

УДК 536.2.083

Разработка двумерной модели аксиальной тепловой трубы с распределенными параметрами

Кочегарова Анастасия Владимировна^{1,2}

a-kochegarova1289@mail.ru

Борщев Никита Олегович^{1,2,3}

www.moriarty93@mail.ru

Рахимов Рафаэль Фатихович^{1,2}

RakhimRF@ya.ru

Тимеркаева Рената Айдаровна³

ren_tim02@mail.ru

¹ НИУ «МЭИ», Москва, Россия² ОИВТ РАН, Москва, Россия³ МГТУ им. Н.Э. Баумана, Москва, Россия

Аннотация. Разработана двумерная физико-математическая модель аксиальной тепловой трубы как на криогенных теплоносителях, таких как аммиак, также и на жидкометаллических, таких как натрий. Модель прошла валидацию на основании экспериментальной тепловой отработки. Расхождение между результатами моделирования и экспериментальными данными не превышает 5 %, что подтверждает адекватность и точность разработанной физико-математической модели.

Ключевые слова: аксиальная тепловая труба, аммиак, натрий, тепловой режим космического аппарата, валидация, системы терморегулирования

Введение. В современных системах обеспечения теплового режима изделий ракетно-космической отрасли все чаще используются двухфазные системы обеспечения теплового режима, в частности аксиальные тепловые трубы. Аксиальные тепловые трубы (АТТ) используются для термостатирования, отвода тепла от электроники, энергетических элементов как в элементах ракетно-космической техники так и при проектировании теплового режима каталитических химических реакторов, работающих на борту космических аппаратов и спутников [5–7], а также используются для повышения изотермичности термостатируемых объектов. Их применение в системах термостатирования реакторов позволяет кардинально решить проблемы неравномерности температуры и повысить энергоэффективность процесса [8].

В данной работе разработана теплогидравлическая модель АТТ с распределенными параметрами, которая рассчитывает распределение температур, расход и давление в системе по пространству конструкции.

Для проверки адекватности построенной физико-математической модели была проведена валидация на жидкометаллическом и на аммиачном теплоносителе, исследовано влияния изменения длин зоны конденсации на тепловое состояние системы. Для жидкометаллического натриевого теплоносителя произведено сравнение расчетных данных с результатами классических экспериментальных исследований М.Н. Ивановского для натриевой тепловой трубы в режиме «термосифона». Для аммиачной АТТ произведено сравнение

с экспериментальными данными в результате тепловакуумной отработки АТТ при заданной циклограмме теплового нагружения, имитирующего солнечную тепловую нагрузку на геостационарной орбите.

Заключение. В работе представлены результаты моделирования теплового режима АТТ на основе разработанной двумерной теплогидравлической АТТ с валидацией на двух теплоносителях: натриевом и аммиачном. При валидации модели на аммиачном теплоносителе максимальное отклонение расчетных данных от экспериментальных составило $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 5\%$), а для натриевого теплоносителя составило $\sim 7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ($\sim 3\%$). Совпадение расчетных и экспериментальных данных подтверждает, что физика работы АТТ описана адекватно.

Список источников

- [1] Cao Y. et al. A Review of Cooling Technologies for High-Speed Rotating Electrical Machines. *Applied Thermal Engineering*, 2019, vol. 154, pp. 420–437.
- [2] Reay D., Kew P., McGlen R. *Heat Pipes: Theory, Design and Applications*. Butterworth-Heinemann, 2014, 510 p.
- [3] Jang J.H., Faghri A., Chang W. S. Analysis of the Transient Compressible Vapor Flow in Heat Pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 1991, vol. 34, no. 8, pp. 2029–2037.
- [4] Song F., Ewing D., Ching C. Y. Effect of Condenser Geometry on the Performance of a Rotating Heat Pipe. *Journal of Thermophysics and Heat Transfer*, 2004, vol. 18, no. 3, pp. 394–400.
- [5] Lin L., Faghri A. Heat Transfer in a High-Temperature Rotating Heat Pipe. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 1997, vol. 32, no. 2, pp. 175–191.
- [6] Nouri-Borujerdi A., Laein P. Experimental Study of a Rotating Heat Pipe Using Water and Sodium as Working Fluids. *Heat and Mass Transfer*, 2015, vol. 51, pp. 1665–1672.
- [7] Vasiliev L.L. Heat Pipes in Modern Heat Exchangers. *Applied Thermal Engineering*, 2005, vol. 25, pp. 1–19.
- [8] Pan R., Zhang K., Wang W., et al. Heat transfer characteristics analysis of heat pipe based on COMSOL. *Annals of Nuclear Energy*, 2024, vol. 204, art. no. 110549.