

между ними. При разрезке по длине ребра слой утоньшается, а степень турбулентности в межреберном канале увеличивается от  $Tu = 4\%$  для неразрезного ребра до  $Tu = 6,85\%$  при относительной глубине разрезки  $h/H = 0,6$  ( $h$  – глубина разрезки,  $H$  – высота ребра).

Полученные в [1-5] данные представлены в виде уравнений подобия для расчетов коэффициентов теплообмена и потерь давления с учетом  $Re$  и геометрических параметров. Кроме того, эксперименты [4, 5] иллюстрируют прямую корреляцию между ростом  $Tu$  в межреберном канале и интенсификацией теплообмена, а также в первом приближении в рамках двухпараметрической модели «энергия-масштаб» позволяют оценить изменение турбулентной вязкости. Значения последней могут быть рекомендованы для тестирования результатов расчета процессов переноса оребренных поверхностей с помощью стандартных программ.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. *Fujii M., Seshimo Y., Yamanaka G.* Heat transfer and pressure drop of perforated surface heat

exchanger with passage enlargement and contraction // *International J. Heat Mass Transfer.* –1988. –Vol. 31, № 1. – P. 135-142.

2. *Kotcioglu I., Ayhan T., Olgun H., Ayhan B.* Heat transfer and flow structure in a rectangular channel with wing-type vortex generator // *Tr. J.of Engineering and Environmental Science.* –1988. – Vol.22. – P.185-195.

3. *Bergles A.E.* Some perspectives on enhanced heat transfer – Second generation heat transfer technology // *Transaction ASME.* –1988. –Vol.110. –P.1082-1096.

4. *Письменный Е.Н., Эпик Э.Я., Баранюк А.В.* Структура потока в межреберных каналах теплоотводов с пластинчатыми разрезными ребрами // *Тр. ХУ1 Школы-семинара «Проблемы газодинамики и тепломассообмена в энергетических установках.* – Санкт-Петербург, 2007. – С. 555-558.

5. *Письменный С.М., Епик Е.Я., Баранюк О.В., Терех О.М., Руденко О.І.* Особливості течії на плоских розрізних ребрах елементів охолодження радіоелектронної апаратури // *Наукові вісті НТУУ «КПІ».* –2007. – № 3(53). – С.20-24.

**Бабенко В.В.<sup>1</sup>, Воскобойник В.А.<sup>1</sup>, Турик В.Н.<sup>2</sup>, Воскобойник А.В.<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*Институт гидромеханики НАН Украины*

<sup>2</sup>*Національний технічний університет України «КПІ»*

## ГЕНЕРАЦИЯ ВИХРЕЙ ЛОКАЛЬНЫМИ УГЛУБЛЕНИЯМИ НА ОБТЕКАЕМОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Анализ способов интенсификации теплообменных процессов при обтекании поверхностей с локальными неоднородностями стимулирует изучение физических механизмов генерации крупномасштабных вихревых структур и их влияния на теплоотдачу от стенки. Самоорганизация крупномасштабных когерентных вихревых структур в пределах углублений лежит в основе физического механизма интенсификации теплообмена. Повышенные требования к энергосбережению и неуклонный рост цен на энергоресурсы обуславливают проведение научных и технологических разработок по использованию систем углублений различной конфигурации на обтекаемых поверхностях для увеличения тепло- и массопереноса в теплоэнергетических установках. При этом тепловая эффективность рельефов с

углублениями, связанная с вихревой структурой их обтекания, во многом зависит от геометрических размеров углублений, их взаимного размещения в ансамбле и режимов течения набегающего потока.

Исследования вихревого движения в поверхностных вихрегенераторах были проведены в аэродинамической трубе открытого типа. Исследованию подлежали два вида вихрегенераторов, размещённых на плоской пластине. Первый вид представлял собой одиночное поперечно обтекаемое полуцилиндрическое углубление диаметром 0,019 м и длиной 0,08 м. Второй – полусферическое углубление диаметром 0,02 м. Гидравлически гладкая пластина длиной 0,8 м и шириной 0,1 м с углублениями монтировалась в осевом сечении измерительного участка аэро-

динамической трубы. Измерения проводились для чисел Рейнольдса  $Re_x = U_\infty x / \nu = (0,4 \dots 7) \cdot 10^5$  и относительных толщин пограничного слоя перед лункой  $\delta/d = 0,14 \dots 0,6$ .

Вначале проводилась визуализация потока как в углублениях, так и в их окрестностях. Дымовой метод визуализации предусматривал регистрацию картин завихренного течения видеокамерой. Обработка и анализ картин визуализации дали возможность найти качественные особенности формирования и развития когерентных вихревых структур в исследуемом потоке. Это позволило спланировать проведение инструментальных измерений в характерных областях течения с использованием соответствующих датчиков, контрольно-измерительной, а также анализирующей аппаратуры. Анализ полученных видеоизображений показал, что внутри полцилиндрического углубления формируются как крупномасштабная вихревая структура, так и мелкомасштабные вихри, заполняющие весь объем канавки. Крупномасштабный вихрь располагается вблизи дна канавки и ее кормовой стенки. Мелкомасштабные вихри зарождаются вблизи отрывной кромки и в месте ударного взаимодействия сдвигового слоя с кормовой стенкой углубления. С ростом скорости потока размер крупномасштабного когерентного вихря уменьшается, а число мелкомасштабных вихрей увеличивается. Части этих вихревых систем периодически выбрасываются в спутный поток. Периодичность таких низкочастотных выбро-

сов непостоянна и зависит от скорости потока. Внутри полусферической лунки вращение дыма, отображающее вращение крупномасштабной вихревой структуры, происходит поочередно по часовой и против часовой стрелки в горизонтальной плоскости пластины. При увеличении скорости набегающего потока частота переброса вращения дыма увеличивается, существенно усложняя регистрацию смены режима вращения.

Инструментальные исследования с помощью проволочных одноточечных термоанемометров постоянной температуры позволили получить интегральные и спектральные характеристики поля скорости и завихренности в пограничном слое над плоской пластиной, а также внутри углублений. Формирование и развитие вихревых структур в углублениях вызывают изменения полей скорости в пограничном слое над пластиной. Определены области, где поток жидкости либо ускоряется, либо тормозится не только над углублениями и позади них, но и перед ними. В зависимости от скорости набегающего потока изменяются зоны выбросов крупномасштабных вихревых структур и их число и формы. Установлены количественные характеристики воздействия локальных углублений на распределение скорости, толщину пограничного слоя, толщину вытеснения, толщину потери импульса и энергии, форм-параметр, коэффициент поверхностного трения, а также на статистические характеристики поля пульсаций скорости (спектры и корреляции).

УДК 532.695

Давыденко Б.В.

*Институт технической теплофизики НАН Украины*

## **ДИНАМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ РОТОРНО-ПУЛЬСАЦИОННОГО АППАРАТА ПРИ ТУРБУЛЕНТНОМ ТЕЧЕНИИ ЖИДКОСТИ**

*Наведено результати чисельного розв'язання задачі про турбулентну течію в робочому об'ємі роторно-пульсаційного апарату. На основі цих результатів проведено аналіз основних динамічних характеристик апарату при турбулентній течії рідини.*

*Представлены результаты численного решения задачи о турбулентном течении в рабочем объеме роторно-пульсационного аппарата. На основе этих результатов проведен анализ основных динамических характеристик аппарата при турбулентном течении жидкости.*

*The numerical simulation results of turbulent flow problem in the working space of rotor-pulse apparatus are represented. Based on these results the main dynamical characteristics of apparatus at the turbulent liquid flow are analyzed.*