

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ФАЗ В
ОДНОНАПРАВЛЕННОМ ЗАКРУЧЕННОМ ПОТОКЕ

Процесс массообмена между фазами в системе газ-жидкость или пар-жидкость может быть интенсифицирован путём сообщения внутренним потокам крутки, т.е., наряду с осевым, вращательного движения /1-3/, поэтому исследование двухфазных закрученных потоков представляет особый практический интерес.

Условия формирования внутренних закрученных потоков исключительно многообразны и их классификация основывается пока на чисто внешних признаках, что в конечном счёте приводит к отсутствию единого подхода к описанию гидродинамики и механизма массопереноса.

На основе анализа существующих моделей /4-6/ предпринята попытка обобщения различных форм однонаправленного закрученного потока и рассматривается модель процесса переноса массы на примере абсорбции при ламинарном течении плёнки жидкости, обтекаемой в прямотоке турбулентным потоком газа.

Наиболее общим для любого вида закрученного газожидкостного потока является кольцевой режим течения, когда центральную зону канала занимает газ, движущийся по винтовой линии со значительной средней осевой скоростью > 10 м/сек/, а у стенки перемещается кольцо жидкой плёнки. Движущей силой, приводящей к вынужденному винтовому движению жидкости, служат касательные напряжения на границе раздела газ-жидкость.

В отличие от свободного стекания жидкости, когда скорость газа незначительна, в однонаправленном закрученном потоке максимум касательных напряжений в жидкости должен находиться на границе раздела фаз.

Движение газа и жидкости в поле центробежных сил характеризуется наличием упорядоченного вихревого движения. Кроме того, наличие границы раздела фаз является причиной возникновения неупорядоченного вихревого движения вблизи междофазной поверхности.

При скоростях газа, обычных для закрученного потока, на основное движение накладывается неупорядоченное пульсационное движение, так что в каждой точке параметры неравномерно изменяются

вдоль и поперёк потока. Хотя величина пульсаций незначительна, она оказывает существенное влияние на процесс трения и массообмена.

Анализ физической стороны взаимодействия фаз в закрученном потоке позволил перейти к математическому описанию механизма переноса массы.

При решении задачи предполагается, что межфазная поверхность является гладкой, тангенциальная скорость, характеризующая закрутку, учитывается вектором полной скорости

$$u_{\infty} = u/tg\varphi. \quad / 1 /$$

Считается, что соотношение скоростей потенциального течения в жидкости и газе значительно меньше единицы, влияние неупорядоченного пульсационного движения учитывается в уравнениях гидродинамики коэффициентом турбулентной вязкости, а в уравнениях диффузии коэффициентом турбулентной диффузии.

Система координат выбиралась таким образом, чтобы ось X совпадала с направлением движения газа, а ось Y была перпендикулярна ей и направлена от жидкой в сторону газовой фазы. Так как толщина плёнки много меньше диаметра патрубка, то рассматриваемая модель приводится к задаче обтекания жидкой плёнки газом на поверхности.

Тогда уравнения в газовой фазе имеют вид:

$$u_2 \frac{\partial u_2}{\partial x} + \frac{\partial u_2}{\partial y} = \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \frac{1}{\rho} \frac{\partial}{\partial y} \left[(\nu_2 + \varepsilon_r) \frac{\partial u_2}{\partial y} \right], \quad / 2 /$$

$$\frac{\partial(\rho u_2)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v_2)}{\partial y} = 0, \quad / 3 /$$

$$u_2 \frac{\partial C_2}{\partial x} + v_2 \frac{\partial C_2}{\partial y} = \frac{\partial}{\partial y} \left[(D_{\omega}^2 + D_r^2) \frac{\partial C_2}{\partial y} \right]. \quad / 4 /$$

Уравнения в жидкой фазе имеют вид:

$$u_{\kappa} \frac{\partial u_{\kappa}}{\partial x} + v_{\kappa} \frac{\partial v_{\kappa}}{\partial y} = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial p}{\partial x} + \nu_{\kappa} \left(\frac{\partial^2 u_{\kappa}}{\partial y^2} \right), \quad / 5 /$$

$$\frac{\partial u_{\kappa}}{\partial x} + \frac{\partial v_{\kappa}}{\partial y} = 0, \quad / 6 /$$

$$u_{\kappa} \frac{\partial C_{\kappa}}{\partial x} + v_{\kappa} \frac{\partial C_{\kappa}}{\partial y} = D_{\kappa} \frac{\partial^2 C_{\kappa}}{\partial y^2}. \quad / 7 /$$

Система дифференциальных уравнений дополняется граничными условиями:

1/ на неподвижной поверхности при $y=0$

$$u = v = 0, \quad C_x = f(x); \quad / 8 /$$

2/ на границе раздела фаз при $y=\delta(x)$

$$u_x = u_2; \quad (\mu_2 + \varepsilon_2) \frac{\partial u_2}{\partial y} \Big|_{y=\delta} = \mu_x \frac{\partial u_x}{\partial y}; \quad / 9 /$$

$$u_2 = \frac{d\delta}{dx} - v = 0; \quad C_x \cdot K = C_2;$$

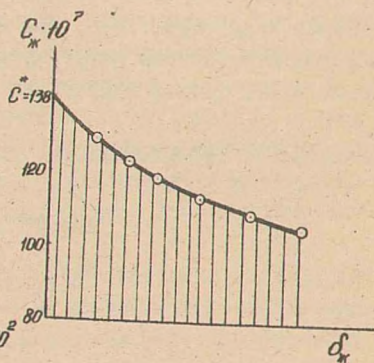
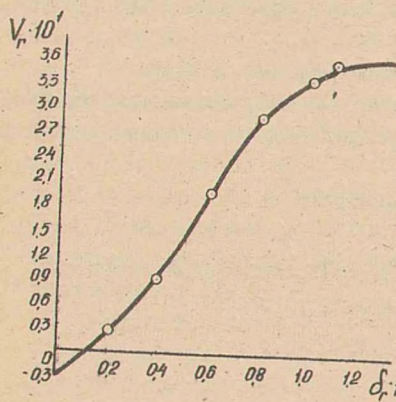
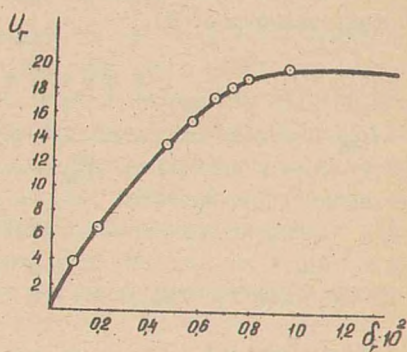
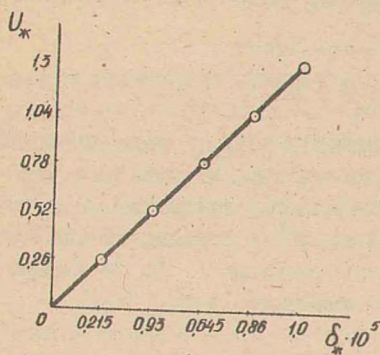
$$D_x = \frac{\partial C_x}{\partial y} = (D_v^2 + D_r^2) \frac{\partial C_2}{\partial y}; \quad / 10 /$$

3/ потенциальное течение /идентично оси трубы/

$$u_r = u_{2\infty}, \quad C_2 = C_{2\infty}. \quad / 11 /$$

При решении системы уравнений в частных производных /2/ - / 7 / с краевыми условиями / 8 /- / II / использовалось аффинно-подобное преобразование с помощью безразмерной координаты $\frac{y}{\delta(x)} \sqrt{\frac{2x}{\nu}}$. Полученная система уравнений в обыкновенных производных решалась методом Рунге-Кутты. Для различных сечений x получены профили скоростей и концентраций в газовой и жидкой фазах. Следует особо отметить две трудности при решении задачи. Для получения полей скоростей и концентраций по высоте контактного элемента необходимо знание толщины плёнки жидкости, коэффициента турбулентной вязкости и коэффициента турбулентной диффузии в газе. При решении задачи считалось, что расход жидкости в каждом сечении постоянен. Это условие позволило вычислить толщину плёнки и учесть динамику развития плёнки. Определение коэффициента турбулентной вязкости требует либо трудоёмкого эксперимента по непосредственному измерению пульсационных членов термоанемометрическим методом, либо определения V_r по экспериментальным профилям средних тангенциальных скоростей, используя довольно сложную методику расчёта. Для решения диффузионной задачи необходимо знание коэффициента турбулентной диффузии D_r , который может быть определён по формуле $D_r = \frac{\nu}{Sc_r}$, где Sc_r - критерий Шмидта / турбулентный /.

Значения V_r , D_r и Sc_r были взяты из литературы [7] и коррекция D_r проводилась методом численного эксперимента с



ρ_{uc} .

26. Зап. 5189

учётom экспериментальных профилей концентраций.

В результате решения гидродинамической и диффузионной задач были получены профили скоростей и концентраций, которые приведены на рисунке.

Эти результаты послужат базой для разработки инженерных расчётных зависимостей.

О б о з н а ч е н и я

U_{ax} - осевая скорость газа и жидкости; U'_{ax} - радиальная скорость газа и жидкости; ρ_{ax} - плотность газа и жидкости; ν - кинематическая вязкость; ν_t - коэффициент турбулентной вязкости; C_{ax} - концентрация газа и жидкости; δ - толщина плёнки жидкости; D_m - коэффициент молекулярной диффузии; D_t - коэффициент турбулентной диффузии; K - константа Генри.

Л и т е р а т у р а

1. Алимов Р.З., Сб. "Процессы химической технологии, гидродинамика, тепло- и массопередача", Л., "Наука", 1965.
2. Конобеев Б.И., Малюсов В.А., Мавроников Н.М., ДАН СССР, 1957, II7, № 4, 671.
3. Гухман Л.М., Ершов А.И., Плехов И.М., Изв. ВУЗов, Энергетика, 1969, 84, № 5.
4. Семёнов Н.А., ЖТФ, 1944, I4, вып. 7-8, 425.
5. Кафаров В.В., Основы массопередачи, Москва, "Высшая школа", 1962.
6. Левич В.Г., Физико-химическая гидродинамика, Москва, физматгиз, 1959.
7. Кинце И.О., Турбулентность, Москва, 1963.

Белорусский технологический институт
им. С.М.Кирова, г. Минск