

Экономическая сущность выбора топлива и сравнение работы автономных систем теплоснабжения малой мощности

DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-59-65>

В контексте анализа экономической эффективности и стабильности различных энергетических систем сравнение газовых и угольных секторов становится ключевым. Этот вопрос становится особенно актуальным в отдаленных и северных регионах России, где доступность газа может быть ограничена или невозможна. Цель этого анализа – сравнить газовые и угольные секторы с точки зрения их экономической эффективности, стабильности и влияния на окружающую среду. В этом исследовании использовались данные о производительности и работе газовых и угольных отраслей, а также методы количественного анализа и статистической обработки для расчета ключевых экономических показателей этих секторов. Из анализа установлено, что угольный сектор имеет большую маржинальность ($k = 0,05$), большой объем инвестиций (2,1 трлн руб.), высокую стоимость активов (1,3 трлн руб.) и более широкий диапазон рыночных цен (от 22 до 18 руб. за 1 т). В то время как газовый сектор характеризуется более высокой рентабельностью активов (840%) и более стабильным диапазоном рыночных цен (от 20 до 17 руб. за 1 куб. м). Результаты анализа подчеркивают, что выбор между газовым и угольным секторами должен быть сделан на основе конкретных экономических условий и потребностей региона, учитывая, что оба сектора имеют свои преимущества и недостатки.

Ключевые слова: энергетическая эффективность, эмиссия газов, конденсационный котел, конвекционный котел, экологическая устойчивость.

Для цитирования: Экономическая сущность выбора топлива и сравнение работы автономных систем теплоснабжения малой мощности / Л.М. Фомичева, О.Н. Пронская, М.В. Зайцева и др. // Уголь. 2023. № 10. С. 59-65. DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-59-65>.

ВВЕДЕНИЕ

Системы теплоснабжения – отопления и подготовки горячей воды являются основной составляющей структуры энергетического расхода, формируя температурно-влажностный и гигиенический режимы в местах пребывания людей. Эффективность этих систем напрямую влияет на уровень энергетических затрат и, как следствие, на экономическую нагрузку на природную среду.

Исходные инвестиции в газовые системы обычно составляют около 600-750 тыс. руб., в то время как угольные системы могут стоить от 750-900 тыс. руб. Операционные затраты также варьируются: стоимость природного газа колеблется вокруг 45-60 руб. за 1 куб. м, в то время как стоимость угля варьируется от 2000 до 4500 руб. за 1 т. С технологической точки зрения газовые системы теплоснабжения обладают преимуществами в виде

ФОМИЧЕВА Л.М.

Канд. экон. наук, доцент
Московского политехнического
университета,
107023, г. Москва, Россия,

ПРОНСКАЯ О.Н.

Доктор экон. наук, доцент
Московского политехнического
университета,
107023, г. Москва, Россия,

ЗАЙЦЕВА М.В.

Канд. экон. наук, доцент Кубанского
государственного аграрного
университета
им. И.Т. Трубилина,
350044, г. Краснодар, Россия,

КИСЕЛЕВА Е.М.

Канд. экон. наук, доцент Московского
политехнического университета,
107023, г. Москва, Россия,

КУРЕННАЯ В.В.

Доктор экон. наук, профессор
Московского политехнического
университета,
107023, г. Москва, Россия

высокой автоматизации и эффективности до 90-95%, в то время как угольные котлы имеют эффективность около 80-85%. Угольные системы более сложны в обслуживании, требуя периодической очистки и поддержания оптимального состояния. Газовые котлы, как правило, занимают меньше пространства и имеют меньший вес (около 120-150 кг), что может оказывать влияние на их экономическую эффективность, особенно в условиях ограниченного пространства.

ОСНОВНОЙ РАЗДЕЛ

С экологической точки зрения газовые системы эмитируют примерно 200 кг CO₂ на 1 МВт·ч (MWh), что значительно ниже, чем угольные системы, выделяющие до 1000 кг CO₂ на MWh. Этот фактор также влияет на экономическую эффективность систем, учитывая потенциальные штрафы и налоги за выбросы углекислого газа. В режимах отопления при расчете оценки жизненного цикла системы (LCA) были рассмотрены агрегаты с 80% AUEF, которые, как отмечается, уже не используются для новых объектов, и было предложено заменить их на энергоэффективные котлы 94% AUEF конденсационного типа. Это снижает эксплуатационные затраты, улучшает энергетическую эффективность и обеспечивает экономическую выгоду. Сравнительные исследования энергоэффективности и экономического воздействия эмиссии газов на окружающую среду автономных систем отопления становятся критическим фактором при выборе оборудования, учитывая их большую долю в общем энергопотреблении домохозяйств [1] и их сравнительные затраты по сравнению с системами централизованного теплоснабжения [2].

В численных исследованиях авторов анализируются динамики энергетической эффективности настенных газовых конденсационных и конвекционных котлов. Демонстрируются графические модели эффективности конденсационных котлов, варьирующиеся относительно тепловой мощности в различных температурных условиях обратного теплообменного канала (30/45/60°C) [3]. В условиях обратной температуры 60 °C эффективность практически не меняется на протяжении всего диапазона (от 20 до 100%) и составляет 94% (GCV85%) по NCV. Однако при обратной температуре 30°C пиковая эффек-

тивность при 30% тепловой нагрузки достигает NCV105% (GCV94,5%) и снижается до NCV102% (GCV92%) при 100% тепловой нагрузки. Сходные данные также были получены другими исследователями [4, 5]. Высокая температура обратного теплообменного канала характерна для стран, использующих радиаторы в качестве отопительных устройств (например, Великобритания, где доля радиаторного отопления составляет около 90%). Конвекционные настенные газовые котлы обладают более низкой эффективностью по сравнению с конденсационными [6]. Плавное регулирование мощности возможно только в диапазоне от 40 до 100% тепловой мощности, при этом эффективность колеблется от 86% до 92% (NCV) [7]. В качестве топлива использовались природный газ NG G20 и уголь из различных месторождений России. Результаты данного исследования позволяют получить более точные данные об эффективности и экологических характеристиках данных котлов при реальных условиях эксплуатации.

В табл. 1 представлены общие характеристики и различия между газовыми и угольными системами теплоснабжения, основанные на исследованиях в области энергетики и экологии. Выбор конкретной системы зависит от многих факторов, включая экономические, технические, физические и экологические условия и требования.

На рис. 1 представлены графики изменения энергетической эффективности, эмиссии CO и CO₂ в зависимости от производимой тепловой мощности для конвекционного настенного низкотемпературного газового котла Ariston HS 24FF.

Модуляция тепловой мощности в диапазоне от 40 до 100% номинальной мощности представляет собой переменную стоимость процесса, влияющую на экономическую эффективность системы отопления. Если нагрузка снижается до уровня менее 40% от номинальной, режим работы котла переходит в циклический, что влечет за собой увеличение операционных затрат, поскольку количество циклов работы котла может достигать 15 в час. В диапазоне 20-40% номинальной тепловой мощности происходит значительное снижение экономической эффективности работы котла, что приводит к увеличению затрат на процесс отопления [8, 9]. Показатели эмиссии CO и CO₂ отражают только работу горелочного устройства

Таблица 1

Сравнение автономных систем теплоснабжения на газе и угле

Comparison of autonomous gas and coal-fired heating systems

Параметр	Газовая система	Угольная система
Стоимость установки, руб.	600 000-750 000	750 000-900 000
Операционные затраты, руб./куб. м; руб./т	45-60	2000-4500
Коэффициент полезного действия (КПД), %	90-95	80-85
Требования к обслуживанию	Минимальные, автоматизированные процессы	Требуются регулярная очистка и поддержка топки
Физические параметры (вес, размеры)	Меньший вес (около 120-150 кг), меньше занимает места	Большой вес (около 300-500 кг), требуется больше места
Экологический отпечаток (выбросы CO ₂)	Примерно 200 кг CO ₂ на MWh	До 1000 кг CO ₂ на MWh
Поставка топлива	Сеть газоснабжения, стабильная поставка	Требуется место для хранения угля, регулярные поставки
Пожарная безопасность	Высокий уровень безопасности	Более высокий риск пожара из-за хранения угля

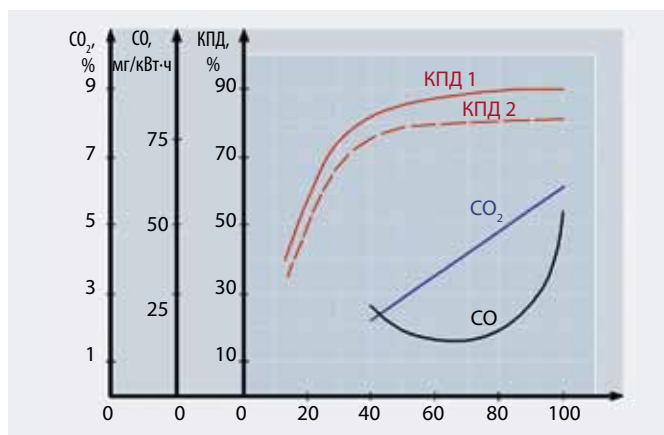


Рис. 1. Графики изменения энергетической эффективности E1 (NCV), E2 (GCV), Эмиссии CO, CO₂ в зависимости от тепловой нагрузки для конвекционного низкотемпературного настенного котла
Fig. 1. Graphs of changes in energy efficiency E1 (NCV), E2 (GCV), CO, CO₂ emissions, depending on the thermal load for a convection low-temperature wall-mounted boiler

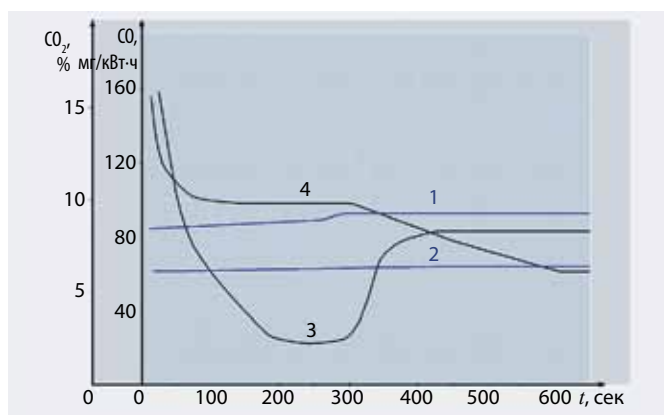


Рис. 2. Графики значений эмиссии CO, CO₂ для конденсационного и конвекционного котлов во времени при старте работы:
1, 3 – эмиссия CO₂ и CO для конденсационного котла;
2, 4 – эмиссия CO₂ и CO для конвекционного котла
Fig. 2. Graphs of CO and CO₂ emission values for the condensing and convection boilers in time at the start of operation:
1, 3 – CO₂ and CO emissions for the condensing boiler;
2, 4 – CO₂ and CO emissions for the convection boiler

и важны с точки зрения экологического налогообложения. Диапазон изменения энергетической эффективности при тепловой нагрузке 40-100% номинальной мощности меняется линейно от 86,5 до 91,8% (NCV), что влияет на общую стоимость эксплуатации оборудования [10]. Показатели изменения эмиссии CO варьируются от 17,5 до 54 мг/кВт·ч, а CO₂ – от 2,1 до 6,2%. Это влияет на общую стоимость эксплуатации оборудования, учитывая возможные штрафы и платежи за выбросы.

На рис. 2 представлены данные об изменении уровня эмиссии CO и CO₂ для конвекционных и конденсационных настенных газовых котлов при начальной стадии работы.

Настенные газовые котлы, в контексте экономического анализа, можно рассматривать как капиталовложения в

инфраструктуру автономной системы теплоснабжения. Эти системы включают в себя не только котел, но и отопительный контур с теплоносителем и отопительными приборами, такими как радиаторы и водо-воздушные теплообменники.

Автономные системы теплоснабжения малой мощности имеют также функцию подготовки горячей воды в быту, что является значительным фактором при оценке капиталовложений. При использовании настенных газовых котлов для теплоснабжения мощность подготовки горячей воды является определяющим фактором, для этого требуется мощность 20-24 кВт·ч [11]. Величина энергии, необходимая для отопления, зависит от размеров помещения, теплопроводности ограждающих конструкций, внешней и внутренней температур, что влияет на общую стоимость отопления. В последние 20 лет в странах Восточной Европы и Азии стали применяться автономные системы теплоснабжения для апартаментов в многоэтажных домах часто площадью 40-60 кв. м, что создает новый рынок для таких инвестиций.

На рис. 3 представлены диапазоны изменения тепловых нагрузок для таких апартаментов в режиме отопления и подготовки горячей воды. Эти данные рассчитаны для климатических условий южной части Балтийского моря в Европе, но их можно адаптировать и к условиям Азии, где общий объем рынка котлов превышает 50 млн штук. Это открывает значительные возможности для экономического развития и инвестиций в области энергосбережения.

Расчеты показывают, что диапазон изменения тепловых нагрузок котла при режиме работы отопления апартаментов площадью 50 кв. м составляет от 0,5 до 2,5 кВт·ч. При среднем значении по отопляемому периоду времени года 1,1 кВт·ч. Для подготовки горячей воды необходимая мощность в среднем составляет 20 кВт·ч. Для отопления и для подогрева горячей воды используется один котел. Диапазон изменения тепловой нагрузки по средним значениям составляет 20 раз (см. рис. 3, зоны 1, 3) [12]. Другая ситуация для отдельного дома с отопляемой площадью 150 кв. м, где распределение тепловой нагрузки для того же географического расположения, что и для случая расположения апартаментов. Тепловая нагрузка для отопления в течение отопляемого периода времени года находится в диапазоне 3,0-15 кВт·ч. Коэффициент нагрузки составляет 8-1,6. Энергетическая эффективность для конвекционного котла представлена E1(NCV), конденсационного котла – E2 (NCV), приборы отопления – биметаллические радиаторы отопления. M1 – модуляция мощности конвекционного котла, M2 – модуляция мощности конденсационного котла.

Однако стоит помнить, что, несмотря на перечисленные преимущества, угольные системы также имеют ряд недостатков, таких как больший экологический отпечаток, большой вес и размеры оборудования, а также необходимость в регулярном обслуживании и большем количестве места для хранения топлива.

В рамках данной темы можно привести следующие формулы, которые используются для расчетов в области систем отопления [13, 14, 15, 16, 17]:

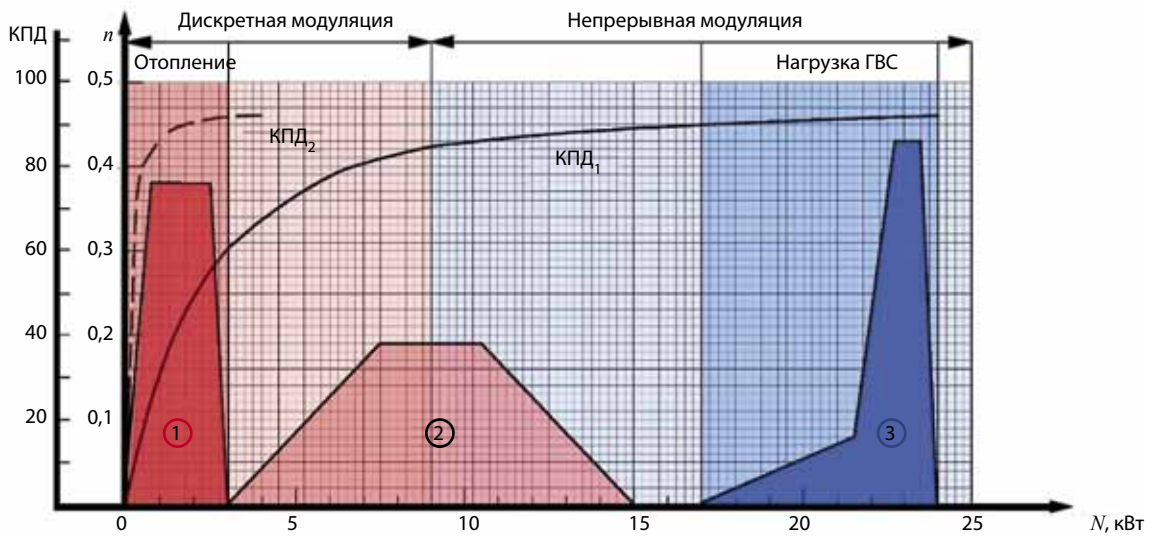


Рис. 3. Диапазоны изменения тепловых нагрузок автономных систем теплоснабжения.
 1 – апартаменты 50 м², 2 – дом 150 м², 3 – подготовка горячей вода для семьи из 4 человек
 Fig. 3. Ranges of variation of thermal loads of autonomous heat supply systems.
 1 – apartment of 50 m², 2 – house of 150 m², 3 – preparation of hot water for a family of 4 people

Таблица 2

Преимущества угольной системы отопления в сравнении с газовой
 Advantages of a coal-fired heating system in comparison with a gas one

Параметр	Преимущества угольной системы отопления
Стоимость топлива	Уголь обычно дешевле природного газа, особенно в регионах, где есть его залежи
Энергетическая независимость	Система на угле обеспечивает большую энергетическую независимость, поскольку не требуется подключение к газовой сети
Долговечность оборудования	Угольные котлы обычно имеют более высокую долговечность и устойчивость к механическим повреждениям
Безопасность	Отсутствие риска взрыва, что свойственно газовым системам при неправильной эксплуатации
Работоспособность при аварийных ситуациях	Угольные системы могут продолжать работать даже при отключении электроэнергии
Универсальность топлива	Возможность использования разных типов угля в зависимости от доступности и стоимости
Независимость от тарифов	Отсутствие зависимости от изменения тарифов на газ, что обеспечивает предсказуемость затрат
Эффективность при низких температурах	Высокая эффективность работы даже при экстремально низких температурах

Дифференциальное уравнение теплопередачи:

$$\frac{dQ}{dt} = k \times A \times (T_1 - T_2),$$

где: dQ/dt – скорость изменения теплового потока; k – коэффициент теплопроводности материала; A – площадь поверхности отопления; T_1, T_2 – температуры с двух сторон поверхности.

Интегральное уравнение теплопередачи для оценки общего количества тепла, переданного за определенный промежуток времени:

$$Q = \int (k \times A \times (T_1 - T_2)) dt,$$

интеграл берется по всему периоду нагрева.

Фурье-преобразование для анализа тепловых процессов, происходящих в системе отопления с периодическими колебаниями температур:

$$F(\omega) = \int f(t)e^{-i\omega t} dt,$$

где $f(t)$ – функция температуры от времени.

Уравнение Лапласа для расчета стационарного теплового поля в пространстве (без учета времени):

$$\nabla^2 T = 0,$$

где T – функция распределения температуры.

Уравнение теплопроводности для расчета нестационарного теплового поля (с учетом времени):

$$\rho c \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \nabla^2 T + Qv,$$

где: ρ – плотность материала; c – удельная теплоемкость материала; λ – коэффициент теплопроводности материала; Qv – мощность источников тепла в единице объема.

Анализ табл. 3 демонстрирует некоторые ключевые различия между угольной и газовой системами ото-

пления. Коэффициент теплопроводности у угольной системы выше, что может указывать на более высокую теплоотдачу, но также и на более высокие тепловые потери. Скорость изменения теплового потока также выше у угольной системы, что в сочетании с более высоким коэффициентом теплопроводности может обуславливать более быстрое нагревание помещения, но и более быстрое его охлаждение при прекращении подачи топлива. Плотность материала у угольной системы выше, что может свидетельствовать о большей массе установки, и, соответственно, о возможности более долгого сохранения тепла после прекращения сгорания топлива. Удельная теплоемкость материала у газовой системы выше, что указывает на более высокую энергоемкость процесса сгорания газа по сравнению с углем. Температурное поле в помещении для обеих систем показывает распределение температуры от максимального значения у источника тепла до минимального в самом холодном углу помещения. Для угольной системы отопления этот градиент температуры может быть более выраженным из-за вышеупомянутых особенностей теплопередачи [18].

Сравнение систем отопления на угле и газе может быть продемонстрировано на конкретных цифрах. Допустим, у нас есть дом площадью 100 кв. м, требуемая мощность для отопления которого составляет примерно 10 кВт. Стоимость установки газовой системы составит около 600000-750000 руб., а угольной – от 750000 до 900000 руб. Операционные затраты для газовой системы могут быть примерно 45-60 руб./куб. м, а для угольной системы – 2000-4500 руб./т. Предполагая, что за сезон потребуется около 1200 куб. м газа и 4 т угля, годовые затраты на газ будут около 54000-72000 руб., а на уголь – 8000-18000 руб. При этом, с точки зрения экологии, газовые системы существенно выигрывают, производя примерно 200 кг CO₂ на MWh, в то время как угольные системы генерируют до 1000 кг CO₂ на MWh. Это в пять раз больше и делает уголь значительно менее экологически приемлемым.

В регионах России, где отсутствует доступ к централизованным газовым сетям, угольные системы отопления являются одной из наиболее предпочтительных альтернатив. Это особенно актуально для отдаленных и труднодоступных территорий, таких как Чукотка, Якутия, Камчатка

и некоторые районы Сибири. В качестве примера рассмотрим типовую жилую деревню в Якутии с населением около 1000 человек. Допустим, в каждом доме используется угольный котел мощностью около 10 кВт. При средней стоимости угля в районе 4500 руб./т и с учетом потребности в 4-5 т угля на сезон для каждого дома годовые затраты на отопление одного дома будут составлять около 18000 – 22500 руб. [19].

Рассмотрим экономический анализ сравнения на примере автономной системы теплоснабжения для дома площадью 150 кв. м, расположенного в климатических условиях средней полосы:

1. Стоимость установки: настенный конвекционный котел – 80000 руб.; настенный конденсационный котел – 100000 руб.

2. Энергетическая эффективность: КПД конвекционного котла – 85%; КПД конденсационного котла – 95%.

3. Расход топлива: расход газа конвекционного котла – 6 куб. м/ч; расход газа конденсационного котла – 4,5 куб. м/ч.

4. Эмиссия продуктов горения: эмиссия CO₂ конвекционного котла – 200 г/кВт·ч; эмиссия CO₂ конденсационного котла – 150 г/кВт·ч.

Теперь рассчитаем экономические показатели на примере годового использования системы.

1. Годовые затраты на топливо:
– конвекционный котел – 6 куб. м/ч × 24 ч × 365 дней × 6 руб./куб. м = 31536 руб;
– конденсационный котел – 4,5 куб. м/ч × 24 ч × 365 дней × 6 руб./куб. м = 23652 руб.

2. Экономия на топливе: экономия = затраты на топливо конвекционного котла – затраты на топливо конденсационного котла. Экономия = 31536 – 23652 = 7884 (руб.).

3. Годовые затраты на эксплуатацию: конвекционный котел – 8000 руб. (предположим); конденсационный котел – 6000 руб. (предположим).

4. Экономия на эксплуатации: экономия = затраты на эксплуатацию конвекционного котла – затраты на эксплуатацию конденсационного котла. Экономия = 8000 – 6000 = 2000 (руб.).

5. Годовая экономия на энергии: годовая экономия = экономия на топливе + экономия на эксплуатации. Годовая экономия = 7884 + 2000 = 9884 (руб.).

Таблица 3

Расчеты для угольной и газовой системы

Calculations for coal and gas systems

Параметр	Угольная система	Газовая система
Коэффициент теплопроводности, k (Вт/м·°C)	0,05	0,04
Площадь поверхности отопления, A (кв.м)	100	100
Температура внутри помещения, T_1 (°C)	22	20
Температура снаружи помещения, T_2 (°C)	-20	-20
Скорость изменения теплового потока, dQ/dt (Вт)	210 000	240 000
Общее количество тепла, Q (Дж)	2,52e+9	2,88e+9
Плотность материала, ρ (кг/куб. м)	1300	1000
Удельная теплоемкость материала, c (Дж/кг·°C)	840	1000
Коэффициент теплопроводности материала, λ (Вт/м·°C)	0,15	0,2
Мощность источников тепла в единице объема, Q_v (Вт/куб.м)	0,0015	0,002
Температурное поле в помещении, T (°C)	22-18	20-17

6. Время окупаемости дополнительных затрат на конденсационный котел: время окупаемости = стоимость конденсационного котла / годовая экономия. Время окупаемости = 100000 руб. / 9884 руб./г \approx 10,11 лет.

Результаты экономического анализа представленных данных показывают, что замена настенных газовых котлов с конвекционной работой на конденсационные может привести к существенной экономии как на топливе, так и на эксплуатации. Годовые затраты на топливо для конденсационного котла составляют 23652 руб., в то время как для конвекционного котла – 31536 руб. Это означает, что использование конденсационного котла позволяет сэкономить примерно 7884 руб. в год на топливе. Следующий аспект – годовые затраты на эксплуатацию. Здесь также заметна экономия в пользу конденсационного котла.

В результате, несмотря на относительно высокую первоначальную стоимость установки и эксплуатационные затраты, угольные системы отопления остаются весьма популярными в таких регионах, где прокладка газопроводов была бы экономически нецелесообразной или технически невозможной.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Угольная система отопления обладает коэффициентом теплопроводности $k = 0,05$ Вт/м $^{\circ}$ С, который на 0,01 Вт/м $^{\circ}$ С превышает аналогичный показатель газовой системы. Это может указывать на более эффективное использование угля как топлива, но также может способствовать увеличению тепловых потерь. Скорость изменения теплового потока у угольной системы составляет 210000 Вт, что на 30000 Вт ниже, чем у газовой системы. Это говорит о более медленной реакции угольной системы на изменение температурных условий, что может быть актуально в условиях резких колебаний температуры окружающей среды. Плотность материала в угольной системе отопления составляет 1300 кг/куб. м, что на 300 кг/куб. м превышает аналогичный показатель газовой системы. Это может обуславливать более высокую массу угольной системы и способность к более длительному сохранению тепла. Удельная теплоемкость материала у газовой системы выше на 160 Дж/кг $^{\circ}$ С, что говорит о более высокой энергоемкости процесса сгорания газа по сравнению с углем. Температурное поле в помещении у угольной системы отопления распределено от 22 $^{\circ}$ С до 18 $^{\circ}$ С, в то время как для газовой системы эта разница составляет от 20 $^{\circ}$ С до 17 $^{\circ}$ С. Это свидетельствует о большем диапазоне температур при использовании угольной системы отопления. Каждая система имеет свои преимущества и недостатки. Угольные системы могут быть более эффективными в условиях нестабильного или отсутствующего газоснабжения, но имеют высокий уровень тепловых потерь.

Список литературы

1. The emission of carbon monoxide and nitrogen oxides from boilers supplied by a pellet under the influence of changes in the air-fuel equivalence ratio / B. Ciupek, W. Judt, R. Urbaniak et al. // J. Ecol. Eng. 2019. 20.
2. Particulate matter emission control from small residential boilers after biomass combustion. A review. Renew. Sustain / A. Jaworek, A.T. Sobczyk, A. Marchewicz et al. // Energy Rev. 2021. 137. 110446.
3. High-Energy Solid Fuel Obtained from Carbonized Rice Starch / B. Kurc, P. Lijewski, Ł. Rymaniak et al. // Energies 2020. 13. 4096.
4. Prediction Performance Analysis of Artificial Neural Network Model by Input Variable Combination for Residential Heating Loads / C. Lee, D.E. Jung, D. Lee et al. // Energies 2021. 14. 756.
5. The impacts of different heating systems on the environment: A review / M. Mahmoud, M. Ramadan, S. Naher et al. // Science of The Total Environment. 2021. Vol. 766. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2020.142625.
6. Toropov A.L. Issues of operating efficiency of convection wall gas boilers with apartment heat supply // Plumbing, Heating, Air Conditioning. 2021. № 6. P. 42-45. URL: <https://www.c-o-k.ru/articles/voprosy-effektivnosti-raboty-konvekcionnyh-nastennyh-gazovyh-kotlov-pri-pokvartirnom-teplosnabzhenii> (дата обращения: 15.09.2023).
7. Vignali G. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology // Journal of Cleaner Production. 2017. Vol. 142. P. 2493-2508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.025>.
8. Real-Time Autonomous Residential Demand Response Management Based on Twin Delayed Deep Deterministic Policy Gradient Learning / Y. Ye, D. Qiu, H. Wang // Energies. 2021. 14. 531.
9. Геотермальная энергетика России: Ресурсная база, электроэнергетика, теплоснабжение (обзор) / В.А. Бутузов, Г.В. Томаров, Г.Б. Алхасов // Теплоэнергетика. 2021. № 12. С. 1-15.
10. Змиева К.А. Проблемы энергоснабжения арктических регионов // Российская Арктика. 2020. № 8. С. 5-14. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-10086.
11. Информационный бюллетень АРВЭ. Рынок возобновляемой энергетики в России: текущий статус и перспективы развития. Июль. 2021. 43 с.
12. Карасевич В.А. Перспективы использования ВИЭ для нужд теплоснабжения в регионах РФ // СОК (Сантехника, отопление, кондиционирование). 2021. № 5. С. 56-58.
13. Михайлов В.Е., Смолкин Ю.В., Сухоруков Ю.Г. Основные направления повышения эффективности энергетического оборудования ТЭЦ // Теплоэнергетика. 2021. № 1. С. 63-68. DOI: 10.1134/S0040363620120048.
14. Нефедова Л.В. Адаптация энергокомплекса к изменениям климата в Арктике // Энергетическая политика. 2020. № 9. С. 92-103. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_9151_92.
15. Использование возобновляемых источников энергии в Арктике: роль государственно-частного партнерства / И.М. Потравный, Н.Н. Яшалова, Д.С. Бороухин и др. // Экономические и социальные перемены: факты, тенденции, прогноз. 2020. Т. 13. № 1. С. 144-159. DOI: 10.15838/esc.2020.1.67.8.
16. Путан А.А., Андреев О.П. Установка утилизации тепла с системой оттаивания // Международный технико-экономический журнал. 2020. № 2. С. 76-85. DOI: 10.34286/1995-4646-2020-71-2-76-85.
17. Ракитова О. Каким быть топливу будущего? Конгресс и выставка «Биомасса: топливо и энергия» // Леспром. Журнал профессионалов ЛПК. 2020. № 3.
18. Рябов В.А., Питун Д.С. Водогрейные котлы для сжигания древесных отходов // Новости теплоснабжения. 2020. № 2. С. 21-24.
19. Влияние освоения ресурсов Восточной Арктики на энерго- и топливоснабжение потребителей / Б. Санеев, И. Иванова, А. Ижбулдин и др. // Энергетическая политика. 2021. № 7. С. 86-95. DOI: 10.46920/2409-5516-2021-7161-86.

Original Paper

UDC 338.45:622.6/7 © L.M. Fomicheva, O.N. Pronskaya, M.V. Zaitseva, E.M. Kiseleva, V.V. Kurennaya, 2023
 ISSN 0041-5790 (Print) • ISSN 2412-8333 (Online) • Ugol' – Russian Coal Journal, 2023, № 10, pp. 59-65
 DOI: <http://dx.doi.org/10.18796/0041-5790-2023-10-59-65>

Title**ECONOMIC ESSENCE OF FUEL SELECTION AND COMPARISON OF OPERATION OF AUTONOMOUS LOW-POWER HEAT SUPPLY SYSTEMS****Authors**

Fomicheva L.M.¹, Pronskaya O.N.¹, Zaitseva M.V.², Kiseleva E.M.¹, Kurennaya V.V.¹

¹ Moscow Polytechnic University, Moscow, 107023, Russian Federation

² I.T. Trubilin Kuban State Agrarian University, Krasnodar, 350044, Russian Federation

Authors information

Fomicheva L.M., PhD (Economic), Associate Professor

Pronskaya O.N., Doctor of Economic Sciences, Associate Professor

Zaitseva M.V., PhD (Economic), Associate Professor,

Kiseleva E.M., PhD (Economic), Associate Professor

Kurennaya V.V., Doctor of Economic Sciences, Professor

Abstract

In the context of the search for efficient and environmentally acceptable methods of heat supply to various facilities, the analysis and comparison of gas and coal heating systems are of paramount importance. This research question is especially relevant for remote and northern regions of Russia, where gas supply may be limited or impossible. The purpose of this study is to compare gas and coal heating systems in terms of their economic, technical and environmental efficiency. The paper used data on the characteristics and operation of gas and coal heating systems, as well as methods of mathematical analysis and statistical processing to calculate the key parameters of the efficiency of these systems. The analysis showed that coal systems have a higher coefficient of thermal conductivity ($k = 0.05 \text{ W/m} \cdot ^\circ\text{C}$), a higher rate of change of heat flux (210,000 W), a high density of material (1300 kg/m^3) and a wider temperature field in the room (22°C to 18°C). While gas systems are characterized by a higher specific heat capacity of the material ($840 \text{ J/kg} \cdot ^\circ\text{C}$) and a more stable temperature field in the room (20°C to 17°C). The results of the study emphasize that the choice between gas and coal heating systems should be based on the specific conditions and needs of the facility, while both types of systems have their advantages and disadvantages.

Keywords

Energy efficiency, Gas emission, Condensing boiler, Convection boiler, Environmental sustainability.

References

- Ciupek B., Judt W., Urbaniak R. & Kłowskiak R. The emission of carbon monoxide and nitrogen oxides from boilers supplied by a pellet under the influence of changes in the air-fuel equivalence ratio. *J. Ecol. Eng.*, 2019, 20.
- Jaworek A., Sobczyk A.T., Marchewicz A., Krupa A. & Czech T. Particulate matter emission control from small residential boilers after biomass combustion. A review. *Renew. Sustain. Energy Rev.*, 2021, 137, 110446.
- Kurc B., Lijewski P., Rymaniak Ł., Fuć P., Pięłowska M., Urbaniak R. & Ciupek B. High-Energy Solid Fuel Obtained from Carbonized Rice Starch. *Energies*, 2020, 13, 4096.
- Lee C., Jung D.E., Lee D., Kim K.H. & Do S.L. Prediction Performance Analysis of Artificial Neural Network Model by Input Variable Combination for Residential Heating Loads. *Energies*, 2021, 14, 756.
- Mahmoud M., Ramadan M., Naher S., Pullen K. & Olabi A. The impacts of different heating systems on the environment: A review. *Science of The Total Environment*, 2021, (766). Available at: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142625> (accessed 15.09.2023).
- Toropov A.L. Issues of operating efficiency of convection wall gas boilers with apartment heat supply. *Plumbing, Heating, Air Conditioning*, 2021, (6), pp. 42-45. Available at: <https://www.c-o-k.ru/articles/voprosy-effektivnosti-raboty-konvekcionnyh-nastennyh-gazovyh-kotlov-pri-pokvartirnom-teplo-snabzhenii> (accessed 15.09.2023).

7. Vignali G. Environmental assessment of domestic boilers: A comparison of condensing and traditional technology using life cycle assessment methodology. *Journal of Cleaner Production*, 2017, (142), pp. 2493-2508. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.11.025>.

8. Ye Y., Qiu D., Wang H., Tang Y. & Strbac G. Real-Time Autonomous Residential Demand Response Management Based on Twin Delayed Deep Deterministic Policy Gradient Learning. *Energies*, 2021, 14, 531.

9. Butuzov V.A., Tomarov G.V., Alkhasov G.B. & Badavov G.B. Geothermal energy of Russia: Resource base, electric power, heat supply (review). *Teploenergetika*, 2021, 12, pp. 1-15. (In Russ.).

10. Zmieva K.A. Problems of energy supply of Arctic regions. *Russijskaya Arktika*, 2020, 8, pp. 5-14. DOI: 10.24411/2658-4255-2020-10086. (In Russ.).

11. ARVE Newsletter. Renewable Energy market in Russia: current status and development prospects, July 2021, 43 p. (In Russ.).

12. Karasevich V.A. Prospects of using RES for heat supply needs in the regions of the Russian Federation // SOC (Santekhnika, otoplenie, conditsionirovanie), 2021, (5), pp. 56-58. (In Russ.).

13. Mikhailov V.E., Smolkin Yu.V. & Sukhorukov Yu.G. The main directions of improving the efficiency of power equipment of CHP. *Teploenergetika*, 2021, (1), pp. 63-68. DOI: 10.1134/S0040363620120048. (In Russ.).

14. Nefedova L.V. Adaptation of the energy complex to climate change in the Arctic. *Energeticheskaya politika*, 2020, (9), pp. 92-103. DOI: 10.46920/2409-5516_2020_9151_92. (In Russ.).

15. Potravny I.M., Yashalova N.N., Boroukhin D.S. & Tolstoukhova M.P. The use of renewable energy sources in the Arctic: the role of public-private partnership. *Economicheskije i sotsialnye peremeny: fakty, tendentsii, prognoz*, 2020, Vol. 13, (1), pp. 144-159. DOI: 10.15838/esc.2020.1.67.8. (In Russ.).

16. Putan A.A. & Andreev O.P. Heat recovery unit with thawing system. *Mezhdunarodnyj Tekhniko-Ekonomicheskij Jyurnal*, 2020, 2, pp. 76-85. DOI: <https://doi.org/10.34286/1995-4646-2020-71-2-76-85>. (In Russ.).

17. Rakitova O. What should be the fuel of the future? Congress and exhibition "Biomass: fuel and energy". *Lesprom. Jurnal professionalov LPK*, 2020, (3). (In Russ.).

18. Ryabov V.A. & Pitun D.S. Hot water boilers for burning wood waste. *Novosti teplosnabzheniya*, 2020, (2), pp. 21-24. (In Russ.).

19. Saneev B., Ivanova I., Izhbuldin A. & Tuguzova T. The impact of the development of the resources of the Eastern Arctic on energy and fuel supply to consumers. *Energeticheskaya politika*, 2021, (7), pp. 86-95. DOI: 10.46920/2409-5516_2021_7161_86. (In Russ.).

For citation

Fomicheva L.M., Pronskaya O.N., Zaitseva M.V., Kiseleva E.M. & Kurennaya V.V. Economic essence of Fuel selection and comparison of operation of autonomous low-power heat supply systems. *Ugol'*, 2023, (10), pp. 59-65. (In Russ.). DOI: 10.18796/0041-5790-2023-10-59-65.

Paper info

Received September 3, 2023

Reviewed September 14, 2023

Accepted September 26, 2023