязательных критериев, соответствие которым оценивается в баллах. Для соответствия рейтингу проект должен набрать определенную сумму баллов: «Бронза» – 6 (15), «Серебро» – 11 (17), «Золото» – 12 (24); всего 90.

Максимальное влияние на сокращение эмиссии парниковых газов (декарбонизацию) в ЖКХ из категорий «зеленого» стандарта оказывает категория «Энергоэффективность и атмосфера» (рис. 2), в которой дополнительным критерием является использование источников чистой энергии на всех этапах жизненного цикла здания, а самым продолжительным этапом является период эксплуатации жилого дома (для объекта исследования 50 лет). К категории «Энергоэффективность и атмосфера» относятся пять обязательных критериев и дополнительный, которым должен соответствовать проект ИЖС, чтобы получить рейтинг «Золото» при сертификации по «зеленому» стандарту.

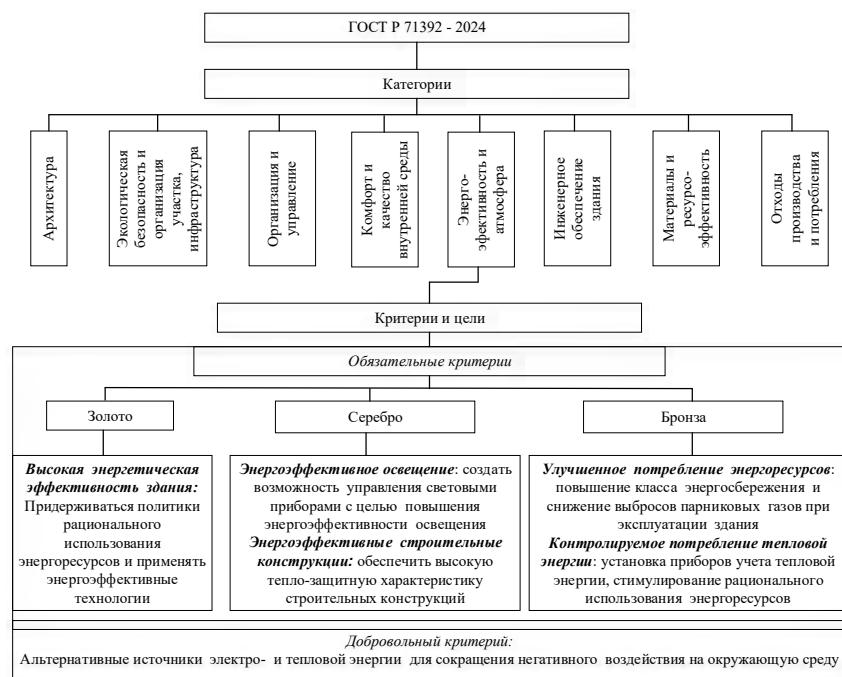
Энергоэффективный дом-трансформер

В качестве объекта в рамках данного исследования использовался проект деревянного индивидуального жилого дома (рис. 1). Проект дома разработан с учетом требований малоэтажной застройки и может быть рассмотрен в качестве инфраструктуры для молодых специалистов в сельских и районных поселениях Красноярского края или возведения объектов в районах, пострадавших от чрезвычайных ситуаций (пожары, наводнения, разрушения другого характера). Для данного случая в проекте произведены расчеты по устройству систем водоснабжения из скважины и отведения сточных вод в септик.

Применяемая технология строительства дома из двойного бруса позволяет улучшить удельную теплозащитную характеристику здания с допустимой 0,46 до 0,27, или на 45%. В структуре сметной стоимости дома-транс-

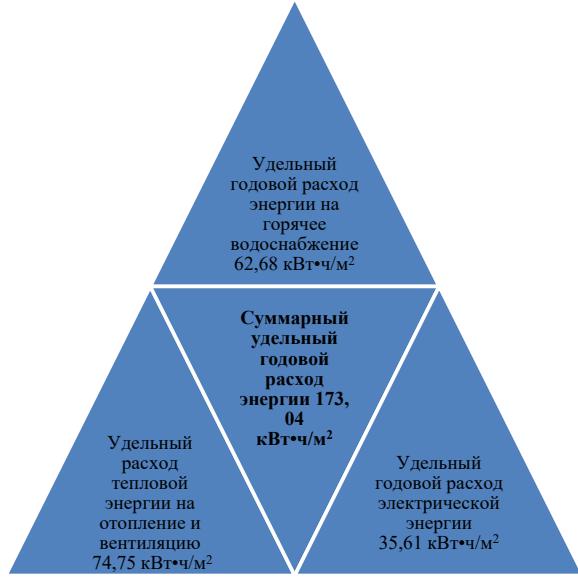
^в Рис. 1. Дом-трансформер
(а – на семью из трех
человек, б – на семью из
пяти-семи человек)

^в Рис. 2. Критерии оценки
«зеленого» объекта ИЖС
для декарбонизации



> Рис. 3. Расход энергетических ресурсов ИЖС в соответствии с ГОСТ Р 71392-2024

> Рис. 4. Эмиссия CO₂ от эксплуатации дома-трансформера



Электроэнергия	1030106 кВт•ч	464 т CO ₂
Пеллеты	661,57 т	96 т CO ₂
Чистая энергия	1030106 кВт•ч	0

формера (103,13 тыс. руб./м²) затраты на стены и перегородки, выполненные по технологии двойного бруса, составляют 35%. Экономия затрат на ограждающие конструкции составила 0,8 млн руб., или 6,3% от сметной стоимости дома-трансформера.

Согласно расчетам, проект жилого дома-трансформера относится к высочайшему классу энергетической эффективности по ГОСТ Р 71392–2024, так как его уровень энергоэффективности составил 56%. Расход энергии (рис. 3) на эксплуатацию жилого дома-трансформера рассчитан в соответствии с Приложением Б «зеленого» стандарта ИЖС.

Суммарные удельные годовые затраты энергии на квадратный метр площади ИЖС составили 173 кВт·ч/м². Поскольку проектные значения дома-трансформера отличаются от исходных данных базового уровня «зеленого» стандарта ИЖС, определили базовый удельный расход энергетических ресурсов – 393 кВт·ч/м². Годовой эффект от экономии энергоресурсов составил 220 кВт·ч/м², или 26 192 кВт·ч на дом в год, что за период эксплуатации (50 лет) составит 1 309 600 кВт·ч, или 3,6 млн руб. (в ценах 2025 года).

Таким образом, предлагаемая технология строительства жилого дома из двойного бруса, обеспечивая высочайший класс энергоэффективности ИЖС по «зеленому» стандарту, позволяет снизить инвестиционные затраты (на строительство объекта) на 0,8 млн руб., а также

получить экономию эксплуатационных затрат в размере 3,6 млн руб.

Потенциал декарбонизации

Возможности декарбонизации (потенциал сокращения объема эмиссии парниковых газов в эквиваленте CO₂) рассчитывали исходя из результатов экономии энергоресурсов. Для расчета использовали коэффициенты перевода в условное топливо и в массу CO₂. Экономия энергоресурсов составляет 26 192 кВт·ч на дом-трансформер в год, или в эквиваленте условного топлива 8,957 т. Использование предлагаемых проектных решений позволит сократить эмиссию CO₂ в год на 11,786 т. Потенциал декарбонизации дома-трансформера при использовании электроэнергии составляет 589 т CO₂ за 50 лет эксплуатации.

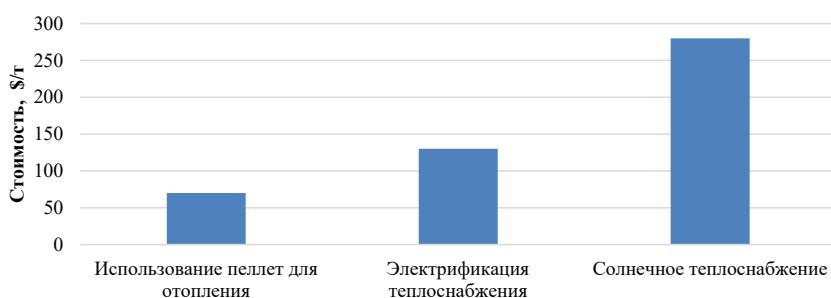
Таким образом, возможности «зеленого» стандарта ИЖС для декарбонизации на примере наиболее значимой категории стандарта «Энергоэффективность и атмосфера» применительно к проектированию дома-трансформера по технологии двойного бруса позволяют сократить теплопотери на 45%, что для климатических условий Сибири является критически важным условием сокращения эмиссии парниковых газов.

Необходимо отметить, что представленные результаты расчетов верны для условий использования электрической энергии. При применении других видов топлива объем эмиссии CO₂ будет отличаться.

Альтернативные источники энергии

Для сравнения была рассчитана эмиссия CO₂ при использовании для отопления и горячего водоснабжения твердотопливного котла на пеллетах и одного из вариантов чистой энергии (солнце, ветер или их комбинация). Результаты расчетов представлены на рис. 4. Расчет выполнен на основе данных об удельном годовом расходе энергетических ресурсов ИЖС (в соответствии с ГОСТ Р 71392–2024), представленных на рис. 3, сроке эксплуатации дома-трансформера 50 лет и нормативной информации об эмиссии CO₂ от источников энергии. Использование пеллет (отходы деревообработки) для отопления и водоснабжения сокращает выбросы CO₂ до пяти раз, а использование чистой энергии приводит

> Рис. 5. Стоимость сокращения выбросов CO₂ на 1 т, долл/т



к нулевой эмиссии углекислого газа в период эксплуатации дома-трансформера.

При рейтинговом значении «Золото» для сертификации по «зеленому» стандарту ИЖС (ГОСТ Р 71392–2024) с учетом добровольного критерия «Альтернативные источники электро- и тепловой энергии для сокращения негативного воздействия на окружающую среду» углеродный след от эксплуатации жилого дома-трансформера будет нулевым. Однако нулевой углеродный след требует дополнительных инвестиционных затрат (рис. 5), что снижает доступность жилья. В результате исследования выяснили, что стоимость сокращения выбросов на 1 т СО₂ при применении твердотопливных котлов на пеллетах в три раза ниже, чем солнечное теплоснабжение.

Выбор альтернативных источников энергии, их комбинирование и сочетание с твердотопливными котлами в условиях Сибири требует отдельного дополнительного исследования в связи с импортозамещением и возможностью использования избыточной энергии в качестве источника дополнительного дохода.

Стимулирование декарбонизации

Декарбонизация является важным компонентом устойчивого развития городов и стран в целом [5]. Зеленое строительство в последние годы – одна из наиболее актуальных тем, рассматриваемых как в архитектуре, так и в строительном деле [6]. Опыт различных стран в данном вопросе велик, но и отечественная практика не остается в стороне. Сертификация проектов индивидуального жилищного строительства по «зеленому» стандарту ИЖС является одним из важных инструментов декарбонизации экономики недвижимости, но не единственным. Однако для ее стимулирования используют и иные инструменты, которые применимы, например, в Сибири для решения проблемы «черного неба» (Красноярск, Минусинск).

Для стимулирования внедрения технологий сокращения выбросов парниковых газов и увеличения их поглощения на территории Сахалинской области до 31 декабря 2025 года проводится эксперимент, цель которого – достижение углеродной нейтральности. Участниками эксперимента являются юридические лица, для которых водится квота на объем эмиссии парниковых газов в год, а при ее превышении устанавливается плата, зачисляемая в региональный бюджет. Средства от платы за превышение квоты на эмиссию углеродных единиц могут быть использованы для финансирования мероприятий по сокращению выбросов или поглощению углеродных единиц, а также научно-исследовательской деятельности в данной сфере. В сахалинском эксперименте физические лица – собственники ИЖС – на данном этапе участия не принимают.

В Китае общенациональная система торговли квотами на эмиссию СО₂ действует в топливной энергетике с 2021 года. Ее целью является снижение интенсивности выбросов СО₂ на единицу ВВП не менее чем на 65% к 2030 году относительно уровня 2005-го [7].

В Германии юридические лица (организации) за плату получают возможность сжигания топлива, переносят эти суммы в счета по всей цепочке потребителей вплоть до собственника жилья, который, получая счет за отопление, видит в нем сумму платы за эмиссию СО₂. В 2025 году за потребление 6 тыс. кВт·ч при отоплении газом владелец жилья оплачивает 72 евро, а при потреблении 20 тыс. кВт·ч оплата составит уже 239 евро. Не включают плату за эмиссию СО₂ владельцам ИЖС, которые используют для отопления пеллеты и чистую энергию (солнечная, тепловой насос, экологически чистый биогаз) [8].

Введение платы за выбросы СО₂ стимулирует потребителей тепла и горячей воды к переходу на энергоэф-

фективные технологии и чистую энергию в строительстве и ЖКХ.

Заключение

Вопросы декарбонизации являются важнейшими при долгосрочном планировании развития строительной сферы во всем мире. В данной работе показаны результаты исследования возможностей сокращения эмиссии парниковых газов (в эквиваленте СО₂) на примере проекта жилого дома-трансформера по наиболее значимой категории «зеленого» стандарта ИЖС (ГОСТ Р 71392–2024) – «Энергоэффективность и атмосфера». Повышение энергоэффективности жилого здания сокращает эмиссию СО₂ с 589 до 957 т при использовании пеллет для отопления и водоснабжения и до 1052 т при использовании чистой энергии. Внедрение «зеленого» стандарта ИЖС обладает высоким потенциалом декарбонизации строительства и ЖКХ при внедрении его в проектирование поселков ИЖС в условиях Сибири, а «золотой» рейтинг обеспечивает нулевой углеродный след на этапе эксплуатации жилого дома. Опыт стимулирования декарбонизации в других странах применим на региональном уровне для сокращения эмиссии парниковых газов в сфере строительства и ЖКХ.

Литература

1. Sun, Y., Yan, C., Xing, H. Can green buildings reduce carbon dioxide emissions? // Energy. – 2024. – Vol. 312. – DOI: 10.1016/j.energy.2024.133613
 2. Ваганов, Е. А., Пыжев, А. И., Курбатова, М. В. и др. Перспективы реализации лесоклиматических проектов: потенциал регионов Енисейской Сибири: флагманский аналитический доклад. – Красноярск : Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2023. – 160 с.
 3. Шишов, В. В., Безкоровайная, И. Н., Безруких, Ю. А. и др. Все, что надо знать о лесоклиматических проектах: от А до Я : аналитический доклад. – Красноярск : Изд-во Сиб. федер. ун-та, 2024. – 72 с.
 4. Yeganeh, A., McCoy, A., Agee, P., Hankey, S. The role of new green construction in neighborhood change and gentrification // Cities. – 2024. – Vol. 150. – DOI: 10.1016/j.cities.2024.105101
 5. Tazmeen, T., Mir, F. Q. Sustainability through materials: A review of green options in construction // Results in Surfaces and Interfaces. – 2024. – Vol. 14. – DOI: 10.1016/j.rsurfi.2024.100206
 6. Olabi, A. G., Shehata, N., Issa, U. H., Mohamed, O. A., Mahmoud, M., Abdelkareem, M. A., Abdelzaher, M. A. The role of green buildings in achieving the sustainable development goals // International Journal of Thermofluids. – 2025. – Vol. 25. – DOI: 10.1016/j.ijft.2024.101002
 7. Qin, B., Yu, Y., Ge, L., Liu, Y., Zheng, Y., Liu, Z. The role of digital infrastructure construction on green city transformation: Does government governance matters? // Cities. – 2024. – Vol. 155. – DOI: 10.1016/j.cities.2024.105462
 8. Вострикова, Е. О., Мешкова, А. П. Страны Европы на пути к устойчивому инвестированию: успехи и противоречия // Науч.-аналитич. вестник Института Европы РАН. – 2023. – № 5. – С. 113–127. – DOI: 10.15211/vestnikieran52023113127
- References**
- Olabi, A. G., Shehata, N., Issa, U. H., Mohamed, O. A., Mahmoud, M., Abdelkareem, M. A., & Abdelzaher, M. A. (2025). The role of green buildings in achieving the sustainable development goals. *International Journal of Thermofluids*, 25. doi: 10.1016/j.ijft.2024.101002.
- Qin, B., Yu, Y., Ge, L., Liu, Y., Zheng, Y., & Liu, Z. (2024). The role of digital infrastructure construction on green city transformation: Does government governance matters? *Cities*, 155. doi: 10.1016/j.cities.2024.105462.
- Shishov, V. V., Bezkorovaynaya, I. N., Bezrukikh, Yu. A. et al. (2024). *Vse, chto nado znat' o lesoklimaticheskikh proektakh: ot A do Ya: analiticheskiy doklad* [Everything you need to know about forest climate projects: from A to Z: analytical report]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University.
- Sun, Y., Yan, C., & Xing, H. (2024). Can green buildings reduce carbon dioxide emissions? *Energy*, 312. doi: 10.1016/j.energy.2024.133613.
- Tazmeen, T., & Mir, F. Q. (2024). Sustainability through materials: A review of green options in construction. *Results in Surfaces and Interfaces*, 14. doi: 10.1016/j.rsurfi.2024.100206.
- Vaganov, E. A., Pyzhhev, A. I., Kurbatova, M. V. et al. (2023). *Perspektivnye realizacii lesoklimaticheskikh proektov: potencial regionov Enisejskoj Sibiri: flagmanskij analiticheskij doklad* [Prospects for the implementation of forest climate projects: the potential of the regions of Yenisei Siberia: flagship analytical report]. Krasnoyarsk: Siberian Federal University.
- Vostrikova, E. O., & Meshkova, A. P. (2023). Strany Evropy na puti k ustoychivomu investirovaniyu: uspechi i protivorechiya [European countries on the path to sustainable investment: successes and contradictions]. *Scientific and Analytical Bulletin of the Institute of Economics of the Russian Academy of Sciences*, 5, 113–127.
- Yeganeh, A., McCoy, A., Agee, P., & Hankey, S. (2024). The role of new green construction in neighborhood change and gentrification. *Cities*, 150. doi: 10.1016/j.cities.2024.105101.