

УДК 656**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ И ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ СИСТЕМ ОТОПЛЕНИЯ ЖИЛЫХ ЗДАНИЙ**

Воронов Д.А., студент гр. ЦСб-241, II курс, Косарев Е.А., студент гр. ЦСб-241, II курс

Научный руководитель: Дягилева А.В. доцент (к.н.)(ИЭ: Математики)
Кузбасский государственный технический университет имени Т.Ф.Горбачева
г.Кемерово

Аннотация

Рассматривается вопрос выбора наиболее экономически выгодной системы отопления и утепления для частного жилого дома. Анализируются ключевые аспекты, такие как стоимость оборудования, цены на энергоносители и теплоизоляционные материалы. Важно подчеркнуть, что экономическая модель, использованная для сравнения, фокусируется на затратах, непосредственно зависящих от выбора материалов стен, пола, перекрытия и системы отопления.

Инвариантные затраты, такие как стоимость земельного участка, общестроительные работы (стоимость строительно-монтажных работ, отделка и т.д.), налоговые отчисления, таможенные пошлины и иные административные издержки, были сознательно исключены из модели. Данное допущение является корректным, поскольку величина этих затрат не зависит от выбранного типа системы отопления в рамках одного проектируемого объекта и, следовательно, не влияет на относительное сравнение альтернатив.

Аналогично, в основу расчетов эксплуатационных характеристик положено допущение о полной идентичности природно-климатических условий для всех систем. Это включает единый температурный режим, идентичную продолжительность отопительного сезона и равную доступность топливно-энергетических ресурсов. Следовательно, наблюдаемые различия в эффективности и затратах объективно отражают технологические и экономические особенности каждого варианта, а не вариативность внешней среды.

Введение

Актуальность задачи энергоэффективности и снижения эксплуатационных расходов в жилищном секторе не вызывает сомнений. В условиях постоянного роста тарифов на энергоносители вопрос обеспечения теплом частного жилья становится одним из ключевых как с точки зрения комфорта, так и с позиции финансовой целесообразности. Многие домовладельцы и потенциальные застройщики, мечтая о жизни в собственном доме, зачастую не уделяют должного внимания критически важному этапу проектирования - выбору оптимальной системы отопления и материалов для теплозащиты ограждающих

конструкций. Этот выбор, по сути, определяет будущие эксплуатационные расходы на долгие годы вперед, однако часто делается без комплексного анализа, основываясь на сиюминутных предпочтениях или упрощенных расчетах.

Энергопотребление зданием является системным показателем (который должен соответствовать требованиям [1]), напрямую зависящим от двух взаимосвязанных факторов: эффективности источника тепла (отопительной системы) и способности здания сохранять это тепло (качества теплозащиты), как подробно рассмотрено в [4].

Таким образом, некорректно оценивать экономичность системы отопления в отрыве от теплотехнических характеристик самого здания. Устаревший котел в доме с высокими теплопотерями никогда не будет экономичным, равно как и самая современная система в хорошо утепленном здании может быть избыточной или неоптимальной по капитальным затратам.

Цель исследования

Целью данного исследования является проведение сравнительного анализа и комплексной экономической оценки эффективности различных систем отопления в совокупности с применением различных типов теплоизоляционных материалов для жилых зданий. В рамках работы будут рассмотрены и сопоставлены как традиционные, так и альтернативные виды отопительного оборудования, а также проанализировано их взаимодействие с ограждающими конструкциями, имеющими разный уровень теплозащиты.

Для достижения поставленной цели в статье решаются следующие задачи:

- Систематизировать основные типы систем отопления и теплоизоляционных материалов, применяемых в частном домостроении.
- Разработать методику для сравнительного технико-экономического анализа рассматриваемых вариантов.
- Провести расчеты эксплуатационных и капитальных затрат для каждого из исследуемых сценариев.
- Определить наиболее рациональные и экономически выгодные комбинации «система отопления - материал утепления» для типовых условий.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении домовладельцам, проектировщикам и застройщикам структурированных данных и методических основ для принятия обоснованного решения, позволяющего минимизировать долгосрочные финансовые издержки при обеспечении требуемого теплового комфорта.

Методы исследования

1) Сравнительный анализ: Были систематизированы и исследованы технико-экономические показатели наиболее распространенных на рынке систем отопления и теплоизоляционных материалов для частных жилых зданий. Для расчета теплопотерь использовались методики, изложенные в [1].

2) Математическое моделирование: Для расчёта общих затрат была построена специальная экономическая модель. В ней были учтены самые важные финансовые параметры: первоначальные вложения в оборудование и утепление, ежегодные расходы на топливо и обслуживание. Это позволило сравнить, какой из вариантов «отопление + утепление» окажется наиболее выгодным в долгосрочной перспективе - не только сегодня, но и через 10-20 лет.

Исходя из данных таблицы общей стоимости (см. приложение 3), можно сделать вывод, что самым дешевым вариантом является дом из бруса с деревянным перекрытием, деревянным полом и кирпичной воздушной печкой. Стоимость такого дома = $360000 + 170000 + 245000 + 50200 + 48000 = 873200$ рублей.

Самым дорогим же является дом из кирпича с бетонным перекрытием, бетонным полом и системой «Теплый пол». Стоимость такого дома = $591000 + 324000 + 295000 + 497000 + 344500 = 2051500$ рублей. (см. приложение 3)

Разница:

$2051500 - 873200 = 1178300$ руб. Составляет разница между самым дорогим решением и самым дешёвым.

Исследования

а) Анализ теплопотерь и энергоэффективности:

В ходе исследования были рассчитаны теплопотери для каждого из рассмотренных вариантов конструкций здания. Наибольшие потери тепла наблюдаются через окна и пол, что указывает на необходимость тщательного подбора материалов и конструктивных решений для этих элементов. Расчеты показали, что общие теплопотери стандартного дома в условиях г. Кемерово составляют порядка 7.2 кВт при расчетной температуре наружного воздуха -25°C .

Было установлено, что использование комбинации «брус + утеплитель» для стен и деревянных конструкций для перекрытий и пола позволяет не только снизить капитальные затраты, но и минимизировать теплопотери благодаря низкой теплопроводности древесины и эффективному слою утепления. Напротив, кирпичные и бетонные конструкции, несмотря на высокую прочность и долговечность, демонстрируют повышенные теплопотери и требуют значительных инвестиций в систему отопления для компенсации этих потерь.

Также, несмотря на явные экономические и эксплуатационные недостатки кирпичных стен – высокую материалоемкость, значительную нагрузку на фундамент, повышенные затраты на возведение и необходимость дополнительного утепления для соответствия современным нормам тепловой защиты – они демонстрируют беспрецедентные показатели долговечности. Расчетный и подтвержденный практикой срок службы капитальных кирпичных конструкций составляет 100-150 лет и более. Эта исключительная долговечность обусловлена высокой прочностью, устойчивостью к атмосферным воздействиям и негорючестью материала.

В сравнении с рассмотренными альтернативами кирпич существенно превосходит потенциал других материалов:

Стены из газобетона, обладающие отличными теплоизоляционными свойствами и скоростью монтажа, имеют прогнозируемый срок службы несущих конструкций в пределах 70–100 лет. Их долговечность в значительной степени зависит от качественной гидроизоляции и отделки, предохраняющей гигроскопичный материал от циклического замораживания и оттаивания.

Конструкции из соснового бруса (массив, профилированный, клееный) при должном уходе и защите имеют ожидаемый срок службы несущих стеновых элементов в пределах 50-80 лет. Их ресурс критически зависит от качества обработки, систематической антисептической пропитки и поддержания нормативного влажностного режима.

Каркасные стены на основе сосновых досок и бруса предъявляют самые высокие требования к качеству исполнения. Их расчетный срок эффективной эксплуатации ограничен 30-50 годами и в значительной степени определяется сохранностью силового каркаса и утеплителя, подверженных риску деградации при нарушении целостности паро- и влагозащитных контуров.

б) Сравнительный анализ систем отопления:

Сравнение систем отопления выявило значительный разброс как в первоначальных затратах, так и в эксплуатационных расходах. Традиционная кирпичная печь, несмотря на низкую стоимость оборудования, обладает низким КПД и высокой трудоемкостью эксплуатации, что делает ее малоприменимой для постоянного отопления большого дома. Угольный и газовый котлы с радиаторной системой представляют собой более современное и эффективное решение, при этом газовый котел, несмотря на высокие первоначальные затраты на подключение, обеспечивает значительно более низкие ежегодные расходы на топливо по сравнению с угольным.

Система "теплый пол", являясь наиболее комфортным и современным решением, оказалась и самой капиталоемкой. Высокая стоимость материалов и монтажа делает ее экономически целесообразной только в комплексе с высокоэффективной теплоизоляцией и в домах с высокими требованиями к комфорту. Требования к проектированию данных систем регламентируются [2]

Вывод

Проведенное исследование наглядно демонстрирует прямую зависимость между капитальными затратами на строительство и последующими эксплуатационными расходами на отопление. Комплексный технико-экономический анализ различных комбинаций строительных материалов и систем отопления позволил выявить оптимальные решения для частного жилого дома в климатических условиях, аналогичных г. Кемерово.

Итоговый сравнительный анализ выявил колоссальный разброс в стоимости решений. Наиболее экономичным вариантом является комбинация «дом из бруса с утеплителем, деревянными перекрытием и полом, оснащенный

кирпичной печью на угле» с совокупными затратами на строительство и отопление в размере ~873 200 рублей. Напротив, самый дорогостоящий вариант — «кирпичный дом с бетонными перекрытием и полом, и системой "теплый пол" на газовом отоплении» — обойдется в ~2 051 500 рублей. Разница между крайними вариантами превышает 1,1 млн рублей, что подчеркивает критическую важность обоснованного выбора на этапе проектирования.

На основе проведенного анализа можно сформулировать следующие рекомендации:

Экологические рекомендации:

1. Приоритет возобновляемых материалов: Использование древесины (брус, каркас) в качестве основного конструкционного материала имеет меньший углеродный след по сравнению с энергоемкими производствами кирпича и бетона.

2. Выбор экологичного утеплителя: при равных теплотехнических характеристиках предпочтение следует отдавать минераловатным плитам, которые являются биостойкими, негорючими и поддаются утилизации.

3. Снижение выбросов: Газовое отопление, несмотря на высокие первоначальные вложения, является более экологичным решением по сравнению с угольным, так как производит значительно меньше твердых частиц и сернистых соединений, загрязняющих воздух.

Рекомендации по пожарной безопасности:

1. Обработка деревянных конструкций: Все деревянные элементы (брус, каркас, лаги, обшивка) в обязательном порядке должны быть обработаны огнезащитными составами (антипиренами).

2. Защита при использовании печи: Кирпичную печь и дымоход необходимо монтировать с соблюдением всех противопожарных отступов от горючих конструкций. Место примыкания дымохода к деревянному перекрытию должно быть оборудовано разделкой с негорючим утеплителем (например, базальтовой ватой).

Безопасность электрооборудования: при использовании электрических котлов или дополнительного электрообогрева необходимо обеспечить исправную проводку, рассчитанную на пиковые нагрузки, и установить устройства защитного отключения (УЗО).

Заключение

Для широкого круга частных застройщиков приоритет следует отдавать не максимальной капитальности, а разумному балансу между стоимостью строительства, качеством теплоизоляции, выбором эффективной системы отопления и учетом экологических и противопожарных требований. Разработанная в ходе исследования методика и приведенные расчеты служат практическим инструментом для обоснованного и комплексного выбора при проектировании экономичного, безопасного и энергоэффективного жилья.

Список литературы

1. СП 50.13330.2012. Тепловая защита зданий : актуализированная редакция СНиП 23-02-2003 : дата введения 2013-07-01. - Москва, 2012. - 95 с. - Текст : непосредственный.
2. СП 60.13330.2016. Отопление, вентиляция и кондиционирование воздуха : актуализированная редакция СНиП 41-01-2003 : дата введения 2017-06-17. - Москва, 2016. - 114 с. - Текст : непосредственный.
3. ГОСТ 32311-2012. Теплоизоляционные материалы и изделия для строительства зданий. Общие технические условия : межгосударственный стандарт : дата введения 2014-07-01. - Москва : Стандартиформ, 2014. - 32 с. - Текст : непосредственный.
4. Богословский, В. Н. Строительная теплофизика : учебник / В. Н. Богословский. - Москва : Высшая школа, 2019. - 415 с. - ISBN 978-5-06-002015-2. - Текст : непосредственный.
5. Самарин, О. Д. Теплотери здания : справочное пособие / О. Д. Самарин. - Москва : Издательство АСВ, 2017. - 248 с. - ISBN 978-5-4323-0123-4. - Текст : непосредственный.
6. Цены, характеристики, свойства строительных материалов в г. Кемерово: [сайт] / Пульс цен. - Кемерово, 2025. - URL: <https://kemerovo.pulscen.ru> (дата обращения: 01.06.2025). - Текст : электронный.

Приложение 1

Варианты стен:[5,6]

Таблица 1

Кирпич	Газобетон				Брус			Каркас	
	D ₄₀₀		D ₅₀₀		150	180	200	100	150
$\lambda = 0,7$	$\lambda = 0,096$		$\lambda = 0,12$		$\lambda = 0,09$	$\lambda = 0,09$	$\lambda = 0,09$	$\lambda = 0,09$	$\lambda = 0,09$
L = 0,38	L = 0,2	R = 2,1	L = 0,12	R = 1,7	L = 0,15	L = 0,18	L = 0,2	L = 0,15	L = 0,2
R = 0,54	L = 0,3	R = 3,1	L = 0,24	R = 2	R = 1,7	R = 2	R = 2,22	R = 3,19	R = 4,51
	L = 0,4	R = 4,1	L = 0,3	R = 2,5					
			L = 0,4	R = 3,3					

Варианты утеплителя:[3,5,6]

Таблица 2

Минеральная плита		Пенопласт				Экструдированный пенопласт	
50	100	ППС ₁₆ Ф		ППС ₂₀ Ф		50	100
$\lambda = 0,038$	$\lambda = 0,038$	$\lambda = 0,038$		$\lambda = 0,037$		$\lambda = 0,035$	$\lambda = 0,035$
L = 0,05	L = 0,1	L = 0,05	L = 0,1	L = 0,05	L = 0,1	L = 0,05	L = 0,1
R = 1,32	R = 2,63	R = 1,32	R = 2,63	R = 1,35	R = 2,7	R = 1,43	R = 2,86

Варианты перекрытия:[5,6]

Таблица 3

Перекрытие из бетона	Деревянное перекрытие
$\lambda = 1,8$	$\lambda = 0,09$
L = 0,37	L = 0,175
R = 4,07	R = 4,23

Варианты пола:[5,6]

Таблица 4

Бетонный пол	Деревянный пол
$\lambda = 1,8$	$\lambda = 0,09$
L = 0,32	L = 0,225
R = 2,75	R = 3,46

Приложение 2.1

Схема дома и его характеристики:[6]

Таблица 5

	Длина – 12,36 м
	Ширина – 11,96 м
	Высота – 3 м
	$S = 147,7$ м^2
	$V = 443,48$ м^3
	7 окон – 1,5 м x 1,4 м
	1 дверь – 0,86 м x 2,05 м

Размеры материалов:[6]

Таблица 6

Наименование:	Размер:
Кирпич	0,25м x 0,12м x 0,065м
Брус 100	3м x 0,1м x 0,1м
Брус 150	6м x 0,15м x 0,15м
Брус 200	6м x 0,2м x 0,2м
Газобетон D ₄₀₀	0,625м x 0,3м x 0,25м
Газобетон D ₅₀₀	0,625м x 0,4м x 0,25м
Доска «дюймовка»	3м x 0,1м x 0,025м
Доска «пятидесятка»	6м x 0,1м x 0,05м
Минеральная плита 50	1м x 0,6м x 0,05м
Пенопласт ППС ₁₆ Ф 50	1м x 1,2м x 0,05м
Пенопласт ППС ₂₀ Ф 50	1м x 1м x 0,05м
Пеноплекс 50	1,18м x 0,58м x 0,05м
Пеноплекс 100	1,18м x 0,58м x 0,1м
Минеральная плита 100	1м x 0,6м x 0,1м
Плита перекрытия	6,18м x 1,495м x 0,22м
Пенопласт ППС ₁₆ Ф 100	1м x 1,2м x 0,1м
Пенопласт ППС ₂₀ Ф 100	2м x 1м x 0,1м
Пенополистирол «Теплый пол»	1м x 0,5м x 0,04м

Приложение 2.2

Стоимость материалов:[6]

Таблица 7

Наименование:	Стоимость:
Кирпич красный	17 руб/шт
Кирпич шамотный	120 руб/шт
Брус 100	1081 руб/шт
Брус 150	11500 руб/м ³
Брус 200	3900 руб/шт
Газобетон D ₄₀₀	9540 руб/м ³
Газобетон D ₅₀₀	8990 руб/м ³
Доска «дюймовка»	256 руб/шт
Доска «пятидесятка»	657 руб/шт
Минеральная плита 50	940 руб/упаковка
Пенопласт ППС ₁₆ Ф 50	227 руб/шт
Пенопласт ППС ₂₀ Ф 50	6200 руб/м ³
Пеноплекс 50	2519 руб/упаковка
Пеноплекс 100	2642 руб/упаковка
Минеральная плита 100	720 руб/упаковка
Плита перекрытия	15586 руб/шт
Пенопласт ППС ₁₆ Ф 100	446 руб/шт
Пенопласт ППС ₂₀ Ф 100	5450 руб/м ³
Труба медная 22 диаметр	2000 руб/м
Радиатор отопления секционный (8 ячеек)	5284 руб/шт
Котел отопительный угольный	50000 руб/шт
Котел отопительный газовый	67000 руб/шт
Окно (3 секции)	17640 руб/шт
Дверь входная	21800 руб/шт
Труба для системы «Теплый пол» 400м	28356 руб/шт
Труба для системы «Теплый пол» 240м	18000 руб/шт
Труба для системы «Теплый пол» 100м	7500 руб/шт
Пенополистирол для системы «Теплый пол»	345 руб/шт
Стяжка пола 25кг	348 руб/шт
Насосно-смесительный узел	28000 руб/шт
Коллекторная группа	9000 руб/шт

Приложение 3

Таблица общей стоимости

Таблица 8

№	Наименование варианта	Общая стоимость, руб.
1. Стены		
1.1	Кирпич + утеплитель	591 000
1.2	Газобетон (без утеплителя)	552 000
1.3	Брус + утеплитель	360 000
1.4	Каркас + утеплитель	510 000
2. Перекрытие		
2.1	Бетонная плита + утеплитель	324 000
2.2	Деревянное перекрытие + утеплитель	170 000
3. Пол		
3.1	Бетонная плита + утеплитель	295 000
3.2	Деревянный пол + утеплитель	245 000
4. Системы отопления		
4.1	Кирпичная печь	50 200
4.2	Угольный котел + радиаторы	215 000
4.3	Газовый котел + радиаторы	230 000
4.4	Система «Теплый пол»	497 000
5. Топливо		
5.1	Уголь	48 000
5.2	Газ	344 500

Таблица 9

Система отопления / Конструкция дома	Вариант 1 (Кирпич, бетон, бетон)	Вариант 2 (Кирпич, дерево, бетон)	Вариант 3 (Кирпич, дерево, дерево)	Вариант 4 (Кирпич, бетон, дерево)	Вариант 5 (Брус, дерево, дерево)	Вариант 6 (Газобетон, дерево, дерево)	Вариант 7 (Каркас, дерево, дерево)
Кирпичная печь + уголь	1 308 200 Р	1 154 200 Р	1 104 200 Р	1 258 200 Р	873 200 Р	1 065 200 Р	1 023 200 Р
Угольный котел + радиаторы + уголь	1 473 000 Р	1 319 000 Р	1 269 000 Р	1 423 000 Р	1 038 000 Р	1 230 000 Р	1 188 000 Р
Газовый котел + радиаторы + газ	1 784 500 Р	1 630 500 Р	1 580 500 Р	1 734 500 Р	1 349 500 Р	1 541 500 Р	1 499 500 Р
Система «Теплый пол» + газ	2 051 500 Р	1 897 500 Р	1 847 500 Р	2 001 500 Р	1 616 500 Р	1 808 500 Р	1 766 500 Р