

УДК 62-69

КУЗНЕЦОВ А.Б., студент гр. ТЭБ-221 (КузГТУ)
Научный руководитель УШАКОВ К.Ю., к.т.н., доцент (КузГТУ)
Г. Кемерово

СРАВНЕНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ОБОСНОВАННОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ РАЗЛИЧНЫХ ВИДОВ ЭНЕРГОНОСИТЕЛЕЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ НУЖД ОТОПЛЕНИЯ БЫТОВЫХ ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННЫХ ПОТРЕБИТЕЛЕЙ

Сибирский федеральный округ занимает порядка 25,5% от площади Российской Федерации – 4361,7 тыс. км². На этой территории проживает порядка 16,49 миллионов человек, – около 11,3% населения России [1]. Несмотря на преобладающую долю городского населения (75,2%), количество людей, проживающих в сельской местности, остается на высоком уровне.

Критически важным вопросом в обеспечении комфортных условий жизнедеятельности индивидуального жилищного строительства — наиболее распространённого вида строительства в сельской местности — является выбор источника теплоснабжения. Рассмотрим три варианта обеспечения теплоснабжения (при использовании системы водяного отопления): электрический котел, газовый котел и котел на твердом топливе.

Целью данной работы является расчёт затрат топливной составляющей эксплуатации рассматриваемых типов котлов и выбор наиболее экономичного обоснованного вида топлива для каждого из регионов Сибирского Федерального округа.

Для подбора необходимого оборудования теплоснабжения необходимо рассчитать общие тепловые потери рассматриваемого объекта. Произведем расчет на примере жилого загородного дома площадью 69,8 м² [2]. План здания представлен на рисунке 1.



Рисунок 1. План рассматриваемого здания

Для расчета тепловых потерь использовалась программа RTI комплекса TEPLOV [3].

В качестве района для проектирования рассматривался город Рубцовск (Алтайский край). Более подробно исходные данные приведены на рисунке 2.

Общие данные | Описание помещений | Характеристика ограждений

Характеристика здания

Строительная высота здания, м: 4,0

Высота до вытяжной шахты наиболее высокой секции, м: 5,0

Расстояние от чистого пола до поверхности земли, м: 0,4

Тепловой поток с 1 м² пола, Вт: 0

Толщина межэтажного перекрытия, мм: 200

Применяемые нормы: Россия

Адрес места застройки: г. Рубцовск, Алтайский край

Климатические данные

Тип местности: В - гор. застройка и др. препятствия до 10 м

Место застройки ?

Условия для расчёта

Обеспеченность: 0,92

Отоп. период для: t_{меньше или} = 8 °C

Общие параметры

Барометрическое давление: 995 гПа

Максимальная скорость ветра за январь: 2,9 м/с

Отопительный период меньше или = 0 °C: 154 суток

Отопительный период меньше или = 8 °C: 204 суток

Отопительный период меньше или = 10 °C: 202 суток

Относительная влажность зимой: 78 %

Относительная влажность летом: 62 %

Температура

Температура наружного воздуха зимой (обесп. 0,92): -37 °C

Температура наружного воздуха зимой (обесп. 0,98): -35 °C

Температура наружного воздуха летом: 25 °C

Средняя темп. отопительного периода (до 0 °C): -11,0 °C

Средняя темп. отопительного периода (до 8 °C): -7,2 °C

Аспекты работы

- Вкладка **Общие данные**
Описываются общие характеристики проектируемого здания и климатические данные места расположения строительства. Из выпадающего списка выберите **Место застройки**, если нужного пункта нет в списке, его можно добавить в **Редакторе базы климатологии** (см. панель кнопок в верхней части формы).
- Вкладка **Описание помещений**
В древовидной форме производится описание помещений и ограждений. Используемые ограждения предварительно нужно подготовить на вкладке **Характеристика ограждений**.
- Вкладка **Характеристика ограждений**
В табличную форму добавляются характеристики ограждений, применяемых при описании помещений. Указывается сопротивление теплопередаче и воздухопроницаемость.

Рисунок 2. Исходные данные для проектирования

Так как для определения необходимой мощности проектируемой системы отопления необходимы значения тепловых потерь только через ограждающие конструкции, расчет проводился в упрощенном виде методом эквивалентного помещения (здание рассматривалось как единое жилое помещение с температурой в 20°C, распределение температур между комнатами внутри не учитывалось).

В качестве материала наружных стен рассматривался полнотелый кирпич, уложенный в два ряда; окон – двухкамерный стеклопакет; наружной двери – дверь двойного исполнения. Подробные характеристики ограждающих конструкций, а также значения тепловых потерь приведены в протоколе тепловых потерь (рисунок 3).

Наибольшие потери наблюдаются для стен, а также для покрытия – перекрытия, отделяющего жилое помещение от неотапливаемого чердака. Суммарные тепловые потери через ограждающие конструкции составили 17 259 Вт.

Наименование	Размер А	Размер В	Расчетная площадь	Ориентация	Попр. коэф. или t	Расчетная высота	Ro Сопрот. в. теплопередач м ² /Вт	Ri м.час.Па/кг Стен - Он кг/(м ² ·ч) длина стык,м	Надбавки	Расход тепла на нагрев инфильтрующего воздуха проникающий	Надбавка высоту >4 м.	Потери без инфильтр.
Этаж: № 1 Отметка: 0												
Жилая комната квартиры и общеквартиры № 1001 t= 20°C (этаж 1)												
СТЕНА НАРУЖНАЯ	9,42	3	25,56	С	0	0	0,5	0	0,15	0	0	330 Вт
ДВЕРЬ НАРУЖНАЯ ДВОЙНАЯ	0,9	3	2,7	С	0	0	1,62	0	1,85	0	0	270 Вт
СТЕНА НАРУЖНАЯ	9,42	3	26,26	В	0	0	0,5	0	0,15	0	0	422 Вт
ОКНО, ДВУХКАМЕРНЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ	1,2	1,19	1,43	В	0	0	0,68	0	0,15	0	0	137 Вт
ОКНО, ДВУХКАМЕРНЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ	0,48	1,19	0,57	В	0	0	0,68	0	0,15	0	0	55 Вт
СТЕНА НАРУЖНАЯ	9,2	3	22,41	Ю	0	0	0,5	0	0,05	0	0	266 Вт
ДВЕРЬ НАРУЖНАЯ ДВОЙНАЯ	0,88	2	1,76	Ю	0	0	1,62	0	1,75	0	0	170 Вт
ОКНО, ДВУХКАМЕРНЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ	0,48	1,19	0,57	Ю	0	0	0,68	0	0,05	0	0	50 Вт
ОКНО, ДВУХКАМЕРНЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ	1,2	1,19	1,43	Ю	0	0	0,68	0	0,05	0	0	125 Вт
ОКНО, ДВУХКАМЕРНЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ	1,2	1,19	1,43	Ю	0	0	0,68	0	0,05	0	0	125 Вт
СТЕНА НАРУЖНАЯ	9,42	3	26,33	З	0	0	0,5	0	0,1	0	0	282 Вт
ОКНО, ДВУХКАМЕРНЫЙ СТЕКЛОПАКЕТ	1,62	1,19	1,93	З	0	0	0,68	0	0,1	0	0	177 Вт
ПОКРЫТИЕ	88,64	1	88,64		0	0	1,84	0	0	0	0	2738 Вт
ПОЛ, ЗОНА 1, RO=2,48	2	9,42	18,84		0	0	2,48	0	0	0	0	433 Вт
ПОЛ, ЗОНА 2, RO=4,30	2	7,42	14,84		0	0	4,3	0	0	0	0	196 Вт
ПОЛ, ЗОНА 3, RO=8,60	2	5,42	10,84		0	0	8,6	0	0	0	0	71 Вт
ПОЛ, ЗОНА 4, RO=16,76	3,42	3,42	11,7		0	0	16,76	0	0	0	0	39 Вт
Итого:			257,24							0		17295,18
Итого потери : 17295,18 + 0,00 = 17300 Вт (округление до)												

Рисунок 3. Протокол тепловых потерь в программе RTI

Исходя из полученных значений тепловых потерь, необходимо было подобрать котельную установку необходимой мощности. Потери теплоты при транспортировке теплоносителя принимались равными нулю, так как здание обладает непротяженным контуром теплоснабжения, а также тепло, уходящее через неизолированные стояки водяной системы отопления, уходит на отопление помещений здания, совершая тем самым полезную работу.

С целью сравнения экономичности использования различных видов энергоносителей автором было подобрано три различных котла необходимой мощности. Характеристики приведены в табл. 1.

Таблица 1. Характеристики рассматриваемых котлов

параметр	Savitr Control 18 Lite	Thermo-B30 18C	Zota Енисей-18
тип котла	электрический	газовый	твердотопливный
максимальная тепловая мощность, кВт	17,7	17,8	18
минимальная тепловая мощность, кВт	6	8,5	6,5
КПД, %	98,1	94,3	74,2
расход газа*, м ³ /ч	-	2,12	-
расход угля*, кг/ч	-	-	3,6

*при режиме работы с максимальной тепловой нагрузкой

Был выполнен расчет среднегодовых затрат на отопления при использовании каждого из перечисленных источников теплоты в условиях Алтайского края. Температура наиболее холодной пятидневки (с обеспеченностью 0,92) составляет -35°C [4]. Примем, что данной температуре соответствует максимальная

мощность котла – 100%. Затем произведем градуировку требуемой мощности котла в зависимости от температуры окружающей среды. В случае, если заданной температуре соответствует мощность ниже минимально заявленной производителем, принимается значение минимальной мощности. Так как для представленных котлов мощность регулируется подачей топлива (в электрическом – потреблением электроэнергии), его расход также определяется в соответствии с полученной характеристикой (рис. 4).

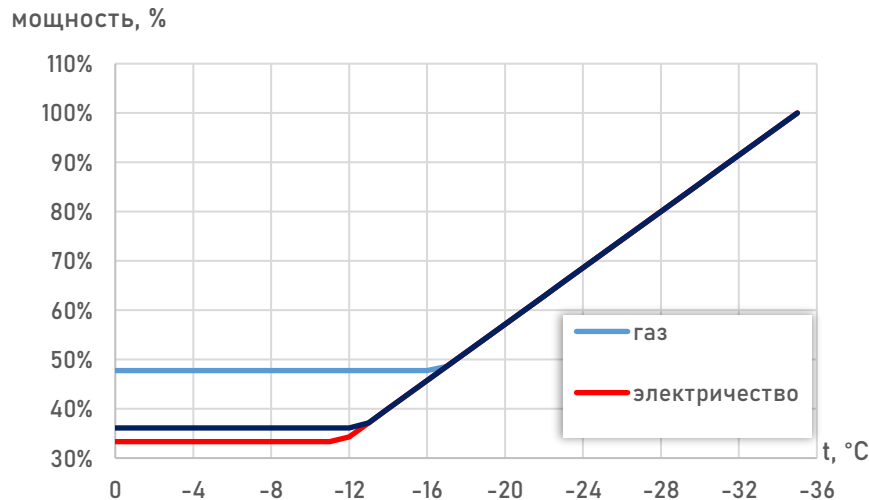


Рисунок 4. Изменение используемой мощности (расхода топлива) котла в зависимости от температуры окружающей среды для условий Алтайского края

Подобным образом были получены характеристики мощности (расхода топлива) для каждого субъекта, входящего в состав Сибирского федерального округа.

Наиболее узкий диапазон регулирования наблюдается для газового котла. Это обуславливается сложностью создания оптимальных условий горения при низких расходах топлива: для котлов с топками закрытого типа характерен камерный режим сгорания, при котором эффективность горения зависит не только от подачи топлива, но и от подачи окислителя – воздуха. Представленный твердотопливный котел оснащен топкой слоевого сжигания, что значительно упрощает эксплуатацию и расширяет эффективный диапазон регулирования, однако обладает меньшей эффективностью.

Примем, что длительность отопительного сезона составляет 151 сутки (с ноября по март). Значения среднемесячных температур приведены в табл. 2.

Таблица 2. Среднемесячные температуры отопительного сезона для каждого региона

№ III	Регион	t _{ср} , °C				
		ноя.	дек.	янв.	фев.	март
1	респ. Алтай	-10	-16	-19	-17	-10
2	Алтайский край	-10	-17	-20	-19	-12

3	респ. Бурятия	-15	-24	-28	-24	-13
4	Иркутская область	-12	-19	-22	-20	-11
5	Кемеровская область	-11	-17	-20	-18	-10
6	Красноярский край	-12	-18	-21	-20	-12
7	Новосибирская область	-11	-18	-21	-20	-12
8	Омская область	-11	-18	-21	-20	-12
9	Томская область	-12	-19	-21	-19	-11
10	респ. Хакасия	-12	-19	-21	-19	-11

Среднемесячный расход топлива определялся по формуле 1.

$$B_{мес} = B_{max} \cdot \eta \cdot k_u \cdot 24 \cdot n, \quad (1)$$

где B_{max} – номинальный расход топлива при максимальной тепловой нагрузке:

для электрического котла – кВт,

для газового котла – м³/ч,

для твердотопливного котла – кг/ч;

η – КПД котла, %;

k – коэффициент, учитывающий марку угля;

n – количество дней в месяце.

Так как вид угля варьируется в зависимости от региона и имеет различную теплоту сгорания, в формуле учитывается коэффициент, отражающий изменение расхода топлива в зависимости от его теплотворной способности.

$$k_u = \frac{Q_B}{Q}, \quad (2)$$

где Q_B – теплота сгорания базового топлива, МДж/кг;

Q – теплота сгорания рассматриваемого топлива, МДж/кг.

В качестве базового топлива был принят длиннопламенный уголь Кузнецкого угольного бассейна с теплотой сгорания 22,0 МДж/кг.

Результаты расчетов потребности в энергоносителях приведены в табл. 3.

Таблица 3. Расход энергоносителей по видам

№ ПП	регион	расход Э/Э, кВт-ч	расход газа, м ³	расход угля, т
1	респ. Алтай	31117	4274,7	7,87
2	Алтайский край	30957	4146,5	7,61
3	респ. Бурятия	39455	5179,3	13,05
4	Иркутская область	33776	4550,6	10,98
5	Кемеровская область	28594	3996,5	7,24
6	Красноярский край	29998	4137,8	9,88
7	Новосибирская область	30582	4209,3	7,74
8	Омская область	32122	4364,7	8,05
9	Томская область	30033	4142,2	7,60
10	респ. Хакасия	30619	4213,8	10,08

Для определения среднегодовых затрат на отопление необходимо обладать данными о тарифах на энергоресурсы. Далее представлен расчет для условий Алтайского края:

Электроэнергия. Было принято, что рассматриваемый объект проектирования находится вне территории города, следовательно, для расчета был принят тариф для сельского населения. Согласно [5], для потребителей второго диапазона (от 3900 до 6000 кВт-ч), тариф на электроэнергию во втором полугодии 2026 составляет 7,51 руб./кВт-ч.

Природный газ. Стоит отметить, что Алтайский край не является полностью газифицированным регионом и имеет основную ветку газификации, а также ответвление (Бийская ветка). Примем, что рассматриваемый объект находится в зоне действия основной ветки. В таком случае тариф на природный газ составит 9,28 руб./м³.

Твердое топливо. В качестве твердого топлива рассматривался уголь. Для данного региона наиболее распространенным для бытовых нужд является каменный длиннопламенный уголь Кузнецкого бассейна. Ориентировочная стоимость составляет порядка 4 200 руб./т.

Среднегодовые затраты на топливо рассчитывались по формуле 2.

$$Z = B_{мес} \cdot T, \quad (2)$$

где T – тариф на энергоноситель.

Значения потребления энергоносителей, а также затрат на них, приведены в табл. 4.

Таблица 4. Среднегодовые затраты на отопление

№ ПП	регион	тариф на Э/Э	затраты на Э/Э, тыс. руб.	тариф на газ, руб./м ³	затраты на газ, тыс. руб.	стоимость угля, руб/т	затраты на уголь, тыс. руб.
1	респ. Алтай	6,69	208,18	-	-	6400	50,35
2	Алтайский край	7,51	232,49	9,28	38,47	4200	31,95
3	респ. Бурятия	5,39	212,66	-	-	5500	71,80
4	Иркутская область	3,01	101,67	-	-	4000	43,91
5	Кемеровская область	7,02	200,73	8,25	32,97	3900	28,25
6	Красноярский край	4,66	139,79	-	-	2000	19,76
7	Новосибирская область	7,07	216,22	4,69	19,76	3700	28,62
8	Омская область	5,28	169,61	12,47	54,42	6700	53,93
9	Томская область	9,44	283,51	8,23	34,09	5000	38,00
10	респ. Хакасия	4,84	148,20	-	-	3400	34,28

По результатам выполненного расчета определено, что экономическая составляющая вопроса выбора топлива для обеспечения нужд системы отопления зависит от региона проектирования.

Системы электрического отопления, несмотря на высокую автономность, простоту эксплуатации и экологичность, являются значительно более дорогим

видом отопления, что делает его экономически нецелесообразным при текущем уровне тарифа.

Системы отопления с использованием природного газа в качестве основного вида топлива также обладают высокой автономностью и хорошими показателями экологичности. Использование газовых котлов для нужд отопления и ГВС является экономически целесообразным, однако низкая степень газификации регионов Сибирского федерального округа вводит значительные ограничения на возможность применения подобных систем.

Системы отопления с использованием угля в качестве основного энергоносителя обладают наихудшими показателями экологичности и требуют высокой вовлеченности оператора в эксплуатацию. Однако, ввиду своей универсальности и экономичности, именно системы, в основе которых лежат твердотопливные котлы, закономерно получили наибольшее распространение в Сибирском федеральном округе.

Список литературы:

1. Сибирский федеральный округ / [Электронный ресурс] // Официальный сайт полномочного представителя Президента России в Сибирском федеральном округе : [сайт]. — URL: <http://sfo.gov.ru/okrug/> (дата обращения: 07.04.2026).
2. Rg5932 - Одноэтажный дом с двумя спальнями / [Электронный ресурс] // RuPlans : [сайт]. — URL: https://ruplans.ru/proekti/proekti_5932.html (дата обращения: 01.04.2026).
3. RTI программа для расчёта потерь тепла и инфильтрации помещениями зданий (теплопотерь), энергопаспорт здания / [Электронный ресурс] // ПОТОК. Разработка программного обеспечения : [сайт]. — URL: <https://www.potok.ru/teploov/13-rti-the-program-for-calculation-of-losses-of-heat-and-syescbss-premises-of-buildings-ncn-the-building-power-passport-ru.html> (дата обращения: 12.04.2026).
4. Строительная климатология СП 131.13330.2018.
5. Тарифы на электроэнергию / [Электронный ресурс] // Энергосети России : [сайт]. — URL: <https://energoseti.ru/rates> (дата обращения: 06.04.2026).