

## ОЦЕНКА ТЕПЛОВОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТРУБЧАТОЙ ПОВЕРХНОСТИ НАГРЕВА С ПОПЕРЕЧНО - ЛЕПЕСТКОВЫМ ОРЕБРЕНИЕМ

к.т.н. Э.Б. Филиппов, к.т.н. Г.Б. Черепенников, Т.Г. Лещенко  
(представил д.т.н., проф. И.М. Приходько)

Приведены результаты численного исследования влияния геометрических характеристик поперечно-лепесткового оребрения на тепловую эффективность поверхности нагрева.

Предложенный в [1] метод теплового расчета перспективной трубчатой поверхности нагрева с поперечно-лепестковым оребрением и реализующая его программа были применены при исследовании влияния геометрических характеристик оребрения на тепловую эффективность поверхности нагрева (рис.1), использование которой предполагалось в водогрейных котлах типа КВ-ГМ-100-150С.

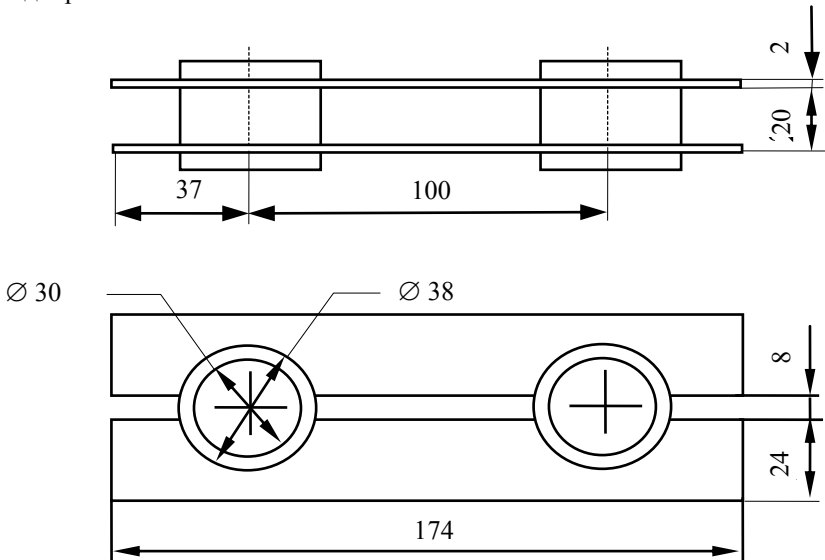


Рис. 1. Схема поверхности нагрева

Материал трубы и ребер - сталь 20. Греющая среда - дымовые газы

с начальной температурой 993°K и скоростью 5,3 м/с. Тепловоспринимающая среда - поток воды с температурой 403°K и скоростью 0,8 м/с. Определение коэффициентов теплоотдачи к греющей и тепловоспринимающей средам выполнялось по общепринятым критериальным зависимостям [2 - 4], учитывалось также изменение коэффициента теплоотдачи поверхности трубчатого элемента по окружности. Как и в [1], в качестве исследуемого, рассматривался фрагмент поверхности нагрева, заключенный между срединными продольной и поперечной плоскостями, т.е. половинная доля лепестка с примыкающей половинной долей несущей трубы.

Исследование проводилось в два этапа. На первом этапе оценивалась тепловая эффективность поверхности нагрева, а на втором - рассматривалась возможность ее повышения путем оптимизации геометрических характеристик оребрения (ширины  $h$ , толщины  $b$ , шага  $t$  ребер). Отметим, что в исследовании для количественной оценки тепловой эффективности поверхности нагрева использовались два параметра:

$Q_m$  - тепловой поток, приходящийся на единицу массы конструкции;

$Q_v$  - тепловой поток, приходящийся на единицу объема конструкции.

Удобство такого подхода в том, что, зная  $Q_m$  и  $Q_v$  и требуемую тепловую мощность теплообменного оборудования, уже на этапе проектирования можно определить предполагаемые его габариты и массу и при необходимости провести оптимизацию конструкции.

С этой точки зрения принятые в классическом анализе теплообменных процессов оребрений понятия коэффициента эффективности ребра и коэффициента оребрения не дают представления о тепловой нагрузке на поверхность нагрева.

Рассчитанные на первом этапе исследования показатели тепловой эффективности  $Q_m$  и  $Q_v$  рассматриваемой поверхности соответственно равны 422 Вт/кг и 522 кВт/куб.м при величине теплового потока  $Q$ , воспринимаемого расчетным фрагментом поверхности нагрева, равной 51 Вт. Максимальное значение температуры в пределах ребра 632°K (на входной кромке), трубчатого элемента – 444°K (в зоне контакта ребра и трубы со стороны входа).

На втором этапе исследования исходная поверхность нагрева принималась за "базовую" и оценивалась степень влияния изменений ширины, толщины и шага ребер на ее тепловую эффективность путем варьирования одним из параметров при фиксированных и равных "базовым" значениям других. Построенные по результатам расчета графики изменения основных характеристик приведены на рис. 2. Так при исследовании влияния толщины  $b$  ребра на тепловую эффективность значение  $b$

изменялось в интервале от 1,5 до 4 мм. Судя по характеру графиков  $Q$  и  $Q_v$  (рис.2а), толщину ребра следует принимать равной 3...4 мм. Однако, уменьшение величины  $Q_m$  на 15% в рассматриваемом диапазоне изменения  $b$  означает, что при увеличении толщины ребер уменьшение габаритов теплообменника на 1% сопровождается увеличением на 2...2,5% его массы. Поэтому выбор толщины ребра должен носить компромиссный характер с учетом конкретного требования к габаритам и массе конструкции. Но в целом можно сделать вывод о том, что толщина ребра не должна превышать 3 мм.

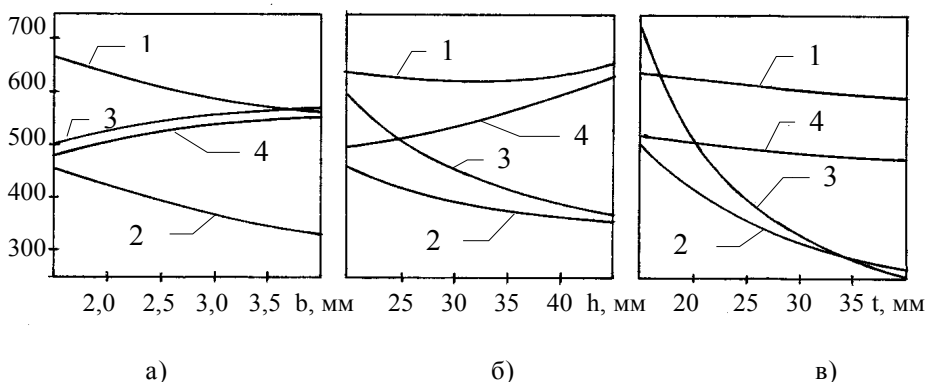


Рис. 2. Зависимости от толщины (а), высоты (б), шага (в) ребер:

- 1 – максимальной температуры лепестка  $T_{max}$ , К;
- 2 – параметра  $Q_m$ , Вт/кг; 3 – параметра  $Q_v$ , кВт/м<sup>3</sup>;
- 4 – теплового потока, воспринимаемого фрагментом,  $Q \cdot 10$ , Вт

Исследование влияния высоты  $h$  ребра велось в интервале 21...44 мм. Представление о том, как при этом изменяются основные характеристики поверхности нагрева, дают графики, приведенные на рис. 2б. Хотя тепловой поток  $Q$ , воспринимаемый поверхностью нагрева, возрастает на 26% в рассматриваемом интервале изменения значения  $h$ , величины параметров  $Q_m$  и  $Q_v$  существенно уменьшаются (соответственно на 35% и 22%). Причем максимальное значение температуры изменяется относительно слабо. Следовательно, массогабаритные характеристики теплообменника будут наиболее предпочтительны при относительно узких ребрах.

Наконец, взаимосвязь между шагом  $t$  ребер, тепловым состоянием и тепловой эффективностью поверхности нагрева иллюстрируется графиками, отображенными на рис. 2в. Область изменения  $t$  задана интер-

валом 15...40 мм. Из рис.2 следует, что с увеличением шага все рассматриваемые параметры убывают по величине. При этом весьма существенное изменение претерпевает параметр  $Q_v$ . Такой характер графиков вполне естественен: чем меньше шаг ребер, тем выше тепловая эффективность поверхности нагрева. Но с уменьшением шага возрастает гидравлическое сопротивление газового тракта и при малых значениях  $t$  этот фактор становится определяющим. Поскольку для рассматриваемой поверхности нагрева отсутствуют данные о зависимости ее гидродинамических характеристик от шага ребер, в рамках настоящего исследования было принято, основываясь на [2], что минимально допустимый шаг равен 15 мм.

На основании проведенного анализа результатов выполненного исследования можно сделать вывод о том, что для рассматриваемой поверхности нагрева предпочтительными являются следующие значения геометрических характеристик: ширина (высота) ребра - 20 мм, толщина - 1,5 мм, шаг - 15 мм. Расчет теплового состояния поверхности нагрева с указанными геометрическими характеристиками показал, что максимальная температура в пределах ребра на 70 градусов выше, чем у "базовой", воспринимаемый тепловой поток на 6% ниже, а оба показателя тепловой эффективности выше:  $Q_m$  на 38%,  $Q_v$  на 44%. Следовательно, использование в теплообменном оборудовании рекомендуемой поверхности нагрева вместо "базовой" позволит снизить массу и габариты конструкции примерно на 35...40% при той же тепловой мощности агрегата.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Приходько І.М., Філіппов Е.Б., Черепенніков Г.Б., Лещенко Т.Г. Економічний метод теплового розрахунку трубчатої поверхні нагрівання з поперечно - пелюстковим оребренням // Ракетно - космічна техніка. –Харків: ХВУ. – 1999. – Вип.1. – С. 39 - 42.
2. Левченко Г.И., Лисейкин И.Д. Оребренные поверхности паровых котлов. – М.: Энергоатомиздат, 1986. – 166 с.
3. Кулинченко В.Р. Справочник по теплообменным расчетам. – К.: Техника, 1990. – 169 с.
4. Тепловой расчет котельных агрегатов. Нормативный метод. – М.: Энергия, 1973. – 296 с.

*Поступила в редакцию 18.09.2000*