

мер, если данная функция имеет ограниченную вторую производную на отрезке $[0, l]$, то, заменив ее кусочно-линейной интерполирующей функцией, получим приближенную формулу второго порядка точности относительно шага h , выражающуюся через пси-функции $\Psi(1, \alpha, t, z)$ и $\Psi(2, \alpha, t, z)$. Следует, однако, заметить, что наряду с повышением точности приближенной формулы увеличиваются и ее размеры.

Замечание 2. Если краевые условия не являются однородными, т. е.

$$u(0, t) = u_0, \quad u(l, t) = u_l, \quad u_0, u_l \in \mathbf{R}, \quad t \geq 0,$$

то их можно свести к однородным (3) с помощью замены искомой функции

$$\hat{u}(x, t) = u(x, t) - \frac{u_l - u_0}{l}x - u_0.$$

В результате получим смешанную задачу:

$$\partial_t \hat{u} = a^2 \partial_{xx} \hat{u};$$

$$\hat{u}(x, 0) = f(x) - \frac{u_l - u_0}{l}x - u_0, \quad x \in [0, l];$$

$$\hat{u}(0, t) = \hat{u}(l, t) = 0, \quad t \geq 0.$$

ВЫВОД

Введена специальная пси-функция, и с ее помощью найдены точное и приближенное представления решения смешанной задачи для одномерного уравнения теплопроводности. Указана эффективная оценка погрешности приближенного решения.

ЛИТЕРАТУРА

1. Д и ф ф е р е н ц и а л ь н ы е уравнения математической физики / Н. С. Кошляков [и др.]. – М.: ГИФМЛ, 1962. – 767 с.

Представлена кафедрой
высшей математики № 2

Поступила 11.11.2008

УДК 536.24

ОБОБЩЕНИЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЙ ТЕПЛООБМЕНА МЕЖДУ ПОТОКОМ ВОЗДУХА И ОРЕБРЕННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ, ПОЛУЧЕННОЙ ПРИ ПОДРЕЗАНИИ РЕБЕР СО СМЕЩЕНИЕМ ОСИ

Канд. техн. наук КИСЕЛЕВ В. Г., СУКОНКИН В. Н., инж. ДЬЯКОВ А. И.

Для использования результатов экспериментальных исследований теплообмена при вынужденной конвекции теплоносителя в инженерных расчетах проводят их обобщение с помощью теории подобия [1]. Результатом обобщения является получение критериальных зависимостей для расчета коэффициента теплообмена

$$Nu = a Re^n,$$

где Nu , Re – соответственно безразмерные числа Нуссельта и Рейнольдса; a , n – безразмерные числа.

Число Нуссельта характеризует теплообмен на границе «стенка – теплоноситель» и связано с коэффициентом теплообмена соотношением

$$Nu = \frac{\alpha d_3}{\lambda},$$

где α – коэффициент теплообмена, Вт/(м²·К); d_3 – эффективный диаметр канала для прохода потока воздуха, м; λ – теплопроводность теплоносителя, Вт/(м·К).

Число Рейнольдса характеризует отношение сил инерции к силам молекулярного трения и связано со скоростью теплоносителя зависимостью

$$Re = \frac{\rho v l}{\mu},$$

где ρ – плотность теплоносителя, кг/м³; v – скорость теплоносителя, м/с; μ – вязкость теплоносителя, кг/(м·с).

Критериальные зависимости для оребренных поверхностей [2] включают в себя множители, которые учитывают влияние на теплообмен геометрических параметров расположения ребер. Расположение ребер на плоской трубе при их подрезании зависит от величины смещения оси вращения инструмента относительно оси симметрии плоской трубы [3].

Поэтому для обобщения результатов экспериментальных исследований в данной работе была принята критериальная зависимость

$$Nu = af(s) Re^n, \quad (1)$$

где $s = D / D_{\max}$ – безразмерный параметр смещения, определенный в виде отношения величины смещения D при подрезании оси вращения инструмента относительно оси симметрии заготовки к максимальной возможной величине данного смещения D_{\max} . Очевидно, что максимально возможная величина смещения будет составлять

$$D_{\max} = R - \frac{h}{2},$$

где R – радиус окружности, по которой движется подрезующая кромка инструмента; h – ширина заготовки плоской трубы.

При смещении оси инструмента на величину, превышающую D_{\max} , уже не происходит изменения углов расположения ребер по отношению к направлению потока воздуха, а имеет место смещение ребер от одного края плоской поверхности заготовки к другому. При этом на части поверхности выступов заготовки формирования ребер не происходит.

При разработке конструкций теплообменников необходимо проводить расчеты не только эффективности теплоотдачи, но и сопротивления пучка оребренных плоских труб потоку воздуха. Поэтому одновременно с получением критериальных зависимостей для расчета коэффициентов теплоотдачи было проведено обобщение результатов измерений для установления критериальных соотношений, позволяющих проводить расчет потерь давления при движении потока воздуха в межреберном пространстве теплообменников

. Результатом обобщения является получение критериальных зависимостей

$$Eu = bg(s) Re^{-m}, \quad (2)$$

где Eu – безразмерное число Эйлера, выражающее отношение сил давления к силам инерции потока воздуха;

$$Eu = \frac{\Delta p}{\rho V^2},$$

где Δp – потери давления при движении потока воздуха в межреберном пространстве теплообменников, Па.

Так как потери давления при движении потока воздуха в межреберном пространстве теплообменников можно определить как

$$\Delta p = \frac{\xi \rho V^2 h N}{d_3},$$

где ξ – коэффициент сопротивления; h – ширина подрезанного ребра равная ширине выступа на заготовке плоской трубы, м; N – количество выступов на заготовке плоской трубы, то

$$Eu = \frac{\xi h N}{d_3}.$$

При определении безразмерных чисел Re , Nu , Eu , как и в [1], за величину скорости принималось ее значение в наиболее узком проходном сечении пучка оребренных труб, а эффективный диаметр рассчитывался по соотношению

$$d_3 = \frac{4(h - \delta_p)H}{2(H + h - \delta_p)},$$

где h – шаг ребер, м; δ_p – толщина ребра, м; H – высота ребра, м.

Теплофизические свойства теплоносителей принимались при средних значениях их температур.

Для определения показателя степени n в соотношении (1) из результатов исследований были построены зависимости значений Nu от значений Re в логарифмическом масштабе (рис. 1). Исследования проводились для четырех образцов плоских труб по методике, описанной в [4]. Оребрение одного из образцов было выполнено без смещения оси, а оребрение остальных получено при смещении оси вращения планшайбы с резцом относительно оси симметрии плоской трубы на величину 40; 51 и 70 мм. Как видно из рис. 1, все линии, описывающие зависимость значений Nu от значений Re , являются прямыми и располагаются параллельно друг другу. Из этого следует, что показатель степени n , который равен тангенсу угла наклона прямой к оси абсцисс, одинаков для всех зависимостей и с изменением величины смещения не меняется. Из представленных зависимостей определено его значение, которое равно 0,45.

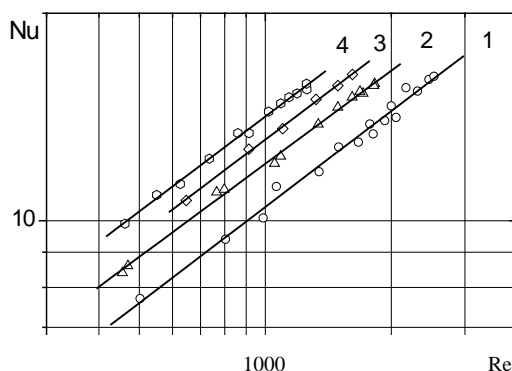


Рис. 1. Зависимость числа Nu от числа Re : 1 – образец с оребрением без смещения оси вращения инструмента; 2 – то же со смещением оси вращения инструмента на 40 мм; 3 – то же на 50 мм; 4 – то же на 70 мм

После определения показателя степени n из результатов каждого отдельного измерения для экспериментального образца, оребрение которого получено без смещения оси вращения инструмента относительно оси симметрии заготовки, был проведен расчет коэффициента $a = \frac{Nu}{Re^{0,45}}$. Величина коэффициента a принята равной его среднеарифметическому значению для всех проведенных измерений и составила 0,471.

Для экспериментальных образцов, оребрение которых получено со смещением оси вращения инструмента относительно оси симметрии заготовки [3], был проведен расчет коэффициента $af(s) = \frac{Nu}{Re^n}$. Для того чтобы соотношение (1) могло быть использовано для расчета теплообменников, оребрение которых получено как без смещения оси вращения инструмента, так и со смещением, значение $f(s)$ должно быть равно 1 при смещении, равном нулю. Установлено, что результаты экспериментов достаточно точно описываются соотношением (1) при условии

$$f(s) = (1 + s)^{0,722}.$$

Таким образом, обобщение результатов экспериментальных исследований позволило для расчета интенсивности теплообмена потока воздуха с оребренной поверхностью плоской трубы получить следующее критериальное соотношение:

$$Nu = 0,471(1 + s)^{0,722} Re^n. \quad (3)$$

Определение показателя степени m в соотношении (2) проводилось аналогично определению показателя степени n . Для этого на основании результатов экспериментальных исследований были построены зависимости значений Eu от значений Re в логарифмическом масштабе (рис. 2).

Как видно из этого рисунка, все линии, описывающие зависимость значений Eu от значений Re , как и на рис. 1, являются прямыми и располагаются параллельно друг другу. Таким образом, показатель степени m , как и в случае обобщения данных по интенсивности теплообмена, одинаков для всех зависимостей. С изменением величины смещения он не меняется и равен 0,574.

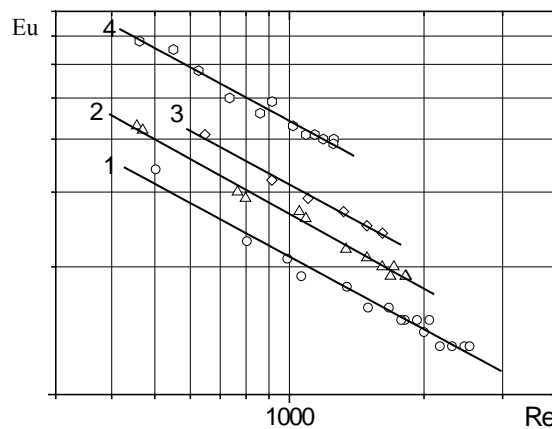


Рис. 2. Зависимость числа Eu от числа Re : 1 – образец с оребрением без смещения оси вращения инструмента; 2 – то же со смещением оси вращения инструмента на 40 мм; 3 – то же на 50 мм; 4 – то же на 70 мм

Величина коэффициента $b = Eu Re^{0,574}$ определялась как его среднеарифметическое значение при исследовании образца, оребрение которого получено без смещения оси вращения инструмента относительно оси симметрии заготовки. Усредненная величина коэффициента b составила 113,1.

Анализ результатов исследований образцов, оребрение которых получено со смещением оси вращения инструмента относительно оси симметрии заготовки, показал, что они с достаточной степенью точности описываются соотношением (2), если функция $g(s)$ имеет экспоненциальный характер:

$$g(s) = 0,941 + 1,11 \cdot 10^{-4} \exp \left(\frac{1 + \frac{D}{D_{\max}}}{0,161} \right).$$

Тогда на основе обобщения результатов экспериментальных исследований для расчета потерь давления при движении потока воздуха в межреберном пространстве теплообменников из плоских труб можно рекомендовать следующее критериальное соотношение:

$$Eu = \left(106,4 + 0,0125 \exp \left(\frac{1 + \frac{D}{D_{\max}}}{0,161} \right) \right) Re^{-0,574}. \quad (4)$$

Сравнение рассчитанных из критериальных зависимостей (3) и (4) значений чисел Nu и Eu с их значениями, измеренными в процессе проведения экспериментальных исследований, представлено на рис. 3, 4, на которых показаны данные для всех исследованных образцов теплообменников, оребренная поверхность которых была выполнена с различными величинами смещения оси вращения инструмента относительно оси симметрии заготовки. Из рисунков видно, что полученные на основании представленного выше обобщения критериальные зависимости (3) и (4) позволяют с высокой точностью проводить расчет чисел Nu и Eu, а, следовательно, как коэффициента теплообмена между потоком воздуха и оребренной поверхностью плоской трубы, так и потерь давления при движении потока воздуха в межреберном пространстве теплообменника.

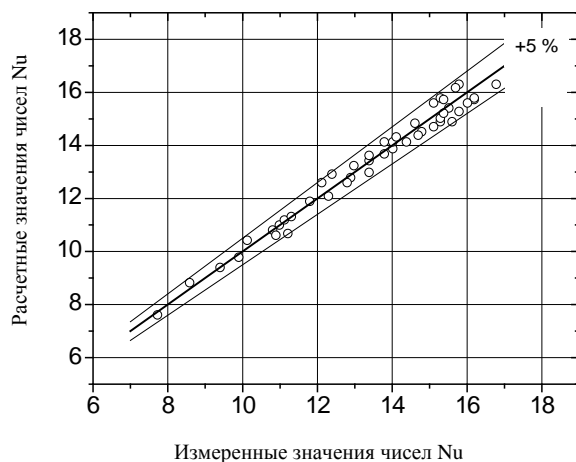


Рис. 3. Сравнение расчетных точек с экспериментальными для чисел Nu

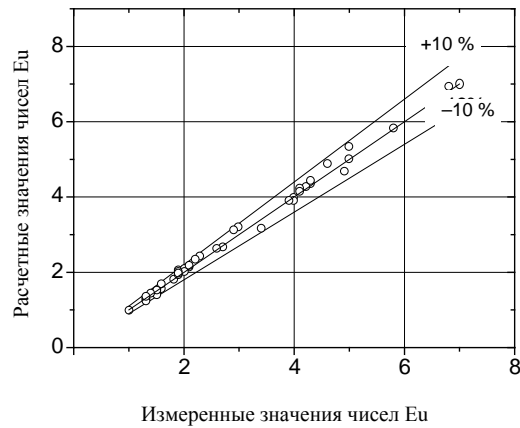


Рис. 4. Сравнение расчетных точек с экспериментальными для чисел Eu

ВЫВОД

Полученные в результате обобщения экспериментальных данных критериальные зависимости дают возможность использовать их при проведении расчетов интенсивности внешнего теплообмена и потерь давления в теплообменниках, изготовленных из плоских оребренных алюминиевых труб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Жукаускас, А. А. Конвективный перенос в теплообменниках / А. А. Жукаускас. – М.: Наука, 1982.
2. Исаченко, В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. С. Сукомел. – М.: Энергия, 1975.
3. Теплообменный элемент: пат. 3039 Респ. Беларусь, приоритет 16.02.2006 / Дьяков А. И., Киселев В. Г.
4. Мрочек, Ж. А. Определение интенсивности теплообмена при конвекции воздуха в межреберном пространстве плоских труб / Ж. А. Мрочек, А. И. Дьяков // Машиностроение. – 2007. – Вып. 22. – С. 220–223.

Представлена кафедрой
металлорежущих станков

и инструментов

Поступила 09.09.2008