

Литература

1. Wendt J. F. Computational Fluid Dynamics. An Introduction. Berlin: Springer, 2009.
 2. Katz J., Plotkin A. Low speed aerodynamic. New York: Cambridge Univer. Press, 2001.
 3. Drela M., Giles M. B. Two-dimensional transonic aerodynamics design method // American Institute of Aeronautics and Astronautics Journal. 1987. Vol. 25, No. 9. P. 1199–1206.
 4. Schlichting H., Gersten K. Boundary layer theory. Berlin: Springer, 2000.
 5. Goldstein S. On laminar boundary layer flow near a position of separation // J. of Mechanics and Applied Mathematics. 1947. Vol. 1, No. 1. P. 43–69.
 6. Özdemir H., Van Garrel A., Seubers H. J. Unsteady Interacting Boundary Layer Method. Conference Paper, 2007.
 7. Bayeux C. Radenac E., Villedieu P. Theory and validation of a 2D finite-volume integral boundary layer method for icing applications // AIAA J. Vol. 57, No. 10.
 8. Ghiaasiaan S. M. Convective Heat and Mass Transfer. New York: Cambridge, 2011.
 9. Lewins J. D. Comparative solutions to the integral-approximate thermal boundary layer equations for flat plate // Int. J. of Mech. Eng. Ed. 2004. Vol. 32, No. 4. P. 315–344.
-

УДК 536.24

СРАВНИТЕЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АЭРОДИНАМИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ДВУХ НАТУРНЫХ ТЕПЛООБМЕННИКОВ С АЛЮМИНИЕВЫМИ ПРОДОЛЬНЫМИ ГЛАДКИМИ И ОДНОСТОРОННЕ ОЛУНЕННЫМИ РЕБРАМИ

В. Б. Кунтыш¹, А. Б. Сухоцкий¹, Г. С. Маршалова^{1,2}

¹УО «Белорусский государственный технологический университет, г. Минск

²Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск

При охлаждении электронных устройств, приборов, радиопередающего и телекоммуникационного оборудования применяются радиаторы из гладких алюминиевых пластинчатых ребер, гомогенно соединенных с плоским основанием (плитой) из теплопроводного металла, являющегося источником подвода теплоты, выделяемой, например, транзистором, чипом и т. п. Ребра являются пластинами прямоугольного поперечного сечения, образующие узкие прямые каналы (щели), по которым движется принудительный или свободный поток воздуха окружающей среды. Скорость движения воздуха составляет 1–6 м/с. Коэффициент теплоотдачи от гладкой поверхности ребра к воздуху является небольшим (1–20 Вт/(м²·К)) и зависит от вида конвекции (вынужденной или свободной). Вследствие этого масса и габариты радиаторов-теплоотводов значительны.

Подобные гладко пластинчатые теплообменники применяются в качестве теплоутилизаторов систем кондиционирования и воздушного отопления зданий и сооружений в строительном комплексе, в теплотехнологических установках различных отраслей промышленности. Им свойственны те же недостатки, что и радиаторам электроники.

Основным способом снижения объемно-массовых характеристик при заданном отводимом тепловом потоке является интенсификация конвективного теплообмена. Известно и изучено значительное число способов интенсификации [1–8] при вынужденной конвекции газовых потоков. Однако в последние два десятилетия большое внимание привлечено способ

вихревой интенсификации конвективного теплообмена, реализуемый нанесением на поверхности выемок (лунок) цилиндрической, сферической, траншейной, овальной и др. форм. Этот способ впервые был предложен и экспериментально исследован [8] при продольном движении воздуха внутри трубы и в кольцевом канале. Этому научному направлению посвящены десятки многочисленных исследований, включая работы авторов [7]. Способ привлекателен тем, что увеличение теплоотдачи протекает при очень незначительном росте аэродинамического сопротивления. Однако известны отдельные осторожные высказывания о значительном росте сопротивления потока при облунении поверхности по сравнению с гладкими пластинами.

С учетом изложенного, целью работы на первом этапе является получение количественных данных по аэродинамическому сопротивлению натурного пластинчатого теплообменника с луночными интенсификаторами и сравнение с сопротивлением базового теплообменника из гладких пластин, а также, в случае превышения роста сопротивления не более чем на 10–15%, осуществить второй этап экспериментального исследования – изучить теплоотдачу интенсифицированного теплообменника.

Для реализации цели были подготовлены два натуральных пластинчатых теплообменника одинакового конструктивного исполнения, отличающиеся типами поверхности теплообмена. Конструкция базового теплообменника (поперечный разрез, вид спереди и вид сверху со снятой верхней прижимной алюминиевой плитой) приведена на рис. 1. Подобная конструкция применяется при охлаждении принудительным потоком воздуха радиоэлектронного оборудования с мощностью теплового потока $Q = 3,2$ кВт, температурой поверхности у основания 80 °С, температурой охлаждающего воздуха на входе в пластинчатые каналы 25 – 30 °С. Нижняя толстостенная плита (основание) выполнена из красной меди. В ней выфрезированы продольные пазы глубиной 5 мм прямоугольного поперечного сечения, в которые вставлены алюминиевые пластины с обжатием их, что обеспечило прочное плотное их соединение, близкое к гомогенному. Толщина алюминиевых пластин-ребер (теплоотводов) по высоте одинакова и равна $1,4$ мм. Расстояние на просвет между пластинами (ширина воздушного канала) составляло $a = 2,1$ мм, высота $h = 67$ мм, длина пластины $l = 320$ мм. Количество пластин-ребер $m = 55$ шт. Количество воздушных каналов – 54 шт.

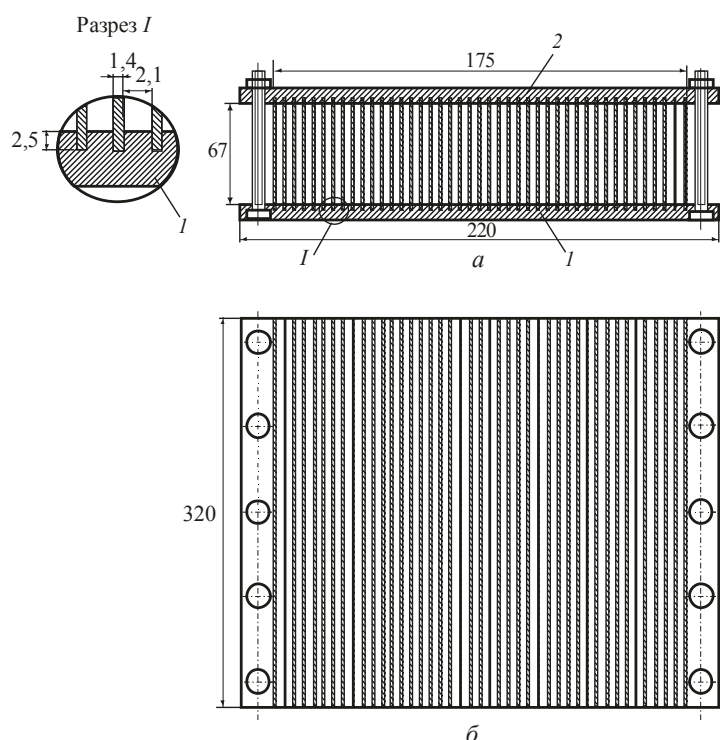


Рис. 1. Поперечное сечение (а), вид сверху (б) пластинчатого теплообменника: 1 – нижняя плита, 2 – верхняя плита

Во втором теплообменнике на одной поверхности каждой пластины фрезой диаметром 3 мм нанесены сферические лунки глубиной 0,84 мм с шахматным расположением. Поперечный шаг (по высоте пластины) составлял $S_1 = 6$ мм, продольный (в направлении движения воздуха) $S_2 = 3$ мм. Следовательно, количество лунок по высоте в одном ряду составляло 10 шт, а количество рядов лунок в направлении движения воздуха – 105 шт. Общее количество лунок на пластине – 1050 шт. Противоположная поверхность пластины была гладкой. Таким образом, в каждом воздушном канале одна поверхность была облуненной, а противоположная (зеркальная) поверхность – гладкой. Внешний вид теплообменника показан на рис. 2.

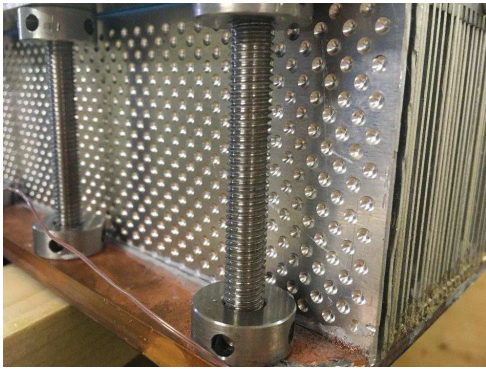


Рис. 2. Внешний вид теплообменника с лунками

Для измерения потерь давления воздуха использовалась аэродинамическая труба [9]. Вход и выход воздуха из теплообменника осуществлялся по подсоединенным каналам из нержавеющей стали длиной 1150 мм. Датчиками отбора статического давления являлись медицинские иглы внутреннего диаметра 0,3 мм, которые устанавливались заподлицо в середине верхней и боковых сторон воздушных каналов, поперечное сечение которых совпадало с поперечным сечением испытанных теплообменников. Потери давления воздуха включали в себя и потери давления на преодоление местного сопротивления воздуху на входе и выходе теплообменника.

Опыты проведены при изотермическом потоке воздуха с температурой 22–23 °С. Скорость воздуха в сечении набегающего потока изменялась в диапазоне $w_n = 3,05–13,4$ м/с. Опытные данные обрабатывались в числах подобия Эйлера (Eu), Рейнольдса (Re) и представлялись графически как $Eu = f(Re)$ на рис. 3. Здесь $Eu = \Delta P / (\rho w^2)$ – число Эйлера; $Re = w d_s / \nu$ – число Рейнольдса; ΔP – перепад статического давления воздуха на теплообменнике, Па; w – скорость воздуха в межпластинчатом канале (щели), м/с; $d_s = 2a$ – эквивалентный диаметр канала, м. Физические константы воздуха ρ и ν принимаются по его средней температуре.

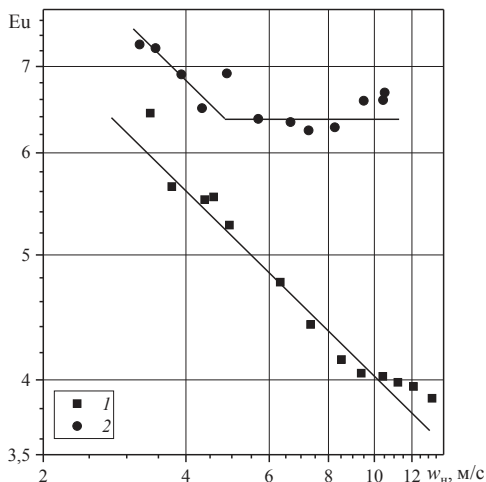


Рис. 3. Аэродинамическое сопротивление пластинчатых теплообменников: 1 – гладкие пластины, 2 – пластины с облунением

Анализ результатов исследования (рис. 3) показывает увеличенное сопротивление теплообменника с луночной интенсификацией. По сравнению с гладко-пластинчатым теплообменником отмечается его увеличение в 1,08–1,1 раза при $Re = 1600–2500$ (нерабочая область) для испытанных устройств и в 1,22–1,45 раза – при $Re = 2700–4800$. Для конкретного будущего применения интенсифицированного теплообменника результат признан неудовлетворительным. Второй этап работы, т. е. всестороннее исследование теплоотдачи применением лунок не проводилось. Однако нами было выполнено изучение теплообмена по укрупненным показателям, которое указывало на увеличение теплоотвода не более 5–8% в изученном диапазоне Re .

Работа выполнена при частичной финансовой поддержке БРФФИ (проект T19PM-076).

Литература

1. Антуфьев В. М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей. М.-Л.: Энергия, 1966. – 184 с.
2. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. М.: Машиностроение, 1972. – 220 с.
3. Мигай В. К. Повышение эффективности современных теплообменников. Л.: Энергия, 1980. – 144 с.
4. Кунтыш В. Б. Исследование теплообмена и его интенсификация в трубных пучках теплообменников воздушного охлаждения: дис. ... д-ра техн. наук. СПб., 1993.
5. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Копп И. З., Мякочин А. С. Эффективные поверхности теплообмена. М.: Энергоатомиздат, 1998. – 408 с.
6. Гортышов Ю. Ф., Олимпиев В. В., Байгалиев Б. Е. Теплогидравлический расчет и проектирование оборудования с интенсифицированным теплообменом. Казань: Изд-во Казан. гос. техн. ун-та, 2004. – 432 с.
7. Халатов А. А., Борисов И. И., Шевцов С. В. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил. Киев: ИТТ НАН Украины, 2005. – 500 с.
8. Кубанский П. Н. Поведение резонансной системы в потоке // ЖТФ. 1957. № 1. С. 180–188.
9. Кунтыш В. Б., Дударев В. В., Сухоцкий А. Б., Володин В. И. Результаты исследования тепловых характеристик пучка воздухоподогревателя из биметаллических ребристых труб // Изв. Вузов. Энергетика. 2014. № 1. С. 48–58.

УДК 532.526.4

СТЕРЕОИЗМЕРЕНИЯ ПОЛЯ СКОРОСТИ ВНУТРЕННЕЙ ОБЛАСТИ ТУРБУЛЕНТНОГО ПОГРАНИЧНОГО СЛОЯ ЗА ТОНКОЙ ТРЕХМЕРНОЙ ПЛАСТИНОЙ

И. Г. Кухарчук, В. Л. Жданов

Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова НАН Беларуси, г. Минск

Представлены результаты экспериментального исследования изменения поля скорости в развитом турбулентном пограничном слое под воздействием тонкой пластины конечных размеров. Трехмерные измерения поля скорости выполнены в плоском водяном канале дли-