

ВЛИЯНИЕ ВЫСОТЫ ТЕРМОСИФОНА НА ХАРАКТЕРИСТИКИ ТЕПЛОПЕРЕНОСА

А.С. Красношлыков, Г.В. Кузнецов

Научный руководитель: профессор, д.ф.-м.н. Г.В. Кузнецов

Национальный исследовательский Томский политехнический университет,

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: krasnas@tpu.ru

INFLUENCE OF HEIGHT OF A THERMOSYPHON ON THE CHARACTERISTICS HEAT TRANSFER

A.S. Krasnoshlykov, G.V. Kuznetsov

Scientific Supervisor: Prof., Dr. G.V. Kuznetsov

National Research Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin avenue 30, 634050

E-mail: krasnas@tpu.ru

Abstract. *Mathematical modeling of heat transfer through a two-phase closed thermosyphon with different height of the longitudinal section using ANSYS FLUENT software package. The resulting temperature distribution in the study area is characterized by the influence of the height of the investigational device and the heat flow density on the bottom cover on the efficiency of heat transfer.*

Одним из основных факторов безопасности полета современных воздушных судов является надежность системы электроснабжения [1]. При проектировании бортовых аккумуляторных батарей основополагающими конструктивными особенностями являются пожаровзрывобезопасность, высокая механическая и электрическая прочности при малом весе и габаритах [1, 2]. Выбор литий-ионных батарей в качестве аварийных источников электроснабжения самолетов Boeing 787 обусловлен, вероятно, рядом преимуществ, таких как: высокая мощность электрического тока; меньший размер и вес по сравнению с батареями с аналогичными характеристиками; превосходные эксплуатационные характеристики [2, 3]. Но применение этих батарей в качестве источников электроэнергии сопряжено с опасностью возникновения возгорания на борту воздушного судна. Это подтверждается несколькими аварийными ситуациями 2013 года на самолетах Boeing 787 [1, 2]. В процессе заряда аккумуляторных батарей происходило возгорание. Причиной перегрева был эффект теплового разгона [2].

Принятое решение компании Boeing по защите самолета от возгорания (размещение аккумуляторов в металлическом блоке) частично перекрывает достоинство массовой характеристики литий-ионных батарей перед другими типами аккумуляторов. Следует отметить, что возможно создание системы отвода тепла от аккумуляторных батарей на основе двухфазных замкнутых термосифонов [4].

Одной из задач выбора условий, обеспечивающих эффективный теплоотвод от бортовых аккумуляторных батарей при работе систем обеспечения их теплового режима на основе замкнутых двухфазных термосифонов, является обоснование геометрических размеров исследуемого устройства [4].

Цель работы – математическое моделирование процессов теплопереноса в двухфазных замкнутых термосифонах с различными продольными размерами при температурах, соответствующих критическим рабочим температурам аккумуляторных батарей воздушных судов.

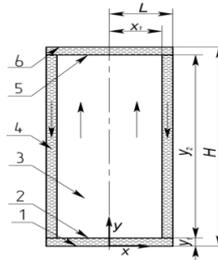


Рис.1. Принципиальная схема термосифона. 1 – нижняя крышка; 2 – поверхность испарения; 3 – паровой канал; 4 – пленка жидкости; 5 – поверхность конденсации; 6 – верхняя крышка

Система дифференциальных уравнений Навье-Стокса в частных производных для потоков пара и жидкости в исследуемой области аналогична [5] и используется в пакете Ansys Fluent.

Специфика поставленной задачи теплопереноса в исследуемой области проявляется в граничных условиях к уравнениям типа [5]. Эти условия приведены ниже.

$$\begin{aligned}
 & x = L, 0 \leq y \leq H, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0; u_2 = v_2 = 0 \quad \Bigg| \quad x = 0, 0 < y < H, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} = 0; \frac{\partial u_2}{\partial x} = 0; u_1 = v_1 = 0, \\
 & x = x_1, y_1 \leq y \leq y_1 + y_2, \begin{cases} T_1 = T_2 \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial x} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial x} \end{cases}; \begin{cases} u_1 = u_2 = 0 \\ v_1 = v_2 \end{cases} \quad \Bigg| \quad y = y_1 + y_2, x_1 \leq x \leq L, \begin{cases} T_1 = T_2 \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y}; u_2 = 0; v_2 = \frac{w_c}{\rho_1}, \end{cases} \\
 & y = y_1, x_1 \leq x \leq L, \begin{cases} T_1 = T_2 \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} \end{cases}; \quad u_2 = 0; v_2 = \frac{w_c}{\rho_1}, \\
 & y = y_1, 0 \leq x \leq x_1, \begin{cases} T_1 = T_2 \\ \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} - Q_e w_e - v_1 C_p \rho (T_1 - T_0); \end{cases} \quad v_1 = \frac{w_e}{\rho_1}, v_2 = 0, \\
 & y = y_1 + y_2, 0 \leq x \leq x_1, \begin{cases} T_1 = T_2 \\ \lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial y} = \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} + Q_c w_c + v_1 C_p \rho (T_2 - T_0); \end{cases} \quad v_1 = \frac{w_c}{\rho_1}, v_2 = 0, \\
 & y = 0, 0 \leq x \leq L, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = q_h; u_2 = v_2 = 0 \quad \Bigg| \quad y = H, 0 \leq x \leq L, \lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial y} = q_c; u_2 = v_2 = 0.
 \end{aligned}$$

Математическое моделирование проводилось при следующих параметрах: поперечный размер термосифона $L=140$ мм (соответствует ширине элемента аккумуляторной батареи [3]), варианты продольного размера: $H=200$ мм, $H=300$ мм, $H=400$ мм. Варианты плотности теплового потока $q_h=3 \cdot 10^5$ Вт/м², $q_h=3,5 \cdot 10^5$ Вт/м², $q_h=4 \cdot 10^5$ Вт/м². Теплоноситель: вода.

Как видно из рис.2а ($H=200$ мм), при используемых вариантах тепловой нагрузки: $3 \cdot 10^5$ Вт/м²; $3,5 \cdot 10^5$ Вт/м²; $4 \cdot 10^5$ Вт/м², разница температур нижней и верхней крышек (ΔT) составляет около 6° К, 5° К, $3,9^\circ$ К, соответственно. Вероятно, снижение ΔT вызвано увеличением температурного напора в исследуемой области.

При увеличении продольного размера термосифона до 300 мм (рис.2б) перепад температур нижней и верхней крышек исследуемого устройства составляет около 7° К, $6,1^\circ$ К, $4,9^\circ$ К.

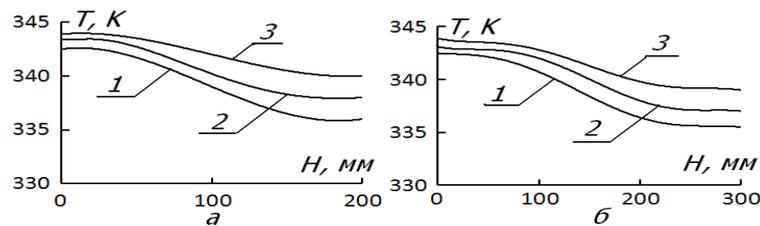


Рис. 2. Распределения температур в паровом канале. а – высота 200 мм, б – высота 300 мм. 1 – $3 \cdot 10^5$ Вт/м²; 2 – $3,5 \cdot 10^5$ Вт/м²; 3 – $4 \cdot 10^5$ Вт/м²

На рис.3 представлены распределения температур при высоте термосифона 400 мм. Видно, что изменение тепловой нагрузки в диапазоне $3 \cdot 10^5 \dots 4 \cdot 10^5$ Вт/м² влияет на перепад температур в исследуемой области в диапазоне от $5,9^\circ$ К до $8,2^\circ$ К.

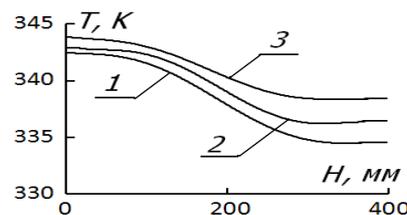


Рис. 3. Распределения температур в паровом канале термосифона высотой 400 мм. 1 – $3 \cdot 10^5$ Вт/м²; 2 – $3,5 \cdot 10^5$ Вт/м²; 3 – $4 \cdot 10^5$ Вт/м²

Полученные результаты иллюстрируют, что изменение тепловой нагрузки на нижней крышке термосифона оказывает ключевую роль на разницу температур в зоне конденсации при различных режимах работы.

Также, следует отметить незначительный рост температуры в зоне конденсации хладагента. Это вызвано выделением энергии фазового перехода при конденсации.

Установленные закономерности позволяют сделать вывод о том, что при одинаковой плотности теплового потока на нижней крышке с увеличением высоты термосифона перепад температур верхней и нижней крышек увеличивается почти на 1° К. Также следует отметить, что рост тепловой нагрузки снижает ΔT . Это вызвано увеличением температурного напора в паровом канале термосифона.

Работа выполнена в рамках НИР Госзадания «Наука» №13.1339.2014/К (шифр Федеральной целевой научно-технической программы 2.1410.2014).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Tao Song, Yan Li, Jiashan Song, Zhao Zhang. Airworthiness considerations of supply chain management from Boeing 787 Dreamliner battery issue // Procedia Engineering. –2014. –Vol.80. –P.628–637.
2. Chan Ho Lee, Sang June Bae, Minyoung Jang A study on effect of lithium ion battery design variables upon features of thermal-runaway using mathematical model and simulation // Journal of Power Sources. –2015. – P. 498–510.
3. Хрусталёв Д.А. Аккумуляторы. М: Изумруд, 2003. –183–186с.
4. Безродный М.К., Пиоро И.Л., Костюк Т.О. Процессы переноса в двухфазных термосифонных системах // Киев. 2005. –704с.
5. Шайдуров А.А., Щепановская Г.И. Якубович М.В. Численное моделирование течений вязкого теплопроводного газа в канале // Вычислительные технологии. –2013. –Т. 18. –№ 4. –С. 77-90.