

ОБОБЩЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПО АЭРОДИНАМИЧЕСКОМУ СОПРОТИВЛЕНИЮ ПОПЕРЕЧНО-ОМЫВАЕМЫХ ПЛОСКИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С СЕТЧАТО-ПРОВОЛОЧНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

Введение

При проектировании систем охлаждения РЭА, ПК в условиях вынужденной конвекции наряду с расчетом тепловых параметров весьма важным является определение потерь давления от сопротивления при прокачке теплоносителя через теплоотводящую поверхность. Правильно и достоверно рассчитанное аэродинамическое сопротивление теплоотводящей поверхности позволяет выбрать наиболее подходящий вентилятор, обеспечивающий ее эффективный обдув. В свою очередь от конструкции вентилятора зависит и температурный режим работы функциональных узлов и элементов РЭА и ПК.

В НТУУ "КПИ" проведены экспериментальные работы по исследованию плоских поверхностей с сетчато-проволочным оребрением при поперечном омывании их воздухом с целью получения обобщенных зависимостей для расчета аэродинамического сопротивления таких поверхностей (рис.1).

1. Методика исследований

Измерения потерь давления проведены на стенде, описанном в [1] для чисел Рейнольдса $Re=60...1000$ при температурах изотермического

потока охлаждающего воздуха $T_B = 290...300$ К. Геометрические характеристики исследованных поверхностей представлены в таблицах 1, 2.

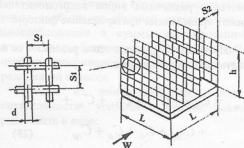


Рис.1. Конструкция теплообменной поверхности

Определяющим размером в числе Рейнольдса принят диаметр проволоки d .

Характерная скорость потока вычислялась в поперечном живом сечении сетчато-проволочной поверхности. Потери давления определялись по разности статических давлений до и после поверхности с учетом потерь на трение в проточной части стенда и местных

Таблица 1

Геометрические характеристики сетчато-проволочных ребер

Номер поверхн.	d, мм	h, мм	L, мм	S ₁ , мм	z
1	0.75	35.0	71.0	5.0	17
2	0.75	32.0	71.0	7.5	17
3	0.75	32.0	71.0	7.5	9
4	0.75	32.0	71.0	7.5	5
5	0.75	32.0	71.0	7.5	3
6	0.65	36.0	72.0	3.0	17
7	0.55	34.5	72.0	3.0	17
8	0.75	35.0	72.0	3.0	5
9	0.75	35.0	72.0	3.0	3
10	0.80	35.5	72.0	5.0	17
11	0.80	31.0	72.0	5.0	17
12	0.80	26.0	72.0	5.0	17
13	0.75	35.0	102.0	3.0	25
14	0.75	35.0	102.0	7.5	23

Таблица 2

Геометрические характеристики и опытные постоянные исследованных поверхностей

Номер поверхн.	S ₁ /d	S ₂ /d	S ₁ /S ₂	H/F	n	C ₁
1	6.67	5.33	1.251	11.20	0.120	0.130
2	10.00	5.33	1.876	6.90	0.080	0.068
3	10.00	10.00	1.000	4.24	0.110	0.098
4	10.00	20.00	0.500	2.92	0.160	0.184
5	10.00	40.00	0.250	2.26	0.210	0.348
6	4.62	6.15	0.750	15.50	0.190	0.284
7	5.45	7.27	0.750	13.50	0.190	0.242
8	4.00	16.00	0.250	6.30	0.250	0.733
9	4.00	32.00	0.125	4.38	0.285	1.120
10	6.25	5.00	1.250	12.00	0.115	0.126
11	6.25	5.00	1.250	10.30	0.110	0.11
12	6.25	5.00	1.250	8.60	0.105	0.095
13	4.00	5.33	0.750	27.93	0.200	0.335
14	10.00	5.33	1.876	8.89	0.085	0.0633

сопротивлений при установке в рабочем участке профилированных вставок:

$$\Delta P = \Delta P_{CT} - (\lambda_{TP} \cdot \frac{L}{d_3} + \xi_M) \cdot \frac{\rho \cdot w_T^2}{2} \quad (1)$$

По значениям P определялись значения чисел Эйлера для поверхности в целом:

$$Eu = \frac{\Delta P}{\rho \cdot w^2} \quad (2)$$

и чисел Эйлера, отнесенных к одному поперечному сетчатому ребру:

$$Eu_1 = \frac{Eu}{z_2} \quad (3)$$

2. Результаты исследований и их анализ

Результаты исследования аэродинамического сопротивления частично представлены на рис.2 в виде зависимостей:

$$Eu_1 = C_1 \cdot Re_d^{-n} \quad (4)$$

В таблице 2 приводятся геометрические характеристики исследованных поверхностей и найденные при обработке экспериментальных данных значения показателя степени n при числе

Рейнольдса и коэффициента C₁ в формуле (4).

В качестве геометрических факторов, влияющих на аэродинамическое сопротивление поверхности с сетчато-проволочным оребрением, использованы взятый из [2] параметр размещения S₁/S₂ и приведенная длина развитой поверхности H/F [3]. Параметр размещения S₁/S₂ представляет собой отношение поперечного шага к продольному. За поперечный шаг S₁ принят шаг ячейки сетчатого ребра, за продольный S₂ – шаг между сетчатыми ребрами (рис.1). Параметр S₁/S₂, как идентификатор размещений сетчато-проволочных ребер на плоском основании, обладает очевидным преимуществом по сравнению с относительными шагами, т.к. сокращает число переменных в обобщающих формулах. Как следует из [3], приведенная длина развитой поверхности задается отношением ее полной площади к площади поперечного проходного сечения. Предложенное обобщение основывается на том, что показатель степени n и коэффициент C₁ в формуле (4) являются функциями, зависящими от параметра S₁/S₂ и приведенной длины H/F.

Из рис.2 и табл.2 видно, что показатель степени изменяется от n=0.085 до n=0.285, достигая наиболее высоких абсолютных значений при наименьших значениях параметров размещения. Зависимость показателя степени n и коэффициента C₁ от параметра размещения и приведенной длины приведена на рис.3, где показаны семейства кривых n=f(H/F) и

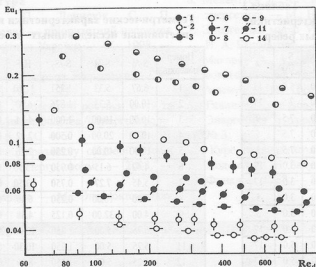


Рис.2. Графики экспериментальных данных $Eu_1=f(Re)$ для поперечномоваемых поверхностей с сетчато-проволочным оребрением 1-3, 6-9, 11, 14 – номера поверхностей в соответствии с табл. 1, 2.

$C_1=f(H/F)$. В каждом из них расслаивающим параметром служит параметр размещения S_1/S_2 . По мере роста H/F абсолютные значения n монотонно и медленно растут, значения C_1 при увеличении H/F возрастают значительно быстрее. Графики рис.3 могут быть аппроксимированы функциями со структурой типа:

$$n = \varphi_1(S_1/S_2) \varphi_2(H/F),$$

$$C_1 = \varphi_3(S_1/S_2) \varphi_4(H/F).$$

Компоненты $\varphi_1(S_1/S_2)$ и $\varphi_3(S_1/S_2)$ отражают влияние размещения сетчатых ребер и шага ячейки, а $\varphi_2(H/F)$ и $\varphi_4(H/F)$ отражают влияние площади поверхности и ее проходного сечения. Математическая обработка приводит к следующим формулам:

$$\varphi_1\left(\frac{S_1}{S_2}\right) = \frac{0.103}{\frac{S_1}{S_2} + 0.48} \quad (5)$$

$$\varphi_2\left(\frac{H}{F}\right) = \left(\frac{H}{F}\right)^{0.3} \quad (6)$$

$$\varphi_3\left(\frac{S_1}{S_2}\right) = 0.039 \cdot \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^{-1.2} \quad (7)$$

$$\varphi_4\left(\frac{H}{F}\right) = \left(\frac{H}{F}\right)^{0.6} \quad (8)$$

$$n = \frac{0.103}{\frac{S_1}{S_2} + 0.48} \cdot \left(\frac{H}{F}\right)^{0.3} \quad (9)$$

$$C_1 = 0.039 \cdot \left(\frac{S_1}{S_2}\right)^{-1.2} \cdot \left(\frac{H}{F}\right)^{0.6} \quad (10)$$

Для интервала $0.125 \leq S_1/S_2 \leq 1.875$ обобщение значений показателей степени n показано на рис.4, а коэффициентов C_1 – на рис.5. Сплошная линия на рис.4 соответствует формуле (6), а на рис.5 – формуле (8). Рассеивание опытных данных относительно расчетных зависимостей на рис.4, 5 за небольшим исключением укладывается по значению комплекса n/φ_1 в пределы 10% и по значению C_1/φ_3 в пределы 15%. Таким образом, приведенные формулы могут использоваться в области значений приведенных длин $2 \leq H/F \leq 30$.

Итоговая погрешность расчетной схемы оценивалась прямым сопоставлением опытных и вычисленных по формулам (4), (9), (10) чисел Эйлера при числах $Re = 100$ и $Re = 1000$.

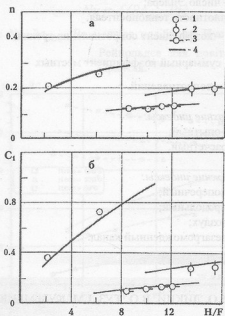


Рис. 3. Зависимость абсолютного значения показателя степени n (а) и коэффициента C_1 (б) в формуле (4) от приведенной длины H/F и параметра размещения S_1/S_2

- 1 - $S_1/S_2 = 0.25$;
- 2 - $S_1/S_2 = 0.75$;
- 3 - $S_1/S_2 = 1.25$;
- 4 - расчет по формулам (9) и (10).

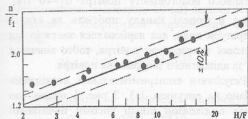


Рис. 4. Обобщение опытных данных по значению показателя степени n в формуле (4)

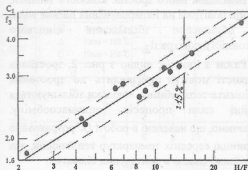


Рис. 5. Обобщение опытных данных по значению коэффициента C_1 в формуле (4)

На рис.6 показаны результаты определения погрешности для 14 поперечно-омываемых поверхностей с сетчато-проволочным оребрением. Точки со светлым фоном относятся к $Re=100$, а с темным - к $Re=1000$. Из рисунка видно, что ширина полосы разброса между опытными и расчетными данными составляет не более $\pm 16\%$ для всех исследованных поверхностей.

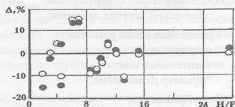


Рис. 6. Результаты оценки расхождений опытных данных с расчетом по формулам (4), (9), (10)

Выводы

По результатам экспериментальных исследований [1] плоских поверхностей с сетчато-проволочным оребрением при поперечном их омывании для расчета аэродинамического сопротивления с погрешностью 16% предлагаются корреляционные зависимости (4), (9), (10), обобщающие экспериментальные данные в диапазонах чисел Рейнольдса $Re=60...1000$ и Эйлера $Eu_1=0.03...0.3$, геометрических параметров поверхности $S_1/S_2=0,125...1,875$ и $H/F=2...30$. Указанные зависимости могут быть применены при теплоаэродинамическом проектировании и модернизации систем охлаждения и термостабилизации теплонагруженных устройств электронных приборов с целью повышения их надёжности.

Литература

1. Письменный Е.Н., Рогачев В.А., Терех А.М., Бурлей В.Д., Разумовский В.Г. Теплообмен плоских поверхностей с сетчато-проволочным оребрением при вынужденной конвекции//Пром.теплотехника.-2002.-Т. 24.-№4. -С. 71-78
2. Стасюлявичюс Ю.К., Скринска А.Ю. Теплоотдача поперечно-обтекаемых пучков ребристых труб. - Вильнюс:Минтис. - 1974. - 243 с.
3. Кэйс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. - М.:Энергия. - 1967. - 222 с.

Список принятых обозначений:

d – диаметр проволоки;
 $d_{\text{ЭТ}}$ – гидравлический диаметр канала;
 h – высота ребра;
 L – линейный размер основания;
 S – шаг;
 T – температура;
 w – скорость воздушного потока;
 z – количество сетчатых ребер;
 ΔP – аэродинамическое сопротивление;
 $\Delta P_{\text{ст}}$ – статический перепад давления;
 H/F – приведенная длина развитой поверхности;
 S/d – относительный шаг;
 S_1/S_2 – параметр размещения;
 Re – число Рейнольдса;

Eu – число Эйлера;

ρ – плотность теплоносителя;

$\lambda_{\text{тр}}$ – коэффициент сопротивления трения;

$\xi_{\text{м}}$ – суммарный коэффициент местных сопротивлений.

Верхние индексы:

оп – опытный;

р – расчетный.

Нижние индексы:

1 – поперечный;

2 – продольный;

в – воздух;

т – незагроможденный канал.