

## Анализ факторов, влияющих на эффективность работы термосифонов

М. П. Тюрин<sup>1,\*</sup>, Е. С. Бородина<sup>1,\*</sup>, Н. В. Дерюгин<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup>Российский государственный университет им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство), Москва, Россия

<sup>2</sup>ПАО «Мосэнерго», Москва, Россия

### Аннотация

В работе проведён обзор и анализ научно-исследовательских работ, направленных на исследование факторов, влияющих на эффективность и надёжность работы закрытых двухфазных термосифонов, как утилизаторов теплоты теплотехнологических выбросов.

Были рассмотрены такие факторы, как геометрические характеристики термосифонов и их соотношение, углы наклона поверхностей испарения и конденсации, степень наполнения трубы термосифона, состояние и физические свойства поверхностей испарения и конденсации, влияние акустических и вибрационных воздействий на эффективность тепло- и массопереноса, а также использование в качестве рабочих тел наножидкостей. Проведён анализ работ, направленных на выявление методов и средств повышения теплопередающей способности термосифона.

### Ключевые слова

Обзор, закрытый двухфазный термосифон, влияющие факторы, тепломассоперенос, геометрические характеристики, режимные характеристики, коэффициент заполнения

**Введение.** Исследованию эффективности работы термосифонов посвящено большое количество работ [1-23]. Так, например, в [1] изучены характеристики теплопереноса закрытого двухфазного термосифона (ЗДФ) в зависимости от степени его наполнения, определяемого как  $KЗ = V_{ж}/V_{исп}$ . Был проведен ряд экспериментальных и теоретических исследований эффективности процессов, происходящих в термосифоне, в зависимости от различного уровня его наполнения. Было выявлено, что для коэффициента теплопередачи

испарительного участка коэффициент наполнения не играет значимой роли. Однако, для конденсатора в зависимости от уровня заполнения могут существовать ограничения теплопередачи - ограничение захлебывания (при чрезмерном уровне наполнения) и ограничение высыхания (при недостаточном (< 20%) уровне наполнения).

**Обзор и анализ работ, исследующих теплопередающие характеристики термосифона.**

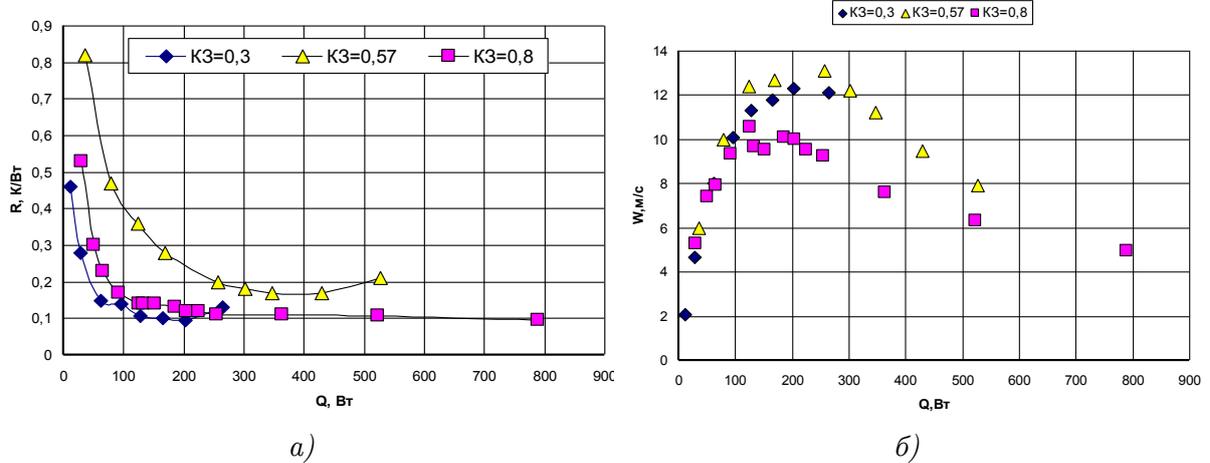
Экспериментальное исследование теплопередающих характеристик

\* Для переписки

Email addresses: tyurin-mp@rguk.ru, borodina-es@rguk.ru

двухфазных термосифонов [2] показало, что коэффициент заполнения сильно влияет на максимальные тепловые нагрузки и что скорость движения пара в

адиабатной (транспортной) зоне термосифона имеет характерный максимум (рис. 1 а, б).



**Рисунок 1** – Зависимость от теплового потока при различных коэффициентах заполнения (КЗ) а) термического сопротивления термосифона; б) скорости движения пара. [2]

Проведено большое количество исследований, направленных на выявление методов и средств повышения теплопередающей способности термосифона. Исследования проводились по двум основным направлениям.

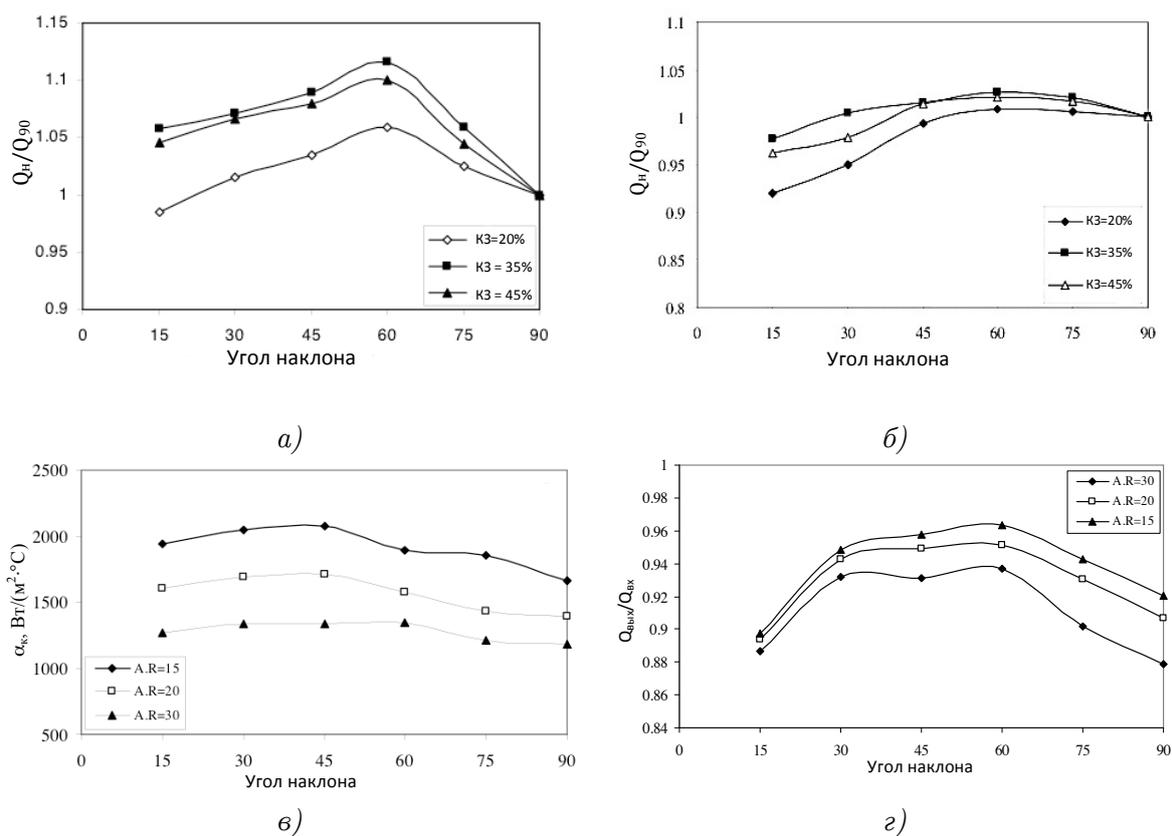
1. Экспериментальные исследования эффективности термосифонов в зависимости от рода рабочей жидкости, конструктивных характеристик термосифонов, воздействия физических полей и поверхностных свойств испарителя и конденсатора.

2. Теоретические исследования, математическое и компьютерное моделирование.

В работах по первому направлению изучалось влияние свойств различных рабочих жидкостей [2-11].

В [3] М. R. Sarmasti Emami, S. H. Noie и М. Khoshnoodi провели экспериментальное исследование влияния отношения

ширины термосифона к его длине и уровня заполнения на теплопередающую способность закрытого двухфазного термосифона. В качестве рабочей жидкости авторы использовали дистиллированную воду. Были проведены экспериментальные исследования при изменении уровня заполнения (от 20% до 60 %) и значений отношения ширины трубы к ее длине 15, 20 и 30 при угле наклона от 15° до 90°. Термосифон был изготовлен из меди с внутренним диаметром 14 мм и внешним диаметром 16 мм. Полная длина термосифона составляла 1000 мм. В результате исследований было выявлено, что максимальная теплопроизводительность термосифона достигается при угле наклона 60° к горизонтальной поверхности для всех трех значений отношения ширины трубы к ее длине и уровне заполнения 45% (рис.2а, б, в, г)



**Рисунок 2** – Влияние уровня заполнения КЗ, угла наклона термосифона и отношения длины испарителя к внутреннему диаметру A.R на

- а) отношение  $Q_n/Q_{90}$  при  $A.R = 15$ ; б) отношение  $Q_n/Q_{90}$  при  $A.R = 30$ ;
- в) изменение коэффициента теплопередачи  $\alpha_k$  при  $A.R = 15, 20, 30$  и  $K3 = 0,45$ ;
- г) изменение отношения  $Q_{вых}/Q_{вх}$  при  $A.R = 15, 20, 30$  и  $K3 = 0,45$  [3]

В работе [6] исследовалась теплопроизводительность наклонного термосифона с дистиллированной водой и водным раствором н-бутанола в качестве рабочих жидкостей. Эксперименты проводились при уровне заполнения 60% при различных углах наклона в  $45^\circ$ ,  $60^\circ$  и  $90^\circ$ . Термосифон был изготовлен из меди, его общая длина составляла 1000 мм (400 мм – длина испарительной части и 450 мм длина конденсатора). Полученные результаты показали, что термосифон с водным раствором н-бутанола в качестве рабочей жидкости имеет большую теплопроизводительность по сравнению с

термосифоном, заполненным дистиллированной водой (рис. 3)

В работе [7] H.Z. Abou-Ziyan, A. Helali, M. Fatouh и M.M. Abo El-Nasr исследовали теплопроизводительность ЗДТ при стационарных рабочих условиях и при воздействии вибрации с использованием в качестве рабочих жидкостей воды и фреона R314a. Эксперименты проводились при изменении уровня заполнения от 40% до 80% при различных длинах адиабатной зоны. Результаты их экспериментов показывают, что наибольшая эффективность достигалась при уровне заполнения рабочей жидкостью 50 %.

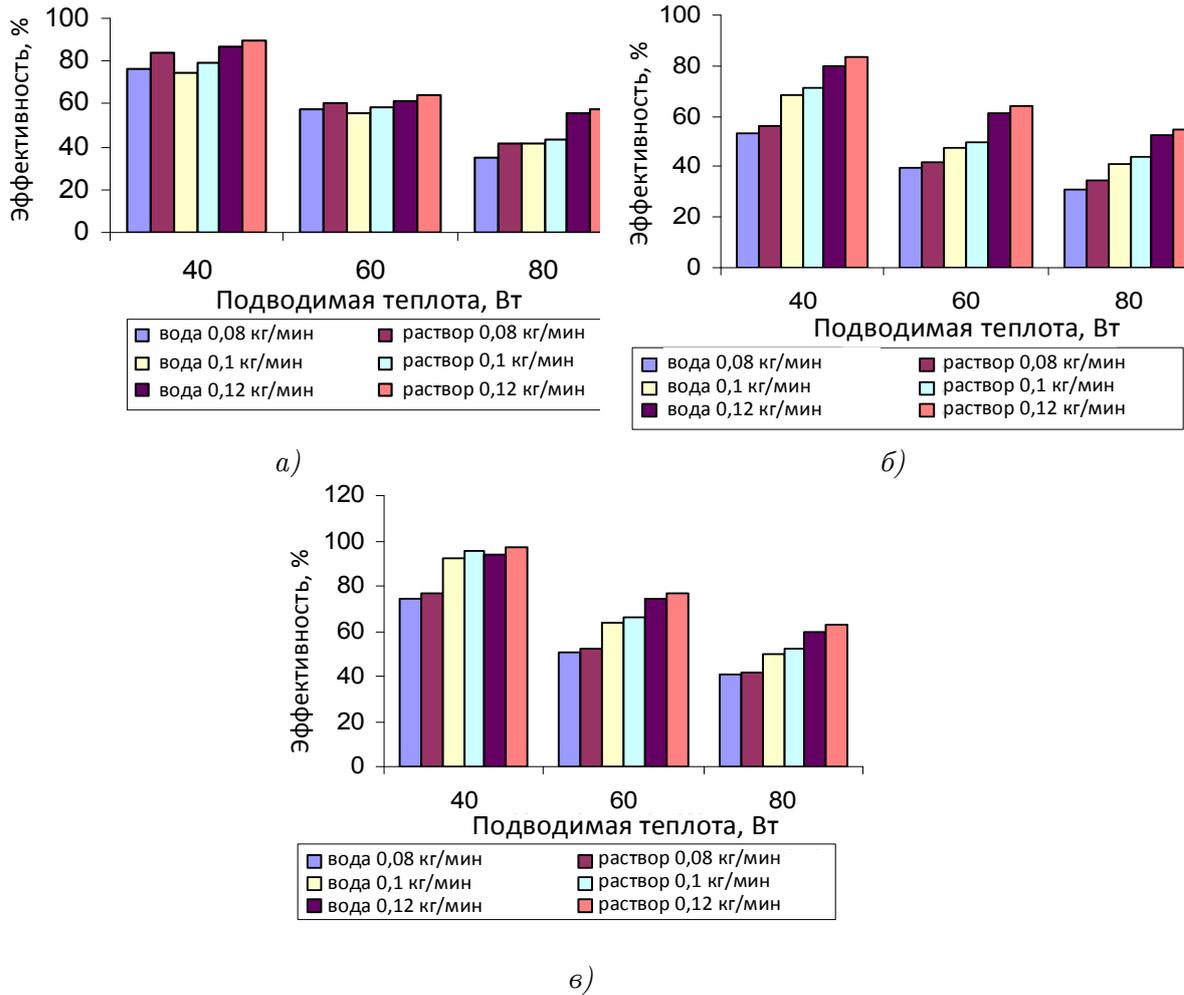


Рисунок 3 – Эффективность термосифона при углах наклона:  
 а) 45°; б) 60°; в) 90° [6]

К. S. Ong и Md. Haider-E-Alahi в [8] исследовали производительность термосифона, заполненного фреоном R314a. Ими были проведены исследования для изучения влияния разницы температур между бассейном рабочей жидкости и конденсатором, уровня заполнения и массовым расходом охладителя. Полученные в ходе экспериментов результаты показали, что передаваемый тепловой поток возрастает с возрастанием массового расхода охлаждающей жидкости, уровня заполнения и разницы температур между бассейном рабочей жидкости и конденсатором.

Исследование работы термосифона малого диаметра для различных рабочих

жидкостей, таких как вода, фреоны FC-84, FC-77 и FC-3283 проведено в [9].

В работе [10] проведено исследование характеристик закрытого двухфазного термосифона с использованием в качестве рабочих жидкостей воды и наножидкостей на водной основе ( $Al_2O_3$  и  $CuO$ ). Было выявлено, что для всех этих наножидкостей термосифон показывает худшую теплопередающую способность, чем при использовании чистой воды.

Экспериментальные исследования эффективности работы термосифонов, заполненных разбавленными наножидкостями и дистиллированной водой, были проведены в [11]. Результаты показали, что добавление в воду 5,3% (по объему) наночастиц оксида железа улучшает

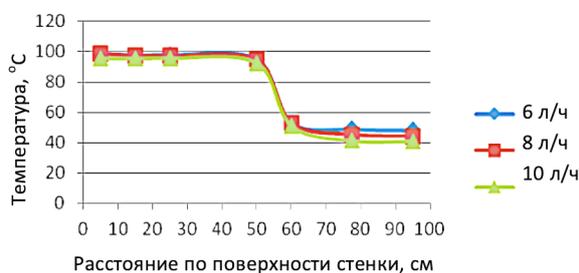
теплопередающую способность термосифона.

Изучение различных конструктивных изменений, модификаций состояния поверхности и наложения физических полей с целью улучшения теплопередающей способности термосифона проведено в работах [12-18].

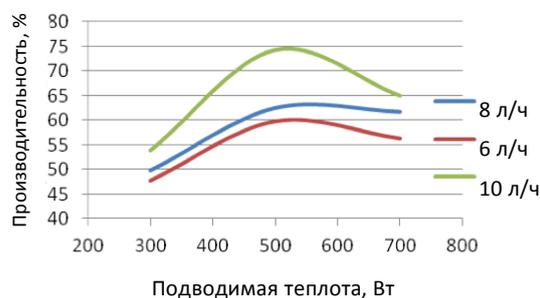
В работе [12] изучено влияние длины конденсатора, расхода охладителя и количества подводимой теплоты на

характеристики двухфазного закрытого термосифона. В экспериментах термосифон был закрытой медной трубкой длиной 1000 мм (длина испарителя – 300 мм, длины конденсатора – 450 мм / 400 мм / 350 мм). В результате было получено, что термосифон имеет самую высокую теплопередающую способность при расходе охладителя 0,0027 кг/с, подводимой теплоте 500 Вт и длине конденсатора в 450 мм. (рис. 4 а, б).

Термосифон с длиной конденсатора 45 см и подводом тепла в 300 Вт



а)



б)

**Рисунок 4.** а) Распределение температур вдоль внешней стенки термосифона при количестве подводимой теплоты 300 Вт, б) Производительность термосифона при различных количествах подводимой теплоты при длине конденсатора в 450 мм и различных расходах охлаждающей воды (6, 8, 10 л/ч) [12]

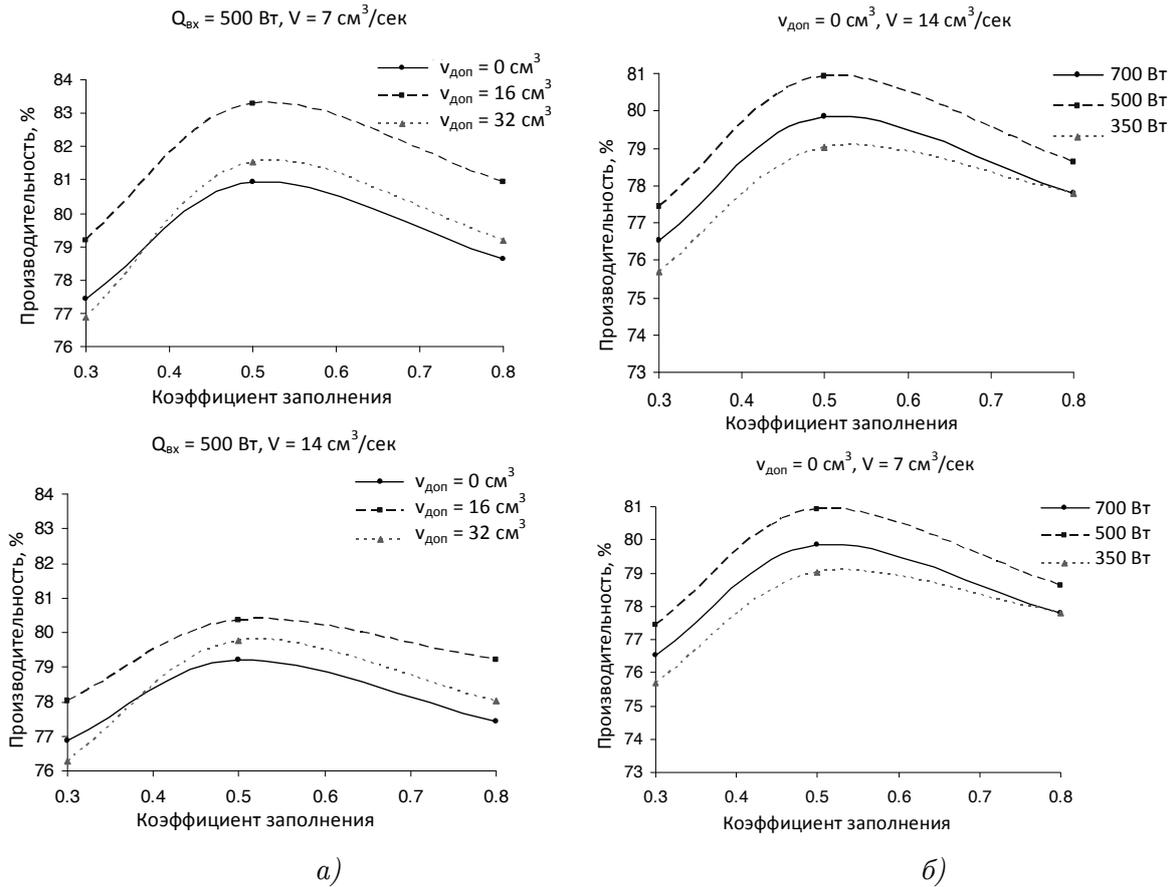
Sompon Wongtom и Tanongkiat Kiatsiriroat в работе [14] исследовали коэффициент теплопередачи термосифона при воздействии звуковых волн. Они выяснили, что наложение звуковых волн может увеличивать коэффициент теплопередачи термосифона.

Влияние количества подводимой теплоты, уровня заполнения и дополнительного объема на теплопередачу частично вакуумированного термосифона было экспериментально исследовано в [15]. (рис. 5)

Masoud Rahimi, Kayvan Asgary и Simin Jesri в [16] исследовали влияние обработки

поверхностей испарителя и конденсатора на характеристики работы термосифона. Было выявлено, что если делать поверхность испарителя более гидрофильной, а поверхность конденсатора более гидрофобной, то коэффициент теплопередачи термосифона возрастает приблизительно на 15%, а термическое сопротивление уменьшается в 2,4 раза, по сравнению с обычными поверхностями.

В работах второго направления исследователи проводят численное и компьютерное моделирование процессов теплопередачи в термосифоне [19-23]

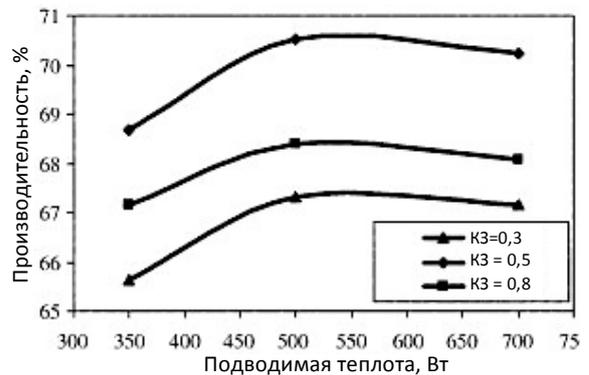


**Рисунок 5** – Производительность частично вакуумированного термосифона ( $Q_{\text{вых}}/Q_{\text{вх}} \cdot 100\%$ )

а) при различных уровнях заполнения, дополнительных объемах  $V_{\text{доп}}$  и расходах охлаждающей жидкости  $V$ ; б) при различных уровнях заполнения, тепловых потоках и расходах охлаждающей жидкости  $V$  [15].

В работе [19] были проведены эксперименты для исследования влияния различного количества подводимого тепла и уровня заполнения на теплопередающие характеристики термосифона. Полученные результаты показали, что повышение количества подводимого тепла до определенного предела улучшает характеристики термосифона, однако дальнейшее увеличение подводимой теплоты уменьшает. Также наблюдалось оптимальное значение уровня заполнения для каждого количества подводимого тепла (рис. 6). В работе также было проведено CFD моделирование (FLUENT™ версии 6.2) и можно видеть, что результаты

моделирования хорошо согласуются с экспериментальными данными.



**Рисунок 6.** Производительность термосифона при различных количестве подводимой теплоты и коэффициентах заполнения [19].

В основном рекомендуется, чтобы уровень залива рабочей жидкости был около 50% от испарительной секции термосифона и что объем жидкости должен быть связан с размерами термосифона следующим соотношением:

$$V_l > 0.001D(l_{и} + l_a + l_{к}),$$

где  $D$  – внутренний диаметр корпуса термосифона,  $l_{и}$ ,  $l_a$ ,  $l_{к}$  – длины испарительного, адиабатного и конденсаторного участков термосифона.

### Выводы.

К основным факторам, оказывающим влияние на теплопередающие характеристики термосифона, можно отнести:

1. Свойства рабочей жидкости;
2. Расход охладителя;
3. Температура охладителя;
4. Количество подводимой теплоты;
5. Характеристики материала и размеры трубы;
6. Давление внутри термосифона;
7. Уровень заполнения;
8. Длина характерных участков теплопередачи (испарителя, адиабатного участка, конденсатора).

В результате проведенного обзора и анализа научно-исследовательских работ, направленных на исследование факторов, влияющих на эффективность и надёжность работы закрытых двухфазных термосифонов, было выявлено, что при определённых уровнях наполнения проявляются ограничение захлебывания (при чрезмерном наполнении трубы термосифона) и ограничение высыхания (при недостаточном – менее 20% уровне наполнения). Наибольшая теплопроизводительность термосифона достигается при угле наклона  $60^\circ$  к горизонтальной поверхности для всех значений отношения ширины трубы к ее длине и уровне заполнения 45%.

Также данные работ говорят, что при использовании гидрофильной поверхности испарителя и гидрофобной поверхность конденсатора коэффициент теплопередачи термосифона возрастает приблизительно на 15%, а термическое сопротивление уменьшается в 2,4 раза, по сравнению с обычными поверхностями. Применение акустических и вибрационных воздействий ожидаемо увеличивает коэффициент теплопередачи термосифона, однако строгих закономерностей не выявлено.

Установлено, что для наножидкостей ( $Al_2O_3$  и  $CuO$ ) термосифон показывает более низкую теплопередающую способность, чем при использовании чистой воды, однако добавление в воду 5,3% (по объему) наночастиц оксида железа улучшает его эффективность.

### ЛИТЕРАТУРА

- [1]. Yong, J. P. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon to the fill charge ratio / J. P. Yong, K. K. Hwan, J. K. Chul // Int. J. of Heat and Mass Transfer. – 2002. – N 45. – P. 4655 - 4661.
- [2]. Кравец, В. Ю. Теплопередающие характеристики двухфазных термосифонов/ В. Ю. Кравец, В. А. Чернобай, А. К. Готовцева // Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2012. – 2/8(56). – С. 61 – 63.
- [3]. Emami, M. R. Sarmasti. Effect of aspect ratio and filling ratio on thermal performance of an inclined two-phase closed thermosyphon / M. R. Sarmasti Emami, S. H. Noie, M. Khoshnoodi // Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering. – 2008. – Vol. 32, N B1. – P. 39 - 51.
- [4]. Imura, H. Critical heat flux in a closed two-phase thermosyphon / H. Imura, K. Sasaguchi, H. Kozai // Int. J. Heat Mass Transf. – 1983. – Vol. 26. – P. 1181 – 1188.

- [5]. Patil Aniket, D. Patil Aniket, D. Factors Affecting the Thermal Performance of Two Phase Closed Thermosyphon: A Review / D. Patil Aniket, Dr. B. Yarasu Ravindra // International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2012. – Vol. 2, N 9. – P. 202 - 206.
- [6]. Karthiketan, M. Thermal performance of a two Phase closed thermosyphon using aqueous solution / M. Karthikeyan, S. Vaidyanathan, B. Sivaraman // Int. J. of Engineering Science and Technology. – 2010. – Vol. 2, N 5. – P. 913 – 918.
- [7]. Abou-Ziyan, H. Z. Performance of stationary and vibrated thermosyphon working with water and R134a / H. Z. Abou-Ziyan, A. Helali, M. Fatouh, M. M. Abo El-Nasr // Applied thermal engineering. – 2001. – Vol. 21. – P. 813 – 830.
- [8]. Ong, K. S. Performance of an R-134a- filled thermosyphon / K. S. Ong, Md. Haider-E-Alahi // Applied thermal engineering. – 2003. – Vol. 23. – P. 2373 - 2381.
- [9]. Jouhara, H. Experimental investigation of small diameter two-phase closed thermosyphon charged with water, FC-84, FC-77, FC-3283 / H. Jouhara, A. J. Robinson // Applied thermal engineering. – 2009. – P. 1010 – 1016.
- [10]. Khandekar, S. Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids / S. Khandekar, Y. M. Joshi, B. Mehta // Int. J. of Thermal Science. – 2008. – Vol. 47 – P. 659 - 667.
- [11]. Huminic, G. Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles / G. Huminic, A. Huminic, I. Morgan, F. Dumitrache // Int. Communications in Heat and Mass Transfer. – 2011. – Vol. 54. – P. 656 – 661.
- [12]. Anjankar, P. G. Experimental Analysis of Condenser Length Effect on the Performance of Thermosyphon / P. G. Anjankar, Dr. R. B. Yarasu // Int. J. of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2012. – Vol. 2, N 3. – P. 494 - 499.
- [13]. Kate, Ajit M. Effect of Pipe Cross Section Geometries and Inclination Angle on Heat Transfer Characteristics of Wickless Heat Pipe / Ajit M. Kate, Ratnakar R. Kulkarni // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2010. – Vol. 3, N 3. – P. 509-520.
- [14]. Wongtom, S. Effect of inclined heat transfer rate on thermosyphon heat pipe under sound wave / S. Wongtom, T. Kiatsiri-roat // Asian Journal on Energy and Environment. – 2009. – Vol. 10, N 4. – P. 214 – 220.
- [15]. Mirshahi, H. Experimental Study on the Effect of Heat Loads, Fill Ratio and Extra Volume on Performance of a Partial-Vacuumed Thermosyphon / H. Mirshahi, M. Rahimi // Iranian Journal of Chemical Engineering. – 2009. – Vol. 6, N 4. – P. 15 - 26.
- [16]. Rahimi, M. Thermal characteristics of a resurfaced condenser and evaporator closed two-phase thermosyphon / M. Rahimi, K. Asgary, S. Jesri // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 37. – P. 703 - 710.
- [17]. Noie, S. H. Experimental investigation of boiling and condensation heat transfer of a two phase closed thermosyphon / S. H. Noie, M. H. Kalaei, M. Khoshnoodi // International Journal of Engineering. – 2005. – Vol. 18, N 1. – P. 100 - 106.
- [18]. Ong, K. S. Inclination and Fill Ratio Effects on Water Filled Two-Phase Closed Thermosyphon / K. S. Ong, W. L. Tong // Proceedings of 10th international heat pipe symposium, Taipei. – 2011. – P. 167 – 171.
- [19]. Alizadehdakhel, A. CFD modelling of flow and heat transfer in a thermosyphon / A. Alizadehdakhel, M. Rahimi, A. A.

Alsairafi // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 37. – P. 312 - 318.

[20]. Payakaruka, T. Correlations to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions / T. Payakaruka, P. Terdtoon, S. Ritthidech // Applied Thermal Engineering. – 2000. – N 20. – P. 781 – 790.

[21]. Pan, Y. Condensation characteristics inside a vertical tube considering the presence of mass transfer, vapor velocity and interfacial shear / Y. Pan // Int. J. of Heat

and Mass Transfer. – 2001. – Vol. 44. – P. 4475 – 4482.

[22]. Александров А.А., Акатьев В.А., Тюрин М.П., Бородина Е.С. Решение внешней и внутренней задач теплообмена для закрытого двухфазного термосифона // Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Сер. Естественные науки. 2017. No 4. С. 109-121. DOI: 10.18698/1812 3368 2017-4-109-121

[23]. Zarandi, M.A. Theoretical modeling of a two-phased thermosyphon assuming the liquid reservoir / M. A. Zarandi, N. G. C. Leite // Thermal Engineering. – 2007. – Vol. 6, N 01. – P. 74 -88.

**Тюрин Михаил Павлович** — д-р техн. наук, профессор кафедры «Энергоресурсоэффективные технологии, промышленная экология и безопасность» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

**Бородина Елена Сергеевна** — канд. техн. наук, доцент кафедры «Энергоресурсоэффективные технологии, промышленная экология и безопасность» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

**Дерюгин Никита Валерьевич** — аспирант кафедры «Энергоресурсоэффективные технологии, промышленная экология и безопасность» Российского государственного университета им. А.Н. Косыгина (Технологии. Дизайн. Искусство) (Российская Федерация, 119071, Москва, Малая Калужская ул., д. 1).

# Analysis of factors affecting the efficiency of thermosyphons

M. P. Tyurin<sup>1,\*</sup>, E. S. Borodina<sup>1</sup>, N.V. Derugin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*The Kosygin State University of Russia, Moscow, Russian Federation*

---

## Abstract

The paper provides a review and analysis of research works aimed at studying the factors that affect the efficiency and reliability of closed two-phase thermosyphons as heat utilizers of heat technological emissions.

Factors such as the geometric characteristics of thermosyphons and their ratio, the angles of inclination of the evaporation and condensation surfaces, the degree of filling of the thermosyphon pipe, the state and physical properties of the evaporation and condensation surfaces, the influence of acoustic and vibration influences on the efficiency of heat and mass transfer, as well as their use in as working bodies of nanofluids.

## Keywords

Overview, closed two-phase thermosyphon, affecting factors, heat-and-mass transfer, geometric characteristics, Regime characteristics, aspect ratio

---

## REFERENCES

- [1]. Yong, J. P. Heat transfer characteristics of a two-phase closed thermosyphon to the fill charge ratio / J. P. Yong, K. K. Hwan, J. K. Chul // *Int. J. of Heat and Mass Transfer*. – 2002. – N 45. – P. 4655 - 4661.
- [2]. Kravets V. Yu. Heat transfer characteristics of two-phase thermosyphons / V. Yu. Kravets, V. A. Chernobay, A. K. Gotovtseva // *Vostochno- yevropeyskiy zhurnal peredovykh tekhnologiy [Eastern European Journal of Advanced Technologies]*. - 2012.- 2/8 (56). - P. 61 - 63.
- [3]. Emami, M. R. Sarmasti. Effect of aspect ratio and filling ratio on thermal performance of an inclined two-phase closed thermosyphon / M. R. Sarmasti Emami, S. H. Noie, M. Khoshnoodi // *Iranian Journal of Science & Technology, Transaction B, Engineering*. – 2008. – Vol. 32, N B1. – P. 39 - 51.
- [4]. Imura, H. Critical heat flux in a closed two-phase thermosyphon / H. Imura, K. Sasaguchi, H. Kozai // *Int. J. Heat Mass Transf.* – 1983. – Vol. 26. – P. 1181 – 1188.
- [5]. Patil Aniket, D. Patil Aniket, D. Factors Affecting the Thermal Performance of Two Phase Closed Thermosyphon: A Review / D. Patil Aniket, Dr. B. Yarasu Ravindra // *International Journal of Emerging Technology and Advanced Engineering*. – 2012. – Vol. 2, N 9. – P. 202 - 206.
- [6]. Karthiketan, M. Thermal performance of a two Phase closed thermosyphon using aqueous solution / M. Karthikeyan, S. Vaidyanathan, B. Sivaraman // *Int. J. of Engineering Science and Technology*. – 2010. – Vol. 2, N 5. – P. 913 – 918.

---

\* *Corresponding author*

*Email addresses: tyurin-mp@rguk.ru, borodina-es@rguk.ru*

- [7]. Abou-Ziyan, H. Z. Performance of stationary and vibrated thermosyphon working with water and R134a / H. Z. Abou-Ziyan, A. Helali, M. Fatouh, M. M. Abo El-Nasr // Applied thermal engineering. – 2001. – Vol. 21. – P. 813 – 830.
- [8]. Ong, K. S. Performance of an R-134a- filled thermosyphon / K. S. Ong, Md. Haider-E-Alahi // Applied thermal engineering. – 2003. – Vol. 23. – P. 2373 -2381.
- [9]. Jouhara, H. Experimental investigation of small diameter two-phase closed thermosyphon charged with water, FC-84, FC-77, FC-3283 / H. Jouhara, A. J. Robinson // Applied thermal engineering. – 2009. – P. 1010 – 1016.
- [10]. Khandekar, S. Thermal performance of closed two-phase thermosyphon using nanofluids / S. Khandekar, Y. M. Joshi, B. Mehta // Int. J. of Thermal Science. – 2008. – Vol. 47 – P. 659 - 667.
- [11]. Huminic, G. Experimental study of the thermal performance of thermosyphon heat pipe using iron oxide nanoparticles / G. Huminic, A. Huminic, I. Morgan, F. Dumitrache // Int. Communications in Heat and Mass Transfer. – 2011. – Vol. 54. – P. 656 – 661.
- [12]. Anjanekar, P. G. Experimental Analysis of Condenser Length Effect on the Performance of Thermosyphon / P. G. Anjanekar, Dr. R. B. Yarasu // Int. J. of Emerging Technology and Advanced Engineering. – 2012. – Vol. 2, N 3. – P. 494 - 499..
- [13]. Kate, Ajit M. Effect of Pipe Cross Section Geometries and Inclination Angle on Heat Transfer Characteristics of Wickless Heat Pipe / Ajit M. Kate, Ratnakar R. Kulkarni // International Journal of Engineering Research and Technology. – 2010. – Vol. 3, N 3. – P. 509—520.
- [14]. Wongtom, S. Effect of inclined heat transfer rate on thermosyphon heat pipe under sound wave / S.Wongtom, T.Kiatsirirot // Asian Journal on Energy and Environment. – 2009. – Vol. 10, N 4. – P. 214 – 220.
- [15]. Mirshahi, H. Experimental Study on the Effect of Heat Loads, Fill Ratio and Extra Volume on Performance of a Partial-Vacuumed Thermosyphon / H. Mirshahi, M.Rahimi // Iranian Journal of Chemical Engineering. – 2009. – Vol.6, N 4. – P. 15 -- 26.
- [16]. Rahimi, M. Thermal characteristics of a resurfaced condenser and evaporator closed two-phase thermosyphon / M. Rahimi, K. Asgary, S. Jesri // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 37. – P. 703 - 710.
- [17]. Noie, S. H. Experimental investigation of boiling and condensation heat transfer of a two phase closed thermosyphon / S. H. Noie, M. H. Kalaei, M. Khoshnoodi // International Journal of Engineering. – 2005. – Vol. 18, N 1. – P. 100 - 106.
- [18]. Ong, K. S. Inclination and Fill Ratio Effects on Water Filled Two-Phase Closed Thermosyphon / K. S. Ong, W. L. Tong // Proceedings of 10th international heat pipe symposium, Taipei. – 2011. – P. 167 – 171.
- [19]. Alizadehdakhel, A. CFD modelling of flow and heat transfer in a thermosyphon / A. Alizadehdakhel, M. Rahimi, A. A. Al-sairafi // International Communications in Heat and Mass Transfer. – 2010. – Vol. 37. – P. 312 - 318.
- [20]. Payakaruka, T. Correlations to predict heat transfer characteristics of an inclined closed two-phase thermosyphon at normal operating conditions / T. Payakaruka, P. Terdtoon, S. Ritthidech // Applied Thermal Engineering. – 2000. – N 20. – P. 781 – 790.
- [21]. Pan, Y. Condensation characteristics inside a vertical tube considering the presence of mass transfer, vapor velocity and

interfacial shear / Y. Pan // Int. J. of Heat and Mass Transfer. – 2001. – Vol. 44. – P. 4475 – 4482.

[22]. Aleksandrov A.A., Akat'yev V.A., Tyurin M.P., Borodina E.S. Solution to external and inter-*n*al heat and mass transfer problems for closed two-phase thermosyphon. Vestn. Mosk. Gos. Tekh. Univ. im. N.E. Baumana, Estestv. Nauki [Herald of the

Bauman Moscow State Tech. Univ., Nat. Sci.], 2017, no. 4, pp. 109–121 (in Russ.). DOI: 10.18698/1812-3368-2017-4-109-121

[23]. Zarandi, M.A. Theoretical modeling of a two-phased thermosyphon assuming the liquid reservoir / M. A. Zarandi, N. G. C. Leite // Thermal Engineering. – 2007. – Vol. 6, N 01. – P. 74 -88.

**Tyurin M.P.** — Dr. Sc. (Eng.), Professor, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya ul. 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

**Borodina E.S.** — Cand. Sc. (Eng.), Assoc. Professor, Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya ul. 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

**Derugin N.V.** — postgraduate student Department of Energy and Resource Efficient Technologies, Industrial Ecology and Safety, The Kosygin State University of Russia (Malaya Kaluzhskaya ul. 1, Moscow, 119071 Russian Federation).

**Просьба ссылаться на эту статью следующим образом:**

Анализ факторов, влияющих на эффективность работы термосифонов / М. П. Тюрин, Е. С. Бородина, Н. В. Дерюгин // Промышленные процессы и технологии. 2021. № 1. С. 77 – 88

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-1-77-88

**Please cite this article as:**

Tyurin M. P., Borodina E.S., Derugin N.V. Analysis of factors affecting the efficiency of thermosyphons. Industrial processes and Technologies, 2021, no. 1, pp. 77 – 88.

DOI: 10.37816/2713-0789-2021-1-1-77-88