

## ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЙ ПЛЕНОЧНОЙ КОЛОННЫ В ПРОЦЕССЕ РАЗДЕЛЕНИЯ БЕЗ ХИМИЧЕСКИХ ПРЕВРАЩЕНИЙ

Т.С.Бажиров, Н.Н.Кулов  
ЮКГУ им.М.Ауезова г. Шымкент,  
ИОНХ им.Курнакова, г.Москва

Математическая модель каталитической дистилляции содержит параметры, характеризующие эффективность процесса разделения. Для оценки величины этих параметров в условиях работы экспериментальной пленочной колонны были проведены опыты по разделению бинарных смесей в условиях, когда химические превращения в системе отсутствуют.

Результаты этих опытов сведены в таблицах 1 и 2. Распределения концентраций и температур по высоте пленочной ректификационной колонны для опыта 2,3 приведены в таблице 2. В этой же таблице приведены расчетные значения коэффициентов разделения  $\alpha$ , вычисленные с учетом измеренных температур.

Оценка числа теоретических ступеней разделения производилась по формуле Фенске-Андервуда:

$$n = \ln \left[ \frac{(x_1 / x_2)_p}{(x_1 / x_2)_0} \right] / \ln \alpha, \quad (1)$$

Здесь цифрой 1 обозначен легколетучий компонент; величина  $(x_1/x_2)_0$  относится к составу жидкости внизу колонны, а  $(x_1/x_2)_p$  - к составу дистиллята.

В таблице 3 приведено сравнение измеренных в опытах 3, 4, 23 коэффициентов массоотдачи в паровой фазе с литературными данными. Анализ литературных данных приводит к заключению, что в основном все работы по изучению кинетики пленочной ректификации проводились на трубках с орошаемыми стенками. Авторам удалось найти лишь одну работу, в которой были измерены коэффициенты массоотдачи при движении пара в кольцевом зазоре, и при этом жидкостью смачивалась, как и в настоящей работе, лишь наружная поверхность внутреннего цилиндрического стержня. Опыты так же проводились на модельной органической смеси (бензол-1,2-дихлорэтан). Результаты расчета по формуле, полученной в работе [1], обозначены в таблице 3, как  $(\beta_y)_{p3}$ . В этой же работе, с целью сравнения результатов опытов, выполненных в трубках с орошаемыми стенками, с данными, найденными в кольцевом зазоре, Хофманом предложен поправочный множитель  $0,89(d_i/d)^{0,45}$ , на который нужно умножить значение  $\beta_y$  для трубок с орошаемыми стенками, чтобы провести сравнение с величинами  $\beta_y$  для опытов, осуществленных в кольцевом зазоре. Это позволило нам рассчитать значения  $(\beta_y)_{p1}$  и  $(\beta_y)_{p2}$  по формулам, приведенным в работах [1,2].

Данные, содержащиеся в таблице 3, позволяют заключить, что коэффициенты массоотдачи в бинарных системах, измеренные в настоящей работе, находятся в удовлетворительном соответствии с литературными. На основании данных, содержащихся в таблицах 1 и 2, с целью упрощения последующего анализа процесса каталитической дистилляции можно принять с погрешностью примерно 15%, где, во-первых, эффективность разделения постоянна, во-вторых

отметить, что концентрация легколетучего компонента в кубе в опыте 23 существенно ниже, чем в опыте 4, несмотря на то, что разделяемая система и условия проведения опытов были одинаковыми. Различие состояло лишь в материале насадки.

Основная причина, вызвавшая столь заметное снижение концентрации легколетучего компонента в кубе в опыте 23, на наш взгляд, заключена в различных задержках жидкости в колонне. Известно, что общая задержка жидкости в колонне складывается из статической и динамической (ввиду существенной разности в плотностях жидкости и пара задержкой паровой фазы в колонне в данном случае можно пренебречь). Динамическая задержка жидкости определяется количеством жидкости, находящейся в колонне и конденсаторе в виде стекающей пленки жидкости и не зависит от материала насадки, в то время как статическая задержка в существенной степени является функцией материала насадки. Насадка, изготовленная из ионообменной смолы КУ-2ФПП, обладая развитой пористой структурой, в отличие от гладкой непористой поверхности керамической насадки, способна удерживать значительное количество жидкости.

Чтобы оценить размер задержки жидкости проведем следующий анализ. В начальный момент времени вся жидкость в количестве  $V_0$  и состава  $x_{B0}$  находится в кубе колонны. В стационарном рабочем режиме процесса она распределяется между кубом  $V$ , колонной  $H$ , и конденсатором  $C$ , в стационарном режиме состав жидкости в кубе  $x_B$ , в колонне -  $x_F$  и в конденсаторе -  $x_D$ . Уравнение общего материального баланса имеет вид

$$V_0 = V + H + C,$$

материального баланса для легколетучего компонента

$$V_0 x_{B0} = V x_B + H x_F + C x_D.$$

Из этих уравнений и данных, содержащихся в таблицах 1 и 2, можно найти неизвестные  $V$  и  $H$ :

$$H = (V_0(x_{B0} - x_B) - C(x_D - x_B)) / (x_F - x_B),$$

$$V = V_0 - H - C.$$

Распределение задержек жидкости в ректификационной колонне приведено в таблице 4.

С учетом числа теоретических ступеней и данных таблицы 1 было приблизительно рассчитано  $N$ -число ступеней разделения экспериментальной колонны (в пределах 3-4, включая куб и конденсатор) и эффективности ступени по Мэрфри  $E = 0,6$ . Последний показывает эффективность разделительной ступени с пленочным течением жидкости.

Таблица 1 - Результаты опытов по разделению бинарных систем (мощность нагрева куба составляла 72 Вт)

Номер опыта	Бинарная система	Материал насадки, $l=600$ мм, $d=7$ мм	Состав исходной смеси, мол.доли	Состав жидкости в кубе, мол.доли	Состав жидкости внизу колонны, мол.доли	Состав дистиллята, мол.доли	$n_{oy}$	$\alpha$	$n = \ln K / \ln \alpha$
3	Этилацетат - этанол	керамика	0,5	0,492	0,512	0,526	0,689	1,085	1,72
4	Этанол - бутанол	керамика	0,5	0,480	0,815	0,904	0,856	4,79	1,49
23	Этанол - бутанол	КУ-2ФПП	0,5	0,280	0,614	0,819	0,927	4,66	1,6

Таблица 2- Распределение концентраций и температур по высоте пленочной ректификационной колонны в опыте 23

$l$ , мм	0	150	300	450	600
$X_1$ , мол. доли	0,280	0,729	0,772	0,772	0,819
$t$ , °C	99,7	84,7	83,0	83,0	81,8
$\alpha$	4,38	4,82	4,88	4,88	4,92

Таблица 3 - Сравнение опытных значений коэффициентов массопереноса (кмоль/(м<sup>2</sup>ч)) с найденными из литературы

Номер опыта	Расход пара G10 <sup>3</sup> , моль/с	Re <sub>n</sub>	(β <sub>y</sub> ) <sub>3</sub>	(β <sub>y</sub> ) <sub>p1</sub> [4]	(β <sub>y</sub> ) <sub>p2</sub> [2]	(β <sub>y</sub> ) <sub>p3</sub> [5]
3	2,01	755	0,331	0,413	0,5	0,454
4	1,76	640	0,411	0,386	0,523	0,336
23	1,76	640	0,445	0,386	0,523	0,336

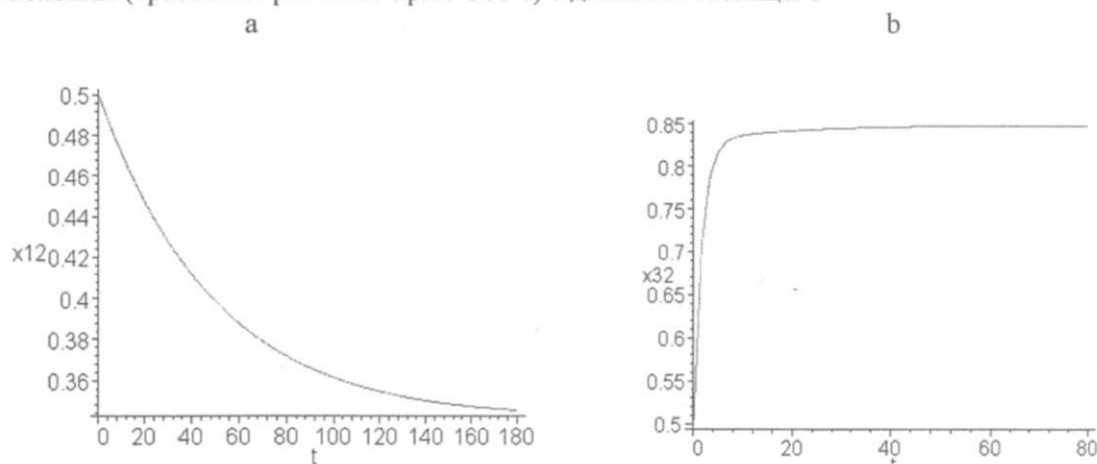
Таблица 4 - Распределение задержек жидкости (в молях) в ректификационной системе

Номер опыта	Куб	Колонна	Конденсатор
3	0,331	0,0154	0,0026
4	0,342	0,0175	0,003
23	0,19	0,13	0,003

*Примечание.* Значения задержек жидкости в кубе приведены без учета количества отобранных проб жидкости для анализа состава.

При течении жидкости по поверхности пористого катализатора КУ-2ФПП приходится принимать во внимание статическую задержку жидкости в порах катализатора, которая может существенно превышать динамическую задержку. Последняя, в свою очередь, вычисляется по формулам, описывающим гравитационное течение пленки жидкости по поверхности катализатора.

На рисунке 1 показаны зависимости концентраций этанола от времени, вычисленные по математической модели при параметрах проведенного эксперимента. Как видно из этого рисунка, стационарное состояние в колонне устанавливается в течение приблизительно трех минут, что хорошо согласуется с экспериментальными данными. Удовлетворительно согласуются расчетные и экспериментальные данные по распределению концентраций по высоте колонны (сравнение расчетов при t=300 с) с данными таблицы 1

Рисунок 1 - Зависимость концентрации этанола  $x_{12}$  от времени  $t$ , сек в кубе (а) и конденсаторе (б) ректификационной колонны при разделении бинарной смеси этанол - бутанол

### Литература

- 1 Hoffmann R. Untersuchung der Stoffaustauschwiderstände im Dampf und in der Flüssigkeit bei Zweistoffgemischen.-Dusseldorf: VDI-Verlag, 1969.
- 2 Taylor R., Krishna R. Modelling reactive distillation //Chem. Eng.Sci. -2000. -V. 55. -P.51-83.

### **Қорытынды**

Сынақтық пленкалық колонна жұмысы жағдайында өлшемдер көлемін бағалау үшін, жүйеде химиялық өзгерістер жоқ жағдайдағы бинарлық қоспаларды ажырату жөнінде тәжірибелер жүргізілді. Ұсынылып отырған каталитикалық дистилляцияның математикалық үлгісі колонна бойы бойынша концентрацияларды бөлу жөніндегі сынақ деректерімен қанағаттанарлық түрде үйлеседі.

### **Summary**

In the article the experiments on binary blends in conditions, when chemical changes are not available in system are carried out for magnitude estimation of parameters in experimental film column conditions. Proposed mathematical model of catalyst distillation are coordinated with experimental dates on concentration distribution by column height.