

Численное исследование влияния высоты профиля на характеристики теплообменника с гофрированными ребрами

О.В. Соловьева, С.А. Соловьев, Р.З. Шакурова

Казанский государственный энергетический университет

Аннотация: Путем численного моделирования проведено исследование теплообмена и гидродинамики в пластинчатых теплообменниках с гофрированными ребрами, при этом высота профиля гофры варьировалась от 2 до 4 мм. Исследовано влияние высоты профиля на тепловой поток и перепад давления. Выявлено, что увеличение высоты профиля приводит к повышению теплового потока до 34,05% и перепада давления до 54,54%.

Ключевые слова: гофрированный теплообменник, система охлаждения, микроэлектроника, высота профиля, тепловой поток, перепад давления.

Введение

Быстрое развитие микроэлектронных и полупроводниковых технологий, а также современная тенденция к миниатюризации устройств и микросхем привели к значительному увеличению теплового потока на электронных устройствах [1]. Эффективное рассеивание тепла и предотвращение возникновения локальных высоких температур в электронных устройствах обеспечиваются путем применения систем охлаждения [2]. Традиционные системы охлаждения с пластинчатыми и игольчатыми теплообменниками неспособны обеспечить эффективное рассеивание тепла ввиду небольшой удельной площади поверхности. Существует несколько направлений оптимизации конструкции теплообменника с целью повышения эффективности рассеивания тепла, среди которых изменение геометрии ребра [3,4], его перфорация [5], изменение высоты [6] и толщины ребра [7], изменение геометрии фаски [8], а также применение пористых вставок [9,10]. Одним из самых простых и распространенных способов оптимизации конструкции теплообменника является гофрирование, которое позволяет увеличить удельную площадь поверхности теплообменника с сохранением его размеров. В данной работе

представлены результаты численного исследования влияния высоты профиля гофры на тепловой поток и перепад давления.

Постановка задачи и метод решения

Решена задача обтекания потоком воздуха моделей пластинчатых теплообменников с гофрированными ребрами. Построены 3D-модели теплообменников с различной высотой профиля w : 2, 3 и 4 мм (Рисунок 1). Исследовано влияние высоты профиля на тепловой поток и перепад давления. Задача решена с применением вычислительной гидродинамики в программном комплексе ANSYS (v.19.2). На входе в расчетную область задавали температуру $T_{\text{air}}=293$ К и массовый расход воздуха G_m : 10^{-3} , $2 \cdot 10^{-3}$, $3 \cdot 10^{-3}$, $4 \cdot 10^{-3}$ кг/с. К основанию теплообменника подводилось тепло от нагревателя, имитирующего работу устройства микроэлектроники. На нагревателе задавалась температура T : 323 – 353 К.

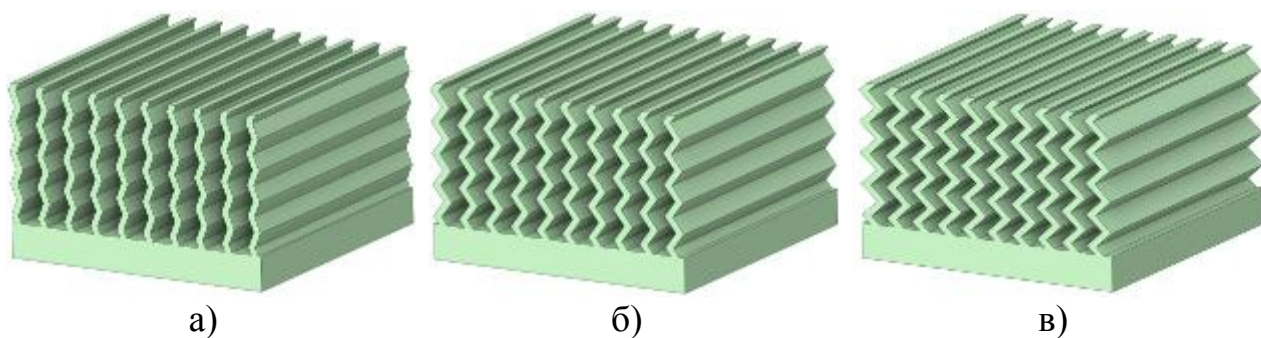


Рис. 1. – Изображения 3D-моделей теплообменников с гофрированными ребрами с высотой профиля: а) $w=2$ мм; б) $w=3$ мм; в) $w=4$ мм

Результаты и обсуждение

По результатам параметрических расчетов построены графики изменения теплового потока и перепада давления в зависимости от массового расхода воздуха и высоты профиля гофрированных ребер пластинчатых теплообменников (рисунок 2). Сплошными линиями указаны графики для

теплообменников с высотой профиля $w=2$ мм, пунктирными линиями для $w=3$ мм и точками для $w=4$ мм.

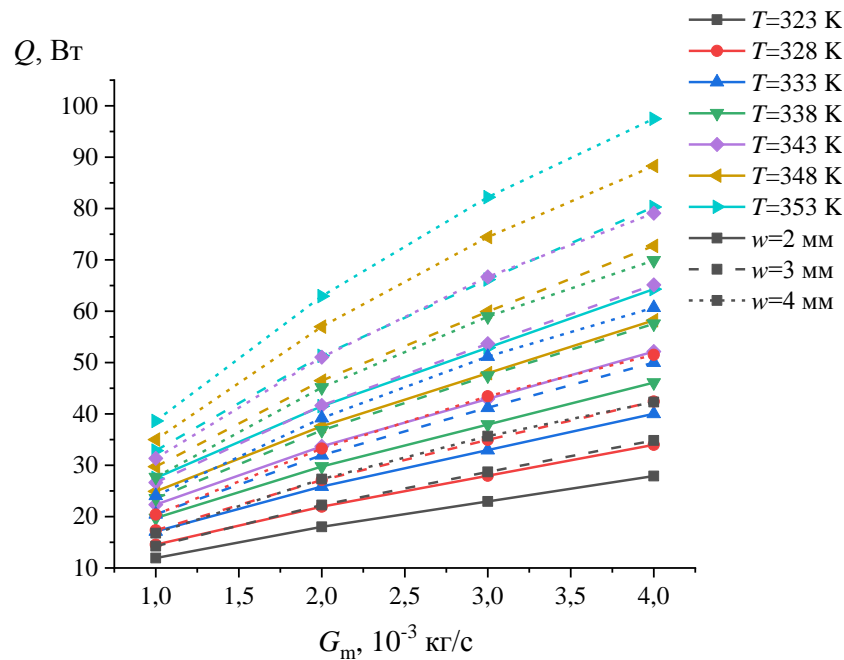


Рис. 2. – Графики изменения теплового потока в зависимости от массового расхода для теплообменников с различной высотой профиля.

Как видно из графиков, увеличение высоты профиля способствует повышению теплового потока. Так, при фиксированных температуре нагревателя 338 К и массовом расходе воздуха $3 \cdot 10^{-3}$ кг/с, тепловой поток составляет: 37,94 Вт при $w=2$ мм, 47,44 Вт при $w=3$ мм и 58,94 Вт при $w=4$ мм. Минимальный прирост по тепловому потоку обеспечивается при $T=323$ К и $G_m=10^{-3}$ кг/с и составляет 28,78% при увеличении высоты профиля с 2 до 4 мм. Максимальный прирост по тепловому потоку достигается при температуре нагревателя $T=353$ К и массовом расходе воздуха $G_m=4 \cdot 10^{-3}$ кг/с и составляет 34,05% при увеличении высоты профиля с 2 до 4 мм. Таким

образом, для более эффективного рассеивания тепла от электронного устройства целесообразно увеличивать высоту профиля гофры.

Графики изменения перепада давления для теплообменников с различной высотой профиля гофры представлены на рисунке 3.

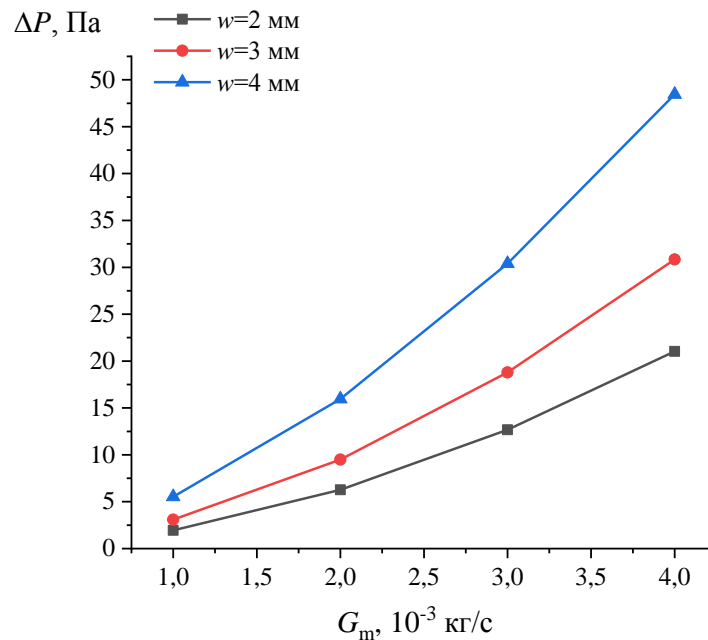


Рис. 3. – Графики изменения перепада давления в зависимости от массового расхода для теплообменников с различной высотой профиля.

Как мы видим на графиках, увеличение высоты профиля приводит к повышению перепада давления. Так, при фиксированном расходе воздуха $3 \cdot 10^{-3}$ кг/с, перепад давления составляет: 12,67 Па при $w=2$ мм, 18,79 Па при $w=3$ мм и 30,39 Па при $w=4$ мм. Минимальный прирост по перепаду давления достигается при массовом расходе 10^{-3} кг/с и составляет 3,57 Па при увеличении высоты профиля с 2 до 4 мм. Максимальный прирост по перепаду давления достигается при массовом расходе $4 \cdot 10^{-3}$ кг/с и составляет 27,40 Па, в процентном соотношении 54,54% при увеличении высоты

профиля с 2 до 4 мм. Таким образом, увеличение высоты профиля приводит к повышению перепада давления и, как следствие, к повышению мощности, необходимой для прокачки воздуха через теплообменник. В свою очередь, это приводит к повышению потребляемой системой охлаждения электрической энергии.

Выводы

Проведено численное исследование характеристик пластинчатого теплообменника с гофрированными ребрами с варьируемой высотой профиля w : 2, 3 и 4 мм. Исследовано влияние высоты профиля на тепловой поток и перепад давления. Результаты исследования показали, что увеличение высоты профиля приводит к повышению как теплового потока, так и перепада давления. Максимальный прирост по тепловому потоку составил 34,05%, по перепаду давления 54,54%. Таким образом, высота профиля оказывает большее влияние на перепад давления, чем на тепловой поток. Тем не менее, увеличение высоты профиля гофры целесообразно в приложениях, где основной задачей является повышение теплового потока от теплообменника для лучшего рассеивания тепла. В ином случае при необходимости снижения энергопотребления систем охлаждения, целесообразно применять теплообменник с небольшой высотой профиля гофры.

***Благодарности:** Исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда № 21-79-10406, rscf.ru/project/21-79-10406/.*

Литература

1. He Z., Yan Y., Zhang L. Thermal-hydraulic investigation on micro heat sinks with ribbed pin-fin arrays and single heating input: parametrical study // Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. pp. 1-17.

2. Upalkar S. A., Kumar S., Krishnan S. Analysis of fluid flow and heat transfer in corrugated porous fin heat sinks // Heat Transfer Engineering. 2021. V. 42. №18. pp. 1539-1556.

3. Haque M. R., Hridi T. J., Haque M. M. CFD studies on thermal performance augmentation of heat sink using perforated twisted, and grooved pin fins // International Journal of Thermal Sciences. 2022. V. 182. P. 107832.

4. Alihosseini Y., Targhi M. Z., Heyhat M. M., Ghorbani N. Effect of a micro heat sink geometric design on thermo-hydraulic performance: A review // Applied Thermal Engineering. 2020. V. 170. P. 114974.

5. Haque M. R., Redu R. R., Rafi M. A. A. A., Haque M. M., Rahman M. Z. Numerical investigation of heat transfer performance for rectangular, elliptical, and airfoil shaped pin fin heatsinks through the novel combination of perforation and bulge inserts // International Communications in Heat and Mass Transfer. 2022. V. 138. P. 106352.

6. Fattahi R., Saidi M. Numerical investigation of curved shape fins height effect on heat transfer and flow characteristics in open microchannel heat sink // International Journal of Thermal Sciences. 2023. V. 185. P. 108060.

7. Alnaimat F., Ziauddin M. Experimental investigation of heat transfer in pin-fins heat sinks for cooling applications // Heat and Mass Transfer. 2021. V. 57. №. 1. pp. 125-131.

8. Соловьева О.В., Соловьев С.А., Шакурова Р.З., Голубев Я.П. Математическое моделирование теплообмена и гидродинамики в пластинчатых радиаторах с круглыми фасками // Инженерный вестник Дона, 2024, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9191/.

9. Соловьева О.В., Соловьев С.А., Шакурова Р.З., Голубев Я.П. Расчет формирования осадка в пористом теплообменнике и оценка влияния осадка на тепловой поток // Инженерный вестник Дона, 2024, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9232/.



10. Соловьева О.В., Соловьев С.А., Голубев Я.П., Шакурова Р.З. Математическое моделирование процесса осаждения частиц пыли на поверхности пористых теплообменников // Инженерный вестник Дона, 2024, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9104/.

References

1. He Z., Yan Y., Zhang L. Journal of Thermal Analysis and Calorimetry. 2022. pp. 1-17.
2. Upalkar S. A., Kumar S., Krishnan S. Heat Transfer Engineering. 2021. V. 42. №18. pp. 1539-1556.
3. Haque M. R., Hridi T. J., Haque M. M. International Journal of Thermal Sciences. 2022. V. 182. pp. 107832.
4. Alihosseini Y., Targhi M. Z., Heyhat M. M., Ghorbani N. Applied Thermal Engineering. 2020. V. 170. p. 114974.
5. Haque M. R., Redu R. R., Rafi M. A. A. A., Haque M. M., Rahman M. Z. International Communications in Heat and Mass Transfer. 2022. V. 138. p. 106352.
6. Fattahi R., Saidi M. International Journal of Thermal Sciences. 2023. V. 185. P. 108060.
7. Alnaimat F., Ziauddin M. Heat and Mass Transfer. 2021. V. 57. №. 1. pp. 125-131.
8. Solov`eva O.V., Solov`ev S.A., Shakurova R.Z., Golubev Ya.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9191/.
9. Solov`eva O.V., Solov`ev S.A., Shakurova R.Z., Golubev Ya.P. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №5. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n5y2024/9232/.
10. Solov`eva O.V., Solov`ev S.A., Golubev Ya.P., Shakurova R.Z. Inzhenernyj vestnik Dona, 2024, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2024/9104/.

Дата поступления: 23.05.2024 Дата публикации: 2.07.2024
