

УДК 621.565.94

Аэродинамическое сопротивление воздушных трубчато-пластинчатых теплообменников

Канд. техн. наук А. Л. ЕМЕЛЬЯНОВ, Е. В. КОЖЕВНИКОВА

Санкт-Петербургский государственный университет низкотемпературных и пищевых технологий
191002, Санкт-Петербург, ул. Ломоносова, 9

Tests of fin-and-coil heat exchangers of firm «Vozduhotekhnika» were conducted in the calorimetric complex ETC plant «IEMZ "Kupol"». The experimental resistance of air were received for these heat exchangers. These resistances were higher than calculated on known relationships. New relationships for resistance of air were received for the tested fin-and-coil heat exchangers.

Key words: fin-and-coil heat exchanger, calculation a resistance of air.

Ключевые слова: трубчато-пластинчатый теплообменник, расчет аэродинамического сопротивления.

В холодильной технике, в системах кондиционирования, в разнообразной теплообменной аппаратуре широко применяются трубчато-пластинчатые теплообменники с интенсифицированной оребренной поверхностью [1]. При этом для выбора оптимальной конфигурации теплообменника необходимо найти наилучшее сочетание коэффициента теплоотдачи и аэродинамического сопротивления. В то же время методы расчета, а также компьютерные программы подбора теплообменников для конкретных изделий разработаны еще недостаточно [2]. Используемые при этом данные по расчету коэффициентов теплоотдачи со стороны воздуха и аэродинамического сопротивления часто не соответствуют современным конструкциям и технологиям изготовления теплообменников [3, 4], что приводит к существенным допускам и погрешностям при проектировании изделий.

В статье [5] в виде критериальных зависимостей были рассмотрены и обобщены результаты экспериментальных исследований коэффициентов теплоотдачи со стороны воздуха для теплообменников, изготовленных на оборудовании ОАО «Воздухотехника». Исследования проводились на калориметрическом комплексе, описанном в работе [6]. Конструкция, геометрические характеристики исследованных теплообменников, расходные параметры сред, а также геометрия ребер теплообменников с трубками диаметром 9,52 и 12 мм приведены в статье [5]. Всего было проведено более 30 опытов для 18 конструкций теплообменников в широком диапазоне изменения их теплопроизводительности, расхода и температуры воздуха и воды.

В данной работе, в развитие статьи [5], обобщаются результаты исследования аэродинамических сопротивлений для тех же конструкций теплообменников.

Диапазон моделируемых тепловых параметров при испытаниях теплообменников представлен в табл. 1, а результаты экспериментов — в табл. 2.

Из табл. 2 видно, что экспериментальные значения $\Delta P_{\text{в}}$ превышают значения, рассчитанные по формуле Гоголина [3], для теплообменников с трубками $\varnothing 9,52$ мм на 26–57 %, с трубками $\varnothing 12$ мм — на 20–74 %. Таким образом, наличие гофр приводит к значительному повышению аэродинамического сопротивления. Форма гофр также влияет на величину аэродинамического сопротивления. В работе [4] приведены зависимости аэродинамического сопротивления для теплообменников с трубками $\varnothing 12$ мм и ребрами с высотой гофр 2,5 мм. Остальные параметры ребер соответствуют параметрам, приведенным в статье [5]. Значения аэродинамического сопротивления для теплообменников с трубками $\varnothing 12$ мм, рассчитанные по формуле из статьи [4], меньше экспериментальных значений на 6–51 %, кроме опытов 13–15 (где больше экспериментальных значений на 14–16 %).

Экспериментальные данные были обобщены в виде критериальных зависимостей

$$\Delta P_{\text{в.расч}} = \frac{A}{(u - \delta_p)^B} \left(\frac{L_{\text{в}}}{K_{\Phi p} \left[\frac{l}{u} \right]} \right)^B K_{\text{прод}}^{\Gamma}, \quad (1)$$

где $\Delta P_{\text{в.расч}}$ — расчетные значения аэродинамического сопротивления;

δ_p — толщина ребра;

$L_{\text{в}}$ — массовый расход воздуха;

$K_{\Phi p}$ — число трубок в ряду;

$\left[\frac{l}{u} \right]$ — число ребер, определяемое округлением вверх

значения отношения l/u ;

$K_{\text{прод}}$ — число рядов трубок;

A, B, V, Γ — коэффициенты, зависящие от вида ребер, наличия гофр, их высоты, расположения трубок в пакете оребрения.

Таблица 1
Диапазон моделируемых тепловых параметров

Наименование параметра	Диапазон значений	
	для теплообменников с трубками $\varnothing 9,52$ мм	для теплообменников с трубками $\varnothing 12$ мм
Температура воздуха на входе $t_{\text{в1с}}, ^\circ\text{C}$	5–27	5–20
Относительная влажность воздуха на входе $\varphi_{\text{в1}}, \%$	49–84	50–84

Таблица 2
Результаты экспериментов

Номер опыта	Обозначение теплообменника*	Скорость воздуха во фронтальном сечении $v_{\text{в. фп}}, \text{м/с}$	Аэродинамическое сопротивление $\Delta P_{\text{в}}, \text{Па}$			
			Опыт	Расчет по [3]	Расчет по [4]	Расчет по (3)
1	12.1 600-300-1-1,6-2	1,55	13,6	4,76	8,38	14,7
2		1,01	7,72	2,00	3,81	7,46
3		1,54	13,5	4,70	8,29	14,6
4	12.1 600-300-1-2,2-2	1,54	9,71	3,92	6,84	10,8
5		2,78	24,3	10,5	16,8	23,4
6	12.1 600-300-1-4,0-2	1,55	7,66	2,95	4,76	6,42
7		2,78	19,1	8,25	12,1	14,4
8	12.1 600-300-2-1,6-4	2,31	41,9	19,0	31,4	42,3
9	12.1 600-300-2-2,2-4	2,32	27,5	15,8	25,9	31,2
10	12.1 600-300-2-4,0-4	2,32	19,8	12,1	18,2	18,8
11	12.1 600-300-4-1,6-8	2,32	70,5	37,2	61,5	69,4
12		2,78	92,2	50,7	81,5	88,5
13	12.1 600-300-4-2,2-8	3,09	71,1	52,2	81,4	76,9
14	12.1 600-300-4-4,0-8	3,10	47,1	37,9	54,8	44,6
15		1,71	16,8	12,1	19,4	18,2
16	9.1 600-300-1-1,6-2	1,55	14,7	6,31	—	14,3
17		2,79	35,7	17,5	—	37,9
18	9.1 600-300-1-2,2-2	2,32	22,3	11,2	—	23,3
19		2,78	29,7	14,5	—	29,9
20	9.1 600-300-1-3,6-2	1,55	9,52	4,21	—	8,40
21		2,78	24,8	11,7	—	22,3
22	9.1 600-300-2-1,6-4	2,32	45,2	24,5	—	45,8
23	9.1 600-300-2-2,2-4	2,31	37,5	20,9	—	37,0
24		1,54	18,4	9,09	—	16,7
25		1,55	17,8	9,23	—	17,0
26	9.1 600-300-2-3,6-4	1,39	28,6	16,8	—	27,5
27	9.1 600-300-4-1,6-8	2,31	78,3	49,1	—	77,5
28		2,78	106	66,3	—	103
29	9.1 600-300-4-2,2-8	3,10	100	72,7	—	106
30		4,79	211	148	—	210
31	9.1 600-300-4-3,6-8	3,09	74,1	55,1	—	74,8
32		2,78	59,7	42,0	—	57,7

* Расшифровку обозначения теплообменника см. в статье [5].

При решении совокупности систем нелинейных уравнений вида

$$\Delta P_{\text{в}} = \frac{A}{(u[i] - \delta_p)^B} \times$$

$$\times \left(\frac{L_{\text{в}}[i]}{K_{\Phi p} \left[\frac{l}{u[i]} \right]} \right)^B K_{\text{прод}}[i]^{\Gamma} \quad (2)$$

были получены обобщенные значения коэффициентов А, Б, В, Г и следующие формулы для расчета аэродинамического сопротивления теплообменников:

$$\Delta P_{\text{в. расч}} = \begin{cases} \frac{62,36}{(u - \delta_p)^{2,29}} \left(\frac{L_{\text{в}}}{K_{\Phi p} \left[\frac{l}{u} \right]} \right)^{1,72} \cdot K_{\text{прод}}^{0,76}, \\ \text{для трубы диаметром } 9,52 \text{ мм}; \\ \frac{2,09}{(u - \delta_p)^{2,2}} \left(\frac{L_{\text{в}}}{K_{\Phi p} \left[\frac{l}{u} \right]} \right)^{1,41} \cdot K_{\text{прод}}^{0,74}, \\ \text{для трубы диаметром } 12 \text{ мм}. \end{cases} \quad (3)$$

Среднее квадратичное отклонение результатов расчета от экспериментальных значений для теплообменников с трубками $\varnothing 9,52$ мм составило 0,5 Па (1,3 %), для теплообменников с трубками $\varnothing 12$ мм — 9,6 Па (2,7 %) — см. табл. 2.

Полученные зависимости позволяют с большей точностью рассчитать аэродинамическое сопротивление теплообменника, и, как следствие, по существующей зависимости давление—расход вентилятора адекватно определить объемный расход воздуха, проходящего через теплообменник, а значит и требуемую площадь теплообмена, его габариты, массу и теплопроизводительность теплообменника. Полученные зависимости могут быть использованы при расчете конденсаторов и воздухоохладителей холодильных машин, а также при разработке сервисных программ. Особенности этих расчетов при различных режимах образования конденсата рассмотрены в работе [7].

Список литературы

1. Емельянов А. Л., Кожевникова Е. В., Лопаткина Т. А. Трубчато-пластинчатые теплообменники // Вестник MAX. 2011. № 2.

2. Емельянов А. Л., Кожевникова Е. В., Лопаткина Т. А. Обзор методов оптимизации трубчато-пластинчатых теплообменников (обзор состояния и проблемы) // Холодильная техника. 2010. № 5.
3. Теплообменные аппараты холодильных установок / Г. Н. Данилова, С. Н. Богданов, О. П. Иванов и др. — Л.: Машиностроение, 1986.
4. Бялый Б. И. Тепломассообменное оборудование воздухообрабатывающих установок ООО «ВЕЗА». — М.: ООО «Инфоркт», 2005.
5. Емельянов А. Л., Кожевникова Е. В. Испытания воздушных трубчато-пластинчатых теплообменников // Холодильная техника. 2011. № 7.
6. Кожевникова Е. В., Лопаткина Т. А. Калориметрический комплекс для исследования теплоотдачи в теплообменниках и испытания кондиционеров // ЭНЖ «Холодильная техника и кондиционирование». 2010. № 2. URL. <http://refrigeration.open-mechanics.com/articles/173.pdf>
7. Кожевникова Е. В., Лопаткина Т. А. Экспериментальное исследование эффективности методов расчета трубчато-пластинчатых воздухоохладителей при различных режимах образования конденсата // ЭНЖ «Холодильная техника и кондиционирование». 2011. № 1. URL. <http://refrigeration.open-mechanics.com/articles/173.pdf>