

имеют следующие значения: расстояние между пластинами 16 мм, толщина и шаг ребер 0,8 и 4 мм, толщина разделительных пластин и проставок 0,4 и 4,0 мм. Матрица выполнена из стали 1Х13 с теплопроводностью 30,8 Вт/(м²·°С).

Расчет проводился с набегающими скоростями потока воздуха 5,0, 7,5 и 10 м/с. Получено, что во всех случаях результат был идентичен. Отличие длины обтекания L от среднего значения 0,533 м не превышало 2%, а величины объема теплообменной матрицы от среднего 0,153 м³ – 5%, что соответствует удовлетворительной точности разработанной методики расчета пластинчато-ребристого теплообменника минимального объема. Мощности на прокачку вытяжного и приточного воздуха составили 77 и 142 Вт.

ЛИТЕРАТУРА

1. Справочник по теплообменникам. Т2. – М.: Энергоатомиздат, 1987. – 352 с.
2. Кэйс В.М., Лондон А.Л. Компактные теплообменники. – М.; Энергия, 1967. – 224 с.
3. Shah R. K., Sekulib D. R. Fundamentals of heat exchanger design. - New Jersey: Wiley, 2003. – 971 p.
4. Чичиндаев А. В. Оптимизация компактных пластинчато-ребристых теплообменников. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 2017. – 224 с.
5. Dewatwal J. Design of compact plate fin heat exchanger. – Rourkela: National Institute of Technology, 2009. – 61 p.
6. Справочник по теплообменным аппаратам / П. И. Бажан, Г.Е. Каневец, В.М. Селиверстов. – М.: Машиностроение, 1989. – 368 с.

УДК 66.02.071.7

Д.К. Камалбек, докторант;

А.А. Волненко, проф., д-р техн. наук;

Е.А. Жидебаев, докторант (ЮКУ им. М. Ауэзова, Казахстан);

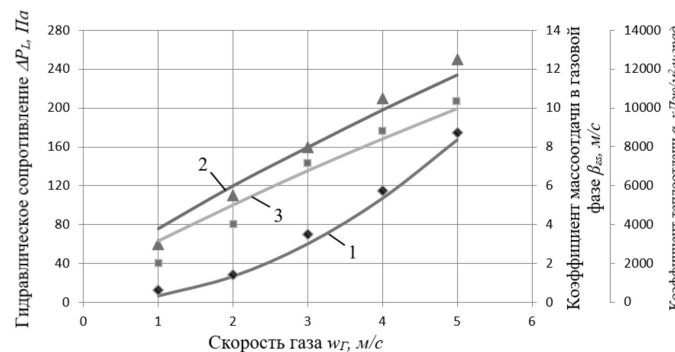
А.Э. Левданский, зав. кафедрой, д-р техн. наук (БГТУ, Минск)

ТЕПЛОМАССООБМЕН В ГАЗООЧИСТНОМ АППАРАТЕ ПРИ ВНЕШНЕМ ОБТЕКАНИИ ТРУБЧАТОЙ НАСАДКИ С ПРЯМЫМИ ТРУБАМИ

Аппараты с насадкой регулярно размещенной в объеме контактной зоны находят широкое распространение при проведении процесса абсорбции, контактного теплообмена и пылеулавливания [1]. Это связано с тем, что в этих аппаратах используется принцип продольно-поперечного секционирования. При этом удается полнее ис-

пользовать энергию газового потока для создания вихревой структуры с малым гидравлическим сопротивлением. Несомненным преимуществом аппаратов с регулярной насадкой является возможность достижения в них режима одновременного вихреобразования (синфазного режима), зависящего от геометрической формы насадочных тел и шагов расположения элементов в вертикальном направлении.

Выполнение контактного устройства в виде пучка труб, расположенных поперек движению газожидкостного потока, дает дополнительные преимущества, так как в этом случае возможен подвод тепла непосредственно в зону контакта фаз или отвод из нее, что является обязательным условием эффективного проведения многих тепло-массообменных процессов и хемосорбции [2]. Исследования новых конструкций тепло-массообменных аппаратов проводятся на экспериментальных установках в лабораторных условиях. В качестве основных параметров изучаются гидравлическое сопротивление, коэффициенты массоотдачи и теплоотдачи. Гидравлическое сопротивление измеряется чашечным манометром и контролируется прибором типа ДСР. Для определения коэффициентов массоотдачи в газовой фазе, отнесенных к сечению аппарата, используют методику, основанную на изучении процесса адиабатического испарения воды в воздух, а при определении коэффициентов теплоотдачи методику, по определению поля температур. В настоящее время проведены исследования гидродинамических закономерностей, параметров массообмена и теплообмена в аппарате с трубчатой насадкой с прямыми трубами и внешним расположением коллекторов для распределения и сбора теплоносителя, движущегося по трубам [3, 4]. При этом в объеме контактной зоны протекают основные процессы (абсорбции, пылеулавливания и др.) с использованием абсорбента, не смешивающегося с теплоносителем, движущимся по трубам.



Условия опытов: $t_B/d=2$; $t_P/d=2$; $d=25$ мм; $L=25$ м³/м²ч; $t_c=20^\circ\text{C}$.

1 - ΔP_L ; 2 - β_{gs} ; 3 - α .

Рисунок 1 – Зависимость гидравлического сопротивления ΔP_L , коэффициентов массоотдачи в газовой фазе β_{gs} и теплоотдачи α от скорости газа w_g в аппарате с прямыми трубами и внешними коллекторами

На рисунке 1 представлен график зависимостей гидравлического сопротивления, коэффициентов массоотдачи в газовой фазе и теплоотдачи.

Как видно из рисунка исследуемые параметры растут с увеличением скорости газового потока. Рост гидравлического сопротивления обусловлен потерями напора потока, затрачиваемого на образование и взаимодействие вихрей в трубчатом пучке аппарата, на изменение направления газового потока, на трение газа о поверхность насадочных элементов и пленку жидкости. Рост скорости газового потока приводит также к увеличению количества удерживаемой жидкости, времени ее пребывания и турбулентности газожидкостного слоя за счет увеличения числа и мощности образованных вихрей. В случае массообмена, лимитируемого сопротивлением газовой фазы турбулизация газожидкостного потока снижает диффузионное сопротивление, а за счет снижения диаметра капель увеличивается межфазная поверхность – в результате коэффициенты массоотдачи в газовой фазе растут. Аналогичным образом, увеличение коэффициентов теплоотдачи с ростом скорости газа происходит из-за возрастания разности температур по поверхности контакта.

Увеличение плотности орошения показали рост кривых гидравлического сопротивления и незначительное увеличение коэффициентов массоотдачи в газовой фазе и теплоотдачи.

Для расчета гидравлического сопротивления предложено уравнение [5]:

$$\Delta P_L = \xi_L \cdot \frac{H}{t_b} \cdot \frac{\rho_g W_r^2}{2\varepsilon_0^2}, \quad (1)$$

где H – высота насадки, м; ρ_g – плотность газа, кг/м³; ξ_L – коэффициент сопротивления, учитывающий потери давления при взаимодействии вихрей в вертикальном и радиальном направлениях:

$$\xi_L = 0,25 \cdot \theta_v \cdot \theta_r \cdot \text{Re}_{\text{ж}}^{0,1}. \quad (2)$$

Здесь θ_v – коэффициент, учитывающий степень взаимодействия вихрей в вертикальном направлении; θ_r – коэффициент, учитывающий степень взаимодействия вихрей в радиальном направлении; $\text{Re}_{\text{ж}}$ – число Рейнольдса.

На основе первого закона Фика получено уравнение для расчета коэффициентов массоотдачи в газовой фазе [5]:

$$\beta_{gs} = 10,4 \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^{1/4} \cdot \left[\xi_L \cdot \frac{D_z^2 \cdot U_z^3}{\varphi_{\text{яч}} \cdot t_b \cdot \nu_z} \right]^{1/4}. \quad (3)$$

С использованием аналогии Льюиса получено уравнение для расчета коэффициентов теплоотдачи:

$$\alpha = 7,28 \cdot \left(\frac{\varphi}{1-\varphi} \right)^{1/4} \cdot c_p' \cdot \left[\xi_L \frac{D_r^2 \cdot U_r^3}{t_v \cdot \varphi_{яч} \cdot \nu_r} \right]^{1/4} . \quad (4)$$

В уравнениях (3) и (4) D_e – коэффициент диффузии, м²/с; U_e – истинная скорость газа, м/с; φ – газосодержание, м³/м³; c_p' – теплоемкость, Дж/(кг·К).

Таким образом, для проведения процессов абсорбции и контактного теплообмена показана перспективность применения аппаратов с регулярной насадкой. Описана конструкция аппарата с трубчатой насадкой с прямыми трубами и внешним расположением коллекторов для распределения и сбора теплоносителя. Проведен анализ результатов исследований гидравлического сопротивления, коэффициентов массоотдачи в газовой фазе и теплоотдачи описанных аппаратов и предложены уравнения для их расчета.

ЛИТЕРАТУРА

1 Балабеков О.С., Волненко А.А. Расчет и конструирование тепломассообменных и пылеулавливающих аппаратов с подвижной и регулярной насадкой. – Шымкент, 2015. – 184 с.

2 Бекибаев Н.С. Научные основы сопряженных тепло- и массообменных процессов в синфазно-вихревых аппаратах. Дис. ... докт. техн. наук. Шымкент. 2008. – 240с.

3 Инновационный патент №27719 Республика Казахстан, МПК В01D 53/20, В01D 47/14. Аппарат с насадкой для тепломассообмена и пылеулавливания/ А.А. Волненко, О.С. Балабеков, Б.Н. Крганбаев, Ж.Е. Хусанов, Н.С. Бекибаев; опубл. 18.12.13, Бюл. №12. – 4 с.

4 Сарсенбекулы Д. Методология расчета и проектирования аппаратов с трубчатой насадкой регулярной структуры: дис. ... доктора PhD. – Шымкент. 2017. – 143 с.

5 A.A. Volnenko, O.S. Balabekov, B.N. Korganbaev, D. Sarsenbekuly. Purification apparatuses with types of regular packings for chromium salts production // Chemical engineering transactions, Vol.43, 2015. – P. 1147-1152.