

УДК 536.423

Письменный Е.Н., Дикий Н.А., Туз В.Е., Лебедь Н.Л.

Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт»

ВЛИЯНИЕ КОНСТРУКТИВНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ЩЕЛИ НА ТЕПЛООБМЕН ПРИ ГРАВИТАЦИОННОМ СТЕКАНИИ ПЛЕНКИ

Представлено результати досліджень локальної щільності теплового потоку при гравітаційному стіканні плівки в щілинному та кільцевому каналах у випадку природної конвекції. Отримані результати дозволяють визначити параметри теплоносіїв, що контактують, за допомогою системи диференціальних рівнянь.

Представлены результаты исследования локальной плотности теплового потока при гравитационном стекании пленки в щелевом и кольцевом каналах в случае естественной конвекции. Полученные результаты позволяют, используя систему дифференциальных уравнений, определить параметры контактирующих теплоносителей.

Results of research of a local heat flux density are submitted at a gravitational refluxing of a film in slot-hole and ring channels in case of a natural convection. The received results allow to spot parameters of contacting heat-carriers using system of differential equations.

C_p – теплоемкость при постоянном давлении, кДж/(кг·К);

D – коэффициент диффузии м²/с;

d – диаметр трубы, м;

h – высота рабочего участка, м;

L – длина рабочего участка, м;

T – температура, °С;

V – скорость жидкости, м/с;

U – скорость газа, м/с;

Q – количество теплоты, Вт;

q – плотность теплового потока, Вт/м²;

x – координата;

α – коэффициент теплоотдачи, Вт/(м²·К);

β – коэффициент массоотдачи, м/с;

Γ – плотность орошения, кг/(м·с);

$\bar{\delta}$ – средняя толщина пленки жидкости, м;

λ – коэффициент теплопроводности, Вт/(м·К);

μ – кинематический коэффициент вязкости, м²/с;

ρ – плотность, кг/м³;

$Re = \frac{4 \cdot \Gamma}{\rho_{ж} \cdot v_{ж}}$ – пленочное число Рейнольдса

Индексы:

г – газ;

ж – жидкость;

п – пленка;

т – величина относится к коэффициентам турбулентного переноса.

Введение

Различные технологические процессы в энергетической, химической, нефтехимической, пищевой и других отраслях промышленности органически связаны с процессами нагрева, охлаждения, выпаривания, конденсации, которые в ряде случаев целесообразно проводить при пленочных течениях жидкости. Целесообразность проведения процессов нагрева, охлаждения, выпаривания в стекающих пленках жидкости заключается в том, что, во-первых, эти процессы в стекающих пленках часто происходят интенсивнее, а, во-вторых, при нагреве или выпаривании химических и пищевых продуктов в стекающих пленках, благодаря непродолжительному контакту с поверхностью нагрева, они сохраняют химические и др. качества, а так же не успевают полимеризоваться [1].

Кольцевые парожидкостные потоки – один из часто реализуемых режимов течения парожидкостной смеси в трубах при отводе теплоты от тепловыделяющих элементов энергетического оборудования.

Новое направление в пленочном охлаждении – применение в ядерной энергетике для охлаждения каналов регулирования с твердым поглощающим стержнем и в системе жидкостного регулирования канальных водографитовых реакторов, а так же при послеаварийном охлаждении активной зоны реактора в случае аварии с потерей теплоносителя и полным осушением активной зоны [2].

В ракетных двигателях пленка жидкости используется для тепловой защиты стенок камеры сгорания и для получения гомогенной горючей смеси. Пленочные испарители являются основными элементами в установках по опреснению соленой морской воды.

Таким образом, пленочные теплообменные устройства различных конструкций находят широкое применение на практике.

Течение пленки жидкости в этих устройствах может быть вынужденным, когда ее увлекает за собой поток газа (пара), гравитационным и смешанным.

В каждом конкретном случае вид пленочного течения обуславливают технологические, технико-экономические и другие факторы, однако наиболее простыми по своей конструкции являются теплообменные аппараты контактного типа с гра-

витационно стекающими пленками.

В теплообменных аппаратах и установках контактного типа процессы тепломассообмена протекают при непосредственном соприкосновении двух и более теплоносителей.

В обычных условиях взаимное влияние тепло- и массообмена проявляется слабо. Однако, в процессах, связанных с фазовыми превращениями, взаимное влияние тепло- и массообмена приводит к сильному изменению интенсивности переноса теплоты и вещества. Особенно сильно это явление проявляется в процессах интенсивного кипения, испарения жидкости и конденсации пара [1].

Основными методами пассивной интенсификации процессов тепломассообмена между жидкостью и газом является применение пористых и шероховатых, оребренных поверхностей контакта, увеличение времени контакта за счет применения наклонных каналов турбулизации газового потока и пленки жидкости [3].

Теплообмен в щелевом канале с сетчатыми стенками

Исследование процессов теплообмена при охлаждении пленки жидкости в случае свободной конвекции проводилось на экспериментальном стенде, основными элементами которого являлись экспериментальные участки: кольцевой и щелевой каналы.

В случае исследования процесса охлаждения стекающей пленки жидкости восходящим потоком воздуха при естественной конвекции в кольцевом канале в качестве исследуемого образца использовалась труба $d_1 = 16 \times 1,5$ мм из стали Х12Н10Т длиной 1 м. На наружную поверхность трубы методом контактной сварки приваривалась сетка с размером ячейки в свету $S = 6,3 \times 10^{-4}$ м. В верхней части трубы располагался распределительный коллектор с пористой вставкой для равномерной подачи жидкости по образующей трубы. В нижней части трубы располагался собирающий коллектор, через который охлажденная пленка жидкости удалялась из экспериментального участка. Коаксиально с трубой располагался корпус экспериментального участка с теплоизоляционным покрытием. Схема движения потоков при испарении пленки жидкости в кольцевом канале представлена на рис. 1.

При исследовании процесса локальной плотности теплового потока при гравитационном стекании пленки в щелевом канале в случае естественной конвекции рабочий участок представлял собой щель, сформированную двумя пластинами размерами $a \times b = 250 \times 500$ мм из стали X12H10T. На внутреннюю поверхность пластин методом контактной сварки приваривалась сетка с размером ячейки в свету $S = 6,3 \cdot 10^{-4}$ м. С наружной и боковой поверхности пластины теплоизолированы. В верхней части пластин располагались распределительные коллекторы для равномерной подачи жидкости по пластинам. В нижней части пластин располагались собирающие коллекторы, через которые пленка жидкости удалялась из экспериментального участка. Температура жидкости $T_{ж}$ на входе в экспериментальный участок менялась от 40°C до 80°C , плотность орошения Γ изменялась от $3,2 \cdot 10^{-3}$ кг/м \cdot с до $41,44 \cdot 10^{-3}$ кг/м \cdot с. Схема движения потоков при испарении пленки жидкости в щелевом канале представлена на рис. 2.

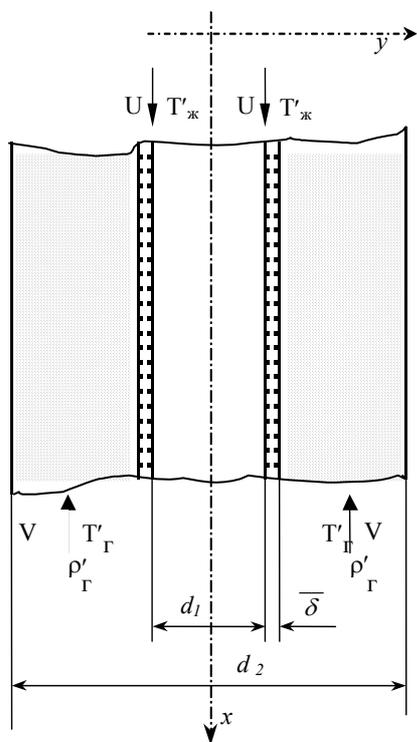


Рис. 1. Схема движения потоков при испарении пленки жидкости в кольцевом канале.

Приняты следующие предположения:

- стенка адиабатная, т.е. тепловой поток на границе «пленка-стенка» равен нулю;
- температура пленки переменна и изменяется от $T'_{ж}$ до $T''_{ж}$;
- температура газа меняется от $T'_{г}$ до $T''_{г}$;
- влагосодержание воздуха меняется от d' до d'' ;
- процесс теплообмена стационарный и симметричный вдоль вертикальной оси x .

В точке с координатой $x = 0$ скорость пленки жидкости (воды) равна нулю, в этой же точке начинается ее контакт с охлаждающим газом (воздухом). При контакте пленки жидкости с воздухом происходит ее испарение, так как температура пленки жидкости на входе $T'_{ж}$ больше температуры воздуха $T'_{г}$. Процесс испарения происходит тем интенсивнее, чем выше разность парциальных давлений пара у поверхности пленки и вдали от нее.

Внутри горячей пленки жидкости происходит перенос теплоты от адиабатной стенки к поверхности раздела фаз, при этом образуется тепловой

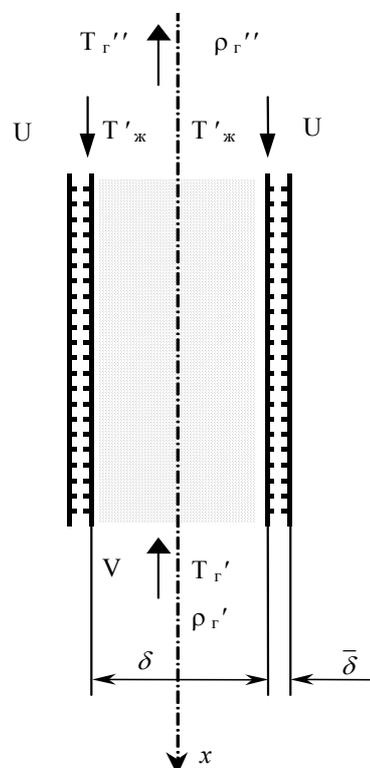


Рис. 2. Схема движения потоков при испарении пленки жидкости в щелевом канале.

погранслоем. Толщина пограничного слоя увеличивается в направлении оси x .

Для процесса охлаждения пленки характерно наличие двух последовательно расположенных участков. На первом при $0 < x < x_n$ (x_n – конечная координата начального теплового участка) толщина теплового погранслоя, развивающегося от поверхности раздела фаз к стенке, меньше толщины пленки и температура теплоносителя в пристенном подслое постоянна и равна начальной температуре жидкости $T'_{ж}$. На втором участке при $x > x_n$ имеет место равенство толщин пленки и теплового пограничного слоя, а температура жидкости в пристенном слое асимптотически понижается и стремится в конце этого участка к температуре мокрого термометра, которая соответствует параметрам воздуха на входе в канал. Это подтверждается результатами экспериментов, которые представлены в [4].

Результаты исследования и их анализ

При контакте газа и пленки жидкости наблюдаются процессы конвективного переноса теплоты в газовой фазе и диффузия пара в газ. Решение дифференциальных уравнений переноса теплоты и массы в данном случае, с учетом сделанных допущений представлено в [4]:

$$\frac{d\langle T_{ж} \rangle}{dx} = - \frac{\lambda \cdot (T_{ж\delta} - \langle T_{г} \rangle)}{\langle U \rangle \cdot \bar{\delta}^2 \cdot C_{рж} \cdot \bar{\rho}_{ж}}, \quad (1)$$

$$\frac{d\langle T_{г} \rangle}{dx} = - \frac{\alpha_{г} \cdot (\langle T_{ж} \rangle - T_{ж\delta})}{\langle V \rangle \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2} - \bar{\delta} \right) \cdot C_{рг} \cdot \bar{\rho}_{г}}, \quad (2)$$

$$\frac{d\langle \rho_{п} \rangle}{dx} = - \frac{\beta \cdot (\langle \rho_{п\delta} \rangle - \langle \rho_{п} \rangle)}{\langle V \rangle \cdot \left(\frac{d_2 - d_1}{2} - \bar{\delta} \right) \cdot C_{рг} \cdot \bar{\rho}_{г}}. \quad (3)$$

В треугольных скобках представлены средние интегральные значения величин.

Полученные в работе [4] среднеинтегральные значения коэффициентов тепло- и массоотдачи позволяют при помощи системы уравнений (1)-(3) рассчитать параметры теплоносителей при различных начальных условиях. Однако, полученные экспериментально и расчетным путем значения параметров пленки отличаются на 20 %...30 %.

Для повышения точности определения параметров необходимо знать локальные значения коэффициентов тепло- и массоотдачи.

Были проведены исследования по определению изменения величины плотности удельного теплового потока по высоте канала. На рис. 3 показано изменение плотности удельного теплового потока по высоте канала. Приведенные данные позволяют определить локальные значения коэффициентов тепло- и массоотдачи по высоте кольцевого канала в зависимости от плотности орошения.

При плотностях орошения $Re > 200$ характер изменения плотности удельного потока прибли-

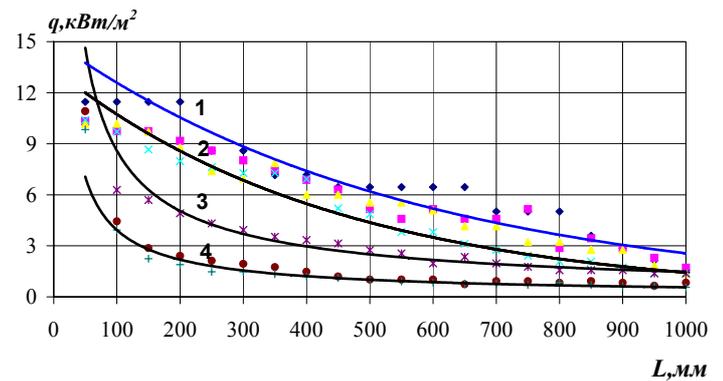


Рис. 3. Изменение плотности удельного теплового потока по высоте кольцевого канала: 1 – плотность орошения 0,086 кг/(м·с); 2 – 0,069; 3 – 0,042; 4 – 0,024.

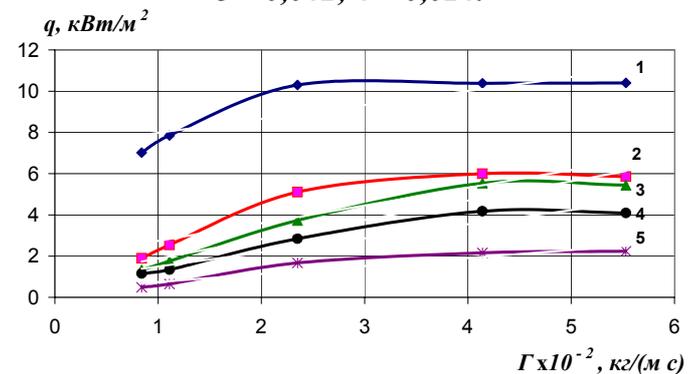


Рис. 4. Изменение плотности удельного теплового потока в зависимости от плотности орошения на следующих участках кольцевого канала: 1 – участок 0...100 мм; 2 – 100...200; 3 – 200...300; 4 – 300...400; 5 – 900...1000.

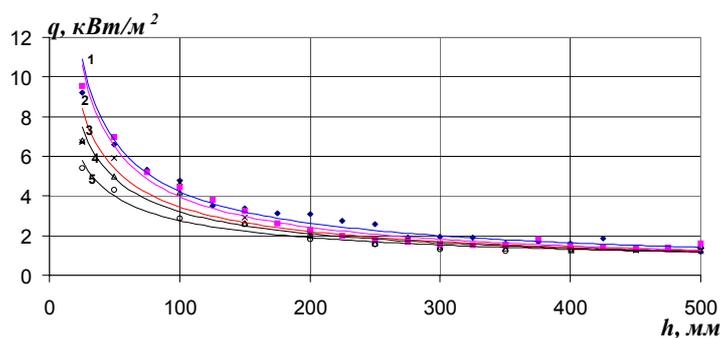


Рис. 5. Изменение плотности удельного теплового потока в зависимости от параметров щелевого канала: 1 – гладкая одиночная пластина; 2 – одиночная пластина с сеткой; 3 – щель $\delta = 20$ мм; 4 – щель $\delta = 15$ мм; 5 – щель $\delta = 5$ мм. $T_{\text{вх}} = 80$ °С; плотность орошения - $0,084$ кг/(м·с).

жається к лінійному. При щільностях зрошення $Re < 200$ необхідно користуватися степеною залежністю (рис. 4). На рис. 5 приведені залежності щільності удельного теплового потоку від параметрів щелевого каналу.

Все приведені вище дані дозволяють підвищити точність визначення параметрів теплоносія розрахунковим шляхом.

УДК 641.841

Піцин С.В.

Український науково-дослідний інститут пожежної безпеки МНС України

МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ ДЛЯ БУДІВЕЛЬНИХ НЕСУЧИХ МЕТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

Приведено постановку та розрахунково-експериментальний метод рішення задачі визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод засновано на рішенні прямих задач теплопровідності. В якості вогнезахисної здатності прийнята залежність мінімальної товщини вогнезахисного покриття від зведеної товщини металу та нормативно заданої межі вогнестійкості.

Приведена постановка і розрахунково-експериментальний метод рішення задачі визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод засновано на рішенні прямих задач теплопровідності. В якості вогнезахисної здатності прийнята залежність мінімальної товщини вогнезахисного покриття від зведеної товщини металу і нормативно заданого межі вогнестійкості.

Statement and rated - experimental method of the solution of problem of fire-protective capacity definition of fire-protective covers for building carriers of metallic designs are adduced. The method is based on the solution of direct problems of heat conduction. The dependence of minimum fire-protective cover depth from reduced depth of metal and normatively predetermined threshold of fire resistance is accepted

Вывод

В результате проведенных исследований получены локальные плотности теплового потока при охлаждении стекающей пленки жидкости восходящим потоком воздуха в случае естественной конвекции в щелевом и кольцевом каналах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гашев П.И., Ковалев О.П., Цвелодуб О.Ю., Якубовский Ю.В. Тепломассообмен при контакте горячего газа со стекающей пленкой жидкости // ИФЖ.- 1984.- Т. 46.- №3.- С. 428-432.
2. Ганчев Б.Г. Охлаждение элементов ядерных реакторов стекающими пленками. М-Л.: Энергоатомиздат, 1987.- С. 104.
3. Дикий Н.А., Туз В.Е., Колоскова Н.Ю., Трокоз Я.Е. Исследование процессов тепломассопереноса в пористых насадках при пленочном течении жидкости // Изв. вузов СССР. Энергетика.- 1986.- № 7.- С. 93-96.
4. Туз В.Е., Лебедь Н.Л. Теплообмен и устойчивость пленочного течения теплоносителя в каналах с сетчатым покрытием // НТЖ Технологические системы.- К.- 2002.- № 2(13).- С. 155-158.

Получено 07.10.2004 г.