



Вопросы эффективности работы конвекционных настенных газовых котлов при поквартирном теплоснабжении

В последние десятилетия растёт внимание к автономным и индивидуальным системам отопления. Это обусловлено рядом факторов, связанных с развитием индивидуального жилищного строительства в России, а также проблемами старения и низкой эффективности централизованных систем теплоснабжения многоквартирных домов. Начиная с 1998 года в нашей стране в качестве эксперимента стало применяться поквартирное теплоснабжение (ПТ), то есть индивидуальное обеспечение теплом систем отопления, вентиляции и горячего водоснабжения в каждой квартире многоэтажного многоквартирного жилого здания [1]. По оценкам специалистов, доля ПТ в ряде регионов при новом строительстве многоквартирных домов достигает 80 %, а общая доля среди всех видов теплоснабжения зданий у автономных и индивидуальных тепловых систем составляет 18 % [2].

Эффективному использованию теплогенераторов малой мощности для поквартирного теплоснабжения, в частности, настенным газовым котлам конденсационного типа с горелками полного предварительного смешивания и котлам конвекционного типа с атмосферными горелками, посвящены работы Ю. А. Табунщикова, П. А. Хаванова, А. С. Чуленева [3–5] и многих других авторов. В 2016 году вышел СП 282.1325800.2016 «Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства»,

в котором указаны технические требования к теплогенераторам, применяемым в поквартирном теплоснабжении.

Конденсационные настенные газовые котлы обладают большей эффективностью и низким уровнем выбросов парниковых газов, чем обычные конвекционные, однако именно последние занимают 98 % российского рынка котельного оборудования для автономных систем теплоснабжения малой мощности и практически 100 % рынка газовых котлов для поквартирного теплоснабжения.

Начиная с 1998 года в России в качестве эксперимента для отопления многоквартирных зданий стало применяться поквартирное теплоснабжение

Несмотря на то, что конструкция конвекционных газовых настенных котлов, с точки зрения их энергетической эффективности, принципиально практически не меняется уже около 40 лет, вопрос их работы, как элемента системы поквартирного теплоснабжения, изучен недостаточно. Вероятно, это обусловлено тем, что в Европе данные котлы не применяются для обеспечения поквартирного теплоснабжения, а в других странах существует ограничение общей площади здания (1000 м²), где можно использовать подобное оборудование.

Рецензия эксперта на статью получена 07.06.2021 [The expert review on the article received on June 7, 2021].

УДК 621.65. Научная специальность: 05.23.03.

Вопросы эффективности работы конвекционных настенных газовых котлов при поквартирном теплоснабжении

А. Л. Торопов, к.т.н., главный конструктор завода «Ардерия», изобретатель СССР, РФ

В статье рассмотрены вопросы эффективности алгоритмов работы настенных газовых котлов в составе автономных систем поквартирного теплоснабжения. Представлены данные экспериментов по исследованию потерь тепловой энергии при работе котлов с избыточной мощностью в режиме частого включения и отключения теплового агрегата.

Ключевые слова: газовый котёл, поквартирное теплоснабжение, эффективность, конвекционный котёл.

UDC 621.65. Scientific specialty number: 05.23.03.

Issues of operating efficiency of convection wall gas boilers with apartment heat supply

A. L. Toropov, PhD, chief designer of the "Arderia" plant, inventor of the Union of Soviet Socialist Republics (USSR), inventor of the Russian Federation

In this article, the issues of efficiency of algorithms of wall gas boilers within the autonomous systems of apartment heating supply are considered. The data of experiments on the loss of thermal energy in the operation of boilers with excess power in the mode of frequent switching on and off the thermal unit are presented.

Key words: gas boiler, flat heat supply, efficiency, convection boiler.

Применение конвекционных котлов с атмосферной горелкой в системах поквартирного теплоснабжения имеет следующий ряд особенностей:

1. Квартиры в многоэтажных домах имеют площадь в основном 45–65 м² и редко до 100 м².
2. В многоквартирном доме квартиры (кроме угловых) имеют ограждающие конструкции, контактирующие с атмосферным воздухом только фронтальной частью. Теплопотери квартир составляют не более 3–4 кВт·ч даже при минимальных температурах окружающей среды.
3. Большая инерционность ограждающих конструкций исключает целесообразность учёта суточных колебаний температуры окружающей среды.
4. Практически в 99,5% всех случаев в качестве отопительных приборов используются высокотемпературные приборы отопления (радиаторы и конвекторы).
5. В качестве теплогенератора используются газовые настенные котлы с одним основным теплообменником, предназначенные как для отопления, так и для подготовки ГВС, или же котлы с битермическим теплообменником.
6. Все настенные газовые конвекционные газовые котлы имеют защиту от перегрева теплоносителя с ограничением 80 °С.
7. Система дымоудаления продуктов сгорания состоит из каналов подачи воздуха и каналов дымоотведения, причём аэродинамическое сопротивление указанных каналов не регламентируется нормативными документами и может изменяться в широком диапазоне.
8. Котлы данного типа оснащены вентилятором (дымососом) с электрическим асинхронным мотором и ротором с постоянной скоростью вращения.
9. Алгоритмы работы котла определены настройками режимов работы на заводах-изготовителях данной техники.
10. Атмосферная горелка для котлов данного типа работает в режиме изменения мощности только в диапазоне выше 40% от максимальной тепловой мощности. То есть при максимальной мощности 24 кВт минимальная мощность котла составляет не менее 9,6 кВт.

В связи с перечисленными выше факторами, работа настенного газового котла конвекционного типа, который спроектирован для постоянной работы в режиме модуляции мощности при работе на отопление, на самом деле происходит в режиме, который связан с переизбытком мощности, и при котором происходит частое включение и выключение котла на минимальной мощности. Такой режим называют «тактованием».



Это обусловлено тем, что в осенне-весенний период времени теплотери квартир составляют не более 1,5–2,5 кВт·ч, что значительно ниже минимальной мощности газового конвекционного котла. Таким образом, данный режим работы вреден для конвекционного котла, и любые поломки, которые могут возникнуть в течение срока службы теплогенератора, уже не относятся к гарантийным, поскольку заводские настройки котла выполнены совсем для другой тепловой нагрузки.

При «тактовании» котла происходит в том числе и избыточная наработка циклов включения-выключения теплогенератора. Согласно [6], настенные газовые котлы должны выдерживать 250 тыс. таких циклов, что определяет период жизни котла, декларируемый заводом-изготовителем. Другим важным показателем является гарантийный срок работы. Однако все эти показатели соответствуют в основном работе котла в номинальном режиме (регулирование мощности в диапазоне 40–100%). При установке конвекционного котла в квартире площадью 50 м² в осенне-весенний период количество тактов включения-выключения в режиме «отопление» составит до 20 в час или 480 в сутки (около 15 тыс. в месяц).

Нормативный срок эксплуатации котла, заявляемый производителями, составляет в среднем десять лет, однако при постоянной работе в режиме тактования он может снизиться до трёх-четырёх лет, поскольку за этот период вырабатывается весь ресурс по количеству включений агрегата.

Очевидно, что эффективность работы котла и всей автономной системы теплоснабжения напрямую влияет на эксплуатационные затраты, поскольку она определяет объём потреблённого газа.

График реальных значений КПД настенных газовых котлов, с закрытой камерой сгорания и атмосферной многофакельной, микрофакельной горелкой с дымососом, с мотором асинхронного типа с постоянной скоростью вращения ротора (так устроены современные конвекционные газовые котлы практически всех производителей), представлен на рис. 1 [7].

Как было указано выше, применение настенных газовых котлов в поквартирном теплоснабжении имеет довольно широкий ряд особенностей. Алгоритм запуска в программе управления и параметры работы узлов котла «прошиваются» на заводе-изготовителе и подразумевают настройку: минимального и максимального давлений газовых клапанов в режиме модуляции при режиме «зима» (отопление и ГВС); настройку давления газового клапана в режиме розжига; давления газового клапана в режиме «лето» (только ГВС); гистерезиса температуры в отопительном контуре; продолжительности работы циркуляционного насоса после отключения горелки; порогов срабатывания датчиков давления воздуха в закрытой камере сгорания теплогенератора.

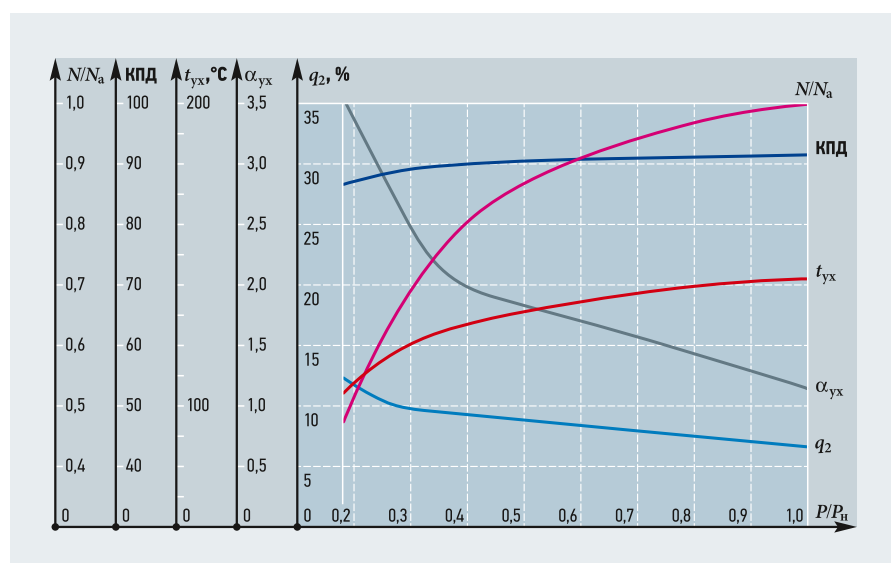


Рис. 1. Изменение теплотехнических характеристик работы теплогенератора в зависимости от относительного давления газа перед соплами атмосферной горелки (N/N_a — относительная мощность; КПД — коэффициент полезного действия; t_{yx} — температура уходящих газов, °С; α_{yx} — коэффициент избытка воздуха в уходящих газах; q_2 — потери теплоты с уходящими газами, %)

Также устанавливаются последовательность запуска котла, работа циркуляционного насоса, вентилятора дымохода, давление газа в момент розжига горелки и многие другие параметры.

В конвекционных котлах прописана продувка вентилятором каналов подачи воздуха и дымоудаления после выключения горелки. Это делается при работающем циркуляционном насосе. Продолжительность такой продувки у отопительных котлов Arderia, Navien, BAXI, Ariston, Bosch составляет по умолчанию 30 с. Кроме того, перед каждым пуском осуществляется семи- или восьмисекундная продувка. У котлов ряда известных брендов время выбега вентилятора после остановки горелки может составлять до 180 с. При этом атмосферный воздух забирается в закрытую камеру сгорания и продувается вентилятором в дымоход через теплообменник, по которому циркулирует теплоноситель отопительного контура. При каждом выключении в течение 30–40 с происходит охлаждение теплообменника, нагретого перед этим горелкой. Таких выключений в системе поквартирного отопления в межсезонье может быть до 15–20 в час. Следовательно, до восьми минут в час (13% времени работы котла) происходит охлаждение нагретых ранее первичных теплообменников котла холодным атмосферным воздухом.

Цель исследования

Цель исследования — определить влияние продолжительности режимов охлаждения при циклической работе настенных газовых котлов автономных систем теплоснабжения в многоквартирных домах на величину теплотеря котла. Оценить эффективность системы теплоснабжения с учётом эффекта цикличности работы отопительной системы с избыточной мощностью теплогенератора.

Материалы и методы исследования

Испытания проводились на исследовательском стенде завода «Ардерия» (Республика Адыгея, посёлок Энем). Объект исследования — серийно выпускаемый настенный газовый конвекционный котёл Arderia D24 с закрытой камерой сгорания, оснащённый рассекателем газов, с заявленной максимальной тепловой мощностью 24 кВт.

Котёл оснащён вентилятором итальянской компании Fime с электромотором асинхронного типа мощностью 32 Вт с ротором постоянной скорости вращения, дымоходом раздельного типа диаметром 80 мм и длиной 1 м, с подключением к стендовой системе удаления продуктов



:: Газовый конвекционный котёл Arderia D24

сгорания и подачи свежего воздуха диаметром 0,18 м и длиной 5 м. Теплообменник котла — одноканальный стандартный, серийно выпускаемый итальянской фирмой Valmex, материал канала теплообменника и пластин теплообмена — медь, вес теплообменника составляет 2,35 кг. Горелка котла — атмосферная, многофакельная, микрофакельная, серийно выпускаемая итальянской компанией Polidoro, с количеством форсунок — 11, газ — природный G20, рекомендуемый диапазон модуляции по давлению газа — 200–1200 Па, по тепловой мощности — 40–100%. Коэффициент модуляции тепловой мощности — 2,5 [8]. Объём теплоносителя в контуре отопления стенда равен 55 л. В качестве теплоносителя используется вода.

Настенный газовый котёл, применяемый в ПТ, работает с паузами, продолжительность которых превышает время его работы, особенно в межсезонье

Испытания проводились по три раза. Анализ данных осуществлялся по средним значениям исследуемых параметров. Замерялись температура теплоносителя перед котлом (обратная магистраль отопительного контура), температура теплоносителя после котла (напорная магистраль), расход теплоносителя, температура атмосферного воздуха, расход газа. Измерительный приборный комплекс — «Карат 307», класс 2. Обработка результатов выполнялась комплексом измерительных преобразователей.

Результаты исследования и их обсуждения

Учитывая, что горелки, теплообменники, вентиляторы, установленные на исследуемый котёл, алгоритмы включения и выключения котла, — все стандартные, выпускаются серийно и применяются при комплектации настенных котлов ведущих европейских брендов, полученные результаты при определении теплотеря в период работы вентилятора при выключе-

нной горелке можно с большой достоверностью распространить на все настенные котлы данного типа.

Необходимо различать показатели энергоэффективности работы настенного котла и системы отопления в целом.

В режиме избыточной мощности настенный газовый котёл, применяемый для поквартирного теплоснабжения, работает с паузами, продолжительность которых превышает время работы котла, особенно в межсезонье. В период этих пауз холодный атмосферный воздух охлаждает первичный теплообменник (и теплоноситель в нём) конвекционного настенного котла с закрытой камерой сгорания за счёт естественной тяги системы дымоудаления. В первые 30 с после каждой остановки котла теплотеря значительно выше, поскольку, согласно алгоритму работы котла, в это время функционирует принудительная вентиляция, которая также работает в течение семи секунд перед запуском работы горелочного устройства.

Интервал между остановкой работы горелки котла и последующим пуском составляет одну минуту.

Испытания проводились по следующему алгоритму. Первоначальная температура в контуре отопления составляет 18°C. При настройке работы котла в режиме «отопление» температура теплоносителя в напорной магистрали котла установлена на 80°C, гистерезис равен 5°C. При включении котла нагрев происходит по стандартному алгоритму нагрева для обычного, серийно выпускаемого котла. Испытания проводились в течение 15 минут. Далее каждые три минуты работа котла выполнялась по следующему алгоритму:

1. Отключение горелочного устройства, при этом происходит 30-секундная продувка штатным вентилятором котла с забором атмосферного воздуха с температурой +3°C в закрытую камеру котла.
2. Далее 30-секундная продувка закрытой камеры котла атмосферным воздухом указанной температуры при выключенном вентиляторе котла за счёт естественной вентиляции системы дымоудаления.
3. Включение горелочного устройства котла в режиме «отопление», при этом первые семь секунд после подачи команды на включение вентилятор работает без горения газообразного топлива.

На протяжении всего времени испытаний циркуляционный насос котла постоянно работает в режиме третьей скорости. Тепловая нагрузка испытательного стенда снимается постоянно. Продолжительность каждого цикла — три минуты, количество циклов — пять. Расход теплоносителя составил 1,065 м³/ч.

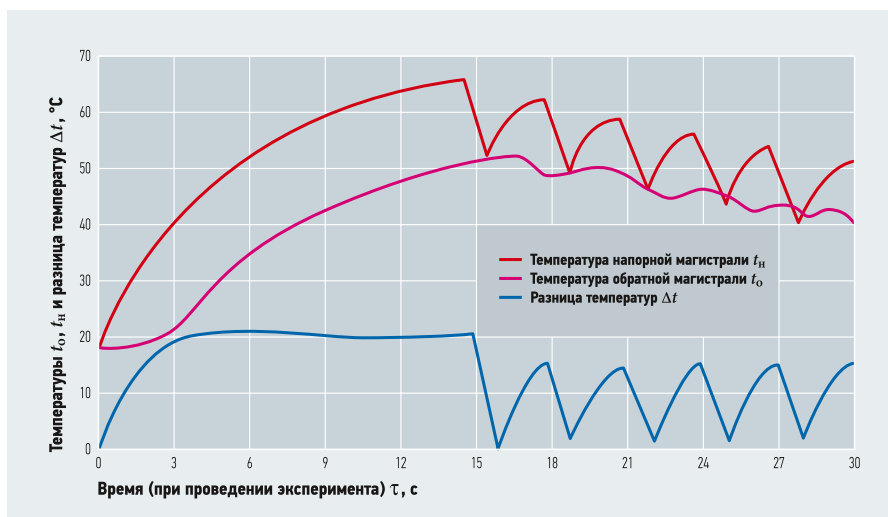


Рис. 2. Графики изменения температур напорной и обратной магистралей, а также разницы температур между напорной и обратной магистральями котла

Результаты испытаний представлены на рис. 2 в виде графиков изменения температур напорной и обратной магистралей и разницы температур между напорной и обратной магистральями котла. По результатам испытаний выявлено, что:

- перепад температур в напорной и обратной магистральях котла равен 19,8 °С;
- время выхода работы котла на установившийся режим составило 220 с (3:40);
- первичный медный теплообменник обладает тепловой инерцией (после отключения горелки нагрев обратной магистрали котла продолжается дольше первой паузы в его работе);
- при отключении горелки (при каждой её остановке) происходит обдувание холодным атмосферным воздухом первичного теплообменника, причём первые 30 с после отключения горелки и семь секунд после подачи команды на начало работы происходит интенсивное охлаждение под действием вентилятора котла (данные потери тепла являются невосполнимыми, поскольку выработанная котлом тепловая энергия выбрасывается в атмосферу);

□ величина невосполнимых потерь тепловой энергии зависит от количества тактов включения котла в час, от температуры атмосферного воздуха и составляет около 70 Вт при каждом цикле.

При количестве циклов тактования, равном 10–15 в час, суммарные невосполнимые потери при работе автономной системы отопления составляют до 1000 Вт. Учитывая, что в период весенне-осенних температур окружающей среды теплопотери рассматриваемых помещений составляют 1,5–2,0 кВт, то невосполнимые потери составляют до 50 % от величины полезной тепловой энергии.

При стоимости кубометра природного газа 5 руб. ежемесячные невосполнимые потери составляют около 350 руб., что соответствует сумме до 2000 руб. за отопительный сезон.

На рис. 3 представлены графики изменения КПД η и потерь теплоты q_2 с уходящими газами конвекционного настенного газового котла с закрытой камерой сгорания в зависимости от количества циклов «тактования» в час.

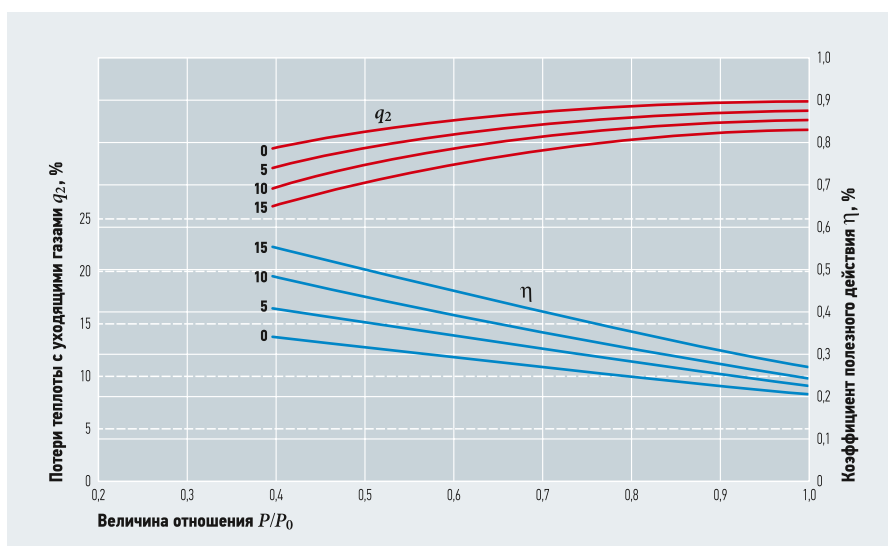


Рис. 3. Графики изменения коэффициента полезного действия и потерь теплоты системы с уходящими газами в зависимости от количества циклов включения-выключения в час

Выводы

1. При оценке эффективности работы автономных систем теплоснабжения (затрат на эксплуатацию) необходимо рассматривать эффективность алгоритмов управления работой теплогенератора.
2. Заводские настройки параметров и алгоритмов работы настенных газовых котлов определены для работы в режиме тепловых нагрузок, составляющих более 40 % от максимальных.
3. Режим работы настенных газовых котлов в системах поквартирного теплоснабжения не соответствует заводским установкам, что приводит к выходу теплоагрегата на постоянный режим тактования и требует его специальной настройки.
4. При использовании заводских настроек котёл с закрытой камерой сгорания работает в режиме тактования («старт-стоп») с длительным периодом работы вентилятора без работы горелочного устройства, что приводит к охлаждению теплоносителя контура отопления, потере энергии и лишним затратам за потреблённый газ. Величина потерь может составлять до 2000 руб. за отопительный сезон.
5. Следует различать эффективность работы газового котла в установившемся режиме и в случае постоянного циклического включения-выключения. Эффективность системы отопления в случаях использования котлов с избыточной мощностью для поквартирного отопления не соответствует существующим нормам проектирования тепловых систем и приводит к увеличенным выбросам парниковых газов, возникающих при горении природного газа.

1. СП 282.1325800.2016. Поквартирные системы теплоснабжения на базе индивидуальных газовых теплогенераторов. Правила проектирования и устройства. — М.: Стандартинформ, 2017.
2. Усадский Д.Г. Совершенствование схем автономных источников теплоты в системах отопления и горячего водоснабжения. Дисс. канд. техн. наук по спец. 05.23.03. — Волгоград: ВолГАСУ, 2012. 197 с.
3. Табунчиков Ю.А. Конденсационные котлы в автономном теплоснабжении // АВОК, 2016. №4. С. 26–31.
4. Хаванов П.А., Чуленев А.С. Принципиальные тепловые схемы автономных источников теплоснабжения с конденсационными котлами // АВОК, 2018. №1. С. 183–188.
5. Хаванов П.А. Атмосферные газовые горелки автономных теплогенераторов // АВОК, 2003. №1. С. 54–60.
6. ГОСТ 33009.1–2014 (EN 15502–1:2012). Котлы газовые центрального отопления. Ч. 1: Технические требования и методы испытаний. — М.: Стандартинформ, 2015.
7. Хаванов П.А., Харламова Н.А. Оценка теплотехнической эффективности применения настенных двухконтурных котлов в поквартирных системах теплоснабжения. Качество внутреннего воздуха и окружающей среды: Мат. XVIII Межд. науч. конф. (25–29 сентября 2020 года). — Волгоград: Изд-во ВолГМУ, 2020. С. 198–203.
8. Торопов А.Л. Исследование работы газовых клапанов конвекционных котлов малой мощности // АВОК, 2020. №3. С. 58–61.

References — see page 80.

Issues of operating efficiency of convection wall gas boilers with apartment heat supply. Pp. 42–45.

Alexey L. Toropov, PhD, chief designer of the “Arderia” plant, inventor of the Union of Soviet Socialist Republics (USSR), inventor of the Russian Federation

1. SP 282.1325800.2016. *Pokvartirnye sistemy teplosnabzheniya na baze individual'nykh gazovykh teplogeneratorov. Pravila proektirovaniya i ustrojstva* [The Code of Practice on Design and Construction of the Russian Federation (The Code of Practice) No. 282.1325800.2016. Apartment heating systems based on individual gas heat generators. Design rules and devices]. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment (“Standartinform” Publishers)]. 2017. [In Russian]
2. D.G. Usadskij. *Sovershenstvovanie shem avtonomnykh istochnikov teploty v sistemah otopeniya i gorjachego vodosnabzheniya* [Improvement of schemes of autonomous heat sources in heating and hot water supply systems]. *Diss. kand. tehn. nauk po spec. 05.23.03* [The dissertation of the candidate of technical sciences in specialty No. 05.23.03]. Volgograd. VolGASU [Volgograd State University of Architecture and Civil Engineering]. 2012. 197 p. [In Russian]
3. Ju.A. Tabunshhikov. *Kondensacionnye kotly v avtonomnom teplosnabzhenii* [Condensing boilers in autonomous heat supply]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. 2016. No. 4. Pp. 26–31. [In Russian]
4. P.A. Havanov, A.S. Chulenev. *Principal'nye teplovye shemy avtonomnykh istochnikov teplosnabzheniya s kondensacionnymi kotlami* [Basic thermal diagrams of autonomous heat supply sources with condensing boilers]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. 2018. No. 1. Pp. 183–188. [In Russian]
5. P.A. Havanov. *Atmosfernye gazovye gorelki avtonomnykh teplogeneratorov* [Atmospheric gas burners of autonomous heat generators]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. 2003. No. 1. Pp. 54–60. [In Russian]
6. GOST 33009.1–2014 (EN 15502–1:2012). *Kotly gazovye central'nogo otopeniya. Ch. 1: Tehnicheskie trebovaniya i metody ispytaniy* [Gas boilers for central heating. Part 1: Technical requirements and test methods]. Moscow. *Standartinform* [Russian Scientific-Technical Information Centre for Standardization, Metrology and Conformity Assessment (“Standartinform” Publishers)]. 2015. [In Russian]
7. P.A. Havanov, N.A. Harlamova. *Ocenka teplotekhnicheskoy jeffektivnosti primeneniya nastennykh dvukhkonturnykh kotlov v pokvartirnykh sistemah teplosnabzheniya* [Assessment of the thermal efficiency of the use of wall-mounted double-circuit boilers in apartment heating systems]. *Kachestvo vnutrennego vozduha i okruzhajushhej sredy: Mat. XVIII Mezhd. nauch. konf.* [Indoor air and environmental quality: Proc. of the XVIII International Scientific Conference. September 2020]. Volgograd. *Izd-vo VolGMU* [Publishing house of the Volgograd State Medical University]. 2020. Pp. 198–203. [In Russian]
8. A.L. Toropov. *Issledovanie raboty gazovykh klapanov konvekcionnykh kotlov maloj moshhnosti* [Research of work of gas valves of convection boilers of low power]. *AVOK* [Journal of the Russian Association of Engineers for Heating, Ventilation, Air-Conditioning, Heat Supply and Building Thermal Physics (AVOK)]. 2020. No. 3. Pp. 58–61. [In Russian]