

Интернет-журнал «Отходы и ресурсы» / Russian journal of resources, conservation and recycling <http://resources.today>

2016, Том 3, №2 / 2016, Vol 3, No 2 <http://resources.today/issues/vol3-no2.html>

URL статьи: <http://resources.today/PDF/01RRO216.pdf>

DOI: 10.15862/01RRO216 (<http://dx.doi.org/10.15862/01RRO216>)

**Ссылка для цитирования этой статьи:**

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.

**For citation:**

Maksimov A.V., Kudrov Ju.V., Ravilov F.A., Burceva L.A. [The features of the process of throttling of the refrigerant in the capillary tubes] Russian journal of resources, conservation and recycling, 2016, Vol. 3, no. 2. Available at:

<http://resources.today/PDF/01RRO216.pdf> (In Russ.)

**УДК 621.04**

**Максимов Александр Васильевич**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Черкизово

Доцент кафедры «Сервисного инжиниринга»

Кандидат технических наук

E-mail: maksimovav52@yandex.ru

**Кудров Юрий Владимирович**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Черкизово

Старший преподаватель кафедры «Сервисного инжиниринга»

E-mail: yurakudrov@yandex.ru

**Равилов Фарид Альбертович**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Черкизово

Магистрант

E-mail: fravilov@mail.ru

**Бурцева Людмила Александровна**

ФГБОУ ВО «Российский государственный университет туризма и сервиса», Россия, Черкизово

Аспирант

E-mail: lyudmilaburtseva@yandex.ru

## **Особенности процесса дросселирования хладагента в капиллярных трубках**

**Аннотация.** Задачей данной работы является анализ результатов исследования градиента давления по длине капиллярной трубки и изменения массового расхода для хладагента R600a в зависимости от длины капиллярной трубки.

При разработке и решении задач исследования процесса дросселирования применялись экспериментальные методы исследования, при разработке методики, программы и обработки результатов использовался метод планирования эксперимента.

Для исследования влияния процесса дросселирования в капиллярных трубках на характеристики холодильного агрегата при моделировании различных режимов работы разработан calorиметрический стенд.

Проведены экспериментальные исследования изменения градиента давления по длине капиллярной трубки для хладагента R600a. 6. Выполнены исследования изменения массового

расхода хладагента R600a в зависимости от длины капиллярной трубки при постоянном диаметре.

Анализ изменения градиента давления по длине капиллярной трубки, показывает, что падение давления по длине капиллярной трубки происходит неравномерно, наибольший градиент давления – на выходе из капиллярной трубки. На данном участке капиллярной трубки происходит интенсивное парообразование дросселируемого хладагента, возрастает гидравлическое сопротивление двухфазного потока.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что с повышением давления на выходе из капиллярной трубки снижается массовый расход хладагента. Полученные уравнения регрессии позволяют произвести расчет необходимой длины капиллярной трубки при различных значениях давления и температуры кипения в заданном диапазоне длины капиллярных трубок (от 2 до 6 м). Установлено, что зависимость массового расхода хладагента от тепловой нагрузки на холодильный агрегат бытового холодильного прибора носит линейный характер.

**Ключевые слова:** дросселирование; капиллярная трубка; холодильный цикл; термодинамическая эффективность; холодильный агент; экспериментальное исследование

### Введение

В настоящее время опубликовано достаточно большое количество трудов, посвященных исследованиям дросселирования в капиллярных трубках при применении в качестве рабочих веществ различных хладагентов.

Указанные работы можно разделить на две группы: работы, посвященные анализу влияния применяемых хладагентов на основные показатели эффективности холодильных приборов и работы, посвященные теоретическим и экспериментальным исследованиям процесса дросселирования в капиллярных трубках. Среди этих работ можно отметить таких отечественных и зарубежных исследователей, как Резников В.С., Романов П.В. [1], Ейдеюс А.И., Кошелев В.Л. [2, 3], Першин В.А., Сапронов А.Г., Адигамов К.А. [4], Букин В.Г., Кузьмин А.Ю., Минеев Ю.В. [5], Вассерман А.А., Лавренченко Г.К., Слынько А.Г. [6], Сумзина Л.В., Максимов А.В. [7, 8, 9], A.Cavallini, D. Del Col, L. Rossetto [10], Kim C.N., Park Y.M. [11], Li Yang, Wen Wang [12].

Несмотря на достаточно большое количество работ в данной области, исследованию дросселирования на хладагенте R600a уделено недостаточное внимание.

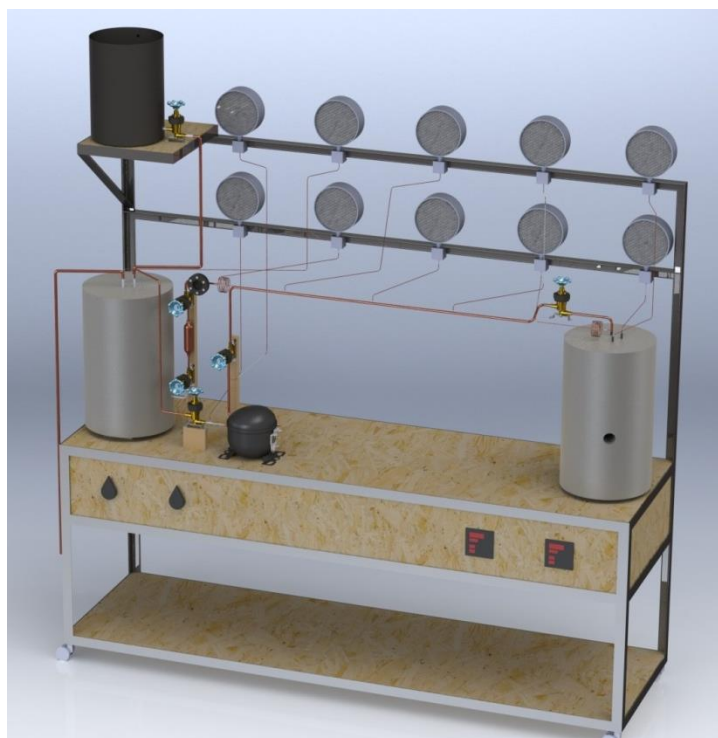
Задачей данной работы является анализ результатов исследования градиента давления по длине капиллярной трубки и изменения массового расхода для хладагента R600a в зависимости от длины капиллярной трубки.

### Методы исследования

При разработке и решении задач исследования процесса дросселирования применялись экспериментальные методы исследования, при разработке методики, программы и обработки результатов использовался метод планирования эксперимента.

## Результаты

Для проведения экспериментов был разработан калориметрический стенд для исследования влияния процесса дросселирования в капиллярных трубках при моделировании различных режимов работы холодильного агрегата (рис. 1).



**Рисунок 1.** Общий вид калориметрического стенда (рисунок автора - Кудрова Ю.В.)

С помощью стенда были проведены экспериментальные исследования по определению пропускной способности капиллярных трубок для разных холодильных агентов, получены количественные параметры процесса дросселирования Р.

На первом этапе экспериментов по изучению адиабатического дросселирования в капиллярных трубках была поставлена задача исследования изменения градиента давления по длине капиллярной трубки для хладагента R600a (рис. 1).



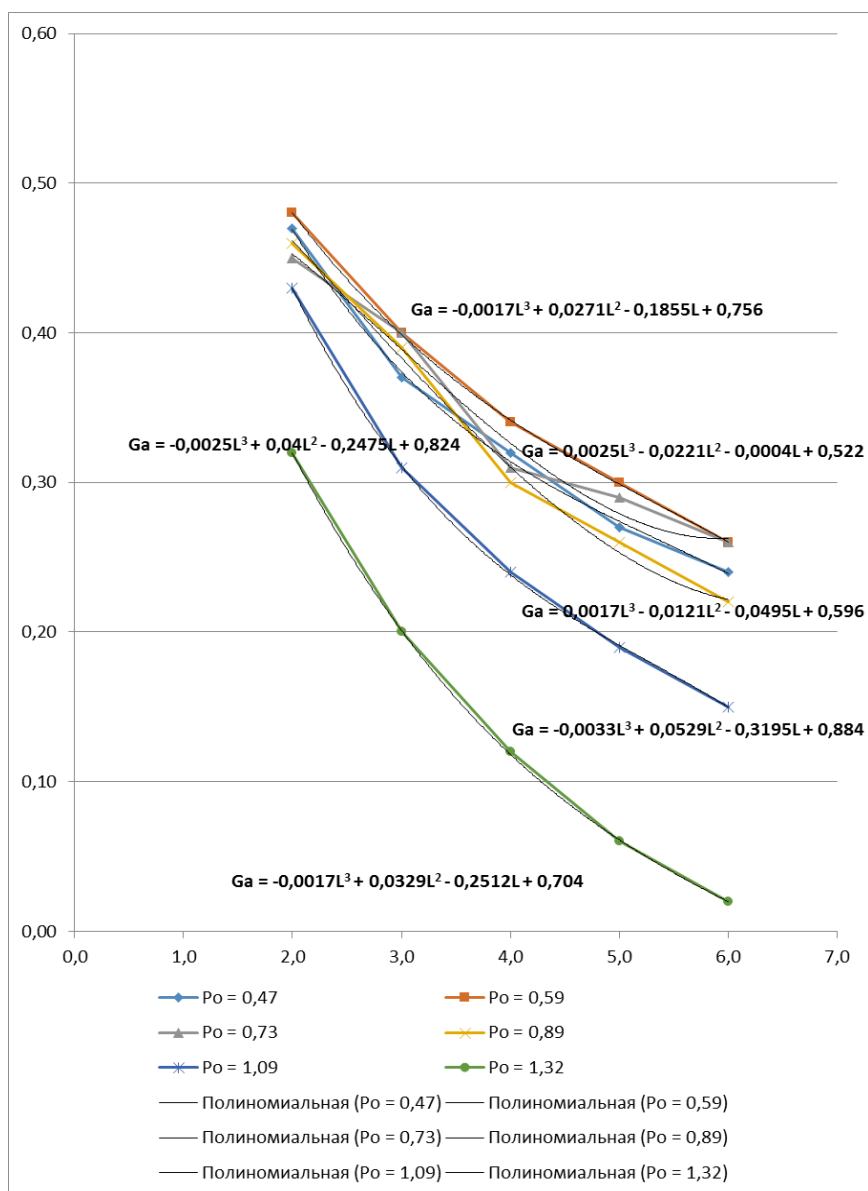
**Рисунок 2.** Изменение давления по длине капиллярной трубки (рисунок авторов)

Эксперименты проводились для наиболее распространенного диаметра капиллярной трубки – 0,8 мм, применяемого в бытовых холодильниках.

Анализ графика изменения давления по длине капиллярной трубки (рис. 2), построенного для капиллярной трубки диаметром 0,8 мм, длиной 3,5 м, при использовании в

качестве рабочего вещества хладагента R600a, показывает, что падение давления по длине капиллярной трубки происходит неравномерно. Максимальное изменение градиента давления наблюдается на выходе из капиллярной трубки. Это можно объяснить тем, что на данном участке осуществляется интенсивное парообразование дросселируемого хладагента, что в свою очередь приводит к увеличению гидравлического сопротивления течению двухфазного потока.

Зависимость массового расхода хладагента R600a от давления на выходе из капиллярной трубки при постоянном давлении на входе, равном  $6,1 \times 10^5$  Па и соответствующему температуре конденсации  $45^\circ\text{C}$ , приведена на рис. 3.



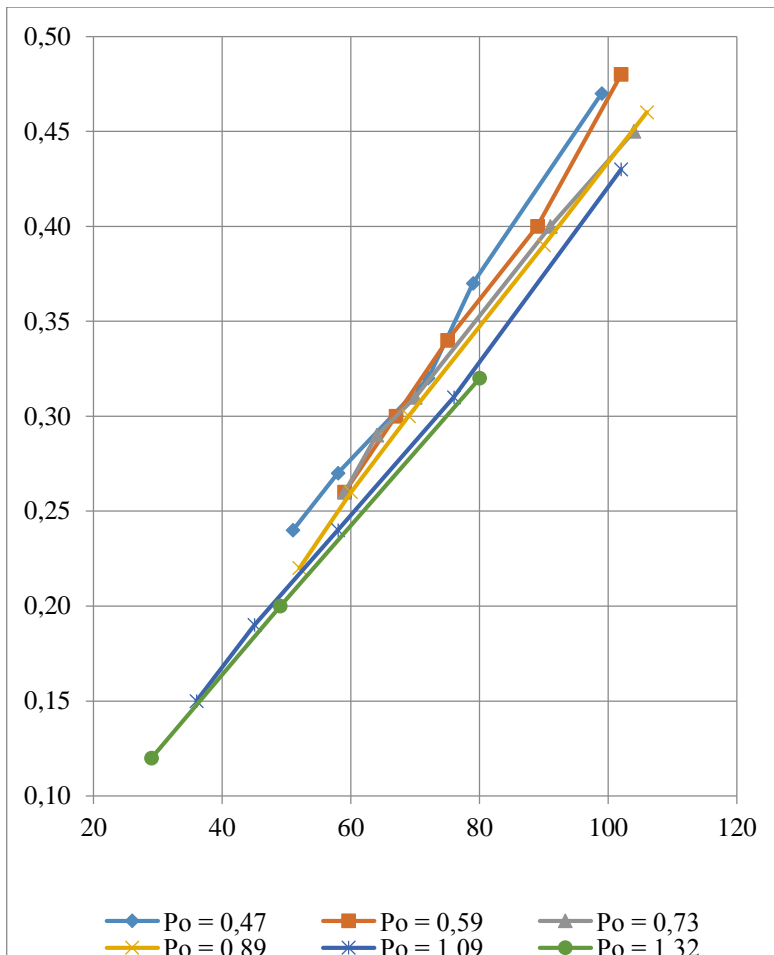
**Рисунок 3.** Зависимость массового расхода хладагента от давления на выходе из капиллярной трубки диаметром 0,8 мм при постоянном давлении на входе  $P_k = 6,1 \times 10^5$  Па (рисунок авторов)

Давление на выходе поддерживалось с интервалом, соответствующим  $5^\circ\text{C}$ .

Анализ полученных результатов (рис. 3) показывает, что с повышением давления на выходе из капиллярной трубки снижается массовый расход хладагента.

Полученные уравнения регрессии позволят произвести расчет необходимой длины капиллярной трубки при различных значениях давления и температуры кипения в заданном диапазоне длины капиллярных трубок (от 2 до 6 м).

Зависимость массового расхода хладагента от тепловой нагрузки на холодильный агрегат бытового холодильного прибора приведена на рис. 4.



**Рисунок 4.** Зависимость массового расхода хладагента от тепловой нагрузки на холодильный агрегат бытового холодильного прибора при постоянном давлении конденсации и диаметре капиллярной трубки 0,8 мм (рисунок авторов)

На основе анализа данных рис. 4 установлено, что зависимость массового расхода хладагента от тепловой нагрузки на холодильный агрегат бытового холодильного прибора носит линейный характер.

### Заключение

Для исследования влияния процесса дросселирования в капиллярных трубках на характеристики холодильного агрегата при моделировании различных режимов работы разработан calorиметрический стенд.

Проведены экспериментальные исследования изменения градиента давления по длине капиллярной трубки для хладагента R600a. 6. Выполнены исследования изменения массового расхода хладагента R600a в зависимости от длины капиллярной трубки при постоянном диаметре.

Анализ изменения градиента давления по длине капиллярной трубки, показывает, что падение давления по длине капиллярной трубки происходит неравномерно, наибольший

градиент давления – на выходе из капиллярной трубки. На данном участке капиллярной трубки происходит интенсивное парообразование дросселируемого хладагента, возрастает гидравлическое сопротивление двухфазного потока.

Анализ полученных экспериментальных данных показывает, что с повышением давления на выходе из капиллярной трубки снижается массовый расход хладагента. Полученные уравнения регрессии позволяют произвести расчет необходимой длины капиллярной трубки при различных значениях давления и температуры кипения в заданном диапазоне длины капиллярных трубок (от 2 до 6 м). Установлено, что зависимость массового расхода хладагента от тепловой нагрузки на холодильный агрегат бытового холодильного прибора носит линейный характер.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Анализ методов увеличения энергоэффективности компрессионных холодильников. Резников В.С., Романов П.В. Интеллектуальный потенциал XXI века: ступени познания. 2014. №23. С. 143-146.
2. Ейдеюс, А.И. Безразмерные уравнения для расчета капиллярных трубок / А.И. Ейдеюс, В.Л. Кошелев // Вестник МАХ. - 2011. - №2. - С. 10-15.
3. Ейдеюс, Н.И. Гидродинамический расчет капиллярных трубок / Н.И. Ейдеюс, В.Л. Кошелев // Вестник Международной академии холода. - 2008. - №3. - С. 36-39.
4. Интенсивность тепловых потоков, как критерий оценки эффективности холодильного цикла. Першин В.А., Сапронов А.Г., Адигамов К.А. Инженерный вестник Дона. 2012. Т. 19. №1. С. 185-187.
5. Обобщение экспериментальных данных по гидродинамике и теплообмену при течении двухфазных закрученных потоков внутри труб. Букин В.Г., Кузьмин А.Ю., Минеев Ю.В. Вестник Астраханского государственного технического университета. 2006. №6. С. 108-115.
6. Особенности идеализированных циклов пароконденсаторных холодильных машин. Вассерман А.А., Лавренченко Г.К., Слынько А.Г. Технические газы. 2014. №6 (2014). С. 30-36.
7. Анализ потерь эксергии в цикле компрессионного бытового холодильника. Сумзина Л.В., Максимов А.В. Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т. 8. №1. С. 37-39.
8. Сравнительный анализ циклов бытового холодильника на хладагентах R134A, R600A. Сумзина Л.В., Максимов А.В., Кудров Ю.В. Электротехнические и информационные комплексы и системы. 2012. Т. 8. №2. С. 57-59.
9. Пат. на полезную модель № 155868. Российская Федерация, МПК F 25 D 11/00/. Холодильный агрегат морозильника бытового назначения [Текст] / Максимов А.В., Сумзина Л.В., Кудров Ю.В.; заявитель и патентообладатель ФГБОУ ВО «РГУТИС». - № 2015120457/13, заявл. 29.05.2015; опубл. 20.10.2015, Бюл. №29.–2с.
10. A. Cavallini, D. Del Col, L. Rossetto. Heat transfer and pressure drop of refrigerants in minichannels (low charge equipment). International Journal of Refrigeration 36 (2013), p. 287-300.
11. Kim C.N., Park Y.M. Investigation on the Selection of Capillary Tube for the Alternative Refrigerant R407C // Int. J. Air-Conditioning and Refrigeration. 2000. Vol. 8.
12. Li Yang, Wen Wang. A generalized correlation for the characteristics of adiabatic capillary tubes // Int. J. Refrigeration. 2008. 197-203.

**Maksimov Aleksandr Vasil'evich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Cherkizovo  
E-mail: maksimovav52@yandex.ru

**Kudrov Jurij Vladimirovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Cherkizovo  
E-mail: yurakudrov@yandex.ru

**Ravilov Farid Al'bertovich**

Russian state university of tourism and service, Russia, Cherkizovo  
E-mail: fravilov@mail.ru

**Burceva Ljudmila Aleksandrovna**

Russian state university of tourism and service, Russia, Cherkizovo  
E-mail: lyudmilaburtseva@yandex.ru

## **The features of the process of throttling of the refrigerant in the capillary tubes**

**Abstract.** The objective of this study is to analyze the results of a study of pressure gradient along the length of the capillary tube and the change of the mass flow rate for the refrigerant R600a, depending on the length of the capillary tube.

In the formulation and solution of problems of the research process throttling was applied to the experimental research methods, to develop the methodology, the programs and processing the results we used the method of experiment planning.

To study the influence of the throttling process in the capillary tubes on the characteristics of the refrigeration unit when modeling different operation modes of the developed calorimetric stand.

Experimental studies of changes in pressure gradient along the length of the capillary tube for refrigerant R600a. 6. Performed research of changes in mass flow of refrigerant R600a depending on the length of the capillary tube at a constant diameter.

Analysis of changes in the pressure gradient along the length of the capillary tube shows that the pressure drop along the length of the capillary tube is uneven, the largest pressure gradient is at the outlet of the capillary tube. At the site of capillary tube is an intensive evaporation of the throttled refrigerant, increases the hydraulic resistance of two-phase flow.

Analysis of the obtained experimental data shows that with increasing pressure at the outlet of the capillary tube reduced the mass flow rate of refrigerant. The obtained regression equations allow calculation of the necessary length of the capillary tube at various values of pressure and boiling temperature within a predetermined range of lengths of capillary tubes (2 to 6 m). The dependence of the mass flow of the refrigerant from the heat load on the refrigeration unit of the household refrigerating device is linear.

**Keywords:** throttling; capillary tube; refrigeration cycle; thermodynamic efficiency; refrigerant; an experimental study

## REFERENCES

1. Analiz metodov uvelichenija jenergojeffektivnosti kompressionnyh holodil'nikov. Reznikov V.S., Romanov P.V. *Intellectual'nyj potencial XXI veka: stupeni poznanija*. 2014. №23. S. 143-146.
2. Ejdejus, A.I. Bezrazmernye uravnenija dlja rascheta kapilljarnyh trubok / A.I. Ejdejus, V.L. Koshelev // *Vestnik MAH*. - 2011. - №2. - S. 10-15.
3. Ejdejus, N.I. Gidrodinamicheskij raschet kapilljarnyh trubok / N.I. Ejdejus, V.L. Koshelev // *Vestnik Mezhdunarodnoj akademii holoda*. - 2008. - №3. - S. 36-39.
4. Intensivnost' teplovyh potokov, kak kriterij ocenki jeffektivnosti holodil'nogo cikla. Pershin V.A., Sapronov A.G., Adigamov K.A. *Inzhenernyj vestnik Dona*. 2012. T. 19. №1. S. 185-187.
5. Obobshhenie jeksperimental'nyh dannyh po gidrodinamike i teploobmenu pri techenii dvuhfaznyh zakruchennyh potokov vnutri trub. Bukin V.G., Kuz'min A.Ju., Mineev Ju.V. *Vestnik Astrahanskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta*. 2006. №6. S. 108-115.
6. Osobennosti idealizirovannyh ciklov parokompressornyh holodil'nyh mashin. Vasserman A.A., Lavrenchenko G.K., Slyn'ko A.G. *Tehničeskije gazy*. 2014. №6 (2014). S. 30-36.
7. Analiz poter' jeksergii v cikle kompressionnogo bytovogo holodil'nika. Sumzina L.V., Maksimov A.V. *Jelektrotehničeskije i informacionnye kompleksy i sistemy*. 2012. T. 8. №1. S. 37-39.
8. Sravnitel'nyj analiz ciklov bytovogo holodil'nika na hladagentah R134A, R600A. Sumzina L.V., Maksimov A.V., Kudrov Ju.V. *Jelektrotehničeskije i informacionnye kompleksy i sistemy*. 2012. T. 8. №2. S. 57-59.
9. Pat. na poleznuju model' № 155868. Rossijskaja Federacija, MPK F 25 D 11/00/. Holodil'nyj agregat morozil'nika bytovogo naznachenija [Tekst] / Maksimov A.V., Sumzina L.V., Kudrov Ju.V.; zajavitel' i patentoobladatel' FGBOU VO «RGUTIS». - № 2015120457/13, zajavl. 29.05.2015; opubl. 20.10.2015, Bjul. №29. – 2 s.
10. A. Cavallini, D. Del Col, L. Rossetto. Heat transfer and pressure drop of refrigerants in minichannels (low charge equipment). *International Journal of Refrigeration* 36 (2013), p. 287-300.
11. Kim C.N., Park Y.M. Investigation on the Selection of Capillary Tube for the Alternative Refrigerant R407C // *Int. J. Air-Conditioning and Refrigeration*. 2000. Vol. 8.
12. Li Yang, Wen Wang. A generalized correlation for the characteristics of adiabatic capillary tubes // *Int. J. Refrigeration*. 2008. 197-203.