

Литература

1. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей. – М.: Изд. дом «Вильямс», 2001. – 287 с.
2. Высочина О.С. Модель мониторинга телекоммуникационной сети на базе модифицированной вероятностной нейронной сети // О.С. Высочина, С.И. Шматков, А.М. Салман / Восточно-европейский журнал передовых технологий. - X., 2010. – №5. – С.67-71.
3. Taguchi G., Jugulum R. The Mahalanobis-Taguchi Strategy. A pattern technology system. – New York: John Wiley & Sons, 2002. – 235 p.
4. Угрюмова Е.М. Применение эволюционных методов для оценки величин параметров функциональных элементов на основе данных измерений симптомов в процессе эксплуатации газотурбинных двигателей // Е.М. Угрюмова, А.А. Трончук, А.В. Меняйлов, В.Е. Афанасьевская / Проблемы машиностроения. – Х.: Институт проблем машиностроения им. А.Н. Подгорного НАН Украины. – 2010. – Т.13, №2. – С.68-75.

Виконано узагальнення опублікованих експериментальних даних по теплогидравлическій ефективності потоку в трубах з виступаючими в потік елементами, а також зі закруткою потоку. Введено поняття коефіцієнта якості інтенсифікаторів теплообміну

Ключові слова: фактор аналогії Рейнольдса, інтенсифікатори закручуючого типу

Выполнено обобщение опубликованных экспериментальных данных по теплогидравлической эффективности потоков в трубах с выступающими в поток элементами, а также с закруткой потока. Введено понятие коэффициента качества интенсификаторов теплообмена

Ключевые слова: фактор аналогии Рейнольдса, интенсификаторы теплообмена

The summarizing of published experimental data on the thermal-hydraulic performance in tubes was carried for heat transfer augmentation by means of elements protruding into a flow and flow swirl. The new concept of heat transfer intensifier quality coefficient was presented

Keywords: reynolds analogy factor, heat transfer intensifiers of the flow swirl type

УДК 532.516

ТЕПЛОГИДРАВЛИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ И КАЧЕСТВО ИНТЕНСИФИКАТОРОВ ТЕПЛООБМЕНА ЗАКРУЧИВАЮЩЕГО ТИПА

Т. В. Доник
Аспирант*

Контактный тел.: (044) 453-28-53

E-mail: doniktv@ukr.net

А. А. Халатов

Доктор технических наук, профессор, член -
корресподент НАН Украины, заведующий отделом*

Контактный тел.: (044) 456-93-02

E-mail: artem.khalatov@vortex.org.ua

*Отдел высокотемпературной термогазодинамики
Институт технической теплофизики НАН Украины
ул. Желябова, 2а, г. Киев, Украина, 03057

Введение

Проблема интенсификации теплообмена в каналах продолжает привлекать внимание инженеров и исследователей в связи с разработкой энергетических установок с высокими параметрами цикла, интенсивных технологических аппаратов, промышленных теплообменников, рекуператоров теплоты и химических реакторов. Для интенсификации теплообмена в каналах используются различные методы - закрутка потока, турбулизация потока, оребрение поверхности, выступы

и углубления различной формы, а также некоторые другие методы [1, 2]. Одним из эффективных и технологичных в исполнении методов интенсификации теплообмена является полная и частичная закрутка потока.

Цель настоящей работы – выполнить обобщение экспериментальных данных по фактору аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена, выступающих в поток, более подробно рассмотреть интенсификаторы теплообмена закручивающего типа и на этой основе ввести понятие коэффициента качества интенсификаторов теплообмена.

Фактор аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена, выступающих в поток

В качестве параметра, характеризующего теплогидравлические свойства интенсификатора теплообмена, наиболее часто используется фактор аналогии Рейнольдса (ФАР) в форме отношения [3]

$$ФАР = \left(\frac{Nu}{Nu_0} \right) / \left(\frac{f}{f_0} \right) \tag{1}$$

Как эталонные значения (с нулевым индексом) в уравнении (1) используются значения числа Нуссельта Nu_0 и коэффициента гидравлического сопротивления f_0 в плоском канале с гладкими стенками при одинаковых значениях числа Рейнольдса. Необходимо заметить, что при использовании фактора аналогии Рейнольдса неравенство $ФАР < 1,0$ не означает ухудшение теплогидравлических свойств канала с интенсификаторами теплообмена. Оно лишь показывает невозможность улучшения теплогидравлических характеристик за счет данного метода интенсификации теплообмена при тех же значениях скорости потока и эквивалентного диаметра канала.

На рис. 1 приведены результаты обобщения опубликованных опытных данных для интенсификаторов теплообмена, выступающих в поток [4]. Как следует, все опытные данные располагаются в узкой области между кривыми для поверхности со сферическими углублениями при малых числах Рейнольдса и оребренной поверхности при больших числах Рейнольдса. Для интенсификаторов теплообмена, выступающих в поток, опережающим ростом теплообмена (не более 1,25 по ФАР) обладают только каналы с периодически повторяющимися кольцевыми выступами в трубе и каналы со сферическими выступами в прямоугольном канале. Другие интенсификаторы характеризуются условием $ФАР < 1$, т.е. для них рост гидравлического сопротивления опережает рост теплообмена. Это объясняется диссипативной природой вихрей, порождаемых интенсификаторами, выступающими в поток. Такие вихри диффундируют в ядро потока, турбулизируют его и диссипируют в нем, практически не участвуя в интенсификации теплообмена.

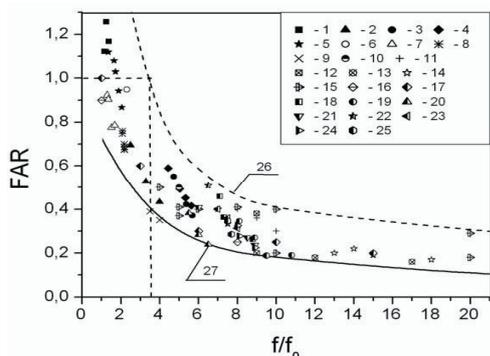


Рис. 1. Фактор аналогии Рейнольдса в каналах с выступающими в поток интенсификаторами теплообмена

Здесь 1 – кольцевые поперечные выступы, труба; 2 – спиральные выступы; 3 – выступы скошенные, неразрезные, квадратный канал; 4 – выступы скошенные, разрезные, квадратный канал; 5 – сферические

выступы, прямоугольный канал; 6 – сферические выступы и углубления, труба; 7 – мелкие сферические выступы, труба; 8 – сферические выступы, прямоугольный канал; 9 – внутренние канавки; 10 – сферические выступы на плоской поверхности; 11 – 60° сплошные и разрезные ребра; 12 – 90° разрезные ребра; 13 – чередующиеся сферические выступы-углубления; 14 – внутренние спиральные канавки; 15 – «плотный» контакт выступов с противоположной стенкой; 16 – проволочные спиральные вставки (ПСВ) в круглом канале; 17 – ПСВ в круглом канале; 18 – дельтаобразные генераторы вихрей (расположенные навстречу потоку); 19 – сплошные V – образные ребра (60°); 20 – сплошные ребра перпендикулярные потоку (90°); 21 – дельтаобразные генераторы вихрей (направленные вдоль по потоку); 22 – V – образные ребра, разрезные (60°); 23 – 60° разрезные ребра; 24 – 90° разрезные ребра; 25 – сплошные ребра под углом 60° к потоку; 26 – поверхность со сферическими углублениями при малых числах Рейнольдса; 27 – оребренная поверхность при больших числах Рейнольдса.

Пользуясь полученными данными, можно при заданном отношении гидравлических потерь $\left(\frac{f}{f_0} \right)$ выбрать метод интенсификации теплообмена, который характеризуется наилучшими показателями по теплообмену или для заданной интенсификации теплообмена $\left(\frac{Nu}{Nu_0} \right)$ выбрать метод, характеризующийся наименьшими потерями давления.

Основываясь на полученных результатах, рассмотрим более подробно теплогидравлические характеристики каналов с интенсификаторами теплообмена закручивающего типа [5]. Как правило, такие завихрители наряду с закруткой основного потока характеризуются вихревым перемешиванием потока и его отрывом. На рис. 2 в координатах ФАР и $\left(\frac{f}{f_0} \right)$ представлены экспериментальные данные для интенсификаторов теплообмена, использующих принцип закрутки потока, которые включают полную (символы 21, 22, 25, 26) и частичную (символы 4 - 9, 15, 18, 24) закрутку потока. Для сравнения здесь же представлены опытные данные для крестообразных вставок (символы 10-14, 16, 17), которые характеризуются вихревым перемешиванием и отрывом потока.

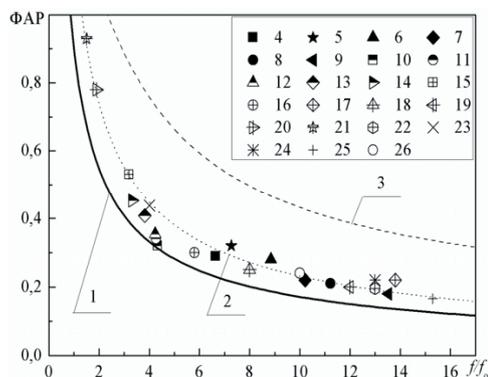


Рис. 2. Фактор аналогии Рейнольдса в круглом канале – закрутка потока, отрыв и вихревое перемешивание

Здесь 1 – оребрение при высоких числах Рейнольдса; 2 – обобщающая линия; 3 – поверхностные сферические углубления при низких числах Рейнольдса; 4 – 9 – частичная закрутка потока: 4 – $\varphi=15^\circ$; 5 – $\varphi=25^\circ$; 6 – $\varphi=30^\circ$; 7 – $\varphi=35^\circ$; 8 – $\varphi=40^\circ$; 9 – $\varphi=45^\circ$; 10 – 14 – крестообразная вставка с зазором: 10 – $\delta=0$ мм; 11 – $\delta=2$ мм; 12 – $\delta=4$ мм; 13 – $\delta=8$ мм; 14 – $\delta=16$ мм; 15 – спиральные выступы; 16, 17 – крестообразная вставка: 16 – сферические углубления на поверхности; 17 – сферические углубления и ребра на поверхности; 18 – проволочные спиральные вставки; 19 – чередующиеся сферические выступы; 20 – сферические выступы; 21 – винтовые трубы; 22 – тангенциальная закрутка с тангенциальным выходом потока [6]; 23 – цилиндрические штырьки; 24 – внутренние спиральные канавки [7]; 25 – наклонно-тангенциальная закрутка течение в трубе с поворотом на выходе [8]; 26 – наклонно-тангенциальная закрутка течение в трубе с поворотом на потоке (2 тангенциальных завихрителя) [8].

Как следует, экспериментальные данные для всех вышеперечисленных методов интенсификации теплообмена располагаются около обобщающей линии 2, которая характеризуется уравнением

$$\left(\frac{Nu}{Nu_0}\right) / \left(\frac{f}{f_0}\right) = 1,22 \left(\frac{f}{f_0}\right)^{-0,72} \quad (2)$$

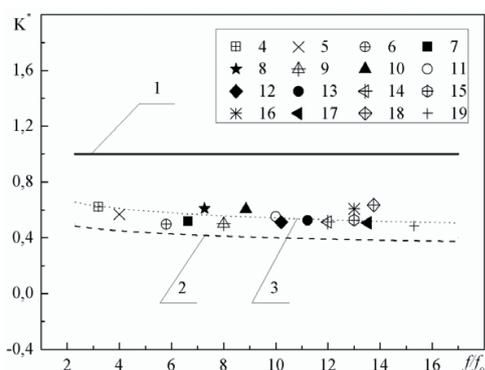


Рис. 3 Коэффициент качества K^* интенсификаторов теплообмена в круглом канале – закрутка потока, отрыв и вихревое перемешивание

Здесь 1 – поверхностные сферические углубления при низких числах Рейнольдса; 2 – поверхностное оребрение при больших числах Рейнольдса; 3 – обобщающая линия; 4 – спиральные выступы; 5 – цилиндрические штырьки; 6 – крестообразная вставка: сферические углубления на поверхности; 7 – частичная закрутка потока: $\varphi=15^\circ$; 8 – $\varphi=25^\circ$; 9 – проволочные спиральные вставки; 10 – частичная закрутка потока: $\varphi=30^\circ$; 11 – наклонно-тангенциальная закрутка течение в трубе с поворотом на потоке (2 тангенциальных завихрителя); 12 – частичная закрутка потока: $\varphi=35^\circ$; 13 – $\varphi=40^\circ$; 14 – чередующиеся сферические выступы; 15 – тангенциальная закрутка с тангенциальным выходом потока; 16 – внутренние спиральные канавки; 17 – частичная закрутка потока: $\varphi=45^\circ$; 18 – крестообразная вставка: сферические углубления и ребра на поверхности вставки; 19 – наклонно-тангенциальная закрутка в трубе с поворотом потока на выходе.

Физический смысл такого результата состоит в том, что рассмотренные методы интенсификации те-

плообмена, различаясь по конструктивному оформлению, имеют достаточно общий механизм интенсификации теплообмена за счет закрутки потока (полной и частичной), вихревого перемешивания и локального отрыва потока и по этой причине обобщаются общей зависимостью.

Качество интенсификаторов теплообмена

Полученные выше выводы позволяют ввести понятие коэффициента качества интенсификатора теплообмена в соответствии с отношением

$$K^* = \frac{\left(\frac{Nu}{Nu_0}\right) / \left(\frac{f}{f_0}\right)_{\text{инт.}}}{\left(\frac{Nu}{Nu_0}\right) / \left(\frac{f}{f_0}\right)_{\text{сф.угл.}}} \quad (3)$$

где числитель характеризует фактор аналогии Рейнольдса для конкретного интенсификатора теплообмена, а знаменатель – фактор аналогии Рейнольдса для поверхности со сферическими углублениями (рис. 2, линия 3).

Этот коэффициент отражает степень отличия фактора аналогии Рейнольдса для конкретного метода интенсификации теплообмена от линии для поверхностных углублений при малых числах Рейнольдса, которые характеризуются наилучшими показателями ФАР.

В таком представлении линия 1 на рис. 3 отражает поверхностные углубления при низких числах Рейнольдса, а линия 2 – поверхностное оребрение при больших числах Рейнольдса. Как следует, значение коэффициента качества интенсификатора теплообмена для поверхностного оребрения при больших числах Рейнольдса в области $\left(\frac{f}{f_0}\right) = 16 \dots 2,0$ практически постоянно и составляет 0,40 – 0,42. Очевидно, что эта величина является нижним пределом качества интенсификаторов теплообмена. Как следует, завихрители полной и частичной закрутки потока, интенсификаторы с вихревым перемешиванием и отрывом потока характеризуются величиной коэффициента K^* от 0,50 до 0,62.

Выводы

1. Экспериментальные данные по фактору аналогии Рейнольдса для всех известных интенсификаторов теплообмена располагаются в узкой области между кривыми для поверхности со сферическими углублениями при малых числах Рейнольдса и оребренной поверхности при больших числах Рейнольдса.

2. Опытные данные по фактору аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена различной конструкции, но имеющих общий механизм интенсификации теплообмена обобщаются единой зависимостью.

3. Введено понятие коэффициента качества интенсификатора теплообмена качества, который характеризует степень отличия по фактору аналогии Рейнольдса от интенсификации теплообмена поверхностными углублениями при малых числах Рейнольдса.

Литература

1. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С. Теплопередача. Учебник для вузов, Изд. 3-е перераб. и доп. – М.: Энергия, 1975. – 488 с.
2. Калинин Э. К., Дрейцер Г. А., Ярхо С. А. Интенсификация теплообмена в каналах. – М.: Машиностроение, 1972. – 220 с.
3. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика около поверхностных углублений (лунок). – К.: Изд. Ин-та технической теплофизики НАН Украины, 2005. – 140 с.
4. Халатов А.А., Онищенко В.Н., Доник Т.В и др. Фактор аналогии Рейнольдса для интенсификаторов теплообмена различного типа // Известия Российской академии наук. Сер. Энергетика. – 2011, №4 – С. 109-116.
5. Доник Т.В., Халатов А.А. Теплообмен и гидравлическое сопротивление в трубе с крестообразной вставкой и частичной закруткой потока // Промышленная теплотехника. – 2012, №2 – С. 28-32.
6. Khalatov A., Syred N., Bowen P., et al. Innovative Cyclone Cooling Scheme for Gas Turbine Blade: Thermal-Hydraulic Performance Evaluation // ASME Paper №GT2000-237. – 2000.
7. Кикнадзе Г.И., Гаччиладзе И.А., Алексеев В.В. Самообразование смерчеобразных струй в потоках вязких сплошных сред и интенсификация тепломассообмена, сопровождающая это явление. – М.: Изд-во МЭИ, 2005. – 83 с.
8. Халатов А.А. Теплообмен и гидродинамика в полях центробежных массовых сил / Халатов А.А., Романов В.В., Борисов И.И. и др. – К.: Изд. Ин-та технической теплофизики НАН Украины, 2010. – Том 9. – 317 с. – (Теплообмен и гидродинамика при циклонном охлаждении лопаток газовых турбин).

□ □
Наведено результати відновлення зношених деталей компресора авіаційних газотурбінних двигунів після закінчення міжремонтного ресурсу

Ключові слова: геотермічні покриття, відновлення деталей

□ □
Приведены результаты восстановления изношенных деталей компрессора авиационных газотурбинных двигателей по истечении межремонтного ресурса

Ключевые слова: газотермические покрытия, восстановление деталей

□ □
Given the results of gas-turbine engine compressor parts restoration process after expiration of the TBO resource

Key words: thermal barrier coatings, parts restoration

□ □

УДК 621.793.7

ВОССТАНОВЛЕНИЕ ЛОПАТОК КОМПРЕССОРА АВИАЦИОННЫХ ГАЗОТУРБИННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ

А. И. Долматов

Доктор технических наук, профессор*

Контактный тел.: (057) 788-42-04

С. В. Сергеев

Кандидат технических наук, доцент*

Контактный тел.: 050-300-36-36

E-mail: sergeyev72@gmail.com

И. В. Зорик

Старший преподаватель*

Контактный тел.: 095-345-13-11

E-mail: igor@d2.khai.edu

*Национальный аэрокосмический университет им. Н. Е. Жуковского
«Харьковский авиационный институт»
ул. Чкалова, 17, Харьков, Украина, 61070

Введение

К современным авиационным ГТД предъявляются высокие требования по увеличению ресурса, повышению надежности, снижению удельного веса, что обуславливает применение дорогостоящих и труднообрабатываемых материалов: алюминиевых и магниевых сплавов, высокопрочных легированных сталей, жаростойких хромоникелевых сплавов, композиционных материалов, что существенно сказывается на

себестоимости изделий. Для повышения конкурентоспособности изделия в целом необходимо снизить себестоимость этапов жизненного цикла: проектирования, производства, эксплуатации и ремонта. Повышение уровня эксплуатационных свойств наиболее нагруженных деталей авиационных двигателей возможно с использованием нескольких подходов: разработка новых материалов, совершенствование способов изготовления и применение новых технологических процессов, а также развитие способов