

УДК 621.565:621.59

<sup>1</sup>М.Б. Кравченко, доктор техн. наук; <sup>2</sup>А.В. Юрий<sup>1,2</sup>Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Дворянская, 1/3, г. Одесса, Украина, 65082  
e-mail: <sup>1</sup>krautchenko@i.ua; <sup>2</sup>ya.musicfree@rambler.ruORCID: <sup>1</sup><http://orcid.org/0000-0002-9310-2166>; <sup>2</sup><http://orcid.org/0000-0001-7859-7685>

## ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ АСИММЕТРИИ В ТЕПЛОТДАЧЕ ПРЯМЫХ РЕБЕР

Предпринята попытка экспериментального подтверждения ранее предсказанных теоретически эффектов асимметрии в теплоотдаче прямоугольных ребер. Приведено описание простого экспериментального стенда и методики проведения эксперимента. В результате анализа полученных результатов измерений теоретические выводы об асимметрии теплообмена ребер в зависимости от направлений теплового потока и потока омывающей эти ребра среды полностью подтвердились. Используемая в работе методика определения тепловой нагрузки ребра может найти применение в технике низкотемпературного эксперимента, например, для бесконтактного измерения тепловой нагрузки теплообменных аппаратов и расходов теплоносителей.

**Ключевые слова:** Теплообмен. Ребро. Асимметрия. Теплотехнический эксперимент.

### 1. ВВЕДЕНИЕ

Традиционный подход к описанию теплоотдачи ребер сформировался в то время, когда инженерные расчеты проводились при помощи логарифмических линеек и арифмометров. Поэтому он был ориентирован на использование сравнительно простого математического аппарата.

Новый подход к описанию теплоотдачи ребер, предложенный в работе [1], изначально опирается на использование более сложного математического аппарата и необходимости проведения компьютерных расчетов.

Использование современного математического аппарата для анализа теплоотдачи ребра прямоугольного профиля показало, что учёт изменения температуры среды, обтекающей ребро, приводит к асимметрии в теплоотдаче ребра относительно направления движения среды. Учёт этой асимметрии теплообмена позволяет усовершенствовать конструкцию как самих ребер, так и соответствующих теплообменных аппаратов.

Асимметрия в теплоотдаче ребер является эффектом второго порядка, так как она возникает в результате изменения температуры среды, омывающей ребро. Поэтому в большинстве случаев, имеющих практическое значение, эффектом асимметрии теплоотдачи ребер можно пренебречь. Но при существенном изменении температуры среды по отношению к разности температур среды и ребра этот эффект может стать заметным и повлиять на эффективность ребер.

Сравнительно небольшая величина эффекта и сложность его учёта привели к тому, что этот эффект

выпал из поля зрения теории. Но и экспериментальные исследования асимметрии теплоотдачи ребер также не проводились.

В данной работе предпринята попытка экспериментального подтверждения теоретически предсказанных эффектов.

### 2. ТЕПЛОТДАЧА РЕБРА С УЧЁТОМ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ СРЕДЫ

Для того, чтобы учесть изменение температуры среды при теплоотдаче ребра, требуется решить систему дифференциальных уравнений для ребра и среды, движущейся вдоль этого ребра. Для определенности среду, омывающую ребро, будем считать газовой.

Расчётная схема рассматриваемой задачи приведена на рис. 1.

Уравнение теплопроводности для прямоугольного ребра единичной ширины, омываемого газом, с учётом того, что температура газа является не постоянной, а некоторой функцией координаты, записывается в виде:

$$\frac{d^2T(x)}{dx^2} - \frac{2\alpha}{\lambda\delta} [T(x) - T_g(x)] = 0, \quad (1)$$

где  $T(x)$  — температура ребра в точке  $x$ ;  $T_g(x)$  — температура газа, омывающего ребро в точке  $x$ ;  $\delta$  — толщина ребра;  $\alpha$  — коэффициент теплоотдачи от поверхности ребра к газу;  $\lambda$  — теплопроводность материала ребра.

Уравнение теплового баланса для элементарного объёма газа, движущегося в пространстве между