

ТЕПЛОАЭРОДИНАМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ НОВЫХ ТЕПЛОТВОДЯЩИХ ПОВЕРХНОСТЕЙ С ПЛАСТИНАТО-РАЗРЕЗНЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

Сравнение и оценка эффективности различных конструкций теплоотводящих оребренных поверхностей является достаточно сложной задачей прежде всего из-за необходимости учета большого количества теплоаэродинамических и экономических показателей, взаимосвязанных между собой и характеризующих надежную работу поверхности. К таким показателям, например, можно отнести коэффициент теплоотдачи, аэродинамическое сопротивление, объем и массу поверхности, технологичность ее изготовления, загрязняемость поверхности, ее себестоимость и т.д. Поэтому определение наиболее рациональной конструкции теплообменной поверхности и выбор ее оптимального варианта при значительном сокращении габаритов и массы является актуальной задачей.

Разработке методов сравнения теплоаэродинамической эффективности интенсифицирующих теплообменных поверхностей на основе различных условий и критериев посвящено достаточно много исследований [1-5]. В них, как правило, совершенство теплообменной поверхности с энергетической точки зрения характеризуется соотношением переданного количества теплоты через данную поверхность теплообмена и энергии, затраченной теплоносителем на преодоление сопротивления. Сравнение же поверхностей нагрева между собой или с эталонной и выявление из них высокоэффективной осуществляется путем установления взаимосвязи между теплоотдачей и сопротивлением при равенстве чисел Рейнольдса с привлечением сведений о массогабаритных характеристиках сопоставляемых поверхностей. Например, в усовершенствованном обобщенном способе [6] в качестве условия сравнения используются эффективные числа Нуссельта при равенстве эффективных чисел Рейнольдса, характеризующих рабочие параметры теплообменных поверхностей: тепловую мощность, расход и мощность на прокачку теплоносителя, его теплофизические свойства и температурный напор. Такой метод расчета эффективных параметров, по мнению авторов, позволяет проводить исследование эффективностей теплоотдающих поверхностей, образованных геометрически неподобными каналами при произвольной форме представления опытных данных по теплоотдаче и гидравлическому сопротивлению.

Таким образом, разработчику следует выбирать такую конструкцию оребренной поверхности, которая может передать заданное количество теплоты при ее минимальных габаритах и возможно меньшей затрате энергии на прокачку теплоносителя через поверхность.

Используя современные подходы и методы, в НТУУ «КПИ» на базе обширного экспериментального материала [7-9] выполнена оценка эффективности новых теплоотводящих поверхностей с пластинчато-разрезным оребрением. Исследованные поверхности изготовлены из меди и имеют одинаковые габаритные размеры. Оребрение закреплено на плоском основании с линейными размерами 70x70x5 мм, высота ребер составляет 35 мм. К оребрению со стороны основания с помощью резистивного нагревателя осуществляется равномерный теплоподвод. Исследуемые поверхности продувались в аэродинамической трубе, при этом происходило продольное омывание ребер воздушным потоком [7].

Общий вид и обозначения основных геометрических размеров поверхности с пластинчато-разрезным оребрением приведены на рис. 1.

Основные характеристики оребрения исследуемых поверхностей и их нумерация, используемая в дальнейшем при обработке экспериментальных данных, приведены в таблице 1.

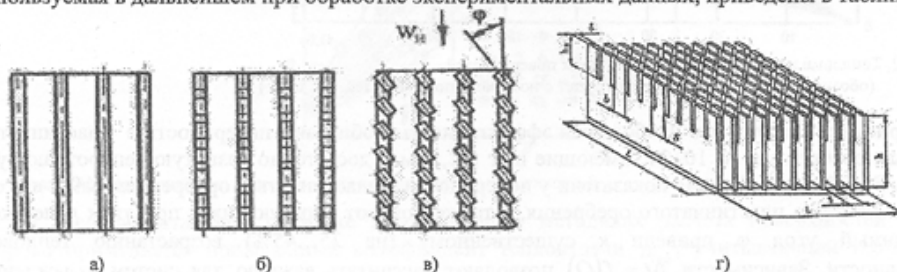


Рис.1. Типы исследуемых поверхностей:

- а, б, в вид сверху; г - общий вид поверхности с пластинчато-разрезным оребрением;
 а) поверхность с пластинчатым оребрением (№9, 12);
 б) поверхность с разрезным оребрением при $\varphi=0^\circ$ (№1-3, 10,11);
 в) поверхность с разрезным оребрением и поворотом лепестков на угол φ (№4-8).

Таблица 1

Основные характеристики исследованных поверхностей с различной формой оребрения

Характеристика поверхности	Номер (обозначение) поверхности											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Глубина разрезки h_p , мм	14	21	28	14	21	28	21	28	0	14	21	0
Угол поворота лепестков, φ , °	0	0	0	30	30	30	45	45	0	0	0	0
Шаг между ребрами t , мм	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	6,9	2,5	2,5	2,5
Толщина ребра, δ , мм	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4	0,55	0,55	0,55
Площадь теплоотдающей поверхности F , см ²	612	612	612	612	612	612	612	612	603	1350	1350	1350
Коэффициент оребрения, Ψ	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	10,6	24	24	24
Масса теплоотдающей поверхности, м, г	515	515	515	515	515	515	515	515	515	450	450	450

Исследовано десять типов поверхностей с пластинчато-разрезным оребрением без поворота ($\varphi=0^\circ$) и с углом поворота лепестков ($\varphi=30^\circ, 45^\circ$) по отношению к набегающему потоку (№1-8, 10, 11) и две поверхности с традиционным пластинчатым оребрением (№9, 12). Кроме углов поворота φ , оребрения поверхностей отличались между собой глубиной разрезки h_p , шагом между ребрами t , толщиной ребра δ .

Одним из способов оценки тепловой эффективности развитых поверхностей является обработка и представление первичных экспериментальных данных в виде графических зависимостей $\Delta t = f(Q)$ при различных скоростях обдува, где Q – рассеиваемая поверхностью тепловая мощность, $\Delta t = t_{осн} - t_{окр.с}$ – перегрев основания поверхности по отношению к окружающей среде. Лучшую поверхность можно выбрать по результатам анализа имеющихся кривых. При одинаковых перегревах основания Δt эффективнее будет та поверхность, у которой теплосброс выше, т.е. чем ниже размещена кривая $\Delta t = f(Q)$, тем выше эффективность поверхности. На рис. 2 представлены тепловые характеристики исследуемых поверхностей с пластинчатым (№9,

12) и пластинчато-разрезным (№1, 3, 4-8, 10, 11) оребрениями при фиксированной скорости обдува $w_H = 3,5$ м/с.

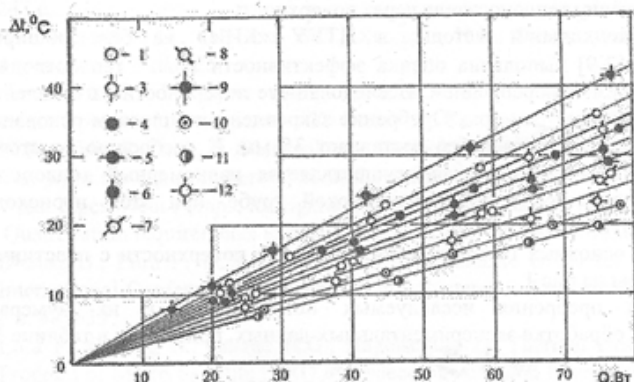


Рис.2. Тепловые характеристики исследуемых поверхностей (обозначение опытных точек совпадает с номерами поверхностей, см. табл.)

Из рисунка следует, что наибольшей эффективностью обладают поверхности с пластинчато-разрезным оребрением № 10, 11, имеющие шаг $t=2,5$ мм и достаточно развитую теплоотдающую площадь $F=1350$ мм². Худшие показатели у поверхности с пластинчатым оребрением №9 и шагом $t=6,9$ мм. Разрезка пластинчатого оребрения, а также поворот образующихся при этом лепестков на заданный угол φ привели к существенному (на 25...45%) возрастанию тепловой эффективности. Зависимости $\Delta t = f(Q)$ позволяют рассчитать важную для систем охлаждения характеристику – термическое сопротивление теплоотдающей поверхности $R = \Delta t/Q$. При фиксированной скорости обдува $w_H = 3,5$ м/с термические сопротивления рассматриваемых лучших поверхностей №10, 11 составляют соответственно $R_{10}=0,27$ К/Вт и $R_{11}=0,25$ К/Вт.

Приведенный способ оценки эффективности базируется лишь на теплообменных свойствах исследуемых поверхностей, изменяющихся в результате интенсификации конвективного теплообмена за счет применения различных форм оребрения и не учитывает затрат мощности на прокачку теплоносителя.

При разработке систем воздушного охлаждения, как правило, обращают особое внимание на потери давления, возникающие от применения интенсифицирующей теплообменной поверхности с развитым оребрением и стремятся к снижению ее аэродинамического сопротивления.

С целью определения аэродинамических сопротивлений исследованных поверхностей экспериментальные данные обработаны в виде графических зависимостей $\Delta P = f(w_H)$ ($\Delta P = \zeta \cdot \rho w_H^2 / 2$; ζ - коэффициент сопротивления), которые показаны на рис.3.

Изменению скорости набегающего воздуха в интервале $w_H=2...10$ м/с соответствует диапазон сопротивлений $\Delta P=2...100$ Па, охватывающий значения наиболее встречающихся в проектировании современных систем охлаждения. Как и ожидалось, меньшим сопротивлением обладают поверхности с обычным гладким пластинчатым оребрением №9, 12.

По сравнению с ними поверхности с оребрением, интенсифицирующим теплообмен за счет применения разрезки и поворотов участков ребер при одной и той же скорости обдува, имеют большее сопротивление, что ухудшает эксплуатационные возможности таких поверхностей и приводит к неизбежному увеличению затрат мощности вентилятора на преодоление их сопротивлений. К интенсифицирующим поверхностям, имеющим умеренные значения аэродинамических сопротивлений можно отнести поверхности №1-3 с межреберным шагом $t=6,9$ мм и поверхности №10, 11 с $t=2,5$ мм, которые близко расположены к кривой распределения $\Delta P = f(w_H)$ пластинчато-ребристой поверхности №12.

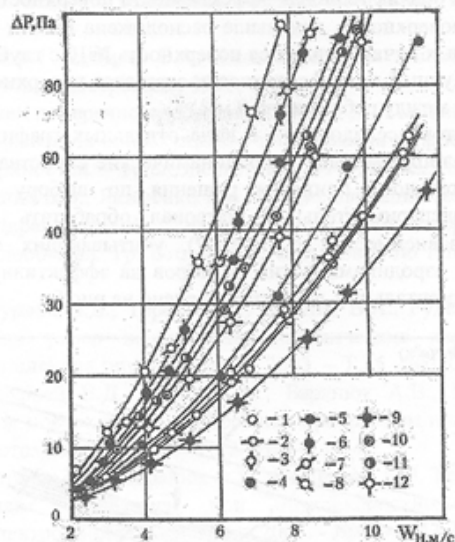


Рис.3. Аэродинамические сопротивления исследованных поверхностей

В экспериментальной практике и инженерных методиках расчета поверхностей нагрева широко применяется приведенный коэффициент теплоотдачи $\alpha_{пр}$, учитывающий термическое сопротивление теплопроводности, обусловленное формой, сечением, материалом ребра и термическое сопротивление конвективной теплоотдачи при омывании ребристой поверхности теплоносителем, в том числе и эффективность теплоотдачи ребра [10].

Однако при сравнении поверхностей с различными теплоотдающими площадями и соответственно имеющих разный коэффициент оребрения Ψ следует прибегнуть к условному обобщенному параметру $\alpha_{пр} \cdot \Psi$, характеризующему передачу определенного удельного количества теплоты через гладкое основание оребренной поверхности. В связи со сказанным, анализ эффективности работы сопоставляемых поверхностей №1-12 выполнен по графическим зависимостям, приведенным на рис.4.

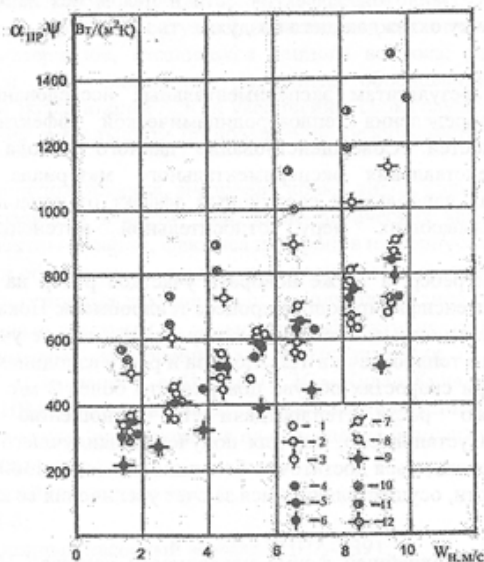


Рис.4. Влияние скорости обдува на тепловую эффективность поверхностей №1-12

С увеличением скорости обдува тепловая эффективность поверхности монотонно возрастает. Чем эффективнее работает поверхность, тем выше расположена кривая $\alpha_{пр} \cdot \psi = f(\Delta P)$. Из рисунка следует, что среди исследуемых лучшей является поверхность №10 с глубиной разрезки 21 мм без поворота лепестков ($\varphi=0^\circ$). Худшей по эффективности оказалась поверхность №9 с пластинчатым гладким оребрением и шагом между ребрами $t=6,9$ мм.

Представление результатов исследований в виде отдельных графических зависимостей на рис.2, 3 характеризует либо тепловые, либо аэродинамические свойства различных оребренных поверхностей. Для окончательного принятия решения по выбору наиболее эффективной поверхности необходимо экспериментальный материал обработать и представить в виде обобщенных графических зависимостей $\alpha_{пр} \cdot \psi = f(\Delta P)$, учитывающих одновременное влияние геометрических, тепловых и аэродинамических факторов на эффективную работу поверхности. Такое представление экспериментальных данных приведено на рис.5.

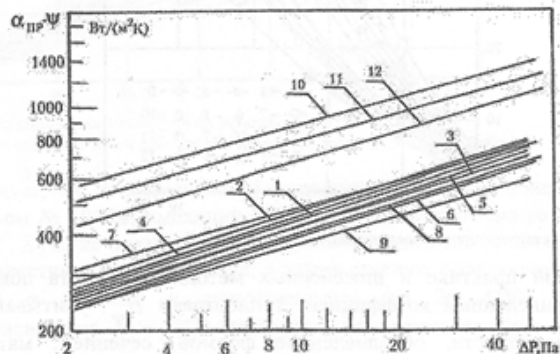


Рис.5. Теплоаэродинамическая эффективность оребренных поверхностей №1-12

Как видно из рис.5 при одинаковых затратах мощности на преодоление сопротивления ΔP из всех исследованных поверхностей наиболее эффективными являются поверхности №10, 11 с разрезным оребрением без поворотов лепестков и достаточно развитой площадью теплоотдающей поверхности $F=1350$ мм² и плотным шагом размещения ребер. Поверхности №9 с пластинчатым и №6, 8 с разрезным оребрениями оказались по эффективности наименее эффективными. Как следует из анализа рис.5 интенсификация теплообмена за счет применения разрезного оребрения по сравнению с гладким приводит к росту тепловой эффективности в целом без каких-либо дополнительных затрат мощности на прокачку охлаждающего воздуха.

Выводы

Таким образом, по результатам экспериментальных исследований предложен графо – аналитический способ определения теплоаэродинамической эффективности малогабаритных теплоотдающих поверхностей. Совершенствование данного метода в дальнейшем может происходить путем представления экспериментального материала в виде безразмерных параметров, учитывающих наибольший совокупный эффект от тепловых и аэродинамических характеристик и показывающих меру относительной интенсивности теплоотдачи и сопротивления.

Применение разрезки ребер, а также поворота участков ребер на заданный угол является эффективным методом, интенсифицирующим процесс теплообмена. Показано, что по сравнению с традиционным гладко-пластинчатым оребрением разрезка и поворот участков ребер приводят к увеличению интенсивности теплоотдачи в 1,2...1,6 раза и росту аэродинамического сопротивления в 1,1...1,5 раза, причем при скоростях обдува поверхности более 2 м/с наблюдается устойчивая тенденция опережающего роста теплоотдачи по отношению к аэродинамическому сопротивлению. Опытами установлено, что для получения наилучшего эффекта разрезка ребер обязательно должна сопровождаться достаточно большим (не менее 1300 см²) развитием площади теплоотдающей поверхности, осуществляющимся за счет увеличения ее компактности.

Литература

1. Кирпичев М.В.О наиболее выгодной форме поверхности нагрева// Известия энергетического института им. Кржижановского. Т.ХП.1944. - С.5-9.

2. Антуфьев В.М. Эффективность различных форм конвективных поверхностей нагрева. М-Л.: Энергия, 1966.-184 с.
3. Калинин Э.К., Дрейцер Г.А., Ярхо С.А. Интенсификация теплообмена в каналах. –3-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1990.-208 с.
4. Юдин В.Ф. Теплообмен поперечно-оребранных труб. – Л.: Машиностроение, 1982.-189с.
5. Гухман А.А. Интенсификация конвективного теплообмена и проблема сравнительной оценки теплообменных поверхностей. – Теплоэнергетика, 1977, №4, С.5-8.
6. Дрейцер Г.А., Дзюбенко Б.В., Якименко Р.И. Интенсификация теплообмена и анализ методов сравнения теплогидравлической эффективности теплопередающих поверхностей// Интенсификация теплообмена: Тр. Второй Рос. нац. конф. по теплообмену. М.: Изд-во МЭИ. 1998. С. 99-1002.
7. Письменный Е.Н., Бурлей В.Д., Терех А.М., Рогачев В.А., Руденко А.И. Влияние разрезки, поворотов и отгибки ребер на теплоаэродинамические характеристики поверхностей теплообмена// Промышленная теплотехника. – 2003. – Т.25 - №1-С.10-16.
8. Письменный Е.Н., Бурлей В.Д., Терех А.М., Баранюк А.В., Цвященко Е.В. Теплообмен плоских пластинчатых поверхностей с разрезным оребрением при вынужденной конвекции // Промышленная теплотехника. – 2005. – Т.27 - №4-С.11-16.
9. Письменный Е.Н., Рогачев В.А., Баранюк А.В., Цвященко Е.В. Теплоотводящая поверхность с пластинчато-просечным оребрением при низкоскоростном обдуве// Технология и конструирование в электронной аппаратуре. – 2005. - №4. – С.43-45.
10. Письменный Е.Н. Расчет конвективных поперечно-оребранных поверхностей нагрева. Сборник расчетов. – Киев: Альтерпрес, 2003.-184 с.