

Гидравлическое сопротивление настенных газовых котлов и эффективность нагрева помещений

Рецензия эксперта на статью получена 14.03.2021 [The expert review on the article received on Mart 14, 2021].

Энергетическая эффективность систем отопления и горячего водоснабжения индивидуальных домохозяйств является одним из важнейших технических, социально-экономических и экологических показателей работы технических устройств. С одной стороны, это уровень ежемесячных затрат на эксплуатацию данных систем, что, безусловно, особо волнует потребителя, с другой — это уровень выбросов парниковых газов, влияющих на экологическую обстановку всей планеты. Настенные котлы конвекционного типа в настоящее время — наиболее применяемый вид теплогенераторов для индивидуального использования. Доля их применения в России составляет более 98 %. Конденсационные настенные котлы, составляющие около 2 % российского рынка, обладают большей энергетической эффективностью и лучшей экологичностью, но они пока не нашли широкого распространения по ряду причин, одна из которых — их более высокая стоимость.

Энергетическую эффективность работы настенных газовых котлов в целом нельзя рассматривать отдельно от инженерной системы отопления, в которой они установлены. Тепловая энергия, произведённая котлом, реализуется в отапливаемом помещении с помощью приборов отопления. В общем случае системы отопления и горячего водоснабжения должны обладать двумя типами устойчивости: гидравлической (способностью пропорционального изменения напорно-расходных характеристик циркуляционного контура) и тепловой (способностью пропорционального изменения теплоотдачи системы в зависимости от параметров работы теплогенератора).

Предмет и тема исследования

Предметом исследования данной работы является определение гидравлических сопротивлений настенных газовых конвекционных котлов и диапазона устойчивости работы всей тепловой системы.

Энергетическую эффективность работы настенных газовых котлов нельзя рассматривать отдельно от инженерной системы отопления в целом, в которой они установлены. Тепловая энергия, произведённая котлом, реализуется в отапливаемом помещении с помощью приборов отопления

Рассматриваются настенные котлы с битермическим и комбинированным теплообменниками, с внутренней обвязкой из медных и гофрированных нержавеющей труб.

Для оптимального, энергоэффективного подбора инженерного оборудования, входящего в состав циркуляционного контура системы отопления частного дома, использующей в качестве теплогенерирующей установки настенный газовый котёл, необходимо знать гидравлическое сопротивление последнего. Параметры циркуляционного контура должны обеспечивать способность системы доставлять необходимое количество выработанной тепловой энергии до тепловых приборов (радиаторов, конвекторов, а также системы «тёплый пол»).

Данные по гидравлическим сопротивлениям настенных газовых котлов очень редко предоставляются производителями. В лучшем случае в паспорте на устройство будут указаны максимальное гидравлическое сопротивление котла (например, 200 мбар) и остаточный напор насоса (например, 0,25 бар) [1]. Указанные данные не позволяют рассчитать гидравлическое сопротивление циркуляционного контура, поскольку неизвестно, при каких значениях расхода они получены.

Конструкция внутреннего контура котла состоит из теплообменника, трёхходового клапана, трубопроводов внутренней обвязки, элементов группы безопасности и других местных сопротивлений.

УДК 621.65. Научная специальность: 05.23.03.

Гидравлическое сопротивление настенных газовых котлов и эффективность нагрева помещений

А. Л. Торопов, к.т.н., профессор Российской академии естествознания (РАЕ), изобретатель СССР, рационализатор РФ, генеральный директор ООО «Инженерный Центр «Апрель» (г. Москва)

В статье определены значения гидравлических сопротивлений настенных конвекционных газовых котлов с атмосферной горелкой малой мощности для автономных систем отопления и горячего водоснабжения индивидуальных домохозяйств. Даны технические рекомендации, необходимые для проектирования, подбора оптимального оборудования и создания надёжных технических систем высокой энергетической эффективности.

Ключевые слова: настенный газовый котёл, гидравлическое сопротивление, эффективность, коэффициент эффективности, оптимизация.

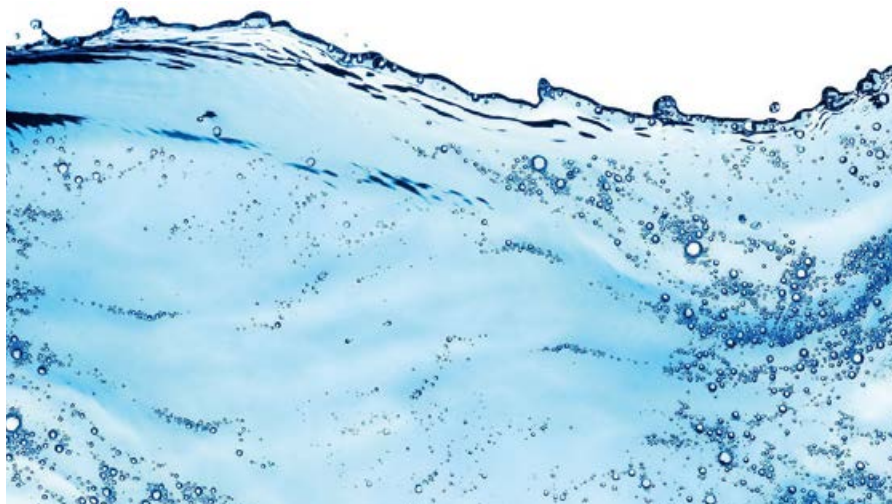
UDC 621.65. Scientific specialty number: 05.23.03.

Hydraulic resistance of wall-mounted gas boilers and heating efficiency

Alexey L. Toropov, PhD, Professor of Russian Academy of Natural History, Inventor of the USSR, Rationalizer of the Russian Federation, general director of the "April" Engineering Center", LLC (Moscow)

The article defines the values of hydraulic resistances of wall-mounted convection gas boilers with a low-power atmospheric burner for autonomous heating and hot water supply systems of individual households. Technical recommendations are given that are necessary for the design, selection of optimal equipment and creation of reliable technical systems of high energy efficiency.

Key words: wall-mounted gas boiler, hydraulic resistance, efficiency, efficiency coefficient, optimization.



Все эти элементы являются частью общего циркуляционного контура автономной системы отопления, по которому движется теплоноситель. В настенном газовом котле доля местных сопротивлений входящих в него элементов значительно превышает сопротивление теплообменника. Неправильный подбор параметров трубопроводов и оборудования теплового контура может привести к повышенным суммарным значениям гидравлических сопротивлений, что, в свою очередь, приведёт к замедлению скорости циркуляции теплоносителя и его закипанию. С точки зрения гидравлической и тепловой устойчивости, система отопления должна иметь возможность реализовать теплоотдачу отопительных приборов во всём диапазоне изменения мощности котла.

Без знания параметров гидравлического сопротивления котла, во всём диапазоне изменения расхода циркуляционного контура, создание энергоэффективной системы отопления и ГВС невозможно в принципе. Величина гидравлического сопротивления котла непосредственно влияет на долю тепловой энергии, доставленной циркуляционными насосами к отопительным приборам.

С точки зрения конструкции теплообменника и способа подготовки горячей воды, настенные конвекционные котлы делятся на битермические, в которых нагрев теплоносителя системы отопления и горячей воды происходит в одном теплообменнике, и комбинированные, в которых существует два отдельных теплообменника для отопления и для подготовки горячей воды.

Цель данной работы — определить значения графиков изменения гидравлического сопротивления типовых настенных конвекционных котлов в режиме отопления и оценить диапазоны гидравлической устойчивости работы автономных систем отопления, используемых для индивидуальных домовладений.

Материалы и методы исследования

Определение гидравлических сопротивлений настенных котлов проводилось на стенде, состоящем из открытого гидравлического контура, выполненного полипропиленовыми трубами диаметром 1". В контур был установлен изучаемый настенный газовый котёл, оснащённый теплообменниками с внутренним трубопроводом, выполненным в варианте №1 (гофрированными трубами из нержавеющей стали) и вариант №2 (медными трубами).

Без знания параметров гидравлического сопротивления котла, во всём диапазоне изменения расхода циркуляционного контура, создание энергоэффективной системы отопления и горячего водоснабжения невозможно. Величина гидравлического сопротивления котла самым непосредственным образом влияет на долю тепловой энергии, доставленной циркуляционными насосами к отопительным приборам

Исследовались битермические котлы со двоянным теплообменником отопления и ГВС и комбинированные котлы с раздельными теплообменниками отопления и ГВС с трёхходовым клапаном распределения потоков. Определялся перепад давления на участках входа и выхода трубопроводов котла на расстоянии 200 мм от входных и выходных патрубков. Движение теплоносителя обеспечивалось центробежным насосом с производительностью до 1,5 м³/ч. Изменение расхода осуществлялось механической задвижкой. Измерения давления проводились U-образным трубчатым водяным манометром. Расход теплоносителя замерялся ультразвуковым измерителем расхода с накладными датчиками Ultrasonic FlowMeter и дублировался счётчиком воды ОВСГ-25.

Для стабилизации расхода теплоносителя электропитание насоса осуществлялось через стабилизаторы электрического напряжения с сервоприводом.

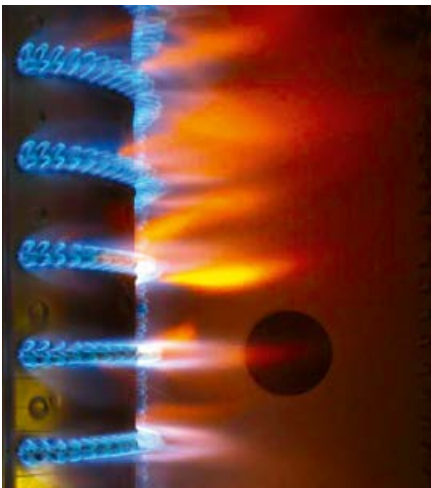
Испытания проводились по три раза. Результаты замеров усреднялись. Внутренняя обвязка котла в варианте гофрированных труб из нержавеющей стали выполнена с шагом гофры 4,9 мм, внешний диаметр — 20,3 мм, внутренний проходной диаметр — 16,6 мм, длина трубок — 420 мм. В варианте обвязки трубками из меди проходной диаметр составлял 14,3 мм, длина трубок — 420 мм. Испытания проведены для конвекционных котлов с атмосферной горелкой и закрытой камерой сгорания, расположение вентилятора — верхнее, битермические котлы — мощностью 18 и 24 кВт, котлы с раздельными теплообменниками — мощностью по отоплению 24 и 18 кВт. Конструкции котлов разной мощности, с точки зрения величины гидравлического сопротивления, отличаются между собой только размером первичного теплообменника.



Результаты исследований

На рис. 1 представлены усреднённые по трём испытаниям графики изменения гидравлического сопротивления настенных котлов битермического типа теплообменника в режиме «отопление». Внутренняя обвязка выполнена гофрированными трубами из нержавеющей стали. Котлы имеют мощность по отоплению 18 и 24 кВт. Значения гидравлического сопротивления указаны в метрах водного столба. Красным цветом указаны параметры котла 18 кВт, зелёным — 24 кВт мощности в режиме «отопление».

На рис. 2 представлены сравнения графиков гидравлических сопротивлений для котлов с отдельными теплообменниками с мощностью 18 и 24 кВт в режиме «отопление» для вариантов исполнения внутренней обвязки трубами из меди диаметром 5/8" и гофрированной нержавеющей трубой с внутренним проходным диаметром 16,6 мм и шагом гофры 4,9 мм.



Обсуждение результатов исследований

Конструкция настенных котлов конвекционного типа различных брендов и моделей аналогичны. Теплообменники имеют одинаковую схему, близкие размеры и диаметры труб, трёхходовые клапаны переключения потоков у них одинаковой конструкции. С достаточно высокой степенью достоверности результаты проведенных исследований можно распространить на разные модели котлов.

Согласно исследованиям [2], средний расход в индивидуальных системах отопления составляет 860 л/ч. При расходе 860 л/ч величина гидравлического сопротивления составит у котла мощностью 18 кВт — 0,7 м вод. ст., у котла мощностью 24 кВт — 1,05 м вод. ст. в варианте внутренней обвязки из гофрированной нержавеющей трубы для котлов с битермическим теплообменником.

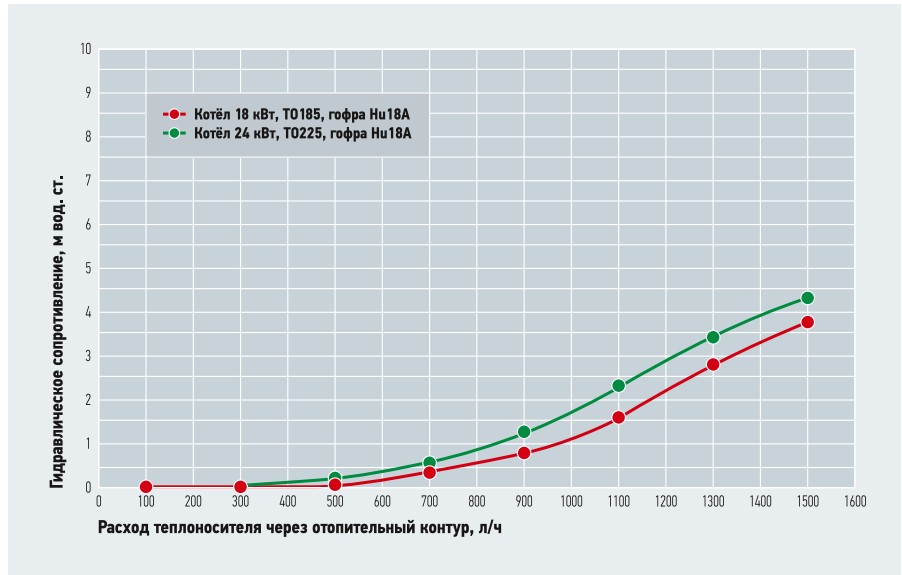


Рис. 1. График гидравлического сопротивления битермических котлов (18 и 24 кВт) в варианте выполнения внутренней обвязки гофрированными трубами

Важное значение имеют проходной диаметр и материал труб внутренней обвязки котла. В частности, при сравнении сопротивления котла с отдельными теплообменниками отопления и подготовки горячей воды определено, что при варианте внутренней обвязки, выполненной медными трубами диаметром 5/8", гидравлическое сопротивление котла при расходе 800 л/ч составляет 1,75 м вод. ст., а для варианта обвязки гофрированной трубой с проходным диаметром 16,6 мм сопротивление котла равно 2,1 м вод. ст. (рис. 2, кривые для котла 24 кВт).

Характерные графики напорно-расходных характеристик циркуляционных насосов настенных газовых котлов исследованы в работе [3], показатели эффективности их работы — в работе [4]. Согласно испытаниям, при расходе 800 л/ч циркуляционный насос с асинхронным мотором на третьей скорости вращения ротора создаёт напор 4,8 м вод. ст.

На рис. 3 представлена напорно-расходная характеристика циркуляционного насоса настенного котла и характеристика гидравлического сопротивления настенного котла в варианте с медными трубками внутренней обвязки. Зелёная линия — это гидравлическое сопротивление котла, красная — суммарное гидросопротивление циркуляционного контура, имеющего расчётную точку (пересечение напорно-расходной характеристики насоса и суммарного гидросопротивления) при расходе 1000 л/ч. Данный расход соответствует способности отопительных приборов передать выработанную тепловую мощность, равную 24 кВт, приборам отопления при величине падения температуры на них, равной $\Delta t = 20^\circ\text{C}$. Автономная система отопления обладает гидравлической устойчивостью, если суммарные характеристики гидравлического сопротивления контура циркуляции и котла попадают в голубую зону на рис. 3.

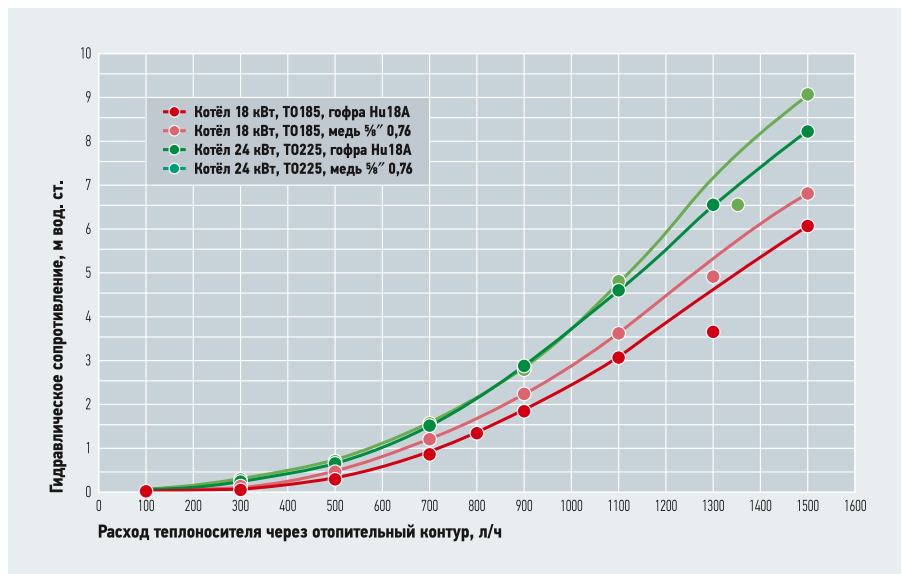


Рис. 2. Графики гидравлических сопротивлений котлов (18 и 24 кВт) с отдельными теплообменниками в режиме «отопление» для обвязки медными и гофрированными трубами

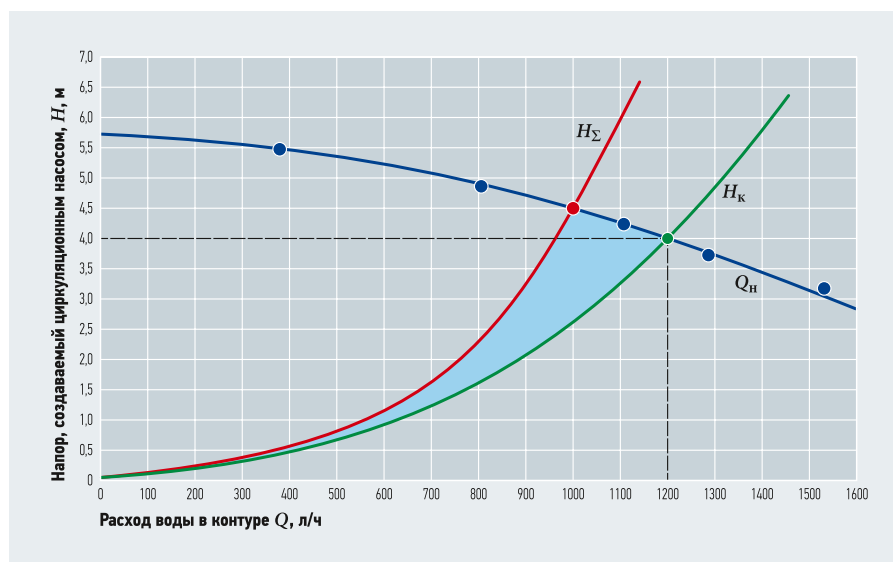


Рис. 3. Напорно-расходные характеристики насоса и гидравлические сопротивления циркуляционного контура автономной системы отопления

При потере напора на котле, равном 2,1 м вод. ст., на гидравлическое сопротивление всего остального контура циркуляции (с отопительными приборами, трубопроводами и запорной арматурой) останется 2,5 м вод. ст., что вполне достаточно для реальных систем отопления индивидуальных домов. В большинстве случаев гидравлическое сопротивление отопительного контура дома площадью около 200 м² не превышает 2 м вод. ст. при расходе до 1000 л/ч.

Напорно-расходные характеристики циркуляционного насоса с асинхронным электродвигателем с постоянной скоростью вращения ротора зависят от напряжения питающей электросети. Если напорно-расходные характеристики насоса считать не зависящими от данного напряжения, то учёт влияния нестабильности электропитания можно выполнить с помощью поправочного коэффициента гидравлических сопротивлений котла и циркуляционного контура, равного 1,2.

Необходимо также различать способность настенного котла вырабатывать тепловую мощность и способность отопительного контура реализовать теплоёмкость выработанной мощности тепловыми приборами контура отопления.

Если отопительные приборы будут недостаточной площади, и падение температуры на них составит менее $\Delta t = 20^\circ\text{C}$ (в варианте радиаторов отопления), то для реализации выработанной котлом тепловой мощности, равной 24 кВт, необходим расход циркуляции более 1000 л/ч. Увеличение скорости движения теплоносителя приведёт к повышению гидравлического сопротивления и котла, и циркуляционного контура. При значитель-

ном увеличении расхода контура встаёт вопрос о гидравлической устойчивости отопительной системы в целом, поскольку может нарушиться основной принцип проектирования данных систем — способности передать отопительным приборам всю выработанную теплоагрегатом тепловую мощность.

Учитывая это, считается целесообразным проверять гидравлическую устойчивость автономной отопительной системы индивидуального домохозяйства в целом с мощностью теплогенератора 24 кВт при расходе не менее 1100 л/ч. На рис. 3 показано, что при расходе, равном 1200 л/ч, кривая гидравлического сопротивления котла пересекает напорную характеристику циркуляционного насоса. В этом случае система циркуляции не способна передать тепловую мощность, выработанную тепловым агрегатом.

Представленное исследование значений гидравлических сопротивлений настенных газовых котлов показывает, что:

- гидравлическое сопротивление настенного котла составляет значительную долю от полного сопротивления всего циркуляционного отопительного контура;
- для оценки эффективности работы отопительной системы в целом необходимо делать расчёт её гидравлической и тепловой устойчивости во всём диапазоне изменения мощности теплогенерирующей установки.

В случае пренебрежения гидравлическим сопротивлением котла в расчёте систем отопления и при подборе оборудования, суммарное гидравлическое сопротивление котла и контура отопительных приборов будет значительно занижено, что приведёт к снижению расхода цирку-

ляции, перегреву котла и возникновению остановок в его работе. Как следствие, система отопления будет неспособна полностью реализовать тепловую мощность теплогенератора и доставить её до приборов отопления.

Область применения результатов исследования

Результаты исследования могут быть применены при расчётах автономных систем отопления и ГВС высокой энергетической эффективности, применяемых для индивидуальных домохозяйств.

Выводы

1. Гидравлическое сопротивление настенного газового котла составляет значительную часть от общего гидравлического сопротивления циркуляционного контура автономных замкнутых систем отопления. Исследования показали, что при расходе теплоносителя 860 л/ч у битермических котлов мощностью 24 кВт оно равно 1,05 м вод. ст., а для котлов с отдельными теплообменниками достигает 2,1 м вод. ст. При расходе 1000 л/ч значение гидравлического сопротивления возрастает до 1,75 м и 3–4 м вод. ст., соответственно.

2. При проектировании систем отопления с использованием настенных газовых котлов необходимо проводить расчёт тепловой устойчивости этих систем.

Неправильный подбор приборов отопления, терморегулирующей арматуры и трубопроводов может привести к неустойчивой работе теплоагрегата, что сопровождается возникновением посторонних звуков при работе котла (свистом, писком, стуком), увеличению расхода (стоимости) газа и повышению уровня выбросов парниковых газов.

При повышенном суммарном гидравлическом сопротивлении циркуляционного контура автономных систем отопления может возникнуть потеря способности системы передать энергию на максимальных нагрузках от теплогенератора к отопительным приборам. ●

1. Настенный газовый котёл модель CLAS B 24CF: Паспорт [Электр. текст]. Ariston Thermo Group. Режим доступа: ru.ariston-pro.com. Дата обращения: 10.04.2020.
2. Bidstrup N., van Elburg M., Lane K. Promotion of energy efficiency in circulation pumps especially in domestic heating systems: Study under SAVE II programme. June 2001.
3. Торопов А.Л. Комбинированные тепловые геосистемы. Ч. 3. Циркуляционные насосы для индивидуальных и децентрализованных систем отопления и горячего водоснабжения: Учебное пособие. — М.: Изд-во РАЕ, 2019. 54 с.
4. Торопов А.Л. К вопросу о энергоэффективности циркуляционных насосов для настенных конвекционных газовых котлов // Журнал СОК, 2020. №11. С. 32–34.

References — see page 78.

**Hydraulic resistance of wall-mounted gas boilers and heating efficiency.
Pp. 32–36.**

Alexey L. Toropov, PhD, Professor of Russian Academy of Natural History, Inventor of the USSR, Rationalizer of the Russian Federation, general director of the "April" Engineering Center", LLC (Moscow city)

1. *Nastennyj gazovyy kotel model' CLAS B 24CF: Pasport* [Wall mounted gas boiler model CLAS B 24CF: Product data sheet]. Ariston Thermo Group. Web-source: ru.ariston-pro.com. Access data: April 10, 2020. [In Russian]
2. N. Bidstrup, M. van Elburg, K. Lane. Promotion of energy efficiency in circulation pumps especially in domestic heating systems: Study under SAVE II programme. June 2001.
3. A.L. Toropov. *Kombinirovannye teplovyje geliosistemy. Ch. 3. Tsirkuljacionnye nasosy dlja individual'nyh i decentralizovannyh sistem otopenija i gorjachego vodosnabzhenija: Uchebnoe posobie* [Combined thermal solar systems. Part 3. Circulation pumps for individual and decentralized heating and hot water supply systems: A textbook]. Moscow. *Izd-vo RAE* [Publishing House of the Russian Academy of Natural History]. 2019. 54 p. [In Russian]
4. A.L. Toropov. *K voprosu o jenergojeffektivnosti cirkuljacionnyh nasosov dlja nastennyh konvekcionnyh gazovyh kotlov* [To the question of energy efficiency of circulation pumps for wallmounted convection gas boilers]. *Zhurnal Santehnika, otopenie, kondicionirovanie (SOK)* [Journal of Plumbing, Heating, Ventilation]. 2020. No. 11. Pp. 32–34. [In Russian]