

ЭНЕРГЕТИКА И ЭЛЕКТРОТЕХНИКА
ENERGY AND ELECTRICAL ENGINEERING

УДК 621.562

DOI: 10.21822/2073-6185-2022-49-2-18-23

Оригинальная статья /Original Paper

Калориметрический стенд для исследования процессов в холодильном агрегате

Ю.В. Кудров, Л.В. Сумзина, А.В. Максимов, С.Л. Филимонов

Российский государственный университет туризма и сервиса,
141221, Московская область, г.о. Пушкинский, дп. Черкизово, ул. Главная, 99, Россия

Резюме. Цель. Целью работы является разработка калориметрического стенда, позволяющего моделировать работу энергоэффективного двухиспарительного холодильного агрегата бытового холодильника или морозильника. **Метод.** В ходе работы описана калориметрическая установка, позволяющая проводить экспериментальные исследования по определению холодопроизводительности и энергоэффективности модернизированного холодильного агрегата бытового холодильника. **Результат.** В настоящее время разработаны новые ресурсосберегающие схемные решения бытовой холодильной техники. Разработанные решения позволяют повысить эффективность холодильного агрегата, а также снизить его энергопотребление. Проведены теоретические расчеты, подтверждающие данные показатели. Для подтверждения расчетных значений требуется проведение автоматизированных экспериментальных исследований по определению параметров холодильного агрегата. В работе предлагается описание автоматизированного калориметрического стенда, позволяющего моделировать работу энергоэффективного двухиспарительного холодильного агрегата бытового холодильника или морозильника. **Вывод.** Спроектированный калориметрический стенд позволит проводить комплексные экспериментальные исследования по определению холодопроизводительности модернизированного холодильного агрегата при работе на различных холодильных агентах. Экспериментальная установка позволяет также производить измерение температуры и давления в процессе работы холодильного агрегата, а также определять влияние различных факторов на его характеристики.

Ключевые слова: холодильный агрегат, калориметрический стенд, энергоэффективность, холодопроизводительность, теплообменник, двухкамерный холодильник, пароотделитель

Для цитирования: Ю.В. Кудров, Л.В. Сумзина, А.В. Максимов, С.Л. Филимонов. Калориметрический стенд для исследования процессов в холодильном агрегате. Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. 2022; 49(2):18-23. DOI:10.21822/2073-6185-2022-49-2-18-23

Calorimetric stand for research of processes in the refrigeration unit

Yu.V. Kudrov, L.V. Sumzina, A.V. Maksimov, S.L. Filimonov

Russian State University of Tourism and Service,
99 Glavnaya Str., Cherkizovo, Urban district Pushkinsky, Moscow region, 141221, Russia

Abstract. Objective. The aim of the work is to develop a calorimetric stand that allows simulating the operation of an energy-efficient two-evaporator refrigeration unit of a household refrigerator or freezer. **Method.** In the course of the work, a calorimetric setup is described that allows conducting experimental studies to determine the cooling capacity and energy efficiency of a modernized refrigeration unit of a household refrigerator. **Result.** Currently, new resource-saving circuit solutions for household refrigeration equipment have been developed. The developed solutions make it possible to increase the efficiency of the refrigeration unit, as well as to reduce its energy consumption. Theoretical calculations confirming these indicators have been carried out. To confirm the calculated values,

automated experimental studies are required to determine the parameters of the refrigeration unit. The paper proposes a description of an automated calorimetric stand that allows simulating the operation of an energy-efficient dual-evaporator refrigeration unit of a household refrigerator or freezer. **Conclusion.** The designed calorimetric stand will allow carrying out complex experimental studies to determine the cooling capacity of the modernized refrigeration unit when operating on various refrigerants. The experimental setup also makes it possible to measure the temperature and pressure during the operation of the refrigeration unit, as well as to determine the influence of various factors on its characteristics.

Keywords: refrigeration unit, calorimetric stand, energy efficiency, cooling capacity, heat exchanger, two-chamber refrigerator, steam separator

For citation: Yu.V. Kudrov, L.V. Sumzina, A.V. Maksimov, S.L.Filimonov. Calorimetric stand for research of processes in the refrigeration unit. Herald of the Daghestan State Technical University. Technical Science. 2022; 49 (2): 18-23. DOI: 10.21822 /2073-6185-2022-49-2-18-23

Введение. В настоящее время большое внимание уделяется энергоэффективным технологиям получения холода [1 – 8]. Многие производители современной бытовой холодильной техники не стремятся раскрыть свои технические инновации в данной сфере. Каждое предприятие, выпускающее холодильную технику, разрабатывает новые технические решения, для подтверждения эффективности которых, требуется проведение исследований. Кроме этого, несмотря на то, что сейчас большое внимание уделяется энергоэффективности и энергосбережению бытовых приборов, различные исследования, направленные на решение данных вопросов, остаются актуальными и в наше время [9 – 14]. В связи с этим требуется разработка новых экспериментальных средств исследования бытовых холодильников и морозильников.

Проведение исследований является трудоемким процессом, требует значительных затрат на изготовление опытных образцов. В этой связи автоматизация исследований с возможностью управления процессами в холодильном агрегате позволит значительно снизить материальные и временные затраты на создание новых энергоэффективных моделей [15 – 18].

Постановка задачи. В работах [6, 19] описывается схема энергоэффективного бытового холодильника, представленная на рис. 1.

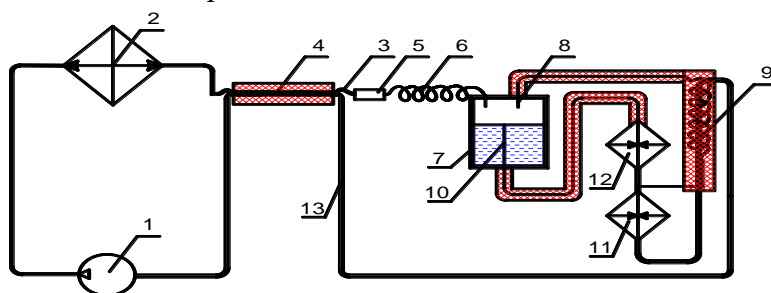


Рис.1. Схема холодильного агрегата [6, 19, 20]:

1- компрессор, 2 - конденсатор, 3 - трубопровод, 4 - первый теплообменник, 5 - фильтр-осушитель, 6 - первая капиллярная трубка, 7 - пароотделитель, 8 - капиллярная трубка холодильной камеры, 9 - пароотделитель, 10 - капиллярная трубка низкотемпературной камеры, 11- испаритель холодильной камеры, 12 - испаритель низкотемпературной камеры, 13 - всасывающий трубопровод

Fig.1. Scheme of the refrigeration unit [6, 19, 20]:

1- compressor, 2 - condenser, 3 - pipeline, 4 - first heat exchanger, 5 - filter-drier, 6 - first capillary tube, 7 - steam separator, 8 - capillary refrigerant tube, 9 - steam separator, 10 - low temperature capillary tube, 11 - refrigeration evaporator, 12 - low temperature evaporator, 13 - suction pipeline

Отличительной особенностью данной схемы является разделение потока хладагента в процессе дросселирования в пароотделителе 8, а также использование теплоизолированного теплообменника 4, образованного трубкой после выхода из конденсатора и участком всасыва-

ющей трубки. После процесса дросселирования в основной капиллярной трубке 6 происходит разделение потоков дополнительными капиллярными трубками 8 и 10 [19, 20].

При определении эффективности применения дополнительных теплообменников и пароотделителя в модернизированном холодильном агрегате, а также рассмотрении возможности повышения энергоэффективности и холодопроизводительности бытовых двухкамерных холодильников за счет совершенствования холодильного агрегата применялись теоретические методы исследования с использованием теории термодинамики и теплообмена [19].

Для подтверждения полученных результатов требуется проведение экспериментальных исследований, что в свою очередь требует разработки калориметрического стенда, позволяющего определять влияние дополнительных теплообменников и пароотделителя на общую энергоэффективность холодильного агрегата [6, 19, 20].

Методы исследования. В ходе работы описана калориметрическая установка, позволяющая проводить экспериментальные исследования по определению холодопроизводительности и энергоэффективности модернизированного холодильного агрегата бытового холодильника или морозильника. Данный калориметрический стенд позволит подтвердить теоретические исследования, проведенные с использованием теории термодинамики и теплообмена.

Обсуждение результатов. Разработан калориметрический стенд для исследования влияния дополнительных теплообменников и пароотделителя на общую энергоэффективность холодильного агрегата. Схема стенда модернизированного холодильного агрегата представлена на рис.2.

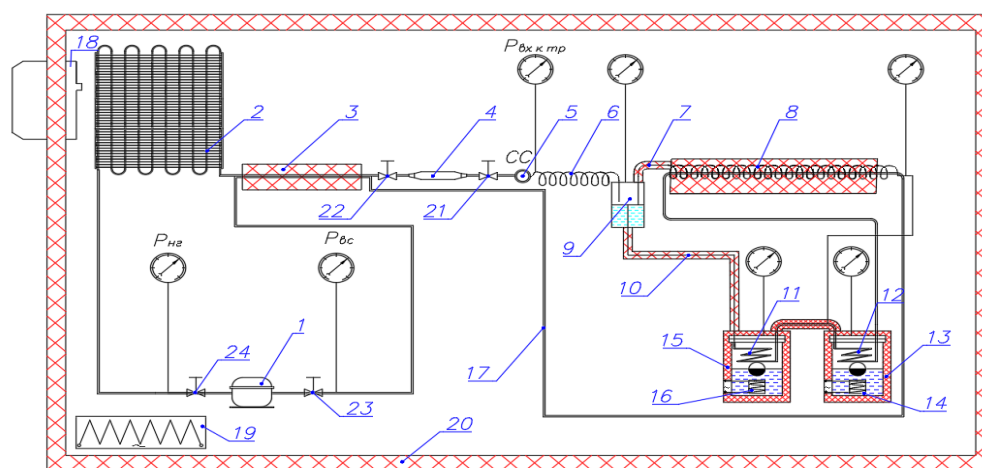


Рис.2. Схема стенда для определения холодопроизводительности модернизированного холодильного агрегата:

1 - компрессор, 2 - конденсатор, 3 - первый теплообменник, 4 - фильтр-осушитель, 5 - смотровое стекло, 6 - первая капиллярная трубка, 7 - вторая капиллярная трубка, 8 - второй теплообменник, 9 - пароотделитель, 10 - третья капиллярная трубка, 11 - испаритель низкотемпературной камеры, 12 - испаритель холодильной камеры, 13,15 - калориметры, 14,16 - нагреватели, 17 - всасывающий трубопровод, 18 - кондиционер, 19 - нагреватель, 20 - климатическая камера, 21-24 -запорные вентили

Fig.2. Scheme of the stand for determining the cooling capacity of the modernized refrigeration unit:

1 - compressor, 2 - condenser, 3 - first heat exchanger, 4 - filter-drier, 5 - sight glass, 6 - first capillary, 7 - second capillary, 8 - second heat exchanger, 9 - steam separator, 10 - third capillary, 11 - low-temperature evaporator, 12 - refrigeration evaporator, 13,15 - calorimeters, 14,16 - heaters, 17 - suction pipeline, 18 - air conditioner, 19 - heater, 20 - climatic chamber, 21-24 - stop valves

По данной схеме был спроектирован и собран калориметрический стенд, модель которого представлена на рис. 3.

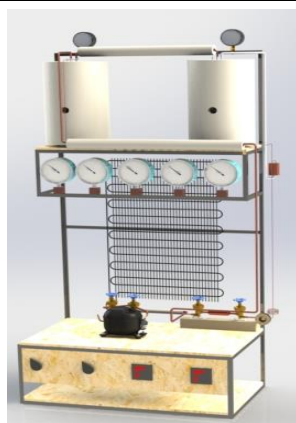


Рис.3. Модель calorиметрического стенда для определения холодопроизводительности энергоэффективного холодильного агрегата
Fig.3. Model of a calorimetric stand for determining the cooling capacity of an energy-efficient refrigeration unit

Представленный стенд (рис. 2 и 3) функционирует следующим образом: компрессор 1 нагнетает пары хладагента в конденсатор 2, где они охлаждаются и конденсируются при температуре и давлении конденсации.

После конденсатора трубопровод заключен в теплоизоляцию и образует совместно с всасывающим трубопроводом теплообменник 3, выход которого через фильтр-осушитель 4 и смотровое стекло 5 соединен с капиллярной трубкой 6. Капиллярная трубка 6 соединена с входом пароотделителя 9.

В связи с тем, что в процессе дросселирования в капиллярной трубке 6 часть хладагента переходит в паровую фазу, на вход в пароотделитель хладагент поступает в двух агрегатных состояниях.

Жидкий хладагент по теплоизолированной капиллярной трубке 10 направляется к испарителю 11, который располагается в калориметре 15. Парожидкостная смесь хладагента, через капиллярную трубку 7 направляется на вход в испаритель 12 калориметра 13. Нижняя часть калориметров заполнена вторичным холодильным агентом, в который погружены электрические нагреватели 14 и 16. Определение холодопроизводительности холодильного агрегата осуществляется по количеству тепла, подведенному для испарения жидкого хладагента в испарителе.

При испытании мощность нагревателей с помощью ЛАТРов регулируют таким образом, чтобы количество полученного холода было равно количеству подведенного тепла. В качестве вторичного холодильного агента в калориметрах используют фреон R-134a. По ходу движения газообразного хладагента применяется второй теплообменник 8, в котором происходит частичный переход газообразного хладагента в жидкое состояние. После кипения хладагента в испарителях 11 и 12 газообразный хладагент через теплообменники 8 и 3 направляется в компрессор 1, после чего цикл повторяется.

Для возможности быстрой замены компрессора и фильтра-осушителя используют запорные вентили 21 – 24 и специализированные герметичные муфты. Для исключения влияния окружающей среды и поддержания заданных значений температур окружающего воздуха, calorиметрический стенд помещают в климатическую камеру 20. Заданные значения температур внутри камеры поддерживаются с помощью кондиционера 18 и нагревателя 19. Давление фреона определяют с помощью датчиков избыточного давления ОВЕН ПД 100-ДИ, которые для надежности дублируются образцовыми манометрами класса 0,6; температуру фреона определяют термопреобразователями, а также ртутными термометрами с ценой деления 0,1°C; температуру окружающего воздуха – термопреобразователями и термометрами с ценой делений 0,5°C. Термометровые гильзы для ртутных термометров устанавливают так, чтобы поток жид-

кости набегал на конец гильзы и шел снизу вверх (в обратном случае поток иногда заполняет сечение трубы не полностью, что вызывает ошибки в измерениях).

Датчики давления и термопреобразователи подключают к универсальным восьмиканальным приборам ОВЕН ТРМ 138. С помощью автоматического преобразователя интерфейсов RS-232/RS-485 данные с датчиков поступают на компьютер.

Вывод. Спроектированный калориметрический стенд позволит проводить комплексные экспериментальные исследования по определению холодопроизводительности модернизированного холодильного агрегата при работе на различных холодильных агентах. Экспериментальная установка позволяет также производить измерение температуры и давления в процессе работы холодильного агрегата, а также определять влияние различных факторов на его характеристики.

Библиографический список:

1. Способ повышения энергоэффективности холодильников / Сучилин В.А., Максимов А.В., Сумзина Л.В., Бурцева Л.А.: пат. 2630813 С2 Рос. Федерация. №F25D 1/00 (2006.01); заявл. 30.10.2015; опубл. 04.05.2017, Бюл. №13; 7 с.
2. Анализ методов увеличения энергоэффективности компрессионных холодильников. Резников В.С., Романов П.В. Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2014. № 23. С. 143-146.
3. Оценка эффективности термодинамических циклов парокомпрессионных холодильных машин и тепловых насосов. Калнинь И.М., Фадеков К.Н. Холодильная техника. 2006. №3. С. 16-25.
4. Лемешко М.А. Технологии повышения энергетической эффективности бытовых холодильных приборов // Фундаментальные и прикладные исследования: проблемы и результаты. –2014. –№ 13. –С. 188-196.
5. Сумзина Л.В., Кочеткова Я.А., Аржанов П.А., Бурцев И.А., Литвиненко А.А. Влияние рекуперативного теплообмена на эффективность цикла холодильного агрегата // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 3, №2 (2016) <http://resources.today/PDF/07RRO216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.;
6. Сумзина Л.В., Максимов А.В., Кудров Ю.В., Кочетков А.С. Энергоэффективный холодильный агрегат для двухкамерных холодильников и морозильников бытового и промышленного назначения // Промышленный сервис. 2019. № 1 (70). С. 24-26.
7. Максимов А.В., Коляда В.В., Сиротенко Я.А. Зависимость показателей термодинамической эффективности цикла холодильного агрегата от температуры переохлаждения в теплообменнике // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т. 8. №2, С.60-64.
8. Сумзина Л.В. Повышение энергетической эффективности бытовых компрессионных холодильников с двухиспарительной системой охлаждения. Диссертация ... кандидата технических наук : 05.02.13. - Москва, 1994.
9. Demenev A., Naberezhnykh A. Research of the process of formation of noise in Household Refrigerators (2019) *Akustika*, 32, pp. 135-137.
10. Кудров Ю.В., Сиротенко Я.А., Сумзина Л.В. Экспериментальные установки для исследования процесса дросселирования в капиллярных трубках бытовых холодильников // В сборнике: Современные проблемы туризма и сервиса. Материалы Всероссийской научной конференции аспирантов и молодых ученых. 2013. С. 198-202.;
11. Сумзина Л.В., Максимов А.В., Кудров Ю.В. Сравнительный анализ циклов бытового холодильника на хладагентах R134A, R600A // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т. 8. № 2. С. 57-59.;
12. Сумзина Л.В., Максимов А.В. Анализ потерь эксергии в цикле компрессионного бытового холодильника // Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т. 8. № 1. С. 37-39.;
13. Максимов А.В., Кудров Ю.В., Равилов Ф.А., Бурцева Л.А. Особенности процесса дросселирования хладагента в капиллярных трубках // Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» Том 3, №2 (2016) <http://resources.today/PDF/01RRO216.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.;
14. Холодильный агрегат с теплообменником-докипателем / Максимов А.В., Сумзина Л.В., Кочеткова Я.А.: пат. 155867 Рос. Федерация. №F25D 11/00 (2006.01); заявл. 29.05.2015; опубл. 20.10.2015, Бюл. №29; 5 с.
15. Холодильный агрегат // Сумзина Л.В., Максимов А.В., Супрунов К.С. пат. 75232 Рос. Федерация. №F25D 11/00 (2006.01); заявл. 18.12.2007; опубл. 27.07.2008
16. Особенности идеализированных циклов парокомпрессорных холодильных машин. Вассерман А.А., Лавренченко Г.К., Слынько А.Г. Технические газы. 2014. № 6 (2014). С. 30-36.
17. Холодильный агрегат морозильника бытового назначения: пат. 1155868 Рос. Федерация. №F25D 11/00 (2006.01); заявл. 29.05.2015; опубл. 20.10.2015, Бюл. №29; 6 с.
18. Экспериментальные установки для исследования процесса дросселирования в капиллярных трубках бытовых холодильников. Кудров Ю.В., Сиротенко Я.А., Сумзина Л.В. В сборнике: Современные проблемы туризма и сервиса. Материалы Всероссийской научной конференции аспирантов и молодых ученых. 2013. С. 198-202.
19. Comparative analysis of thermodynamic efficiency of cycles for various flowcharts of refrigerating unit. Sumzina L.V., Maksimov A.V., Kudrov Yu.V. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. Volume 8. №8, August 2020.
20. Патент РФ № 2018125056, №F25D 11/00 (2006.01); заявл. 10.07.2018 Холодильный агрегат для двухкамерного холодильника / Сумзина Л.В., Максимов А.В., Кудров Ю.В. //опубл. 15.01.2019, Бюл. №2

References:

1. A way to increase the energy efficiency of refrigerators / Suchilin V.A., Maksimov A.V., Sumzina L.V., Burtseva L.A.: pat. 2630813 C2 Ros.Federation. No. F25B 1/00 (2006.01); application 30.10.2015; publ. 04.05.2017; Bul. 13: 7. (In Russ)

2. Analysis of methods for increasing the energy efficiency of compression refrigerators. Reznikov V.S., Romanov P.V. [Intel'ktual'nyy potentsial XXI veka: stupeni poznaniya] *Intellectual potential of the XXI century: stages of cognition*. 2014; 23: 143-146. (In Russ)
3. Evaluation of the efficiency of thermodynamic cycles of steam compression refrigerating machines and heat pumps. Kalnin I.M., Fadekov K.N. [Kholodil'naya tekhnika] *Refrigeration technology*. 2006; 3: 16-25. (In Russ)
4. Lemeshko, M.A. Technologies for increasing the energy efficiency of household refrigerating appliances. [Fundamental'nyye i prikladnyye issledovaniya: problemy i rezul'taty] *Fundamental and applied research: problems and results*. 2014; 13: 188-196. (In Russ)
5. Sumzina L.V., Kochetkova Ya.A., Arzhanov P.A., Burtsev I.A., Litvinenko A.A. Influence of regenerative heat exchange on the efficiency of the refrigeration unit cycle. Online magazine "Waste and Resources" 2016; 3(2) <http://resources.today/PDF/07RRO216.pdf> (access is free). Cover from the screen. 6. Sumzina (In Russ)
6. L.V., Maksimov A.V., KudrovYu.V., Kochetkov A.S. Energy-efficient refrigeration unit for two-chamber refrigerators and freezers for domestic and industrial use [Promyshlennyy servis] *Industrial Service*. 2019; 70(1): 24-26. (In Russ)
7. Maksimov A.V., Kolyada V.V., SirotenkoYa.A. Dependence of the thermodynamic efficiency indicators of the refrigeration unit cycle on the temperature of supercooling in the heat exchanger. [Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy] *Electrotechnical and information complexes and systems*. 2012; 8(2):60-64 (In Russ)
8. Sumzina L.V. Improving the energy efficiency of household compression refrigerators with a two-vapor cooling system. dissertation ... Candidate of Technical Sciences : 05.02.13. - Moscow, 1994. (In Russ)
9. Demenev A., Naberezhnykh, A. Research of the process of formation of noise in Household Refrigerators *Akustika*, 2019; 32: 135-137.
10. KudrovYu.V., SirotenkoYa.A., Sumzina L.V. Experimental installations for the study of the throttling process in capillary tubes of household refrigerators/ In the collection: Modern problems of tourism and service Materials of the All-Russian Scientific Conference of graduate students and young scientists. 2013; 198-202. (In Russ)
11. Sumzina L.V., Maksimov A.V., KudrovYu.V. Comparative analysis of cycles of household refrigerator on refrigerants R134A, R600A. [Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy] *Electrotechnical and information complexes and systems*. 2012; 8(2): 57-59. (In Russ)
12. Sumzina L.V., Maksimov A.V. Analysis of exergy losses in the cycle of a compression household refrigerator. [Elektrotekhnicheskiye i informatsionnyye kompleksy i sistemy] *Electrotechnical and information complexes and systems*. 2012; 8(1): 37-39.; (In Russ)
13. Maksimov A.V., KudrovYu.V., Ravilov F.A., Burtseva L.A. Features of the process of throttling refrigerant in capillary tubes . Online journal "Waste and resources" 2016; 3(2) <http://resources.today/PDF/01RRO216.pdf> (access is free). Cover from the screen. *Yaz.rus., Eng.;* (In Russ)
14. Refrigerating unit with heat exchanger. Maksimov A.V., Sumzina L.V., KochetkovaYa.A.: pat. 155867 Ros.Federation. No. F25D 11/00 (2006.01); application.29.05.2015; publ. 20.10.2015, Bul. No. 29; 5 p. (In Russ)
15. Refrigerating unit // Sumzina L.V., Maksimov A.V., Suprunov K.S. pat. 75232 Ros.Federation.No.F25D 11/00 (2006.01); application. 18.12.2007; publ. 27.07.2008(In Russ)
16. Features of idealized cycles of steam compressor refrigerating machines. Wasserman A.A., Lavrenchenko G.K., Slyngo A.G. [Tekhnicheskiye gazy] *Technical gases*. 2014; 6: 30-36. (In Russ)
17. Refrigerator unit freezer for household use: pat. 1155868 Ros.Federation. No. F25D 11/00 (2006.01); application 29.05.2015; publ. 20.10.2015, Bul. 29:6. (In Russ)
18. Experimental installations for the study of the throttling process in the capillary tubes of household refrigerators. KudrovYu.V., SirotenkoYa.A., Sumzina L.V. In the collection: Modern problems of tourism and service. Materials of the All-Russian Scientific Conference of graduate students and young scientists. 2013; 198-202. (In Russ)
19. Comparative analysis of thermodynamic efficiency of cycles for various flowcharts of refrigerating unit. Sumzina L.V., Maksimov A.V., KudrovYu.V. *International Journal of Emerging Trends in Engineering Research*. August 2020;
20. 8(8), RF Patent No. 2018125056, No. F25D 11/00 (2006.01); application 10.07.2018 Refrigeration unit for a two-chamber refrigerator / Sumzina L.V., Maksimov A.V., KudrovYu.V. publ. 15.01.2019, Bul. 2(In Russ)

Сведения об авторах:

Кудров Юрий Владимирович, старший преподаватель Высшей школы сервиса; yurakudrov@yanex.ru
Сумзина Лариса Владимировна, кандидат технических наук, доцент, директор Высшей школы сервиса; bytech1@yandex.ru

Максимов Александр Васильевич, кандидат технических наук, доцент, доцент Высшей школы сервиса; maksimovav52@yandex.ru

Филимонов Сергей Леонидович, доцент Высшей школы сервиса; filimser@mail.ru

Information about authors:

Kudrov Yury V., Senior Lecturer, Higher School of Service; yurakudrov@yanex.ru

Larisa V. Sumzina, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Director of the Higher School of Service; byt-tech1@yandex.ru

Alexander V. Maksimov, Cand.Sci. (Eng.), Assoc. Prof., Assoc. Prof., Higher School of Service;

maksimovav52@yandex.ru

Sergey L. Filimonov, Assoc. Prof., Higher School of Service; filimser@mail.ru

Конфликт интересов/Conflict of interest.

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов/The authors declare no conflict of interest.

Поступила в редакцию/Received 25.05.2022.

Одобрена после рецензирования/ Revised 17.06.2022.

Принята в печать/Accepted for publication 17.06.2022.