

МАССООБМЕН ПРИ НЕПОСРЕДСТВЕННОМ ВЗАИМОДЕЙСТВИИ ГАЗА И ЖИДКОСТИ В МОКРЫХ ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯХ

Семенов С.В. (Одесская государственная академия строительства и архитектуры, г. Одесса)

Рассмотрен процесс массообмена в двухфазном потоке при непосредственном контакте газа и жидкости в пылеуловителях мокрого типа получено критериальное уравнение массообмена.

В пылеуловителях инерционно-ударного типа, при движении очищаемого газа и рабочей жидкости, происходят процессы охлаждения или нагрева газа, одновременного испарения или конденсации, а также поглощения компонентов входящих в газовую смесь. Как доказано в [1, 2] в газовой фазе между процессами теплообмена и массообмена существует аналогия, которая опирается на сходство элементарных законов диффузии, закон Фина:

$$n = - D \left(\frac{\partial C}{\partial n} \right) \quad (1)$$

где D - коэффициент диффузии;

$\frac{\partial C}{\partial n}$ – градиент концентраций фаз;

C – концентрация.

и закона теплопроводности Фурье:

$$\psi = - \lambda \left(\frac{\partial t}{\partial n} \right) \quad (2)$$

где ψ - весовая скорость фазового превращения;

λ - коэффициент теплопроводности;

t – температура.

На основе этих законов получены дифференциальные уравнения, которые описывают процессы диффузии и теплопереноса тепла [1]. Для движущейся двухфазной среды они также имеют одинаковую структуру, если обеспечить одинаковые граничные условия. Для массообмена это аналогичное распределение концентраций обмениваемого компонента в геометрически подобных условиях. Необходимо учитывать, что для рассматриваемых условий, применительно к мокрым пылеуловителям, определяющее значение приобретает турбулентный обмен, а не молекулярные процессы переноса, вызванные тепловым движением молекул. Сказываются, также химические реакции и взаимное влияние процессов охлаждения и очистки газа. Поэтому

аналогия может быть достигнута при соблюдении ряда условий, а именно:

- если изменение физических параметров потоков не велико, достаточно удовлетворение во всех сходных точках потоков равенства:

$$a = \lambda/\gamma C = Dz t \quad (3)$$

$$v/a = v/D \quad (4)$$

где a – коэффициент температуропроводности;

γ - вес;

Z - газовая постоянная;

v - коэффициент кинематической вязкости.

Анализ механизма диффузии в турбулентном потоке позволяет предположить, что при переносе тепла и вещества, в общем для двухфазной системы пространстве, для всех точек между локальными значениями $\lambda_{турб}$ и $D_{турб}$ будет выполняться соотношение:

$$\lambda_{турб}/D_{турб} = \gamma C Z t \quad (5)$$

Данное соотношение не зависит от величины и интенсивности турбулентного потока. На основе выражений (3) и (5) произведя некоторые преобразования получаем :

$$\lambda/D = \lambda_{турб}/D_{турб} \quad (6)$$

- наличие аналогии может наблюдаться, также при условии малой концентрации компонента в потоке и малой разности его парциальных давлений.

Необходимым, также является наличие краевых условий. При совместно протекающих процессах тепло- и массообмена, учитывая то, что уравнение движения для них является общим, область, в которой аналогия сохраняется достаточно обширна.

Принимая во внимание вышесказанное, дифференциальные уравнения массообмена [1] записанные в определенной системе единиц, могут быть представлены в виде зависимости между безразмерными соотношениями, из входящих в уравнение параметров, которые и есть критерии подобия. Производим замену переменных и сокращение их числа, с переходом к критериальному уравнению. Таким образом, упрощается обработка аналитических и экспериментальных исследований, так как связь между безразмерными критериями подобия значительно проще. Очень важно и то, что переход к безразмерным соотно-

шениям позволяет распространить результаты исследования, проведенного применительно к конкретному явлению, на ряд сходных явлений. Таким образом, в окончательном виде критериальное уравнение запишется:

$$N = \varphi (Re_g, Re_j, Pr_g, Pr_j, C, D, \Gamma) \quad (7)$$

в развернутом виде:

$$k \omega g / q = \varphi (\omega g S / \nu_g, \omega j S / \nu_j, \nu_g / D_g, \nu_g / D_j, C_{j1} / C_{j2}, D_j / D_g, H / S) \quad (8)$$

где ω - скорость фазы;

S - линейный размер влияющий на характер взаимодействия фаз;

H - высота слоя пены.

Это уравнение включает в себя ряд физических величин, характеризующих свойства жидкости и газа.

$Re_g = \omega g S / \nu_g$ - критерий Рейнольдса для газа, характеризующий степень турбулизации фазы.

$Re_j = \omega j S / \nu_j$ - критерий Рейнольдса для жидкой фазы.

$Pr = \nu_g / D_g$ - критерий Прандтля, характеризующий физические свойства среды для газа.

$Pr = \nu_j / D_j$ - тоже для жидкой фазы.

$C = C_{j1} / C_{j2}$ - симплекс концентраций потоков, который характеризует процесс массообмена выраженный, как отношение начальной концентрации передаваемого компонента в жидкости C_{j1} к равновесной с его начальной концентрации в газе C_{j2} .

$D = D_j / D_g$ - диффузионный симплекс, выраженный, как отношение коэффициентов диффузии передаваемого компонента в жидкости и газе.

$\Gamma = H / S$ - условный симплекс геометрического подобия, характеризующий время и поверхность контакта газа и жидкости.

Процессы массообмена характеризует коэффициент массопередачи m выраженный, как отношение к активному объему аппарата или к площади активного рабочего пространства пылеуловителя:

$$m_1 = \rho / V \Delta C, \text{ кг/м}^3 \text{ час кг/м}^3 \quad (9)$$

$$m_2 = \rho / V \Delta C, \text{ кг/м}^2 \text{ час кг/м}^2 \quad (10)$$

где m_1, m_2 - коэффициент массопередачи, отнесенный соответственно к объему и площади мокрого пылеуловителя.

ρ - количество переданного вещества в результате массообмена, кг/час;

V – объем рабочей зоны пылеуловителя, м^3 ;
 F – площадь рабочей зоны пылеуловителя, м^2 ;
 ΔC – движущая сила процесса массообмена, $\text{кг}/\text{м}^3$.

При исследовании массообмена в пылеуловителях мокрого типа необходимо вычислять к.п.д. аппарата при адиабатном увлажнении очищаемого газа, для этого можно использовать выражение:

$$\eta = (d_2 - d_1) / (d - d_1) \quad (11)$$

где d_1, d_2 – соответственно начальное и конечное влагосодержание газа, $\text{кг}/\text{кг}$.

d – равновесное влагосодержание, $\text{кг}/\text{кг}$.

Коэффициент массопередачи по аналогии с формулами (9), (10) вычисляется:

$$m_1 = \rho / V \Delta d \quad (12)$$

$$m_2 = \rho / V \Delta d \quad (13)$$

где Δd – движущая сила массообмена при адиабатном увлажнении воздуха, когда происходит испарение жидкости, вычисляется по формуле приведенной в [1, 3].

Вывод. Учитывая многообразие состояния сред, при совместном течении газа и жидкости, и сложность законов движения многофазных потоков, большое значение при их исследовании приобретают методы теории подобия, которые позволили получить критериальное уравнение массообмена с количеством критериев удовлетворяющим требованиям π -теоремы. Получены выражения для вычисления коэффициента массопередачи и к.п.д. мокрого пылеуловителя при адиабатном увлажнении очищаемого воздуха.

Литература

- 1 Берман Л. Д. Об аналогии между тепло – и массообменом. Теплоэнергетика, №8 -М. 1955 – 39с.
- 2 Гухман А. А. Применение теории подобия к исследованию процессов тепло – массообмена. Высшая школа, 1967 – 41с.
- 3 Семенов С. В. , Рябов А. В. Оптимизация эксплуатационных режимов мокрого пылеуловителя. Сборник научных трудов. – Пермь: Пермский региональный центр Министерства науки, вузов и технической политики РФ. Пермский государственный технический университет, 1993 – 78с.