

Исследования процессов межфазного переноса в термосифоне

Филатова Е. А. (ТТ-09М), Полтавский Е. А. (ТЭС-09М)*
Донецкий национальный технический университет

В связи с развитием ряда областей новой техники вопросы передачи тепла от одних устройств к другим приобрели особую остроту. Наиболее ярко это проявилось в ядерной энергетике, электронике, космической технике и в целом ряде научных исследований. Здесь возникло своего рода противоречие между весами и габаритами основных устройств и устройств, отводящих от них тепло. Поскольку теплопроводность твердых тел ограничена, то необходимо искать более эффективные способы передачи тепла. Поэтому возникла необходимость применения испарительно-конденсационных теплопередающих устройств. Одним из таких устройств является термосифон.



Рисунок – Схема термосифона

Тепловая энергия воспринимается от источника и затрачивается на испарение теплоносителя, заключенного внутри корпуса тепловой трубы. Затем она переносится паром в виде скрытой теплоты испарения и далее, на определенном расстоянии от места испарения, в зависимости от тех или иных способов теплоотвода, при конденсации пара выделяется в сток. Образовавшийся конденсат возвращается в зону испарения за счет действия массовых сил. При условии, что градиент давления в паре мал, градиенты температур вдоль термосифона также могут быть невелики, что приводит к высоким значениям теплопроводности. Эффективная теплопроводность таких устройств может превышать в 1000 раз теплопроводность медного стержня такого же размера.

Для вычисления скорости испарения и конденсации внутри термосифона необходимо определить распределение температуры в термосифоне. Для этого воспользуемся уравнением теплопроводности:

* Руководитель – к.т.н., доцент кафедры ПТ Пяташкин Г. Г.

$$\rho C_p \frac{\partial t}{\partial \tau} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\lambda \frac{\partial t}{\partial x} \right] \pm q_v(x, \tau) \quad (1)$$

При дискретизации данного уравнения получаем систему уравнений, которая решается методом монотонной прогонки. Также необходимо учитывать движения теплоносителя внутри трубы. Для описания движения вязкой жидкости принято использовать уравнения Навье - Стокса:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\mu}{\rho} \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} \right), \quad (2)$$

и уравнение неразрывности течения жидкости:

$$\frac{\partial u}{\partial x} = 0, \quad (3)$$

где: u – составляющая скорости движения точки жидкости в направлении оси x , p – давление жидкости, μ – кинематическая вязкость жидкости, ρ – плотность жидкости. Неизвестными являются величины u , p .

Вычислив распределение температур по длине термосифона можем вычислить давление в каждом узле разностной сетки по формуле:

$$p = 950163 \cdot 10^{\frac{-22242}{T+273}} \quad (4)$$

Аналогично, методом монотонной прогонки вычисляем распределение концентраций. Исходное уравнение:

$$\frac{\partial C}{\partial \tau} = D \frac{\partial}{\partial x} \left[\frac{\partial C}{\partial x} \right] \quad (5)$$

Для того, чтобы рассчитать поток массы при испарении и конденсации теплоносителя внутри трубы воспользуемся основным уравнением расчета конвективного массообмена:

$$m = h_m \cdot (C_{As} - C_A) \quad (6)$$

Используя безразмерные комплексы вычисляем коэффициент конвективного теплообмена при испарении:

$$h_m = \frac{S \cdot h \cdot D}{L}, \quad (7)$$

Коэффициент конвективного теплообмена при конденсации равен:

$$h = 0,725 \left[\frac{g \cdot \rho_{ж} \cdot (\rho_{ж} - \rho_{п}) \cdot r' \cdot \lambda^3}{D \cdot \mu \cdot (T_{п} - T_{ст})} \right], \quad (8)$$

где r' – теплота перегрева пара при конденсации.

Таким образом, следуя данной методике, можно рассчитать поля распределения концентраций и температур, а также определить поток массы при испарении и конденсации теплоносителя внутри термосифона.