

– неперенное взаимодействие, т.е. когерентность поведения между компонентами системы [3].

Использование метода АКАР позволяет получить процедуру синтеза законов управления ЛА.

Список использованных источников

1. Колесников А.А. Синергетические методы управления сложными процессами: механические и электромеханические системы / А.А. Красовский. – М.: КомКнига, 2006. – 85 – 171с.
2. Колесников А.А. Синергетическое управление процессами пространственного движения летательных аппаратов / А.А. Колесников. – М.: КомКнига, 2006. – 38 – 45с.
3. Буков В.Н. Адаптивные прогнозирующие системы управления полетом / В.Н. Буков. – М: Наука, 1987. – 121с.

УДК 66.023:532.5.001.57

ЗОННО-ДИФфуЗИОННАЯ МОДЕЛЬ МАССООБМЕНА В ХАОТИЧНОМ НАСАДОЧНОМ СЛОЕ ПРОМЫШЛЕННЫХ КОЛОНН

Фарахов Т.М.* , Лаптев А.Г.**

* Инженерно-внедренческий центр "Инжесхим"

** Казанский государственный энергетический университет

Аннотация. Для решения задач диагностики эффективности работы промышленных насадочных колонн, а также проектирования новых конструкций представлена математическая модель, состоящая из ряда параллельных зон с различной структурой потоков газа и жидкости. В каждой зоне математическое описание имеет вид однопараметрических диффузионных моделей, записанных для жидкой и газовой фаз, где взаимодействие (массопередача) учитывается в виде объемных источников переноса (массы компонента). Учет неравномерностей по профилям скоростей газа и жидкостей выполняется параметрически за счет различных значений коэффициентов гидравлического сопротивления, а массообменные характеристики учитываются с помощью объемных коэффициентов массопередачи в зонах и движущей силы (разности концентраций).

Ключевые слова: массообмен, масштабный эффект, диффузионная модель, структура потока, насадки.

Введение. В промышленных аппаратах больших масштабов часто наблюдаются неравномерности распределения фаз, что вызывает снижение эффективности процессов тепло- и массообмена и повышенные энергозатраты [1, 2]. Для практических расчетов тепло- и массообменных аппаратов широкое использование находят различные модели структуры потоков. Наибольшее применение получили диффузионная и ячеечная модели, между которыми существует эквивалентная связь. При использовании моделей структуры потоков необходимы экспериментальные исследования коэффициентов перемешивания для каждой конструкции аппарата в заданном интервале режима работы.

В промышленных аппаратах не все процессы можно описать с применением одномерных рассмотренных моделей. Это связано с продольными и поперечными (радиальными) неравномерностями распределения фаз, даже при первоначальной равномерной подачей газа и жидкости на входе в слой. В таких случаях возможно применение двухмерных моделей структуры потока, записанных для каждой фазы. Однако в такой постановке остаются неизвестными коэффициенты перемешивания в радиальном направлении для новых насадок. Следует отметить, что и для многих известных и длительное время применяемых конструкций насадок, значения коэффициентов перемешивания в поперечном (радиальном) направлении отсутствуют.

Зонная модель. Рассмотрим применение зонной структуры насадочного слоя с продольным выделением зон, каждая из которых имеет описанное диффузионными моделями.

Условное деление рабочей области аппарата на зоны с различной структурой потока было предложено Кафаровым В.В., Шестопаловым В.В. и др. и получено название комбинированных моделей структуры потоков. В рассматриваемой выше постановке примем модель

с параллельными диффузионными зонами по высоте насадочного слоя (рис.1). Каждая зона будет иметь одинаковое математическое описание по газовой фазе в виде диффузионной модели, но с различными скоростями, коэффициентами перемешивания и источниками массы. Аналогично по жидкой фазе.

Однопараметрическая диффузионная модель для газовой фазы при имеет вид

$$W_{\Gamma} \frac{dC_{\Gamma}}{dz} = D_{\text{пр}} \frac{d^2 C_{\Gamma}}{dz^2} \pm R_c \quad (1)$$

где $D_{\text{пр}}$ – коэффициент обратного перемешивания в газовой фазе, $\text{м}^2/\text{с}$; W_{Γ} – средняя скорость газа, $\text{м}/\text{с}$; C_{Γ} – концентрация компонента в газе, $\text{кг}/\text{м}^3$; z – продольная координата, м ; \pm – сток или приток компонента.

В правой части уравнения (1) источник межфазного переноса $R_c = j dF / dV$, где j – поток массы компонента, $\text{кг}/(\text{м}^2\text{с})$; dF – площадь элемента межфазной поверхности, м^2 ; dV – элементарный объем, м^3 . Поток массы можно записать, используя уравнения массоотдачи, тогда имеем

$$j = \beta_{\Gamma} (C_{\infty, \Gamma} - C_{\Gamma, \text{гр}}) = \beta_{\text{ж}} (C_{\text{гр}, \text{ж}} - C_{\infty, \text{ж}}), \quad (2)$$

где β_{Γ} , $\beta_{\text{ж}}$ – коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах, $\text{м}/\text{с}$; индексы: ∞ – в ядре потока; гр – на границе раздела фаз.

С применением уравнений массопередачи

$$j = \kappa_{\text{ог}} (C_{\infty, \Gamma} - C_{\Gamma}^*) = \kappa_{\text{ож}} (C_{\text{ж}}^* - C_{\infty, \text{ж}}), \quad (3)$$

где $\kappa_{\text{ог}}$, $\kappa_{\text{ож}}$, – коэффициенты массопередачи, $\text{м}/\text{с}$; индекс «*» – равновесная концентрация.

При равномерном распределении хаотичной насадки имеем $dF / dV = a_v \psi_w$, где a_v – удельная поверхность насадки, $\text{м}^2/\text{м}^3$; ψ_w – коэффициент смачиваемости поверхности.

К уравнению (1) записываются граничные условия Данквертса.

Аналогичное уравнение массопереноса записывается и для жидкой фазы

$$u_{\text{ж}} \frac{dC_{\text{ж}}}{dz} = D_{\text{пж}} \frac{d^2 C_{\text{ж}}}{dz^2} \mp R_c, \quad (4)$$

где $u_{\text{ж}}$ – средняя скорость жидкости, $\text{м}/\text{с}$, $C_{\text{ж}}$ – концентрация компонента в жидкости, $\text{кг}/\text{м}^3$; $D_{\text{пж}}$ – коэффициент обратного перемешивания в жидкой фазе, $\text{м}^2/\text{с}$.

Если массообмен сопряжен с теплообменом, то аналогичные выражения записываются и для расчетов профилей температур.

Для определения коэффициента перемешивания по газовой фазе в каждой зоне, можно использовать выражения с соответствующими числами Рейнольдса и коэффициентами гидравлического сопротивления в зоне [3], а в жидкой фазе – по формулам, приведенными в работах [4].

Коэффициенты массоотдачи в газовой и жидкой фазах в каждой зоне можно вычислить с применением выражений, полученных в работе [5].

Далее в качестве примера показано влияние профиля скорости газа $W_{\Gamma}(r)$ в поперечном сечении колонны на профили концентраций компонентов и на эффективность разделения смеси. Согласно известным исследованиям многочисленных авторов (Кафарова В.В., Розена А.М., Дильмана В.В., Аэрова М.Э., Павленко А.Н., Пушнова А.С., Porter К.Е., Furzer I.F. и др.) распределение газа и жидкости по сечению и высоте насадочной колонны имеет сложный характер и зависит от многих факторов [1, 2]. Профили скорости газа (без орошения), полученные разными авторами в хаотичном слое (в основном цилиндры, таблетки и шары) представлены в работе [2]. Так, при $D_{\text{к}}/d \approx 16$ ширина области повышенных скоростей состав-

ляет от $(0,4 \div 1,0) r/R$. (D_k – диаметр колонны, м; d – диаметр элемента насадки, м; r – радиальная координата, м; R – радиус колонны, м) Причём, данные различных авторов часто противоречивы: некоторые отмечают повышенную скорость у стенки колонны, а другие в центре. При увеличении D_k/d от 40 до 100 происходит некоторое уменьшение отношения максимальной и минимальной скоростей газового потока [2]. В орошаемом насадочном слое гидродинамическая обстановка более сложная, чем в сухом. Жидкость по мере своего движения постепенно перераспределяется к стенкам колонны, где порозность несколько меньше, чем в центре. Газовый поток, встречая дополнительное сопротивление на своём пути у стенки, перераспределяется к центру колонны. Пристенная область в колонне диаметром $D_k=1$ м составляет около 30% [1]. Точно описать такие явления не представляется возможным, т.к. это связано с большим разнообразием конструкций хаотичных насадок, режимов работы и физическими свойствами смесей. Приближенная связь профиля скорости газа и гидравлического сопротивления отдельных областей насадки получена Берманом для градирен и рекомендуется и для других аппаратов с газо(паро)жидкостными средами. Это соотношение имеет вид:

$$\frac{W_{гк}}{W_{гк+1}} = \sqrt{\frac{\Delta P_{к+1}}{\Delta P_k}}, \quad (5)$$

где k – номер зоны; ΔP_k – перепад давления орошаемого слоя в k зоне, Па.

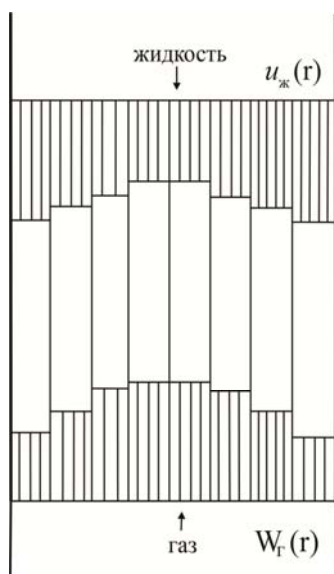


Рисунок 1 – Зонная модель насадочного слоя

Далее рассмотрены следующие неравномерности распределения фаз.

1. Неравномерность по газовой фазе и равномерное распределение жидкой фазы.

В таком случае неравномерность газа оказывает незначительное влияние на эффективность массопередачи для всей колонны. Например, при абсорбции аммиака из воздуха водой в результате неравномерного профиля скорости газа (у стенки скорость в три раза меньше, чем в центре) наблюдается снижение эффективности извлечения компонента на 4-5%, по сравнению с равномерным профилем скорости. Следовательно, в рассмотренном частном случае вместо зонной модели можно использовать одномерные диффузионные модели с осреднёнными характеристиками всего слоя, т.е. традиционный метод расчёта.

2. Неравномерность по газовой и жидкой фазам.

Такие неравномерности необходимо учитывать в расчётах насадочных массообменных колонн, т.к. снижение эффективности массопередачи может составлять 25-35% и более по сравнению с равномерным распределением.

На рис. 2 показано влияние неравномерности скорости газа на эффективность извлечения аммиака из воздуха водой; W_m – скорость газа в центре колонны с насадкой из колец Рашига диаметром 50мм; W_0 – средняя скорость газа, м/с. Скорость жидкости у стенки колонны в 1,6 раз выше, чем средняя по колонне. Средняя плотность орошения $30 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \text{ час})$; средняя скорость воздуха $W_0=1 \text{ м/с}$.

Полученные результаты расчётов по зависимости эффективности насадочных колонн с учётом неравномерности потоков согласуются с анализом работы колонн при масштабном переходе [1].

В результате можно сделать вывод о том, что расчеты по представленной зонной математической модели удовлетворительно согласуются с экспериментальными данными различных авторов и полученные уравнения рекомендуется к использованию при расчетах массообменных колонн с новыми насадками, когда есть результаты по гидравлическим характеристикам – коэффициенту сопротивления, задержке жидкости и коэффициенту смачиваемости поверхности насадки.

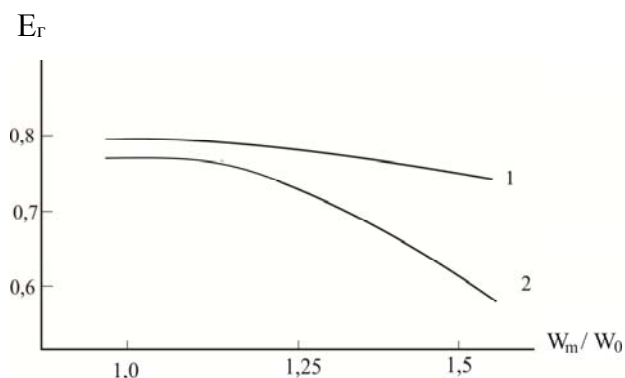


Рисунок 2 – Влияние неравномерности газового потока на эффективность массопередачи при абсорбции аммиака водой в колонне с кольцами Рашига 50 мм; 1 – равномерное распределение жидкой фазы; 2 – скорость жидкости в пристенной зоне в 1,6 раза выше средней по колонне; $W_0=1$ м/с; $q=30$ м³/(м²час)

расчеты и показано влияние неравномерности разделения фаз на эффективность массопередачи при пленочном режиме работы колонны с хаотичными насадками. На основе данного подхода также можно производить расчеты аппаратов с различными насадками при охлаждении газов водой или мокрой очистки газов от пыли и других загрязнений.

Список использованных источников

1. Розен А.М., Мартюшин Е.И., Олевский В.М. и др. Масштабный переход в химической технологии: разработка промышленных аппаратов методом гидродинамического моделирования; под ред. А.М. Розена. – М.: Химия., 1980. – 320 с.
2. Пушнов А.С., Балтернас П., Каган А., Загорскис А. Аэродинамика воздухоочистных устройств с зернистым слоем. – Вильнюс: Техника., 2010. – 348 с.
3. Лаптев А.Г., Фарахов Т.М., Дударовская О.Г. Модели турбулентной вязкости и перемешивания в каналах и насадочных проточных смесителях // Журнал приклад. химии. – 2013. – Т.86. – № 7. – С. 1112-1121.
4. Рамм В.М. Абсорбция газов. - М.: Химия., 1976. – 656 с.
5. Laptev A.G., Lapteva E.A., Farakhov T.M. Models of transport phenomena in random packed and granular beds // Theoretocal Foundations of chemical Engineering. – 2015. – V. 49. – №4. – P. 388-395.

УДК 536.24:621.1.016.4

РАСЧЕТ КОЭФФИЦИЕНТОВ ТЕПЛООТДАЧИ НА НАЧАЛЬНОМ УЧАСТКЕ ОБТЕКАЕМЫХ ТЕЛ

Фарахов Т.М. *, Лаптев А.Г. **

*ИВЦ «Инжсехим»

** Казанский государственный энергетический университет

Аннотация. Рассмотрена двухслойная модель турбулентного пограничного слоя Прандтля и применение полученного на ее основе выражения для коэффициента теплоотдачи, расчеты по которому хорошо согласуются с экспериментальными данными по средним значениям коэффициентов для различных тел. Показано определение параметров данного выражения для случая расчета локальных коэффициентов теплоотдачи на начальных участках каналов. Основными параметрами являются динамическая скорость, безразмерная толщина пограничного слоя и безразмерная толщина вязкого подслоя. Даны результаты расчетов.

Ключевые слова: локальная теплоотдача, пограничный слой, турбулентность, входной участок.

Работа выполнена в рамках научного проекта РНФ 18-79-10136 «Теоретические методы моделирования и разработки эффективных импортозамещающих аппаратов очистки и глубокой переработки углеводородного сырья на предприятиях топливно-энергетического комплекса».