

где $Pr_{эфф}$ – эффективное число Прандтля, которое включает в себя молекулярные и турбулентные составляющие и $S_{i-межф}$ представляет передачу энергии между двумя фазами на поверхности раздела.

$$S_{i-межф} = \lambda_i A_{i-межф} (T_i - T_{нас}) + M_{i-межф} (h_i - h_{нас}), (20)$$

где h_i и $h_{нас}$ – энтальпия фазы и энтальпия насыщения соответственно.

Результаты моделирования

На основе разработанной модели были проведены расчеты двухфазного (пароводяного) вертикального потока, который входит в осесимметричный канал со степенью недогрева $T - 212$ °С. Параметры потока на входе были следующими: скорость потока 0,5 м/с, давление 1 МПа. Предложенная модель позволяет рассчитывать осредненные и пульсационные характеристики двухфазных турбулентных потоков. Однако, учитывая важность такой характеристики двухфазного потока как локальное объемное паросодержание, основное внимание было уделено расчету именно этой величины. Для сравнения были проведены расчеты и для ламинарного двухфазного пото-

ка, когда в математической модели турбулентные коэффициенты переноса приравнялись нулю. Анализ полученных данных показывает, что результаты моделирования с учетом турбулентного переноса лучше согласуются с экспериментальными данными. Этот факт правильно отражает природу двухфазного потока, так как в практически важных случаях двухфазный пароводяной поток является турбулентным.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кутенов А.М., Стерман Л.С., Стюшин И.Г. Гидродинамика и теплообмен при парообразовании. Москва. – 1986.
2. Rosten H., Spalding D. *Phoenix Manual*, CHAM, TR/100". – London. – 1986.
3. Lai J. Farouk B. Numerical Simulation of Subcooled Boiling and Heat Transfer in a Vertical Ducts. – International Journal of Heat and Mass Transfer. – 1993. – P.1541-1551.
4. Lopez de Bertodano M., Lahey R.T., Jones O.C. Phase Distribution in Bubbly Two Phase Flow in Vertical Ducts. – International Journal of Multiphase Flow. – 1994. – P. 805-818

Эпик Э.Я.

Национальный технический университет Украины «КПИ»

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООБМЕНА НА ПЛОСКИХ ОРЕБРЕННЫХ ПОВЕРХНОСТЯХ С ТУРБУЛИЗИРУЮЩИМИ ЭФФЕКТАМИ

Проведен обзор экспериментальных исследований по теплообмену и гидродинамике перспективных плоских оребренных поверхностей, используемых в компактных теплообменниках и системах охлаждения элементов РЭА и ПК. Интенсификация теплообмена до 3 раз достигается за счет прерывания пограничного слоя на поверхности ребра и дополнительной турбулизации потока. Ниже рассмотрены следующие эффективные виды оребрения:

- ребра трапецеидальной формы с многочисленными перфорациями и сдвигом по фазе [1], образующие каналы диффузно-конфузорного типа. Рост теплоотдачи обусловлен возникновением вторичных течений через перфорации («эффект дыхания») и прерыванием (по мнению авторов) пограничного слоя только при каждом поджатии.

- плоские ребра с «винглетами» в виде пары

пластин, установленных на ребре под углом к потоку и создающих периодические расширения и поджатия потока [2]. Интенсификация теплообмена связана с наличием диффузно-конфузорного эффекта, прерыванием пограничного слоя, индуцированием за винглетами вихрей, усилением перемешивания в зазоре между винглетами.

- ребра со смещением [3]. Интенсификация теплообмена вызывается периодическим развитием ламинарных пограничных слоев на прерываемых участках ребер и в меньшей степени их частичной диссипацией в следах за ребрами.

- ребра, разрезанные на лепестки [4, 5]. Интенсификация теплообмена достигается вследствие развития псевдоламинарного пограничного слоя по длине «лепестка», а также благодаря периодическому воздействию срывов потока с задних кромок «лепестков» на структуру потока в зазоре

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.¹, Воскобойник В.А.¹, Турик В.Н.², Воскобойник А.В.¹

¹*Институт гидромеханики НАН Украины*

²*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-