

СЕКЦИЯ 1. ТЕПЛОФИЗИКА И ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ТЕПЛОТЕХНИКА

МОДЕЛИРОВАНИЕ ПРОЦЕССА ПРОСТРАНСТВЕННОГО ТЕПЛОПЕРЕНОСА В ЗАКРЫТОМ ДВУХФАЗНОМ ТЕРМОСИФОНЕ

Л.Е. Валиева
Томский политехнический университет
ЭНИН, ТПТ, группа 5Б4Б

Известно [1], что тепловые трубы (термосифоны) являются высокоэффективными теплопередающими устройствами. Свое применение они нашли в проблеме обледенения дорог, при охлаждении лопаток турбин, электронных компонентов и др. [1] Термосифон (ТС) состоит из герметичной емкости, заполненной рабочей жидкостью. Однако режимы работы термосифонов до конца не изучены. Это обусловлено сложностью протекающих при работе ТС теплофизических и гидродинамических процессов.

Целью настоящего исследования является моделирование процесса пространственного теплопереноса в закрытом двухфазном термосифоне в условиях фазовых превращений хладагента.

Постановка задачи

Рассматривался термосифон в форме параллелепипеда. Такая форма ТС является наиболее типичной для применения их в промышленности. На рис.1 представлена геометрическая модель задачи.

Математическая модель

Уравнения теплопроводности для рассматриваемой системы имеют следующий вид:

Для меди

$$c_1 * \rho_1 * \left(\frac{\partial T_1}{\partial t} \right) = \lambda_1 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_1}{\partial z^2} \right) \quad (1)$$

Для пара

$$c_2 * \rho_2 * \left(\frac{\partial T_2}{\partial t} \right) = \lambda_2 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T_2}{\partial z^2} \right) \quad (2)$$

Начальные и граничные условия

В начальный момент времени $T_1(x, y, z, 0) = T_2(x, y, z, 0) = T_0$;

- На границе $z=0$; $0 < y < 2l+L$; $0 < x < 2l+M$;

граничные условия первого рода:

$$T = T_h;$$

- На границе $z=2l+H$; $0 < y < 2l+L$; $0 < x < 2l+M$

граничные условия третьего рода:

$$-\lambda \frac{\partial T_1}{\partial n} = \alpha(T_c - T_e)$$

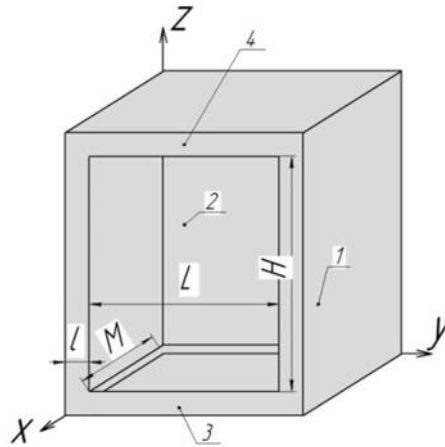


Рис. 1. Область решения: 1 – медный корпус, 2 – паровой канал; 3 – нижняя крышка; 4 – верхняя крышка.

где T_c – температура внешней поверхности верхней крышки термосифона, К; T_e – температура окружающей среды, К; T_0 – температура в начальный момент времени, К; α – коэффициент теплоотдачи, $\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}}$.

На границе испарения хладагента:

$$\lambda_2 \frac{\partial T_1}{\partial y} = \lambda_1 \left(\frac{\partial T_2}{\partial y} \right) - Q_{evp} W_{isp}; \quad (3)$$

$$T_1 = T_2;$$

На границе конденсации хладагента:

$$\lambda_2 \frac{\partial T_1}{\partial y} = \lambda_1 \left(\frac{\partial T}{\partial y} \right) + Q_{cond} W_{cond}; \quad (4)$$

где $W_{evp/cond}$ – удельная массовая скорость испарения/конденсации, $\frac{\text{кг}}{\text{с} \cdot \text{м}^2}$.

Скорость испарения/конденсации рассчитывалась по формуле Герца-Кнудсена: [1]

$$W_{isp/cond} = \frac{A (P_H - P^*)}{\sqrt{\frac{2\pi RT}{M}}} \quad (5)$$

где A – коэффициент аккомодации; P_H – давление насыщения, Па; P^* – давление, Па; R – универсальная газовая постоянная, $\frac{\text{Дж}}{\text{моль} \cdot \text{К}}$; T – температура, К; M – молекулярный вес, $\frac{\text{кг}}{\text{моль}}$.

В зависимости от положения границы, рассматривались так же граничные условия четвертого рода. При переходе из парового канала в медную среду и наоборот они имеют следующий вид [2]:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial n} = -\lambda_2 \frac{\partial T_2}{\partial n};$$

$$T_1 = T_2.$$

Уравнения теплопроводности для сформулированной задачи решены методом конечных разностей.

Результат и обсуждение

Исследование процесса теплопереноса в типичном термосифоне проведено при различных значениях высоты (H , m) и температуры (T , К) нижней крышки ТС. При построении полей температур масштаб не учитывался.

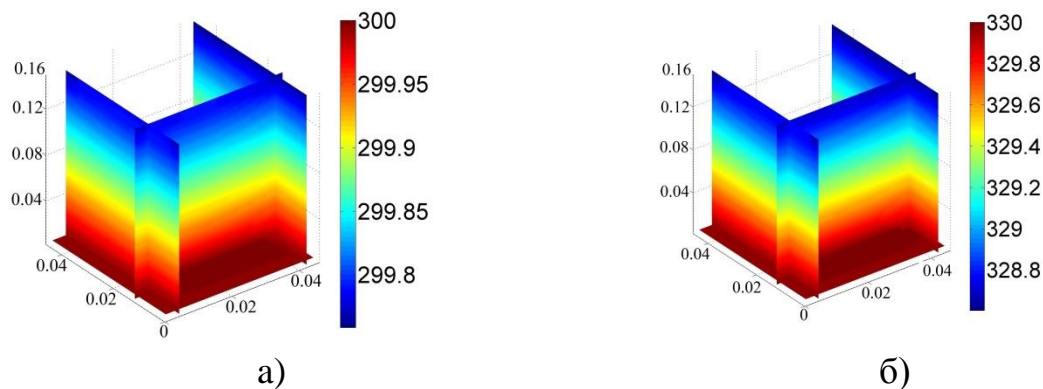


Рис. 2. стационарное поле температур при:
 а) $H=0.15\text{м}$, $T_h=300\text{К}$; б) $H=0.15\text{м}$, $T_h=330\text{К}$

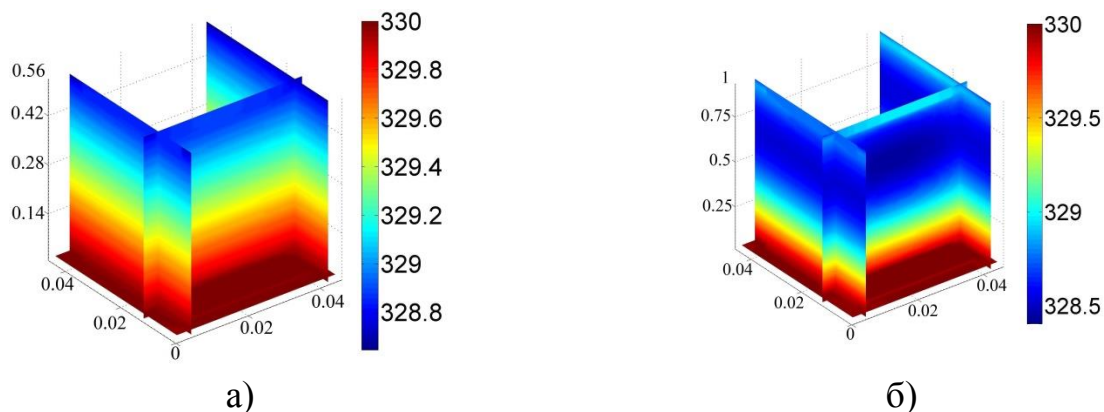


Рис. 3. стационарное поле температур при:
 а) $T_h=330\text{К}$, $H=0.5\text{м}$; б) $T_h=330\text{К}$, $H=1\text{м}$

В заключении можно отметить, что при росте температуры нижней крышки и высоты ТС возрастает перепад температур в паровом канале. Также при увеличении высоты ТС время его выхода на стационарный режим ($t_{\text{ст}}$) работы увеличивается. При $h=0.15\text{ м}$ $t_{\text{ст}}$ составило 500с , при $H=1\text{м}$ $t_{\text{ст}}$ – 1500с . При увеличении высоты термосифона вдоль оси Z задавалось больше узлов разностной сетки.

Работа выполнена при финансовой поддержке Гранта президента Российской Федерации для государственной поддержки ведущих научных школ Российской Федерации НШ – 7538.2016.8.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Г.В. Кузнецов, М.А. Аль – Ани, М.А. Шеремет . Режимы смешанной конвекции в замкнутом двухфазном термосифоне.– Известия Томского Политехнического Университета Т.318 №4 – Томск, 2011 – с. 18-23
2. Г.В. Кузнецов, М.А. Шеремет. – Разностные методы решения задач теплопроводности: учебное пособие./ Томск: Изд-во ТПУ, 2007. – 172 с.

Научный руководитель: А. Э. Ни, ассистент каф. ТПТ НИ ТПУ.