



CONSTRUCTION AND GEOTECHNICS

Т. 11, № 1, 2020

<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2020.1.08

УДК 696/697.97: (330)

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ГАЗОИСПОЛЬЗУЮЩИХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ ДЛЯ ИНДИВИДУАЛЬНОГО И ДЕЦЕНТРАЛИЗОВАННОГО ТЕПЛОСНАБЖЕНИЯ

Т.Н. Белоглазова, А.И. Елькина

Пермский национальный исследовательский политехнический университет, Пермь, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 20 ноября 2019
Принята: 25 января 2020
Опубликована: 27 марта 2020

Ключевые слова:

газоснабжение, теплогенератор, газовое топливо, коэффициент полезного действия, сжигание газа, газогорелочные устройства.

АННОТАЦИЯ

Современное оборудование для систем теплоснабжения бытовых потребителей, общественных зданий характеризуется значительным разнообразием конструктивного исполнения и эффективности. Теплогенераторы на газовом топливе обладают рядом преимуществ по сравнению с устройствами на других видах органического топлива. Основные преимущества газоиспользующих теплогенераторов заключаются в уменьшении выбросов в окружающую среду, увеличении коэффициента полезного действия. Для потребителей также важными аспектами являются экономическое уменьшение затрат на теплоснабжение, возможность управления и регулирования, высокая безопасность современных систем, использующих газовое топливо. Безопасность и высокая эффективность газоиспользующего оборудования зависят от ряда факторов. Во-первых, это использование газового топлива, соответствующего заданным параметрам. Во-вторых, это организация процесса подачи воздуха и удаления продуктов сгорания при сжигании. В-третьих, это процесс подачи газа с заданными параметрами, что определяется процессом функционирования газораспределительной сети. В статье рассмотрена работа газоиспользующего оборудования при различных температурах воздуха, поступающего для горения. В зависимости от установки оборудования температура воздуха на горение может значительно отличаться от температуры, при которой проводилось испытание теплогенераторов. Таким образом, коэффициент полезного действия будет отличаться от заявленного в паспорте при изменении температуры воздуха, поступающего на горение. В газоиспользующем оборудовании имеет место ряд потерь, связанных с химическим, механическим недожогом, потерями с уходящими газами. В работе проведен анализ всех потерь и определен коэффициент полезного действия газоиспользующего теплогенератора мощностью 60 кВт. В результате исследования для заданных условий определен годовой эффект при пересчете на объем газа.

© ПНИПУ

© **Белоглазова Татьяна Николаевна** – кандидат технических наук, доцент, e-mail: tabelglazova@yandex.ru, OrcidID: 0000-0002-8221-0938.

Елькина Анастасия Игоревна – студентка, e-mail: anastasyanelubina@yandex.ru.

Tatiana N. Beloglazova – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, e-mail: tabelglazova@yandex.ru, OrcidID: 0000-0002-8221-0938.

Anastasia I. El'kina – Student, e-mail: anastasya.nelubina@yandex.ru.

EFFICIENCY OF GAS-FIRED HEAT GENERATORS FOR INDIVIDUAL AND DECENTRALIZED HEATING SYSTEMS

T.N. Beloglazova, A.I. Elkina

Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 20 November 2019
Accepted: 25 January 2020
Published: 27 March 2020

Keywords:

gas supply, heat generator, gas fuel, efficiency, gas burning, gas burner devices.

ABSTRACT

Modern equipment for heating systems of residential consumers, public buildings is characterized by a significant variety of design and efficiency. Gas-fired heat generators have several advantages when compared with devices on other types of fossil fuels. The main advantages of gas heat equipment are to reduce emissions into the environment, increase the efficiency. For consumers, an important aspect is the economic reduction of heating costs, the ability to control and regulate, the high security of modern systems using gas fuel. The safe use and high efficiency of gas heating equipment depends on a number of factors. The first, it is the use of gas fuel corresponding to the specified parameters. Secondly, it is the organization of the process of supplying air and removing combustion products for burning. Thirdly, it is the process of supplying gas with specified parameters, which is determined by the process of functioning of the gas distribution network. The article describes the work of gas heat generators at different temperatures of the incoming combustion air. Depending on the installation of the equipment, the air temperature for combustion may differ significantly from the temperature at which the heat generators were tested. Thus, the efficiency will differ from that stated in the passport when the temperature of the air entering the combustion changes. In the gas heat generators, there are a number of losses associated with chemical, mechanical incomplete burning, losses with products of combustion. In the work, all losses were analyzed, and the efficiency of a gas heat generator of 60 kW power was determined. As a result of the study, the annual effect in terms of gas volume was determined for given conditions.

© PNRPU

Введение

Использование газового топлива в быту и промышленности является в условиях совершенствования систем теплоснабжения городов и населенных пунктов одним из ключевых направлений развития территорий. Объектом исследования являются теплогенераторы, работающие на газовом топливе. Использование газа в быту не только для хозяйственно-бытовых целей, но и для отопления связано с возрастающими запросами потребителей. Оборудование для отопления, использующее газовое топливо, различается по номинальной тепловой производительности, эффективности, стоимости, работает в разных климатических условиях. Целью данного исследования является определение влияния температуры воздуха, поступающего в процесс сжигания газового топлива в теплогенераторе, на коэффициент полезного действия (КПД) для условий Пермского края. Для реализации поставленной цели решены следующие задачи: рассмотрены теоретические основы сжигания газа, выбрана методика расчета КПД для теплогенератора; определены условия установки газовых теплогенераторов и факторы, которые оказывают влияние на КПД, проведен их анализ, произведена экономическая оценка изменения КПД при различной температуре воздуха, поступающего на сжигание газа, эквивалентно стоимости газового топлива.

Основная часть

Потребление газа жилыми и общественными зданиями на нужды теплоснабжения связано с тенденциями сокращения протяженности тепловых сетей и уменьшения потерь при транспортировке тепловой энергии. Все больше потребителей заинтересовано

в установке оборудования для теплоснабжения в границах объекта. Это связано со стремлением уменьшить затраты на теплоснабжение, появлением большого разнообразия теплогенерирующего оборудования, технической возможности подключения абонентов к сетям газораспределения [1–3]. В условиях выбора между централизованным и децентрализованным теплоснабжением объектов имеют место как положительные, так и отрицательные тенденции. Комплексный и сбалансированный подход с учетом интересов потребителей, климатических условий и региональных особенностей развития систем теплогазоснабжения обеспечивает развитие инфраструктуры [4, 5]. Одним из значимых факторов является надежность систем газораспределения, к которым непосредственно подключается оборудование абонентов. Надежность работы сети газораспределения определяет стабильность и безопасность работы газоиспользующего оборудования [6]. Современное теплогенерирующее оборудование, работающее на газовом топливе, обеспечивает высокую эффективность сжигания топлива при низких значениях показателей выбросов в окружающую среду. Следовательно, допускается размещение газовых котельных на незначительном удалении от жилой зоны для обеспечения санитарно-гигиенических нормативов. Также возможно размещение котельных, работающих на газовом топливе, в зоне жилой застройки. Расчет санитарно-гигиенических параметров выбросов существенным образом зависит от установленной мощности газоиспользующего оборудования. Экономические затраты на оборудование котельных модульного типа соизмеримы со стоимостью подключения к существующим тепловым сетям, даже с учетом подключения к сетям газораспределения. Затраты при эксплуатации уменьшаются, так как исключаются потери тепла по трассе теплопроводов. На территории со сложным рельефом не требуется дополнительная установка насосных станций для сетей теплоснабжения. Современная нормативная база также расширяет границы использования теплогенераторов на газовом топливе для индивидуальных и многоквартирных жилых домов. Экологические показатели современного газоиспользующего оборудования для коммунально-бытовых и отопительных нужд, которые отражаются в технической документации, характеризуют только номинальный режим работы. При отклонении от номинальных режимов имеют место следующие негативные факторы. В продуктах сгорания наблюдается повышение содержания вредных компонентов, являющихся продуктами неполного сгорания газообразного топлива. Сокращается срок службы газоиспользующих приборов, снижается коэффициент полезного действия [7–9]. При этом современная система газораспределения и эксплуатация газоиспользующего оборудования в рамках выполнения нормативных требований обеспечивает как безопасность, так и высокую эффективность использования газа в быту. Поэтому можно отметить, что при соблюдении требований эксплуатации и грамотно выполненных проектных работах по подбору оборудования и проектированию инженерных систем здания, таких как вентиляция и отопление, можно ожидать обеспечение экологически и технологически безопасных условий использования газа в быту.

Для теплоснабжения жилых и общественных зданий используются котельные централизованного теплоснабжения, индивидуальные котельные, поквартирные теплогенераторы. Выбор источника теплоснабжения определяется исходя из технических и экономических факторов [10–13]. Для котельных централизованного теплоснабжения производится расчет коэффициента полезного действия, так как эффективность работы является одним из важнейших показателей при определении и обосновании тарифа на

теплоснабжение. При установке теплогенератора для отдельных жилых домов и для поквартирного теплоснабжения применяются различные аппараты и оборудование: емкостные и проточные газовые водонагреватели, атмосферные котлы с инжекционными горелками, котлы (или теплогенераторы) с закрытой камерой сгорания. Для бытового газоиспользующего оборудования КПД определяется по данным паспорта. В зависимости от конструктивных особенностей КПД оборудования может существенно различаться. Также влияние оказывает режим работы оборудования: температура воды, давление газа перед прибором, температура уходящих газов [14–16]. Теплогенераторы имеют ограничение глубины регулирования. Обычно принимается для большинства устройств не ниже 40 % от номинальной тепловой производительности. Если режим работы теплогенератора регулируется расходом газа без изменения расхода воздуха, то процесс сжигания сопровождается уменьшением КПД, при отклонении от номинальных условий [17].

КПД газоиспользующего оборудования может определяться как прямым, так и обратным методом. В исследовании [18] отмечается, что обратный метод на основе расчета баланса дает более высокое значение КПД. При проектировании теплогенерирующих установок большой мощности обратный метод является приоритетным. Прямой метод определения КПД используется для режимно-наладочных испытаний. Точность прямого метода зависит от методики проведения испытаний, точности контрольно-измерительных приборов и программного обеспечения обработки результатов. Для индивидуальных частных домов, многоквартирных жилых домов выбор газоиспользующего оборудования для отопления и горячего водоснабжения осуществляется по требуемой производительности системы теплоснабжения и техническим данным оборудования. Для индивидуальных потребителей имеет место практика выбора газоиспользующего оборудования для теплоснабжения по укрупненным показателям. Поскольку балансовый расчет потерь для проектирования установок до 100 кВт в практических расчетах используется редко, в статье приведены результаты исследования для установки 60 кВт. На основе обратного метода определен КПД при изменении температуры воздуха, поступающего в теплогенератор для процесса горения.

При номинальной тепловой мощности теплогенератора КПД обуславливается следующими факторами. Во-первых, состав газового топлива определяет количество тепла, которое может быть произведено в результате работы оборудования. Состав газа горючего природного (ГПП), поступающего в сеть газораспределения, не является постоянным. Поэтому свойства ГПП в процессе эксплуатации изменяются в пределах, ограниченных государственным стандартом (ГОСТ 5542–2014. Газы горючие природные промышленного и коммунально-бытового назначения. Технические условия). Компонентный состав и плотность ГПП не нормируются, но определяются в обязательном порядке. Свойства газа важны при проектировании газораспределительных, газопотребляющих сетей, при аналитическом методе расчета технико-экономических показателей системы газоснабжения. Низшая теплота сгорания газа при стандартных условиях должна быть не менее 31,8 МДж/м³, область значений числа Воббе (W_{ob}) – от 41,2 до 54,5 МДж/м³. Газоиспользующее оборудование обеспечивает безопасную и надежную работу при соблюдении требований к качеству ГПП. В табл. 1 представлен компонентный состав ГПП для нормальных условий. Расчеты подтверждают, что газ рассмотренного состава соответствует нормативным требованиям.

Таблица 1

Состав и характеристики компонентов горючего газа

Table 1

Composition and characteristics of combustible gas components

Компонент газовой смеси	Процентное содержание горючих компонентов V_i , %	Низшая теплота сгорания сухого газа Q_n^c , кДж/м ³	Плотность сухого газа ρ , кг/м ³	Коэффициент кинематической вязкости $V_i \cdot 10^{-6}$, м ² /с
CH ₄ (метан)	98,5	35760	0,7168	14,71
C ₂ H ₆ (этан)	0,2	63650	1,356	6,45
C ₃ H ₈ (пропан)	0,05	91140	2,003	3,82
C ₄ H ₁₀ (бутан)	0,012	118530	2,7023	1,56
C ₅ H ₁₂ (пентан)	0,001	146180	3,221	1,8
CO ₂ (диоксид углерода)	0,5	–	1,977	7,1
N ₂ + редкие газы	0,7	–	1,251	13,55

В зависимости от состава определяется низшая теплота сгорания сухого газа при нормальных условиях, кДж/м³:

$$Q_n^c = 0,01 \cdot \sum (Q_{ni}^c \cdot v_i), \quad (1)$$

где Q_{ni}^c – низшая теплота сгорания компонента сухого газа при нормальных условиях, кДж/м³; v_i – процентное содержание горючих компонентов, %.

$$Q_n^c = 0,01(35\,760 \cdot 98,5 + 63\,650 \cdot 0,2 + 91\,140 \cdot 0,05 + 118\,530 \cdot 0,012 + 146\,180 \cdot 0,001) = 35\,412,2 \text{ кДж/м}^3 = 8458,06 \text{ ккал/м}^3.$$

Для рабочих условий низшая теплота сгорания газа определяется с учетом влагосодержания:

$$Q_n^p = Q_n^c \cdot k = 35\,412,2 \cdot 0,994 = 35\,199,7 \text{ кДж/м}^3 = 8407,31 \text{ ккал/м}^3,$$

где k – коэффициент, учитывающий влагосодержание газа; Q_n^p – низшая рабочая теплота сгорания ГГП при нормальных условиях, кДж/м³;

$$k = \frac{0,804}{0,804 + d} = \frac{0,804}{0,804 + 0,005} = 0,994,$$

где d – влагосодержание газа, кг/м³.

В теплогенераторах до 100 кВт находят применение газогорелочные устройства, работающие на естественной тяге (атмосферные горелки) и с принудительной тягой с помощью вентилятора. Газогорелочное устройство обеспечивает смешивание газа и воздуха, подачу газозвушной смеси в камеру сгорания и сжигание газа. Атмосферные горелки при установке оборудования в помещении предусматривают поступление внутреннего воздуха на горение. Поэтому температуру воздуха, поступающего на горение, можно считать равной температуре воздуха внутри помещения в течение отопительного периода. Требуется обеспечивать постоянный приток воздуха в помещение в объеме, необходимом для сжигания газа там, где установлено газоиспользующее оборудование. Для отапливае-

мых помещений требуется предусмотреть в воздушно-тепловом балансе помещения (или смежных помещений) затраты тепла на нагрев воздуха. При подаче воздуха с помощью вентилятора для теплогенераторов с закрытой камерой сгорания воздух, поступающий на горение, не сообщается с внутренним воздухом помещения. Поэтому в воздушно-тепловом балансе помещения объем воздуха для процесса горения не учитывается. При этом будет затрачиваться некоторое количество газа для нагрева газозвоздушной смеси до температуры самовоспламенения, при которой протекает реакция горения горючих компонентов газового топлива. Температура самовоспламенения зависит от однородности газозвоздушной смеси, давления, наличия в зоне реакции каталитических активных веществ. Для метана температура самовоспламенения принимается 650 °С. Продукты сгорания, нагревающие теплоноситель – воду, на выходе из оборудования принимаются на основе паспортных данных теплогенераторов. В рассмотренном примере температура уходящих из теплогенератора продуктов сгорания принята равной 170 °С. Как правило, котлы, оборудованные атмосферными горелками, имеют меньший КПД по сравнению с котлами, работающими на принудительной тяге (ГОСТ 20548–87. Котлы отопительные водогрейные теплопроизводительностью до 100 кВт. Общие технические условия (с Изменением N 1)). При этом практические исследования показывают, что при установке в условиях реального объекта КПД котлов с закрытой камерой сгорания на 7–10 % меньше указанных при номинальном режиме [17].

Теплогенераторы, работающие на естественной тяге, например с инжекционными горелками, предусматривают устройство системы удаления продуктов сгорания от каждого прибора в обособленный дымоход. Требования к системе дымоудаления изложены в СП 42-101–2003. Затраты на систему удаления продуктов сгорания зависят от ее конструктивного исполнения. Для атмосферных котлов стоимость каналов дымоудаления соизмерима со стоимостью теплогенератора, а при исполнении из нержавеющей стали может превышать, стоимость котла. Поэтому при выборе оборудования должны быть учтены затраты на сооружение системы отвода продуктов сгорания. При установке теплогенератора с принудительной тягой возможно использование коаксиального дымохода. (СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства). При данном техническом решении уменьшаются затраты на монтаж системы дымоудаления. Но при этом как в заветренной, так и в наветренной зоне продукты неполного сгорания газа могут проникать в зону открытых оконных проемов. Поэтому для индивидуальных потребителей (частных домов) с теплогенераторами на принудительной тяге, несмотря на тот факт, что нормы допускают не устраивать вертикальный канал удаления продуктов сгорания, выведенный на уровне кровли, данный дымоход рекомендуется. Система удаления продуктов сгорания, выведенная выше уровня кровли, обеспечивает нормы качества воздуха во всех режимах работы. При эксплуатации данный вариант должен учитывать затраты электроэнергии на работу вентилятора, предотвращение образования конденсата и обмерзания системы отвода продуктов сгорания.

Определение КПД производится на основе теплового баланса теплогенератора. Общее уравнение теплового баланса, ккал/м^3 , определяет все составляющие, которые учитываются при работе теплогенератора [19]:

$$Q_{\text{н}}^{\text{р}} = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5 + Q_6, \quad (2)$$

где Q_H^p – низшая рабочая теплота сгорания ГПП при нормальных условиях, ккал/м³; Q_1 – тепло, используемое на получение горячей воды, ккал/м³; Q_2 – потеря теплоты с уходящими газами из агрегата или установки, ккал/м³; Q_3 – потеря теплоты от химической неполноты сгорания топлива, ккал/м³; Q_4 – потеря теплоты от механической неполноты сгорания топлива, ккал/м³; Q_5 – потеря теплоты агрегатом в окружающую среду, ккал/м³; Q_6 – потеря теплоты с физической теплотой шлака, ккал/м³.

Для дальнейшего расчета выразим формулу (2) в процентах и определим КПД как разность между теплом, произведенным в процессе горения и потерями:

$$\text{КПД} = q_1 = 100 - (q_2 + q_3 + q_4 + q_5 + q_6). \quad (3)$$

Потеря тепла с уходящими газами определяется как разность энтальпии продуктов сгорания на выходе из теплогенератора и энтальпии воздуха на входе в теплогенератор, %:

$$q_2 = \frac{(J_{yx} - \alpha_{yx} \cdot J_{xb}^0) \cdot (100 - q_4)}{Q_H^p}, \quad (4)$$

где J_{yx} – энтальпия уходящих газов (формула (5)), ккал/м³; α_{yx} – коэффициент избытка воздуха, $\alpha_{yx} = 1,2$; J_{xb}^0 – энтальпия теоретически необходимого количества воздуха, поступающего на горение (формула (5)), ккал/м³.

Энтальпия продуктов сгорания на выходе из теплогенератора

$$J_{yx} = V_b^0 \cdot (c_b \cdot \theta_{yx}), \quad (5)$$

где θ_{yx} – температура уходящих газов, °С; принимаем по паспорту котла $\theta_{yx} = 170$ °С; c_b – удельная теплоемкость воздуха, $\frac{\text{ккал}}{\text{м}^3 \cdot \text{°С}}$; V_b^0 – теоретическое количество воздуха, необходимое для горения, м³/м³.

Теоретическое количество воздуха, необходимое для горения,

$$V_b^0 = \frac{Q_H^p}{3770} = \frac{35199,7}{3770} = 9,34 \text{ м}^3/\text{м}^3,$$

где Q_H^p – низшая теплота сгорания компонента сухого газа, кДж/м³.

Объем газа для теплогенератора, м³/ч, определяется по формуле

$$V_r = \frac{Q}{Q_H^p} = \frac{60 \cdot 3600}{35199,7} = 6,14,$$

где Q – теплопроизводительность котла, кВт (принимаем по паспорту котла 60 кВт).

$$J_{yx} = 9,34 \cdot 170 \cdot 0,24 = 381 \text{ ккал}/\text{м}^3.$$

Энтальпия продуктов сгорания на входе в теплогенератор, ккал/м³,

$$J_{xb}^0 = c_b \cdot t_{xb} \cdot V_b^0, \quad (6)$$

где t_{xb} – температура воздуха для процесса горения.

Потеря тепла от химической неполноты сгорания q_3 обусловлена суммарной теплотой сгорания продуктов неполного горения, остающихся в уходящих газах. При сжигании газообразного топлива $q_3 = 0,5\%$ по табл. № 20 [20]. Для газового топлива потеря тепла от механической неполноты сгорания принимается $q_4 = 0$. Потери тепла в окружающую среду для стационарных теплогенераторов принимаются по рис. 5–1 [20] и составляют $q_5 = 3,5\%$. Потеря тепла с физической теплотой шлака принимается $q_6 = 0$ [20].

Потери тепла с уходящими продуктами сгорания, в зависимости от температуры приточного воздуха для газа с теплотой сгорания $35\,199,7\text{ кДж/м}^3$, для котла мощностью 60 кВт приведены в табл. 2.

Таблица 2

Потери тепла с уходящими продуктами сгорания, коэффициент полезного действия для котла мощностью 60 кВт

Table 2

Heat loss with exhaust combustion products, efficiency for a 60 kW boiler

Температура воздуха для горения, °С	Энтальпия приточного воздуха $J_{\text{хв}}^0$, ккал/м ³	Потери тепла с уходящими газами q_2 , %	Потери тепла с уходящими газами, кДж/ч	Коэффициент полезного действия, %
20	44,83	3,89	8411,35	92,11
8	17,93	4,28	9241,14	91,72
–6	–13,45	4,72	10209,24	91,28
–20	–44,83	5,17	11177,33	90,83
–35	–78,46	5,65	12214,58	90,35

Таким образом, можно сделать вывод, что температура воздуха, поступающего на горение, оказывает влияние на КПД теплогенератора. При поступлении воздуха на горение в теплогенератор из отапливаемых помещений при +20 °С КПД увеличивается на 0,83 % по сравнению с поступлением воздуха с температурой –6 °С. Если рассмотреть отопительный период 250 сут при средней температуре –6 °С для теплогенератора 60 кВт, тогда количество газа, эквивалентное уменьшению КПД, составит 305 м³/год для рассмотренных условий.

Заключение

При выборе места установки теплогенератора для поквартирного теплоснабжения необходимо учитывать, что температура воздуха, поступающего на горение, влияет на КПД. При температуре воздуха в расчетный период –35 °С КПД уменьшается на 1,76 % по сравнению с поступлением воздуха с температурой +20 °С. При режимах эксплуатации, когда средняя температура отопительного периода не ниже –6 °С, уменьшение КПД не более 1 %.

Для теплогенераторов с открытой камерой сгорания организация воздухообмена в помещениях, при внутренней установке теплогенератора и поступлении воздуха для сжигания непосредственно из помещения, происходит заменой внутреннего воздуха и его тепло не теряется в атмосфере, а утилизируется при сжигании газа. Воздухообмен для приборов с открытой камерой сгорания рассчитывается на основе воздушно-теплого баланса по-

мещения. Поэтому при использовании данного типа теплогенераторов рекомендуется разработка типовых решений для помещений с указанием объема, высоты, естественной вентиляции, кратности воздухообмена, требований к отводу продуктов сгорания, в зависимости от тепловой производительности газоиспользующего оборудования.

Приборы с закрытой камерой сгорания благодаря ее герметичности характеризуются высокой безопасностью. Теплогенераторы с закрытой камерой могут утилизировать тепло продуктов сгорания и устанавливаться в зданиях более 5 этажей. При проектировании внутренних систем газораспределения и расхода газа рекомендуется принимать КПД теплогенераторов не выше 0,8–0,85 % при расчете эффективности и окупаемости.

Библиографический список

1. Белоглазова Т.Н., Романова Т.Н. Теплоснабжение малоэтажного многоквартирного жилого дома от газовой котельной для условий города Перми [Электронный ресурс] // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – № 1–1. – URL: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19712> (дата обращения: 10.07.2019).

2. Выбор эффективных систем газораспределения / Ю.А. Табунщиков, Д.В. Коптев, В.А. Жила, А.К. Ключко, Е.Б. Соловьева // Вестник МГСУ. – 2011. – № 8. – С. 222–229.

3. Беляев И.А. Оценка экономической целесообразности перехода на автономные источники тепла на территории Пермского края // Современные технологии в строительстве. Теория и практика: материалы XI Всерос. молодеж. конф. аспирантов, молодых ученых студентов (27–29 марта 2019). – Ч. 1. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та 2019. – С. 356–365. URL: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=&s=557> (дата обращения: 20.07.2019).

4. Темукуев Т.Б., Абитов А.М. Энергоэффективность и экономическая целесообразность внедрения поквартирных систем отопления // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. – 2010. – № 3 (35). – С. 100–107.

5. Горлов А.Н. Управление энергосбережением и энергоэффективностью в многоквартирных домах // Успехи современной науки и образования. – 2016. – № 2. – С. 15–18.

6. Филатова Е.Б., Пуринг С.М., Ватузова Д.Н. Анализ надежности систем децентрализованного теплоснабжения // Традиции и инновации в строительстве и архитектуре. – Самара: Изд-во Самар. гос. арх.-строит. ун-та, 2015. – С. 300–305.

7. Прошутинский А.О. Влияние величины давления газа на энергоэкологические показатели работы газового оборудования жилых зданий // Региональная архитектура и строительство. – 2016. – № 2 (27). – С. 133–136.

8. Романова Т.Н. Обеспечение безопасности при эксплуатации бытового газового оборудования // Строительство и техногенная безопасность. – 2018. – № 13 (65). – С. 113–120.

9. Миляев Ф.А., Дубанин В.Ю. Влияние коэффициента избытка воздуха и нагрузки котельных установок на их экономичность [Электронный ресурс] // Энергетика и энергосбережение: теория и практика: материалы Всерос. науч.-практ. конф. – 2017. – С. 149. URL: https://elibrary_32338974_32312905.pdf. (дата обращения: 10.12.2019).

10. Сафин Т.Р., Конахина И.А., Хамидуллина Г.Р. Перспективные методы повышения эффективности котельных установок централизованного, децентрализованного и индивидуального теплоснабжения // Инновационные машиностроительные технологии, оборудо-

вание и материалы – 2018: материалы 9-й Междунар. науч.-техн. конф. – Казань, 2018. – URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32674595> (дата обращения: 22.07.2019).

11. Ковальчук Д.А., Мазур А.В., Груздь С.С. Оценка энергетической эффективности газового конденсационного водогрейного котла как объекта управления // Научные труды Одесской национальной академии пищевых технологий. – 2016. – Т. 80, № 2. – С. 95–99.

12. Moller B., Lund H. Conversion of individual natural gas to district heating: Geographical studies of supply costs and consequences for the Danish energy system // Department of Developing and Planning, Aalborg University, Fibigerstræde 13, DK 9220 Aalborg Ø, Denmark. – URL: <https://www.academia.edu/5071100> (дата обращения: 08.11.2019).

13. Karaoglu C., Ozbek A. District heating and power generation based flue gas waste heat recovery // Cukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering Department, Adana, Turkey. – URL: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/315231> (дата обращения: 08.11.2019).

14. Курицын Б.Н., Медведева О.Н. Иванов А.А. Повышение эффективности использования газового топлива // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2009. – № 5 (2). – С. 284–286.

15. Глухов А.П. Влияние коэффициента избытка воздуха на потери тепла с уходящими газами [Электронный ресурс] // Энергосбережение. Энергетика. Энергоаудит. – 2013. – № 9 (115). – С. 12–15. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=21507820> (дата обращения: 20.07.2019).

16. A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions / M.C. Barma, R. Saidur, S.M.A. Rahman, A. Allouhi, B.A. Akash, M. Sadiq Sait // Department of Mechanical Engineering, University of Malaya, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia. – URL: https://scholar.google.com.tr/citations?user=M0mRc_4AAAAJ&hl=ru (дата обращения: 08.11.2019).

17. Хаванов П.А., Маркевич Ю.Г. Исследование эффективности термоблоков с «закрытой» топкой в поквартирных системах теплоснабжения // Вестник МГСУ. – 2012. – № 12. – С. 199–203.

18. Методы оценки эффективности функционирования газового водогрейного котла / А.Н. Стариков, Е.В. Карцева, И.Б. Брыль, А.А. Иринин // Образование и наука в современных условиях. – 2015. – № 4 (5). – С. 221–228.

19. Котельные установки: учеб. пособие для студентов неэнергетических специальностей вузов. – М.: Энергия, 1977. – 432 с.

20. Тепловой расчет котельных агрегатов (Нормативный метод) / под ред. Н.В. Кузнецова [и др.]. – М.: Энергия, 1973. – 295 с.

References

1. Beloglazova T.N., Romanova T.N. Teplosnabzhenie maloetazhnogo mnogokvartirnogo zhilogo doma ot gazovoj kotel'noj dlya uslovij goroda Permi [The heating supply system of low-rise apartment house from the gas boiler for the conditions of Perm city]. *Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya*, 2015, no 1-1, available at: <http://science-education.ru/ru/article/view?id=19712> (accessed 10 July 2019).

2. Tabunshhikov Ju.A., Koptev D.V., Zhila V.A., Klochko A.K., Solov'eva E.B. Vybor effektivnyh sistem gazoraspredeleniya [The choice of effective distribution systems]. *Vestnik MGSU*, 2011, no. 8, pp. 222-229.

3. Belyaev I.A. Ocenka ekonomicheskoy celesoobraznosti perekhoda na avtonomnye istochniki tepla na territorii Permskogo kraja. *Sovremennye tekhnologii v stroitel'stve. Teoriya i praktika. Materialy XI vserossijskoj molodezhnoj konferencii aspirantov, molodyh uchenyh studentov*, 27-29 March 2019, part 1, pp. 356-365, available at: <http://sbornikstf.pstu.ru/council/?n=&s=557> (accessed 10 July 2019).

4. Temukuev T.B., Abitov A.M. Energoeffektivnost' i ekonomicheskaya celesoobraznost' vnedreniya pokvartirnyh sistem otopleniya [Energy efficiency and economic feasibility of implementing apartment heating systems]. *Izvestiya Kabardino-Balkarskogo nauchnogo centra RAN*, 2010, no. 3(35), pp. 100 – 107.

5. Gorlov A.N. Upravlenie energosberezheniem i energoeffektivnost'yu v mnogokvartirnyh domah [Energy Saving and Energy Efficiency Management in Apartment Buildings]. *Uspekhi sovremennoj nauki i obrazovaniya*, 2016, no. 2, pp.15-18.

6. Filatova E.B., Puring S.M., Vatzova D.N. Analiz nadyozhnosti sistem decentralizovannogo teplosnabzheniya [Reliability analysis of decentralized heat supply systems]. *Tradicii i innovacii v stroitel'stve i arhitekture*. Samara, Samarskij gosudarstvennyj arhitekturno-stroitel'nyj universitet, 2015, pp. 300-305.

7. Proshutinsky A.O. Influence of gas pressure on the energy and environmental performance of gas equipment of residential buildings. *Regional'naya arhitektura i stroitel'stvo*, 2016, no. 2 (27), pp. 133-136.

8. Romanova T.N. Obespechenie bezopasnosti pri ekspluatatsii bytovogo gazovogo oborudovaniya [Security at operation of household gas equipment]. *Stroitel'stvo i tekhnogennaya bezopasnost'*, 2018, no. 13 (65), pp. 113-120.

9. Milyaev F.A., Dubanin V.YU. Vliyanie koefficienta izbytko vozduha i nagruzki kotel'nyh ustanovok na ih ekonomichnost' [The influence of the coefficient of excess air and the load of boiler plants on their efficiency]. *Energetika i energosberezhenie: teoriya i praktika Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii*, 2017, pp. 149.

10. Safin T.R., Konakhina I.A., Khamidullina G.R. Perspektivnye metody povysheniya effektivnosti kotelnykh ustanovok centralizovannogo, decentralizovannogo i individualnogo teplosnabzheniya [Promising methods for increasing the efficiency of central, decentralized and individual heat supply boiler plants]. *Materialy 9-oy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferencii «Innovacionnye mashinostroitelnye tekhnologii, oborudovanie i materialy»*, Kazan, 2018, available at: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32674595> (accessed 22 July 2019).

11. Koval'chuk D.A., Mazur A.V., Gruzd' S.S. Ocenka energeticheskoy effektivnosti gazovogo kondensacionnogo vodogrejnogo kotla kak ob"ekta upravleniya [Assessment of the energy efficiency of a gas condensing boiler as a control object]. *Nauchnye trudy Odesskoj nacional'noj akademii pishchevyh tekhnologij*, 2016, vol. 80, no 2, pp. 5-9.

12. Moller B., Lund H. Conversion of individual natural gas to district heating: Geographical studies of supply costs and consequences for the Danish energy system. *Department of Development and Planning, Aalborg University, Fibigerstræde 13, DK 9220 Aalborg Ø, Denmark*. available at: <https://www.academia.edu/5071100/> (accessed 8 November 2019).

13. Caglar Karaoglu, Arif Ozbek. District heating and power generation based flue gas waste heat recovery. *Cukurova University, Institute of Natural and Applied Sciences, Mechanical Engineering Department, Adana, Turkey*. available at: <https://dergipark.org.tr/tr/download/article-file/315231> (accessed 8 November 2019).

14. Kuritsyn B.N., Medvedeva O.N, Ivanova A.A Povyshenie effektivnosti ispol'zovaniya gazovogo topliva [Increase of efficiency of the gas fuel using]. *Izvestiya Samarskogo nauchnogo tsentra Rossiyskoy akademii nauk*, 2009, no. 5 (2), pp. 284–286.

15. Glukhov A.P. Vliyanie koeffitsenta izbytkha vozdukha na poteri tepla s ukhodyashchimi gazami [Influence of excess air factor on waste heat losses]. Orenburskiy gosudarstvennyy universitet, 2013, no. 9 (115), pp. 12–15.

16. Barma M.C., Saidur R., Rahman S.M.A., Allouhi A., Akash B.A., Sadiq M. Sait. A review on boilers energy use, energy savings, and emissions reductions. *Department of Mechanical Engineering, University of Malaya*, 50603 Kuala Lumpur, Malaysia, available at: https://scholar.google.com.tr/citations?user=M0mRc_4AAAAJ&hl=ru (accessed 8 November 2019).

17. Havanov P.A., Markevich Yu.G. Issledovanie effektivnosti termoblokov s “zakrytoj” topkoj v pokvartirnykh sistemah teplosnabzheniya [The study of efficiency of fired units with “closed” firebox in apartment heating systems]. *Vestnik MGSU*, 2012, no. 12, pp. 199-203.

18. Starikov A.N, Kartseva E.V., Bryl' I.B., Irinin A.A. Metody otsenka effektivnosti funktsionirovaniya gazovogo vodogreynogo kotla [Methods for evaluating the effectiveness of the gas boiler]. *Obrazovanie i nauka v sovremennykh usloviyakh*, 2015, no. 4 (5), pp. 221–228.

19. Roddatis K.F. Kotel'nye ustanovki [Boiler installations]. Moscow, Energiya, 1977, 432 p.

20. Teplovoy raschet kotel'nykh agregatov (Normativnyy metod) [Thermal calculation of boiler units]. Ed. N.V. Kuznetsov et al. Moscow, Energiya, 1973, 293 p.