

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СВОЙСТВ ТЕПЛОНОСИТЕЛЕЙ НА ИНТЕНСИВНОСТЬ ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАМКНУТЫХ ДВУХФАЗНЫХ ТЕРМОСИФОНАХ

А.С. Красношлыков
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ

Применение термосифонных систем охлаждения до настоящего времени не получило широкого распространения в силу отсутствия обоснованной научно-технической базы. Экспериментальные исследования теплопередающих характеристик замкнутых двухфазных термосифонов (ЗДТС) и тепловых трубок [1-3] ориентированы на конкретные варианты конструкций ЗДТС и условий их работы. При этом закономерности совместно протекающих процессов фазовых превращений и конвекции не изучены на уровне, обеспечивающем проектирование систем обеспечения теплового режима на основе устройств, использующих испарительно-конденсационный цикл.

Для решения такого рода задач наиболее целесообразным является применение методов математического моделирования процессов теплопереноса, основанных на решении систем уравнений переноса массы, импульса и энергии. Это подтверждается тем, что в последние годы в зарубежных периодических изданиях публикуются статьи, в которых предпринимаются попытки моделирования процессов теплопереноса в замкнутых двухфазных термосифонах на базе систем уравнений в частных производных [4-6].

В то же время пока не проведены теоретические исследования, достаточные для обоснования возможности использования теории движения вязкой жидкости для детального анализа влияния основных значимых факторов на характеристики работы термосифонов. Одним из таких факторов является тип теплоносителя (хладагента). Такие свойства хладагента как зависимость температуры кипения от давления, тепловой эффект процесса испарения и др. могут играть важную роль в регулировании процессов теплопереноса через исследуемое устройство. Такой анализ пока не проведен, хотя применение системы охлаждения на основе термосифонов может позволить значительно увеличить эффективность отвода тепла за счет снижения градиентов температур в теплонагруженных технических устройствах (например, литий-ионных аккумуляторных батареях) [2, 3].

Цель работы – теоретический анализ влияния свойств хладагента на характеристики теплопередачи в двухфазных замкнутых термосифонах при тепловых нагрузках, соответствующих предельно допустимому режиму работы аккумуляторных батарей воздушных судов.

Рассматривается термосифон, принципиальная схема которого приведена на рисунке 1.

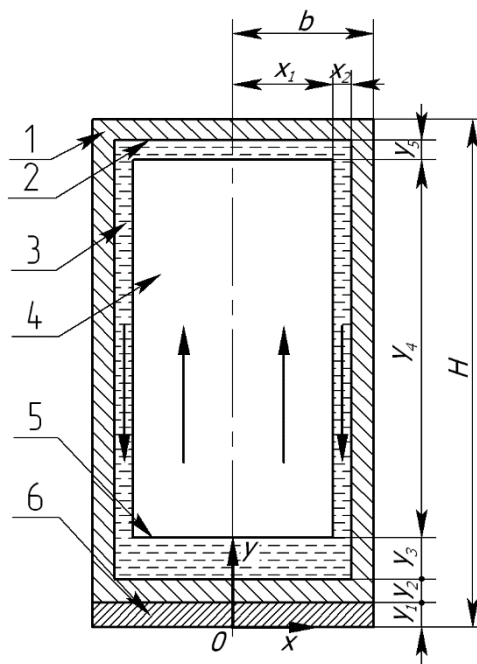


Рис. 1. Принципиальная схема термосифона. 1 – корпус термосифона; 2 – поверхность конденсации; 3 – пленка хладагента; 4 – паровой канал; 5 – поверхность испарения; 6 – поверхность источника нагрева.

Система дифференциальных уравнений Навье-Стокса в частных производных для потоков пара и жидкости в исследуемой области и краевые условия аналогичны постановке задачи [7].

Математическое моделирование теплопереноса в двухфазном термосифоне прямоугольного поперечного сечения выполнено с использованием пакета ANSYS FLUENT [8].

Анализ полученных результатов

Проведено численное моделирование теплофизических процессов в замкнутом двухфазном термосифоне прямоугольной формы (рис.1) с размерами: высота $H=200$ мм, поперечный размер $L=70$ мм. Приняты следующие варианты плотностей теплового потока на нижней крышке термосифона в сечении $y=0$: $2,5 \cdot 10^4$ Вт/м²; $3 \cdot 10^4$ Вт/м². В качестве рабочих жидкостей рассматривались метиловый, этиловый и пропиловый спирты.

Выбор этих теплоносителей обусловлен их температурами кипения, соответствующими диапазону допустимых температур энергонасыщенного авиационного оборудования, а также высокой удельной теплотой парообразования.

На рис.2 представлены распределения температур по оси симметрии термосифона для различных теплоносителей и плотностей теплового потока.

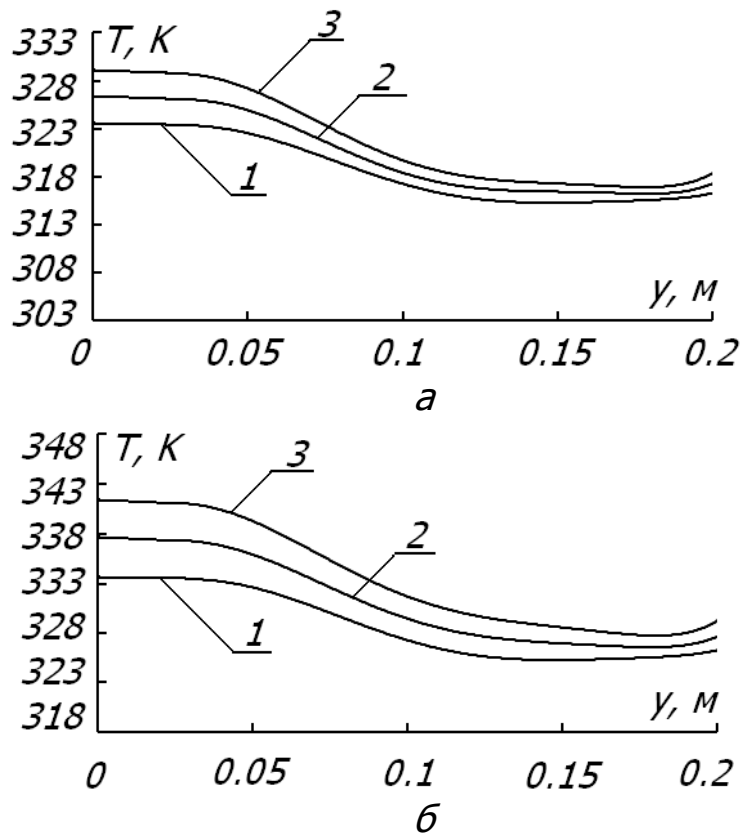


Рис. 2. Распределение температуры по оси симметрии в исследуемой области. 1 – метиловый спирт; 2 – этиловый спирт; 3 – пропиловый спирт.

а – $q_h=2,5 \cdot 10^4$ Вт/м²; б – $q_h=3 \cdot 10^4$ Вт/м²;

Как видно из приведенных зависимостей (рис.2а), при плотности теплового потока $2,5 \cdot 10^4$ Вт/м² самый низкий перепад температур между нижней крышкой и верхней составляет около 8 К (теплоноситель – метиловый спирт) (кривая 1). Самая высокая разность температур (13 К) получена для пропилового спирта (кривая 3).

По результатам анализа приведенных распределений можно сделать вывод, что наиболее эффективный сток тепла в результате интенсификации процесса испарения происходит в случае, когда хладагентом является метиловый спирт. Эффективность снижается в порядке убывания у этилового и пропилового спирта соответственно. Последнее обусловлено, очевидно, разными затратами энергии на парообразование рассматривавшихся достаточно типичных хладагентов.

Заклучение

Установлено, что использование метилового спирта в качестве хладагента приводит к эффективному стоку тепла с нижней крышки термосифона в диапазоне критических температур аккумуляторных батарей воздушных судов. При этом перепад температур между нижней и верхней крышками составляет не более 8 °К. Можно сделать вывод, что для более эффективного охлаждения теплонагруженного оборудования предпочтительнее теплоноситель с большими значениями теплоты парообразования.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Васильев Л.Л., Журавлёв А.С., Шаповалов А.В., Родин А.В. Горизонтальные пародинамические термосифоны. В сборнике: Труды Шестой Российской национальной конференции по теплообмену Москва, 2014. С. 676–679.
2. Jouhara H., Robinson A.J. Experimental investigation of small diameter two-phase closed thermosyphons charged with water, FC-84, FC-77 and FC-3283. Applied Thermal Engineering. 2010. V. 30. P. 201–211.
3. Khazaei I., Hosseini R., Noie S.H. Experimental investigation of effective parameters and correlation of geyser boiling in a two-phase closed thermosyphon. Applied Thermal Engineering. 2010. V.30. P. 406–412.
4. Kuznetsov G.V., Al-Ani, M.A., Sheremet M.A. // Numerical analysis of convective heat transfer in a closed two-phase thermosyphon // Journal of Engineering Thermophysics. 2011. P. 201–210.
5. Jiao B., Qiu L.M., Zhang X.B., Zhang Y. Investigation on the effect of filling ratio on the steady-state heat transfer performance of a vertical two-phase closed thermosyphon. Applied Thermal Engineering. 2008. V.28. P. 1417–1426.
6. Lin Z., Wang S., Shirakashi R., Winston L., Zhang Y. Simulation of a miniature oscillating heat pipe in bottom heating mode using CFD with unsteady modeling. International Journal of Heat and Mass Transfer. 2013. V.57. P. 642–656.
7. Krasnoshlykov A.S., Zagromov Y.A. Mathematical Modeling of Thermal Modes of Closed Two-Phase Thermosyphons with Refrigerant R600A. European Physical Journal Web of Conferences. 2016. — Vol. 110. — Article number 01051. P.5.
8. Ansys Help. FLUENT Theory Guide.

Научный руководитель: Кузнецов Г.В., д.ф.-м.н., профессор, зав. кафедрой ТПТ ЭНИН ТПУ