

РАСЧЕТ ЭФФЕКТИВНОСТИ МАССОПЕРЕДАЧИ В НАСАДКАХ

Дударовская О.Г.

Казанский государственный энергетический университет, г. Казань

Ключевые слова: насадочные элементы, массопередача, ячеечная модель, эффективность.

Аннотация. Настоящая статья посвящена определению эффективности массопередачи в массообменных аппаратах насадочного типа. Для расчета эффективности массопередачи применяются модели структуры потоков, а именно ячеечная модель, что позволяет найти значение концентрации в каждой ячейке и построить профиль концентрации по длине насадочного слоя. По полученным данным построен график изменения концентрации паров нафталина в газовой фазе по длине насадочного слоя, определена эффективность рассматриваемого процесса.

CALCULATION OF EFFICIENCY OF MASS TRANSFER IN NOZZLES

Dudarovskaya O.G.

Kazan state energy university, Kazan

Keywords: packing elements, mass transfer, cell model, efficiency.

Abstract. This article is devoted to the determination of mass transfer efficiency in packed-type mass transfer apparatuses. To calculate the efficiency of mass transfer, models of the structure of flows are used, namely the cell model, which allows one to find the concentration value in each cell and construct a concentration profile along the length of the packed layer. Based on the data obtained, a graph of the change in the concentration of naphthalene vapor in the gas phase along the length of the packed layer was constructed, and the efficiency of the process under consideration was determined.

Опираясь на анализ многих исследователей [1,2] по применению интенсификаторов различного типа, можно сделать вывод, что наиболее выгодным и научно-обоснованным является метод интенсификации с применением насадочных элементов.

Для совершенствования массообменных процессов важным является достоверный расчет эффективности массопередачи в аппаратах насадочного типа. При описании процессов массопереноса в каналах с насадками наибольшее применение получила диффузионная модель. Однако аналитическое решение уравнений диффузионной модели осложняется нелинейной зависимостью равновесных концентраций, поэтому воспользуемся переходом от диффузионной модели к ячеечной, используя приближенную эквивалентную связь [3].

При использовании ячеечной модели аппарат рассматривается как объект, состоящий из n ячеек полного перемешивания, между которыми происходит массообмен. Ячеечная и диффузионная модели полностью эквивалентны лишь при полном перемешивании; тогда значению $Pe = 0$ соответствует $n = 1$, где число Пекле Pe характеризует продольное перемешивание. При других условиях существует приближенная эквивалентность, основанная на равенстве дисперсий, связь между параметрами имеет вид

$$n = \frac{Pe^2}{2[Pe - 1 + \exp(-Pe)]}. \quad (1)$$

Примем условия: при $x = 0$, $C = C_H$; при $x = H$, $\frac{dC}{dx} = 0$.

Уравнение ячеечной модели, переходя к конечным разностям, примет вид

$$u_{cp} \frac{C_{i-1} - C_i}{\Delta x} = Ka_v (C_i - C^*), \quad (2)$$

где $i = 1, 2, \dots, n$; n – число ячеек полного перемешивания; $\Delta x = H/n$; при $n = 1$ – имеем модель идеального смешения; при $n \rightarrow \infty$ – имеем модель идеального вытеснения, H – длина насадочного слоя, м; u_{cp} – средняя скорость потока в канале с насадкой, м/с; K – коэффициент массопередачи, м/с; a_v – удельная поверхность насадки, м²/м³; C^* – равновесная концентрация.

Из уравнения (2) запишем концентрацию в i -й ячейке

$$C_i = \frac{C_{i-1} + t_{при} Ka_v C^*}{1 + ka_v t_{при}}, \quad i = 1, 2, \dots, n, \quad (3)$$

где $t_{при} = \Delta x / u_{cp}$ – время пребывания потока в i -й ячейке.

Выражение (3) можно записать с применением коэффициента массоотдачи через число Стантона St_3 .

Тогда с учетом безразмерного комплекса Стантона St_3 запишем

$$n(C_{i-1} - C_i) = St_3 Ha_v (C_i - C^*), \quad (4)$$

и выражение для расчета концентрации в i -й ячейке (3) примет вид

$$C_i = \frac{C_{i-1} + St_3 a_v H C^* / n}{1 + St_3 a_v H / n}, \quad i = 1, 2, \dots, n. \quad (5)$$

Рассмотрим полученное выражение (5) для расчета профиля концентрации по длине насадочного слоя с дальнейшим определением эффективности процесса с учетом известной концентрации на выходе.

Имея значение концентрации компонента на выходе C_K из насадочного слоя, которое определяется в результате итерационного решения от $i = 1$ до $i = n$ из выражения (5), можно вычислить эффективность массопередачи по отношению

$$\eta = \frac{C_H - C_K}{C^* - C_H}, \quad (6)$$

или при обратном процессе

$$\eta = \frac{C_K - C_H}{C^* - C_H}, \quad (7)$$

где C_H, C_K – начальная и конечная концентрация компонента (т.е. на входе и выходе слоя).

В качестве примера рассмотрим следующую задачу: воздух пропускают через слой насадок, покрытых нафталином. В качестве насадок принимаются стальные кольца Палля (разм. 50 мм), длина насадочного слоя составляет $H =$

0,3 м. Начальная концентрация паров нафталина в газовой фазе $C_n = 0,01$ % объем. При возгонке нафталин с поверхности насадок переходит непосредственно из твердого состояния в парообразное. Количество испарившего нафталина находят определением концентрации паров нафталина в газе на выходе. Значение числа Шмидта $Sc = 440$. Число ячеек полного перемешивания определяем по выражению (1), это значение составило $n = 18,5$. Число Пекле $Pe = 36$. Значение концентрации в каждой ячейке находим, используя выражение (5).

Ниже построен график изменения концентрации паров нафталина в газовой фазе по длине насадочного слоя.

Расчетные данные профиля концентрации паров нафталина по длине слоя в газовой фазе представлены на рисунке 1.

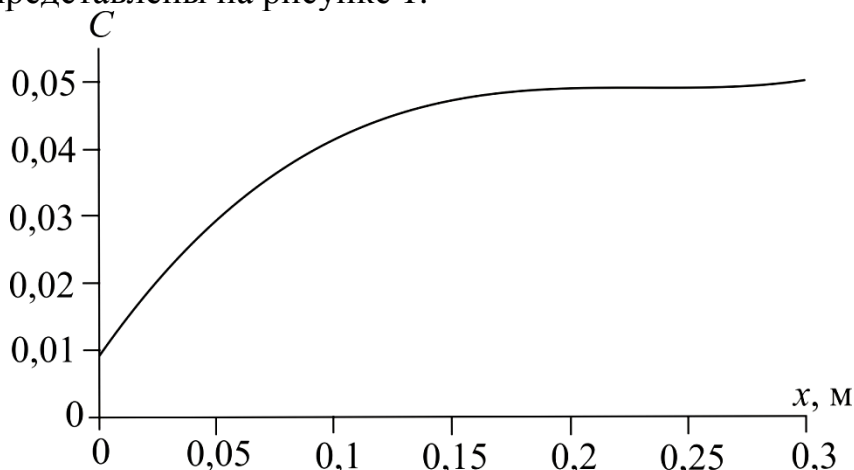


Рис. 1. Профиль концентрации паров нафталина в газовой фазе по длине насадочного слоя (кольца Палля – разм. 50 мм)

Результатом решения уравнения (2) является профиль концентрации по длине насадочного слоя, что дает возможность вычислить эффективность массопередачи. Для приведенного примера на рисунке 1 получаем эффективность процесса по выражению (6) и она составляет $\eta = 99,9\%$.

Список литературы

1. Аэров М.Э., Годес О.М., Наринский Д.А. Аппараты со стационарным зернистым слоем: Гидравлические и тепловые основы расчета. Л.: Химия, 1979. 176 с.
2. Сокол Б.А., Чернышев А.К., Баранов Д.А. Насадки массообменных колонн. М.: Галилея-принт, 2009. 358 с.
3. Лаптев А.Г., Фарахов Т.М., Дударовская О.Г. Эффективность явлений переноса в каналах с хаотичными насадочными слоями. Санкт-Петербург: Страта, 2016. 214 с.

Сведения об авторе:

Дударовская Ольга Геннадьевна – к.т.н., старший преподаватель кафедры «Технология воды и топлива» КГЭУ, г.Казань.