

УДК 697.12:69.003.13

И. А. Войлоков^а, В. Я. Ольшевский^б, С. С. Владимиров^б, Р. А. Горшков^в

^а Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет

^б Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого

^в Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (Промтехдизайн)

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКОЕ СРАВНЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ИНДИВИДУАЛЬНОГО ЖИЛИЩНОГО СТРОИТЕЛЬСТВА

Выполнен сравнительный анализ различных вариантов (технологий) загородного строительства отдельно стоящих многоквартирных жилых домов. В качестве объекта исследования принято модельное здание площадью 147,5 м², которое может быть реализовано в любой из рассмотренных в исследовании технологий малоэтажного загородного строительства. Всего в исследовании рассмотрены три традиционные технологии загородного малоэтажного строительства: каркасное домостроение, деревянное из профилированного бруса, каменное из газобетонных блоков автоклавного твердения. Для каждой рассмотренной технологии применительно к двум областям (Ленинградской и Свердловской) определены капитальные затраты на строительство и расходы на отопление в течение 30 лет эксплуатации. Выполнено технико-экономическое сравнение рассматриваемых технологий малоэтажного строительства, а также установлено соответствие отдельных наружных ограждений требованиям по тепловой защите зданий.

Ключевые слова: малоэтажное строительство, каркасное домостроение, брус, газобетон, капитальные затраты, эксплуатационные расходы, технико-экономическое сравнение, тепловая защита, энергосбережение, энергоэффективность.

Введение

В рамках настоящего исследования рассмотрено технико-экономическое сравнение трех вариантов загородного домостроения, внутренние и наружные ограждающие конструкции которых выполнены из различных строительных материалов и изделий заводского изготовления.

Расчеты выполнены применительно к двум регионам: Ленинградской области (Всеволожский район) и Свердловской области (Сысертский район).

Выбор районов загородного строительства в рассматриваемых регионах обусловлен их близостью к крупным городским агломерациям, транспортной доступностью и активностью загородного строительства.

Кроме того, выбранные регионы строительства отличаются условиями эксплуатации ограждающих конструкций. Всеволожский район Ленинградской области относится к зоне влажности 1 — влажной, Сысертский район Свердловской области относится к зоне 3 — сухой (по прил. А СП 50.13330). Соответственно, при нормальном влажностном режиме жилых помещений условия эксплуатации ограждающих конструкций зданий, расположенных во Всеволожском районе, следует принимать Б, в Сысертском районе — А (по табл. 3 СП 50.13330).

Варианты (технологии строительства) модельного отдельно стоящего малоэтажного жилого дома:

- вариант 1 — каркасный дом (условное обозначение далее «каркас»);
- вариант 2 — дом из бруса («брус»);
- вариант 3 — дом из газобетонных блоков («ГБ блок»).

Итого в исследовании рассмотрены три варианта (технологии) загородного строительства, выбранные на основании обзора наиболее перспективных направлений строительства малоэтажных домов, предназначенных для постоянного проживания¹.

Цель исследования состоит в технико-экономическом сравнении трех вариантов загородного домостроения, выполненных по разным технологиям.

Объект исследования представляет собой отдельно стоящий одноквартирный жилой дом площадью 147,5 м², запроектированный по одному из трех вариантов (технологий) загородного строительства в соответствии с требованиями СП 55.13330.

Визуализация объекта исследования представлена на рис. 1.



Рис. 1. Визуализация объекта исследования

Задачи исследования и принятые допущения

Для реализации поставленной цели выполнено сравнение капитальных затрат на строительство рассматриваемых вариантов малоэтажного строительства и расходов тепловой энергии на отопление домов в течение 30 лет их непрерывной эксплуатации².

¹ В рамках выполненного исследования рассмотрены не все технологии загородного строительства, характерные для рынка загородного домостроения. Так, например, не рассмотрены каменные здания из керамического кирпича или крупноформатных керамических блоков, а также модульные дома. Их отсутствие в перечне рассмотренных технологий строительства малоэтажных домов, с одной стороны, обусловлено меньшим их присутствием на рынке загородного строительства, с другой — отсутствием сведений о стоимости строительства и состава наружных ограждений (в частности, для модульных домов). Однако модульное домостроение является перспективным направлением развития рынка загородной недвижимости и, по мнению авторов исследования, уже в ближайшие годы может оказаться весьма востребованным. При уменьшении стоимости технологического оборудования и локализации его производства на территории Российской Федерации, а также отработке технологии строительства широкими возможностями для массового внедрения, но уже в более отдаленной перспективе, обладают аддитивные технологии строительства (дома, напечатанные на 3D-принтере). По мере их более широкого распространения на рынке частного загородного домостроения данные технологии строительства малоэтажного жилья могут быть добавлены в перечень сравниваемых технологий.

² Срок эксплуатации 30 лет принят исходя из средней продолжительности владения одним объектом капитального строительства одной семьей до последующей его продажи или капитального ремонта.

Для последующих расчетов приняты следующие допущения:

- 1) дома, вне зависимости от конструктивного исполнения наружных и внутренних стен, имеют одинаковую площадь, этажность (два этажа), строительный объем и планировку помещений;
- 2) площади наружных ограждающих конструкций всех рассматриваемых типов зданий (наружных стен, полов, окон, покрытия и т. д.) равны;
- 3) теплоизоляционные характеристики всех наружных ограждений, за исключением наружных стен и полов, равные;
- 4) во всех домах принят одинаковый воздухообмен помещений;
- 5) одинаковая ориентация фасадов по сторонам света;
- 6) одно и то же расчетное количество жителей.

Из допущений 1, 2 и 3 следует, что во всех рассматриваемых типах зданий будут наблюдаться равные потери тепловой энергии через ограждающие конструкции, за исключением наружных стен и полов; из допущений 1 и 4 следует, что во всех рассматриваемых типах зданий окажутся равными затраты тепловой энергии на вентиляцию; из допущений 5 и 6 следуют равные бытовые и солнечные теплопоступления.

Для вариантов (технологий) строительства 1 и 2 фундаменты приняты свайными (из стальных винтовых свай), для варианта 3 — монолитная железобетонная плита.

Из принятых допущений следует, что сравнение затрат тепловой энергии на отопление будет производиться по величине потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции, площади которых, с учетом принятых допущений, для всех вариантов (технологий) строительства также равны. Различными окажутся теплозащитные характеристики (сопротивления теплопередаче) наружных стен и полов.

Таким образом, в исследовании рассматривается модельное здание, выполненное по одному из трех вариантов (технологий) частного домостроения, отличительными признаками которых являются наружные стены и фундаменты (и соответствующие им конструкции полов).

Основная часть

Описание конструктивных решений

В рассматриваемых вариантах загородного строительства приняты конструктивные элементы, описанные ниже.

В целях минимизации влияния конструктивных решений окон, покрытия и входных наружных дверей на рассматриваемые в исследовании технологии строительства зданий данные типы наружных ограждений приняты однотипными и одинаковыми по исполнению, составу и наполнению для всех рассматриваемых технологий (вариантов) загородного строительства.

Для вариантов 1 и 2 загородного строительства принят свайный фундамент из стальных винтовых свай по ГОСТ Р 59106 с последующей их обвязкой брусом 150×200 и 200×200 мм; для варианта 3 — монолитная железобетонная плита толщиной 300 мм.

Толщина основного слоя теплоизоляции пола принята:

- для вариантов 1 («каркас») и 2 («брус») равной 200 мм и дополнительное контрутепление по обрешетке 50×50 мм с шагом 300 мм толщиной 50 мм; поверх контробрешетки предусмотрена укладка ЦСП толщиной 20 мм, гидропароизоляция и полусухая армированная стяжка толщиной

50...70 мм; снизу предусмотрена ветрозащитная пленка (мембрана), оцинкованная сетка с ячейкой 6×6 мм для защиты от грызунов и разряженная обрешетка 25×100 мм с шагом 200 мм (рис. 2);

- для варианта 3 («ГБ блок») утепление принято из минераловатных плит толщиной 50 мм и стяжкой поверх утепления толщиной 60 мм.

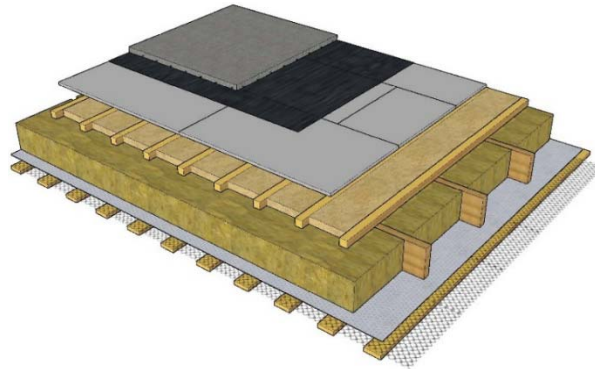


Рис. 2. Конструкция пола для вариантов 1 и 2

Для варианта 1 («каркас») приняты многослойные каркасные стены с толщиной теплоизоляционного слоя 200 мм с наружной и внутренней отделкой (рис. 3); для варианта 2 («брус») — деревянные из профилированного бруса толщиной 200 мм с последующей окраской поверхностей; для варианта 3 («ГБ блок») — из газобетонных блоков (стенowych неармированных изделий из ячеистого бетона автоклавного твердения по ГОСТ 31360) марки по плотности D500 толщиной 375 мм с последующим оштукатуриванием поверхностей стен.

Оконные блоки для всех трех технологий строительства приняты одноклассовыми — из ПВХ-профилей со стеклопакетами по ГОСТ 30674. Теплотехнические свойства оконных блоков приняты таким образом, чтобы они удовлетворяли нормативным требованиям как для Свердловской, так и для Ленинградской областей, т. е. сопротивление теплопередаче должно составлять не менее $0,71 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$ (см. далее табл. 5). Данному требованию соответствуют оконные блоки из ПВХ профилей толщиной 70 мм со стеклопакетами (шифр стеклопакета: 4-Arg16-И4) с приведенным сопротивлением теплопередаче $0,74 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$.

Входные наружные двери для всех технологий строительства приняты одинаковыми — стальными по ГОСТ 31173 с терморазрывом дверного полотна; приведенное сопротивление теплопередаче дверей, по данным производителя, принято равным $0,92 \text{ м}^2 \cdot \text{К/Вт}$. Вследствие незначительной площади входных наружных дверей ($\approx 4 \text{ м}^2$) их влияние на потери тепловой энергии в здании несущественно, ввиду чего последующая проверка заявленных производителем теплотехнических характеристик дверей не производилась.

Совмещенное покрытие для всех технологий строительства также принято одинаковым — из деревянных стропильных досок (рис. 4); утепление минераловатными плитами толщиной 200 мм; кровля наклонная разноуровневая; кровельное покрытие — металлочерепица с организованным наружным водостоком.

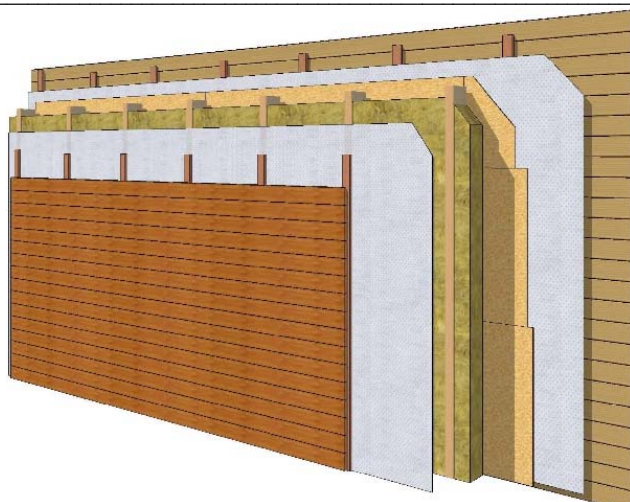


Рис. 3. Конструкция наружной стены каркасного дома (вариант 1)

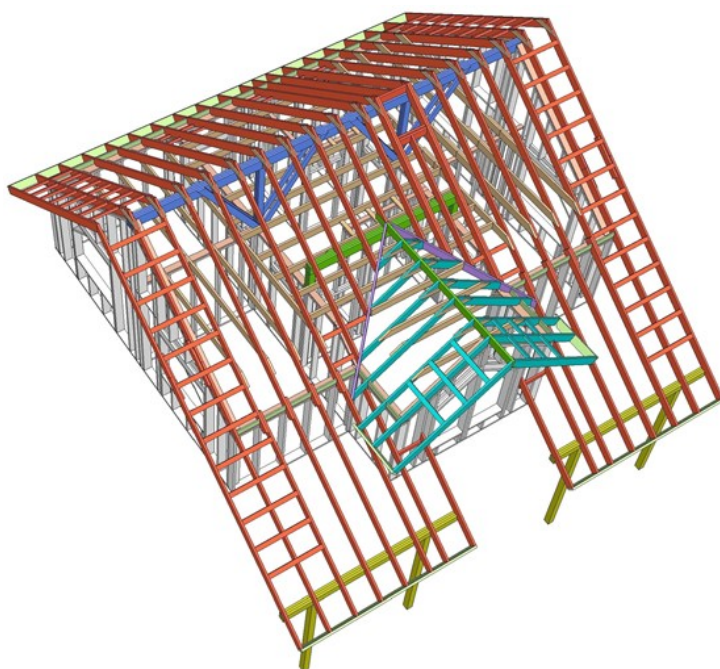


Рис. 4. Стропильная система крыши

Внутренние перегородки в рассматриваемых вариантах загородного строительства соответствуют типам зданий: для каркасного здания (вариант 1) принимаются каркасными; для здания из бруса (вариант 2) — деревянными; для здания из газобетонных блоков (вариант 3) — газобетонными блоками меньшей толщины.

Затраты на капитальное строительство

Затраты на капитальное строительство рассматриваемого модельного здания с учетом вариативности конструктивных решений стен и фундаментов (полов) включают:

- оплату труда;
- эксплуатацию машин и механизмов;
- материальные ресурсы;
- накладные расходы;
- сметную прибыль.

Стоимости работ в расчетах капитальных затрат на строительство зданий устанавливаются по расценкам, принятым в выбранных регионах строительства. Стоимости строительных материалов приняты на основании розничных цен по данным наиболее крупных сетевых ретейлеров.

Расчет выполнен в программе «АРОС-Лидер» (версия 6.3.2) по сметному нормативу ФСНБ-2022 (см. приказ Минстроя России от 30.12.2021 № 1046/пр) с учетом дополнения № 14 (2-й кв. 2025 г.).

Затраты на покупку земельного участка принимаются независимыми от технологии строительства и в этой связи не учитываются при расчете капитальных затрат. Также в составе капитальных затрат на строительство объектов не учтены затраты на внутреннюю отделку помещений и, при необходимости, затраты на присоединение зданий к районным инженерным системам (водо-, газоснабжения, водоотведения и пр.). В связи с тем, что выбор районов строительства является весьма условным, не учтены также затраты на доставку материалов к объекту.

В связи с тем, что для рассматриваемых технологий строительства отличаются теплотехнические характеристики стен и полов (см. ниже), различными окажутся и отопительные нагрузки зданий и, как следствие, мощности теплогенерирующего оборудования, а также затраты на приобретение отопительных приборов. Так как количество отопительных приборов будет одинаковым (по количеству окон), то затраты на монтаж систем отопления, так же как и затраты на монтаж иных инженерных систем (горячего водоснабжения, водоотведения, газоснабжения и др.), в здании принимаются одинаковыми и не рассматриваются в составе капитальных затрат.

Расчет капитальных затрат на строительство рассматриваемых типов зданий, а также используемых при строительстве материалов и изделий выполнен в ценах, актуальных по состоянию на 01.09.2025.

Результаты расчетов приведены в табл. 1.

Т а б л и ц а 1

Сравнительный анализ капитальных затрат^{}
на строительство загородных жилых домов по различным технологиям*

Регион строительства	Вариант 1 «каркас»	Вариант 2 «брус»	Вариант 3 «ГБ блок»
Ленинградская область	8 014 594	9 387 755	8 810 836
Свердловская область	7 511 009	9 948 027	8 682 092

Примечание: ^{*} — расчет затрат выполнен с учетом принятых выше допущений.

Из данных, приведенных в табл. 1, следует:

- наименьшая стоимость строительства загородного объекта недвижимости из сравниваемых в исследовании технологий характерна для варианта 1 («каркас»);

• наибольшей стоимостью строительства характеризуется вариант 2 («брус»);

• технология загородного строительства 3 («ГБ блок») занимает промежуточное положение по данному критерию.

Эксплуатационные расходы

Затраты на эксплуатацию сравниваемых зданий рассчитываются применительно для условий нормативных градусо-суток отопительного периода ($ГСОП_j$, где j — выбранный регион строительства), принимаемого равным:

• для климатических условий Ленинградской области:

$$ГСОП_{Лен. обл} = (t_v - t_{от})z_{от} = (20 - (-1,2))211 = 4473 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}; \quad (1)$$

• для климатических условий Свердловской области:

$$ГСОП_{Св. обл} = (t_v - t_{от})z_{от} = (20 - (-5,5))220 = 5610 \text{ } ^\circ\text{C} \cdot \text{сут}. \quad (2)$$

Климатические параметры холодного периода года ($t_{от}$, $z_{от}$) приняты согласно СП 131.13330, температура внутреннего воздуха — по ГОСТ 30494.

Площади наружных ограждающих конструкций рассматриваемого модельного дома (см. рис. 1) приведены в табл. 2.

Т а б л и ц а 2

*Площади наружных ограждающих конструкций модельного дома
 в пределах его отапливаемого контура*

Ограждающая конструкция	Площадь ограждающей конструкции, м ²
Наружные стены	195
Полы / полы по грунту	86
Окна	37
Входные наружные двери	4
Покрытие (крыша)	110
<i>Итого</i>	432

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций для сравниваемых вариантов (технологий) загородного строительства приведены в табл. 3 (при расчете теплотехнических характеристик ограждающих конструкций учтены показатели теплотехнической неоднородности [1—11]).

Т а б л и ц а 3

Теплотехнические характеристики ограждающих конструкций

Ограждающая конструкция	Вариант 1 «каркас»	Вариант 2 «брус»	Вариант 3 «ГБ блок»
Стены	3,54	1,27	2,47
Полы	4,10	4,10	3,60
Окна	0,74	0,74	0,74
Входные двери	0,92	0,92	0,92
Покрытие	4,55	4,55	4,55

Из представленных в табл. 3 данных следует, что для рассматриваемых вариантов загородного строительства численно одинаковыми приняты

теплотехнические характеристики окон, покрытия и входных наружных дверей и разными — для стен и полов.

Для полов отличие теплотехнических характеристик обусловлено конструктивными особенностями сравниваемых технологий строительства: каркасные и деревянные дома высотой до двух этажей возводятся, как правило, на винтовые стальные сваи с последующей их обвязкой (см. рис. 2). Для более капитальных строений, возводимых по технологии (варианту) 3, требуется более капитальный фундамент. В рамках рассматриваемого исследования для них принята монолитная железобетонная плита.

Расчет сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций выполнен по методике, описанной в СП 50.13330 и СП 230.1325800. Расчет сопротивления теплопередаче полов по грунту (для варианта 3) выполнен по методике п. Г.7 СП 50.13330 с делением пола по грунту на зоны (теплопроводность грунта, граничащего с фундаментом здания, во всех случаях расчета принята равной 1,6 Вт/(м · К)).

Базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий $R_{0i}^{тр}$ для выбранных климатических условий (регионов строительства) приняты по данным табл. 3 СП 50.13330 с учетом рассчитанных ранее по формулам (1) и (2) значений ГСОП и приведены в табл. 4.

Таблица 4

*Базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче
наружных ограждающих конструкций $R_{0i}^{мп}$*

Ограждающая конструкция	Базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждений, м ² · К/Вт, применительно к климатическим условиям	
	Ленинградской области	Свердловской области
Стены	2,97	3,36
Полы	3,91	4,43
Окна	0,65	0,71
Входные двери	0,76	0,90
Покрытие	4,44	5,01

Базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче входных наружных дверей рассчитаны по формуле

$$R_{0дв}^{тр} = 0,6 \frac{(t_v - t_n)}{\Delta t_n \cdot \alpha_v}, \quad (3)$$

где t_v — расчетная температура внутреннего воздуха, °С; t_n — расчетная температура внутреннего воздуха, °С, принимается равной средней температуре наиболее холодной пятидневки обеспеченностью 0,92 по СП 131.13330; Δt_n — нормируемый средний температурный перепад между температурой внутреннего воздуха и температурой внутренней поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 5 СП 50.13330 для наружных стен жилых зданий равным 4 °С; α_v — коэффициент теплоотдачи внутренней

поверхности ограждающей конструкции, принимаемый по табл. 4 СП 50.13330 для наружных стен равным $8,7 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$.

Нормируемые значения сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций зданий $R_{0i}^{\text{норм}}$ для выбранных климатических условий (регионов строительства) рассчитаны по формуле

$$R_{0i}^{\text{норм}} = R_{0i}^{\text{тр}} m_p \quad (4)$$

и приведены в табл. 5.

В формуле (4) приняты следующие обозначения: $R_{0i}^{\text{тр}}$ — базовые значения требуемых сопротивлений теплопередаче наружных ограждающих конструкций, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, численные значения которых для выбранных регионов строительства приведены в табл. 4; m_p — коэффициент, учитывающий особенности региона строительства, принимаемый не менее 0,63 — для стен, 1,0 — для окон, не менее 0,80 — для остальных типов ограждающих конструкций.

Т а б л и ц а 5

*Нормируемые значения сопротивлений теплопередаче
 наружных ограждающих конструкций $R_{0i}^{\text{норм}}$*

Ограждающая конструкция	Нормируемые значения сопротивлений теплопередаче наружных ограждений, $\text{м}^2 \cdot \text{К}/\text{Вт}$, применительно к климатическим условиям	
	Ленинградской области	Свердловской области
Стены	1,87	2,12
Полы	3,13	3,54
Окна	0,65	0,71
Входные двери	0,76	0,90
Покрытие	3,55	4,01

Из сравнения расчетных (табл. 3) и нормируемых (табл. 5) значений сопротивлений теплопередаче следует, что нормативным требованиям по тепловой защите удовлетворяют:

- стены вариантов 1 («каркас») и 3 («ГБ блок»);
 - полы, окна, входные наружные двери и покрытие принятого проектного решения для рассматриваемого модельного дома;
- и не удовлетворяют:
- стены по варианту 2 («брус»).

При этом дома из профилированного бруса (вариант 2) остаются весьма востребованными на рынке загородной недвижимости, ввиду чего не исключаются из дальнейших расчетов и сравнительного анализа технологий строительства малоэтажного жилья.

Расчет затрат тепловой энергии на отопление рассматриваемых вариантов (технологий строительства) зданий $Q_{\text{от.ж}}$, кВт · ч/год, за нормированный отопительный период производится по формуле [12—15]:

$$Q_{от. j} = 0,024 ГСОП_j \sum_{(i)} \frac{A_i}{R_i} n_i, \quad (5)$$

где ГСОП_j — градусо-сутки отопительного периода *j*-го региона, принимаемые соответственно равными 4473 °С · сут — для Ленинградской области и 5610 °С · сут — для Свердловской области; *A_i* — площадь *i*-й наружной ограждающей конструкции, м² (принимается по табл. 1); *R_i* — сопротивление теплопередаче *i*-й наружной ограждающей конструкции, м² · °С/Вт (принимается по табл. 1); *n_i* — коэффициент, учитывающий зависимость положения наружной поверхности *i*-й ограждающей конструкции (стены, чердачного перекрытия и т. п.) по отношению к наружному воздуху.

Результаты расчетов приведены в табл. 6.

Т а б л и ц а 6

Затраты тепловой энергии на отопление зданий, кВт · ч

Период эксплуатации	Вариант 1 «каркас»	Вариант 2 «брус»	Вариант 3 «ГБ блок»
<i>Ленинградская область</i>			
1 год [*]	16 595	27 165	19 469
30 лет ^{**}	497 847	814 939	584 080
<i>Свердловская область</i>			
1 год [*]	20 813	34 070	24 418
30 лет ^{**}	624 396	1 022 090	732 549

Примечания:

^{*} — В соответствии с принятыми ранее допущениями (см. п. 1) в расчетах не учтены затраты тепловой энергии на вентиляцию помещений.

^{**} — В соответствии с принятым ранее допущением (см. п. 2) срок эксплуатации 30 лет принят исходя из средней продолжительности владения одним объектом капитального строительства одной семьей до последующей его продажи или капитального ремонта.

Распределение долей потерь тепловой энергии через наружные ограждения для рассматриваемых технологий (вариантов) строительства малоэтажных жилых объектов приведено на рис. 5.

Из представленных на рис. 5 данных видно, что для всех рассматриваемых технологий (вариантов) строительства наибольшие относительные потери тепловой энергии наблюдаются через стены (от 36 % для каркасных зданий и до 61 % для зданий из бруса)³.

Несмотря на различие в абсолютных значениях потерь тепловой энергии через наружные ограждения в течение стандартного отопительного периода для зданий, расположенных в разных областях, относительные потери тепловой энергии через наружные ограждения для них окажутся идентичными, так как в расчетах изменяется всего один показатель (ГСОП_j).

³ В Интернете часто встречаются разнообразные картинки с распределением относительных потерь тепловой энергии через наружные ограждения, которые принимаются далее в качестве доказательной базы. Из представленных диаграмм видно, что в зависимости от типов ограждающих конструкций и их теплотехнических характеристик данное распределение может заметным образом отличаться.

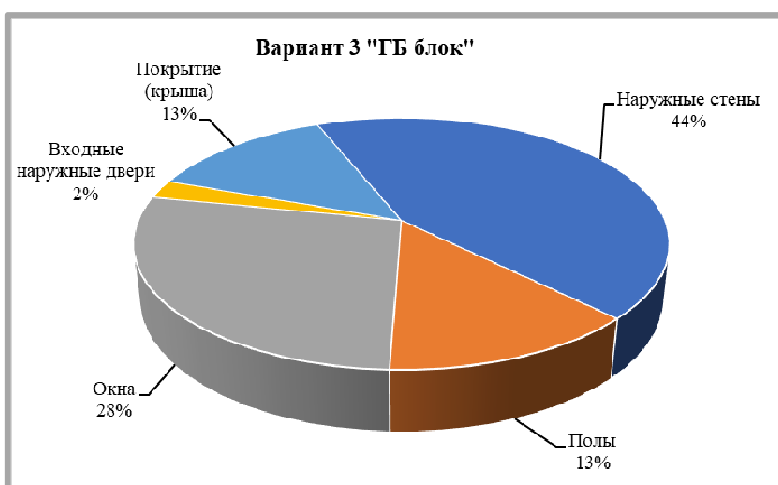
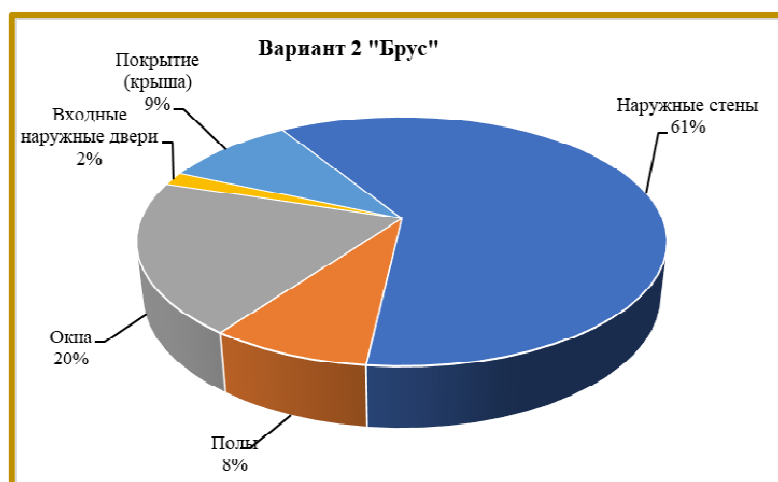
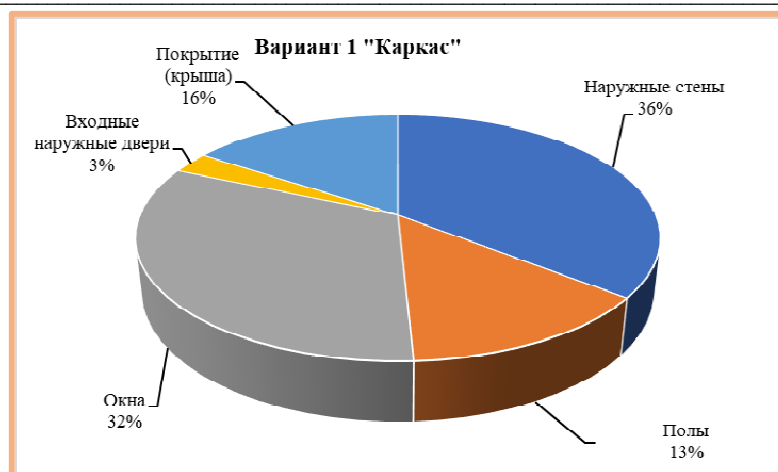


Рис. 5. Распределение долей потерь тепловой энергии через наружные ограждения для рассматриваемых технологий строительства

Эксплуатационные расходы (платежи за отопление) рассматриваемых вариантов загородного строительства в течение 30 лет эксплуатации зданий приведены в табл. 7. В качестве источника тепловой энергии в расчетах принят газовый котел с КПД = 90 %. Низшая теплота сгорания природного газа при стандартных условиях принята равной 7600 ккал/м³ (ГОСТ 5542).

Т а б л и ц а 7

*Эксплуатационные расходы за период владения объектом недвижимости 30 лет**

Регион строительства	Вариант 1 «каркас»	Вариант 2 «брус»	Вариант 3 «ГБ блок»
Ленинградская область	4 180 826	6 843 703	4 904 998
Свердловская область	3 970 273	6 499 043	4 657 974

Примечание: * — при оценке платежей за отопление в течение 30 лет эксплуатации учтен индекс-дефлятор на рост стоимости энергоресурса (природного газа) в размере 12 % в год (величина принята на основании ретроспективного анализа изменения розничных цен на природный газ в рассматриваемых регионах).

В табл. 7 приведены эксплуатационные расходы при учете исключительно потерь тепловой энергии через наружные ограждающие конструкции в течение 30 нормативных отопительных периодов, т. е. расходы, зависимые от выбранной технологии (варианта) строительства и теплотехнических свойств ее наружных ограждений (стен и полов).

Начальные розничные цены на природный газ (в первый год эксплуатации) приняты равными:

- для Ленинградской области — 8304,38 руб. / 1000 м³ (см. приказ Комитета по тарифам и ценовой политике Ленинградской обл. № 47-П от 17.06.2024);
- для Свердловской области — 6287,84 руб. / 1000 м³ (см. постановление РЭК Свердловской обл. № 46-ПК от 19.06.2024).

Из представленных в табл. 7 данных следует:

- эксплуатационные расходы на отопление рассматриваемых типов зданий в течение 30 лет владения примерно в два раза ниже капитальных затрат на строительство объектов загородной недвижимости (для варианта строительства из бруса — в 1,5 раза ниже);
- наименьшие расходы на отопление характерны для варианта (технологии строительства) 1 («каркас»);
- вариант 3 («ГБ блок») занимает промежуточное положение;
- содержание жилого дома, построенного по варианту 2 («брус»), наиболее затратно и в случае уменьшения доходов владельцев (например, при выходе на пенсию) крайне обременительно [13—15];
- несмотря на меньшее значение ГСОП в Ленинградской области (4473 °С · сут против 5610 °С · сут в Свердловской области), содержание дома в Ленинградской области будет обходиться владельцу недвижимости не дешевле, чем в Свердловской области, ввиду более высоких розничных цен на природный газ.

Для увеличения точности расчетов при определении эксплуатационных расходов следует иметь в виду потепление климата, увеличение расчетных

температур наружного воздуха и уменьшение градусо-суток отопительного периода [16—25].

Приведенные затраты

Суммарные приведенные затраты на строительство зданий с учетом эксплуатационных расходов в течение 30 лет владения рассматриваемыми объектами недвижимости представлены в табл. 8.

Т а б л и ц а 8

Приведенные затраты на сравниваемые технологии строительства с учетом эксплуатационных расходов на отопление в течение 30 лет владения

Регион строительства	Вариант 1 «каркас»	Вариант 2 «брус»	Вариант 3 «ГБ блок»
Ленинградская область	12 195 420	16 231 458	13 715 834
Свердловская область	11 481 282	16 447 070	13 340 066

Научная новизна выполненного исследования заключается в получении новых результатов суммарных приведенных затрат на строительство каркасных и бескаркасных малоэтажных домов с энергоэффективными стеновыми ограждающими конструкциями с учетом их технологических преимуществ в сухой и влажной зонах эксплуатационно-климатических условий.

Заключение

На основании выполненного исследования формулируются следующие основные выводы:

- выполнен сравнительный анализ строительства многоквартирного жилого дома, построенного по одному из трех вариантов (технологий) загородного строительства: вариант 1 — «каркас»; вариант 2 — «брус»; вариант 3 — «ГБ блок»;
- отличительным признаком сравниваемых технологий (вариантов) загородного малоэтажного строительства является различие конструктивных решений наружных стен и фундаментов (полов);
- практически все наружные ограждения, за исключением стен по технологии (варианту) строительства 2 («брус»), удовлетворяют нормативным требованиям по тепловой защите для обоих рассмотренных в исследовании регионов (Ленинградской и Свердловской областей);
- для сравниваемых технологий (вариантов) строительства выполнен расчет капитальных затрат и эксплуатационных расходов на их содержание, учитывающих плату за отопление в течение 30 лет владения объектами недвижимости; граничные условия приведены в исследовании;
- наименьшие капитальные затраты на строительство домов характерны для варианта 1 («каркас»), наибольшие — для варианта 2 («брус»), вне зависимости от выбранного региона строительства;
- наименьшие эксплуатационные расходы на отопление в течение 30 лет владения объектами недвижимости характерны для варианта 1 («каркас»), наибольшие — для варианта 2 («брус»), вне зависимости от выбранного региона строительства;
- эксплуатационные расходы на отопление рассматриваемых вариантов (технологий строительства) малоэтажных домов в течение 30 лет владения

составляют примерно 50...70 % от величин капитальных затрат на их строительство;

- наименьшие суммарные приведенные затраты на строительство сравниваемых технологий строительства с учетом эксплуатационных расходов на их отопление в течение 30 лет владения характерны для варианта 1 («каркас»), наибольшие — для варианта 2 («брус»).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Гагарин В. Г. Теплофизические проблемы современных стеновых ограждающих конструкций многоэтажных зданий // Academia. Архитектура и строительство. 2009. № 5. С. 297—305.
2. Korniyenko S. V., Vatin N. I., Gorshkov A. S. Thermophysical field testing of residential buildings made of autoclaved aerated concrete blocks // Magazine of Civil Engineering. 2016. No. 4(64). Pp. 10—25. DOI: 10.5862/MCE.64.2.
3. Actual thermophysical characteristics of autoclaved aerated concrete / N. I. Vatin, S. V. Korniyenko, A. S. Gorshkov et al. // Magazine of Civil Engineering. 2020. No. 4(96). Pp. 129—137. DOI: 10.18720/MCE.96.11.
4. Ватин Н. И., Горшков А. С., Корниенко С. В., Пестряков И. И. Потребительские свойства стеновых изделий из автоклавного газобетона // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 1(40). С. 78—101. DOI: 10.18720/CUBS.40.7.
5. Немова Д. В., Спиридонова Т. И., Куражова В. Г. Неизвестные свойства известного материала // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2012. № 1(1). С. 36—46. DOI: 10.18720/CUBS.1.4.
6. Gorshkov A., Ivanova E. Reduced thermal resistance of a two-layer wall construction // Applied Mechanics and Materials. 2015. Vol. 725-726. Pp. 49—56. EDN: TNGUGZ.
7. Горшков А. С., Рымкевич П. П., Ватин Н. И. О теплотехнической однородности двухслойной стеновой конструкции // Энергосбережение. 2014. № 7. С. 58—63.
8. Иванова Е. С., Горшков А. С. Расчет энергопотребления здания, построенного по минимальным требованиям к тепловой защите // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2016. № 4(43). С. 58—72. EDN: WCKVOZ.
9. Керник А. Г., Горшков А. С. Экономическая эффективность утепления стен каркасного дома // Кровельные и изоляционные материалы. 2017. № 6. С. 15—20. EDN: YSTEWG.
10. Керник А. Г., Горшков А. С. Как экономить на отоплении загородного дома из бруса: профессиональный расчет толщины слоя утеплителя // Кровельные и изоляционные материалы. 2019. № 2. С. 28—30. EDN: LDXTQU.
11. Горшков А. С., Муравьев П. А., Таракин А. В. Повышение уровня теплоизоляции наружных стен малоэтажного дома // Энергосбережение. 2016. № 8. С. 30—35. EDN: XEDVPX.
12. Ватин Н. И., Немова Д. В., Рымкевич П. П., Горшков А. С. Влияние уровня тепловой защиты ограждающих конструкций на величину потерь тепловой энергии в здании // Инженер-строит. журн. 2012. № 8(34). С. 4—14. DOI: 10.5862/MCE.34.1.
13. Техничко-экономическое обоснование мероприятий по утеплению ограждающих конструкций индивидуального жилого дома / Д. В. Немова, Н. И. Ватин, А. С. Горшков и др. // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2014. № 8(23). С. 93—115. DOI: 10.18720/CUBS.23.7.
14. Ватин Н. И., Немова Д. В., Горшков А. С. Сравнительный анализ потерь тепловой энергии и эксплуатационных затрат на отопление для загородного частного дома при различных минимальных требованиях к уровню тепловой защиты ограждающих конструкций // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2013. № 1(168). С. 36—39.
15. Korniyenko S. V. The experimental analysis and calculative assessment of building energy efficiency // Applied Mechanics and Materials. 2014. Vol. 618. Pp. 509—513. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.618.509.
16. Korniyenko S. V., Dikareva E. A. Optical remote sensing for urban heat islands identification // Construction of Unique Buildings and Structures. 2022. Vol. 6(104). P. 10404. DOI: 10.4123/CUBS.104.4. EDN: SZHJZK.
17. Gorshkov A. S., Vatin N. I., Rymkevich P. P. Climate change and the thermal island effect in the million-plus city // Construction of Unique Buildings and Structures. 2020. Vol. 4(89). P. 8902. DOI: 10.18720/CUBS.89.2. EDN: HKXRTS.

18. *Santamouris M.* Recent progress on urban overheating and heat island research. integrated assessment of the energy, environmental, vulnerability and health impact synergies with the global climate change // *Energy and Buildings*. 2019. Vol. 202. P. 109482. DOI: 10.1016/j.enbuild.2019.109482. EDN: TMCNTZ.
19. *Mil'kov D. A., Yuferev Yu. V., Tyutyunnikov A. I., Gorshkov A. S.* Climate change and its influence on the energy engineering complex (taking St. Petersburg as an example) // *Thermal Engineering*. 2023. Vol. 70. Iss. 3. Pp. 236—244. DOI: 10.1134/s0040601523030047. EDN: MGPLRE.
20. *Orimoloye I. R., Mazinyo S. P., Nel W., Kalumba A. M.* Spatiotemporal monitoring of land surface temperature and estimated radiation using remote sensing: human health implications for East London, South Africa // *Environmental Earth Sciences*. 2018. Vol. 77. Iss. 3. Pp. 1—10. DOI: 10.1007/s12665-018-7252-6. EDN: NNTTLL.
21. Анализ изменения температур наружного воздуха в Москве / Г. П. Васильев, А. С. Горшков, Т. М. Лысак и др. // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2025. Вып. 1(98). С. 384—395. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_384. EDN: OEXIQU.
22. Ретроспективный анализ среднесуточных и часовых значений температур наружного воздуха в Москве / Г. П. Васильев, А. С. Горшков, В. Ф. Горнов и др. // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2025. Вып. 1(98). С. 396—406. DOI: 10.35211/18154360_2025_1_396. EDN: OXWAYC.
23. Анализ изменения значений градусо-суток отопительного периода в городе Москве / Г. П. Васильев, Т. М. Лысак, В. Ф. Горнов и др. // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2025. Вып. 3(100). С. 31—39. DOI: 10.35211/18154360_2025_3_31. EDN: HVZOJC.
24. Ретроспективный анализ температур воздуха наиболее холодных пятидневок в Москве за период с 1991 по 2020 г. / Г. П. Васильев, Т. М. Лысак, В. Ф. Горнов и др. // *Вестн. Волгогр. гос. архитектур.-строит. ун-та. Сер.: Стр-во и архитектура*. 2025. Вып. 4(101). С. 167—176. DOI: 10.35211/18154360_2025_4_167. EDN: JJRPAQ.
25. Региональная концепция обеспечения энергетической эффективности жилых и общественных зданий / В. К. Аверьянов, С. А. Байкова, А. С. Горшков и др. // *Жилищное строительство*. 2012. № 3. С. 2—4. EDN: PACREL.

© Войлоков И. А., Ольшевский В. Я., Владимиров С. С., Горшков Р. А., 2026

Поступила в редакцию
10.04.2026

Ссылка для цитирования:

Войлоков И. А., Ольшевский В. Я., Владимиров С. С., Горшков Р. А. Техничко-экономическое сравнение технологий индивидуального жилищного строительства // *Вестник Волгоградского государственного архитектурно-строительного университета. Серия: Строительство и архитектура*. 2026. Вып. 3(104). С. 169—184. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_169.

Об авторах:

Войлоков Илья Анатольевич — канд. техн. наук, доц. каф. организации строительства, Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет (СПбГАСУ). Российская Федерация, 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, 4; voilokov@mail.ru

Ольшевский Вячеслав Янушевич — канд. техн. наук, вед. науч. сотр. лаборатории защищенных и модульных сооружений, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29; olshevskijvyo@spbstu.ru

Владимиров Станислав Сергеевич — канд. экон. наук, доц. Высшей школы атомной и тепловой энергетики, Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого. Российская Федерация, 195251, г. Санкт-Петербург, ул. Политехническая, 29

Горшков Ростислав Александрович — студент, Санкт-Петербургский государственный университет промышленных технологий и дизайна (Промтехдизайн). Российская Федерация, 191186, г. Санкт-Петербург, ул. Большая Морская, 18; rostalsgor@yandex.ru

**Ilya A. Voylov^a, Vyacheslav Ya. Olshevsky^b, Stanislav S. Vladimirov^b,
Rostislav A. Gorshkov^c**

^a *Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering*

^b *Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University*

^c *Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design (Promtekhdizain)*

TECHNICAL AND ECONOMIC COMPARISON OF INDIVIDUAL HOUSING CONSTRUCTION TECHNOLOGIES

A comparative analysis of various options (technologies) for the construction of detached single-family residential buildings has been performed. The study focuses on a model building with an area of 147.5 m², which can be implemented using any of the low-rise construction technologies discussed in the study. The study examines three traditional technologies for low-rise construction: frame construction, wooden construction using profiled timber, and stone construction using autoclaved aerated concrete blocks. For each technology considered in the study, capital construction costs and heating costs over 30 years of operation were determined for two regions (Leningrad and Sverdlovsk). A technical and economic comparison of the considered technologies for low-rise construction was performed, and compliance of individual exterior fences with the requirements for thermal protection of buildings was established.

Key words: low-rise construction, frame construction, timber, aerated concrete, capital costs, operating costs, technical and economic comparison, thermal protection, energy saving, energy efficiency.

For citation:

Voylov I. A., Olshevsky V. Ya., Vladimirov S. S., Gorshkov R. A. [Technical and economic comparison of individual housing construction technologies]. *Vestnik Volgogradskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta. Seriya: Stroitel'stvo i arkhitektura* [Bulletin of Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering. Series: Civil Engineering and Architecture], 2026, iss. 3, pp. 169—184. DOI: 10.35211/18154360_2026_3_169.

About authors:

Ilya A. Voylov — Candidate of Engineering Sciences, Saint Petersburg State University of Architecture and Civil Engineering; 4, 2nd Krasnoarmeyskaya st., Saint Petersburg, 190005, Russian Federation; voylov@mail.ru

Vyacheslav Ya. Olshevsky — Candidate of Engineering Sciences, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 29, Politekhnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation; olshevskijvyo@spbstu.ru

Stanislav S. Vladimirov — Candidate of Economics, Peter the Great Saint Petersburg Polytechnic University. 29, Politekhnicheskaya st., Saint Petersburg, 195251, Russian Federation

Rostislav A. Gorshkov — Student, Saint Petersburg State University of Industrial Technologies and Design (Promtekhdizain). 18, Bolshaya Morskaya st., Saint Petersburg, 191186, Russian Federation; rostalsgor@yandex.ru