

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ТЕПЛОТЕХНИЧЕСКИХ
И АЭРОДИНАМИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК
ВОЗДУХОНАГРЕВАТЕЛЕЙ

При создании современных типов воздухонагревателей большую роль играют их высокие теплотехнические свойства, небольшой вес, невысокое аэродинамическое сопротивление, компактность и эффективность установки. Изменение теплотехнических и аэродинамических характеристик воздухонагревателей должно рассматриваться во взаимосвязи с изменением размеров оребрения.

В зависимости от технологии изготовления в настоящее время применяются оребрения следующих видов: спирально-навивное оребрение с натяжением без гофров, спирально-навивное оребрение с гофрами, навивка на трубу ленты оребрения с разрезкой, с разрезкой и отгибом кромок, накатка ребер из материала трубы и др.

Наиболее рациональным типом оребрения является получение ребер путем пластической деформации, что приводит к отсутствию термического сопротивления контакта, при этом создается благоприятное условие распространения тепла в теле ребра. Получение высоких ребер удается осуществить при использовании трубок-заготовок из меди, алюминия и его сплавов. Низкие ребра высотой h до 3,5 мм получают путем накатки и выполняются из стальных, медных и алюминиевых трубок-заготовок.

Для интенсификации теплообмена спирально-навивных оребренных элементов и создания вихревого режима течения в межреберных полостях ребра, расположенные по винтовой линии под углом 45° к оси трубы, разрезались на короткие участки [1]. В некоторых случаях эти участки имели отогнутые кромки в разные стороны [2]. Происходит срыв потока с острых кромок оребрения и разрушения теплового пограничного слоя, за счет чего коэффициент теплоотдачи α_n возрастает.

К настоящему времени не разработана технология изготовления стального оребрения с рассечкой ленты, и это приводит к дополнительным трудовым затратам и удорожанию конструкции. Рядом авторов экспериментально исследованы коэффициент

теплоотдачи α_n и аэродинамические сопротивления для различных видов оребрения [3, 4, 5, 2, 1, 6] и путем преобразований и аналитической обработки получены более упрощенные зависимости для определения α_n и Δp .

	В.Г.Фастовский		В.Б.Кунтыш	
	Ю.В.Петровский		Ф.М.Иохведов	
	В.М.Антуфьев		В.М.Антуфьев	
α_n , Вт/м ² ·град	28,2v ^{0,643}	28v ^{0,635}	54v ^{0,7}	
Δp , Па	1,95v ^{1,711}	4,6v ^{1,825}	17,7v ^{1,64}	
	Е.К.Гусев		Н.В.Зозуля	
	В.М.Антуфьев		А.А.Хавин	
α_n Вт/м ² ·град	71v ^{0,72}	81v ^{0,7}		
Δp , Па	4,15v ^{1,66}	2,32v ^{1,8}		

Рассмотренные выше виды оребрения, несмотря на высокие теплотехнические и сравнительно небольшие аэродинамические показатели, имеют существенные недостатки: всевозможные рассечки вызывают увеличение трудовых затрат и удорожание конструкции, а тянутые оребрения требуют применения дефицитных цветных металлов, которые для широкого применения в воздухонагревателях-калориферах неприемлемы.

Широкое применение воздухонагревателей-калориферов требует разработки и внедрения в производство стальных моделей, имеющих оптимальные размеры оребрения и отвечающих требованиям мировых стандартов.

Теплоотдача и аэродинамическое сопротивление воздухонагревателя зависят от размеров оребрения, а именно: от диаметра греющих трубок d , высоты ленты оребрения h , шага оребрения t , поперечного S_1 и продольного S_2 шага оребренных трубок, толщины оребрения δ и величины живого сечения для прохода воздуха.

На основании аналитического исследования можно сделать вывод, что при увеличении S_1 теплоотдача воздухонагревателя увеличивается при прочих равных размерах и может равняться

$$S_1 = (0,87 - 0,92) (d + 2h) \text{ мм.}$$

Увеличение коэффициента теплоотдачи α_n при более тесном пучке оребренных трубок в продольном направлении объясняется тем, что аэродинамическая тень за трубками уменьшается и увеличивается теоретическая разность температур поверхности оребрения и воздуха. На основании аналитических расчетов ре-

Таблица 1. Зависимость α_H от размеров оребрения

h, мм	t, мм	δ , мм	d = 23 x 2,5 мм		d = 12 x 1 мм		d = 14 x 2,5 мм	
			S ₁	A = $\frac{\alpha_H}{\sqrt{0,85}}$	S ₁	A = $\frac{\alpha_H}{\sqrt{0,85}}$	S ₁	A = $\frac{\alpha_H}{\sqrt{0,85}}$
7	3,0	0,5	43	18	26	24,2	28	22,4
10	4,5	0,5	43	17,2	32	31	34	20,3
7	4,5	0,5	-	-	26	28	28	25,4
7	4,65	0,35	-	-	26	27,2	28	24,9
7	4,75	0,25	-	-	26	27,1	28	24,8
7	3,5	0,5	-	-	26	28	28	22,3
7	3,65	0,35	-	-	26	25,4	28	21,6
7	3,75	0,25	-	-	26	25,2	28	21,6
7	3,0	0,5	-	-	26	24,2	28	22,4
7	3,15	0,35	-	-	26	24,4	28	22,6
7	3,25	0,25	-	-	-	-	28	22,6
10	4,5	0,5	-	-	32	31,0	34	20,3
10	3,15	0,35	-	-	32	22,1	34	20,8
10	3,25	0,25	-	-	32	22,4	34	28,2
7	3,65	0,35	-	-	-	-	34	20,4
7	3,65	0,35	-	-	-	-	29	21,4
7	3,65	0,35	-	-	-	-	30	21,3
7	3,65	0,35	-	-	-	-	31	21,3
7	3,65	0,35	-	-	-	-	32	21,2

комендуется принимать продольный шаг между оребренными трубками равным

$$S_2 = d + 2h + 2$$

Из анализа экспериментальных данных [3] вытекает, что аэродинамическое сопротивление при уменьшении диаметра греющих трубок при прочих равных размерах увеличивается незначительно, зато вызывает резкое увеличение теплоотдачи воздухонагревателя. Для разных диаметров греющих трубок аналитически исследовалось влияние размеров оребрения на коэффициент теплоотдачи α_H . Коэффициенты теплоотдачи α_H в зависимости от изменения величин h , t , δ , d и S_1 для стального спирально-навивного оребрения сведены в табл. 1.

Из табл. 1 следует, что наилучшими теплотехническими показателями характеризуются оребренные элементы стального спирально-навивного воздухонагревателя с толщиной ленты оребрения $\delta = 0,35$ мм, высотой $h = 7$ мм.

На основании аналитических исследований находим, что α_H увеличивается с уменьшением диаметра греющих трубок и толщины ленты. Для одного и того же диаметра, шага оребрения и толщины навивной ленты α_H выше для более низкого оребрения ($h = \min$). При уменьшении t при прочих равных условиях α_H уменьшается, но при этом значительно увеличи-

Таблица 2. Зависимость Δp от размеров оребрения

d , мм	δ , мм	h , мм	S_2	Количество рядов трубок	Δp , Н/м ²
12 x 1	0,35	7	30	3	4,9 (\sqrt{p}) 1,75
	0,35	7	30	4	6,5 (\sqrt{p}) 1,75
	0,25	7	30	3	7,85 (\sqrt{p}) 1,75
	0,25	7	30	4	8,45 (\sqrt{p}) 1,75
14 x 1	0,35	7	30	3	4,9 (\sqrt{p}) 1,75
	0,35	7	30	4	6,5 (\sqrt{p}) 1,75
	0,25	7	30	3	7,85 (\sqrt{p}) 1,75
	0,25	7	30	4	8,45 (\sqrt{p}) 1,75

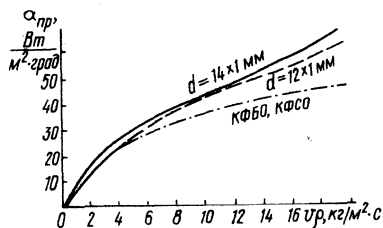


Рис. 1. Зависимость $\alpha_{пр}$ от $v_{пр}$ для спирально-навивного стального оребрения с оптимальными размерами.

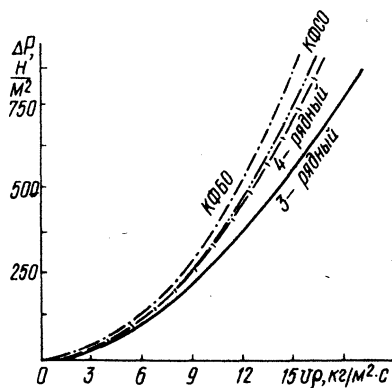


Рис. 2. Зависимость Δp от $v_{пр}$ для спирально-навивного стального оребрения с оптимальными размерами.

вается количество ребер и поверхность оребрения, что улучшает условия теплообмена. Уменьшение просвета между ребрами улучшает технико-экономические характеристики ребристых воздухонагревателей, работающих в режиме вынужденного движения воздуха. Шаг оребрения в свету следует принимать $t = 3,65$ мм, диаметр греющей трубки $d = 14 \times 1$ мм.

Аналитически исследовалось влияние размеров стального спирально-навивного оребрения с шахматным расположением трубок на величину аэродинамического сопротивления воздухонагревателя. На основании аналитических расчетов получены выражения для определения аэродинамического сопротивления Δp в зависимости от толщины оребрения δ , диаметра греющих трубок d , шага S_2 , которые приведены в табл.2.

Резюме. 1. Предлагается [7] новый тип стального спирально-навивного воздухонагревателя-калорифера со следующими оптимальными размерами оребрения:

диаметр греющих трубок $d = 14 \times 1$ мм;

высота навивной ленты $h = 7$ мм;

шаг оребрения навивной ленты в свету $t = 3,65$ мм;

толщина навивной стальной ленты $\delta = 0,35$ мм;

продольный шаг оребренных трубок $S_2 = 25$ мм;

поперечный шаг оребренных трубок $S_1 = 30$ мм.

2. Для аналитического расчета теплопроизводительности калорифера нового типа предлагается график (рис.1) для нахождения осредненного по всей поверхности коэффициента теплоотдачи $\alpha_{пр}$ от оребренной поверхности при шахматном расположении трубок в зависимости от массовой скорости воздуха, а также график (рис.2) для определения аэродинамического сопротивления в зависимости от массовой скорости воздуха.

Л и т е р а т у р а

1. Кунтыш В.Б., Иохведов Ф.М. Выбор эффективной поверхности нагрева для создания компактного воздухонагревателя (калорифера). - "Изв. вузов СССР. Энергетика", 1970, №5. 2. Антуфьев В.М., Гусев Е.К. Интенсификация теплообмена оребренных поверхностей при поперечном обтекании. - "Теплоэнергетика", 1968, №7. 3. Юдин В.Ф., Тохтарова Л.С. Аэродинамические сопротивления пучков ребристых труб в поперечном потоке газа. - "Энергомашиностроение", 1972, №9. 4. Антуфьев В.М. Сравнительные исследования теплоотдачи и сопротивления ребристых поверхностей. - "Энергомашиностроение", 1961, №2. 6. Зозуля Н.В., Хавин А.А. Теплотехнические характеристики пучков труб с лепестковым поперечным оребрением. - "Энергомашиностроение", 1968, №11. 7. Зайцева Н.К. Отчет по научно-исследовательской работе "Исследование теплообменных процессов спирально-навивных воздухонагревателей", № гос. регистрации 69016469. М., 1973.