

5. Баргл Д. и др. Технология химической и электрохимической обработки поверхности металлов. М., Машгиз, 1961, с. 258.
6. Гусев В. М. и др. — Приборы и техника эксперимента, 1968, т. 4, с. 19.
7. Колесниченко Я. И. и др. — Физика плазмы, 1976, т. 2, № 6, с. 911.
8. Bauer W. e.a. — Nucl. Fusion, 1979, v. 19, N 1, p. 93.
9. Гусев В. М. и др. — Атомная энергия, 1977, т. 42, вып. 6, с. 486.
10. Жабров Г. И. и др. — В кн.: Докл. Всесоюз. конф. по инженерным проблемам термоядерных реакторов. Т. 3. Л., изд. НИИЭФА, 1977, с. 244.
11. Африканов И. Н. и др. — Атомная энергия, 1979, т. 46, вып. 3, с. 165.
12. Дэйман С. Научные основы вакуумной техники. М., Мир, 1964.
13. Беграмбеков Л. Б. Докл. на сов.-амер. семинаре «Взаимодействие плазмы с поверхностью первой стенки в установках термоядерного синтеза». М., 1977.
14. Kaminsky M., Das S. — J. Nucl. Mater., 1978, v. 76, p. 256.
15. Behrisch R. e.a. — Ibid., 1976, v. 60, p. 321.
16. Гусева М. И. и др. — Атомная энергия, 1980, т. 48, вып. 3, с. 162.

Поступило в Редакцию 15.04.80

УДК 66.048.37:546.11.02.2

Влияние фазового состава питающего потока на расчет ректификации дейтерия

ЯРМОЛИК А. С.

В настоящее время при расчете ректификационных колонн используют аналитические уравнения, в которых предполагается, что питающим потоком является жидкость, нагретая до температуры кипения. При ректификации жидкого водорода и жидкостей с относительно низкой температурой фазового перехода питающий поток может частично или полностью состоять из газовой фазы. Цель настоящей работы — показать, как изменяются расчетные уравнения и положение точки ввода, если питающий поток вводится в виде газовой фазы.

При расчете процессов массообмена эффективности аппаратов тарельчатого типа выражают числом теоретических ступеней разделения (ЧТСР), для аппаратов насадочного типа чаще рассчитывают число единиц переноса (ЧЕП). В работе [1] получен ряд удобных для инженерных расчетов уравнений, с помощью которых можно определить ЧТСР и ЧЕП при вводе питающего потока в жидкой фазе. Ниже приведены уравнения для нахождения ЧЕП и ЧТСР в обеих частях ректификационной колонны при вводе потока сырья в виде газовой фазы.

Извлекающая часть колонны. Используя метод точек пересечения, изложенный в работе [1] (рис. 1), получаем

уравнение для расчета ЧТСР:

$$N_T = \lg \frac{1-\delta}{1-\Gamma} / \lg \alpha \lambda, \quad (1)$$

где $\delta = R_{\min}/R$ — отношение минимального флегмового числа к действительному; Γ — степень извлечения; α — коэффициент разделения; λ — отношение потоков фаз в извлекающей части колонны.

Как видно из рис. 2, при условии пересечения рабочей линии с равновесной в точке A с координатами $y = y_F$, $x^* = \alpha y_F$

$$\lg \alpha_1 = \lambda_{\min} = \frac{R_{\min}}{R_{\min} + 1} = \frac{y_F - y_D}{\alpha y_F - y_D}, \quad (2)$$

где y_F , y_D — концентрация извлекаемого компонента в питающем потоке и дистиллате соответственно.

Решая уравнение (2) относительно R_{\min} и учитывая, что при низкой концентрации y_F и значительном коэффициенте обогащения q

$$1 - y_D/y_F = \Gamma, \quad (3)$$

получаем следующее выражение

$$R_{\min} = \Gamma/(\alpha - 1). \quad (4)$$

Вывод уравнения для расчета ЧЕП извлекающей части колонны в случае ввода питающего потока в газовой фазе

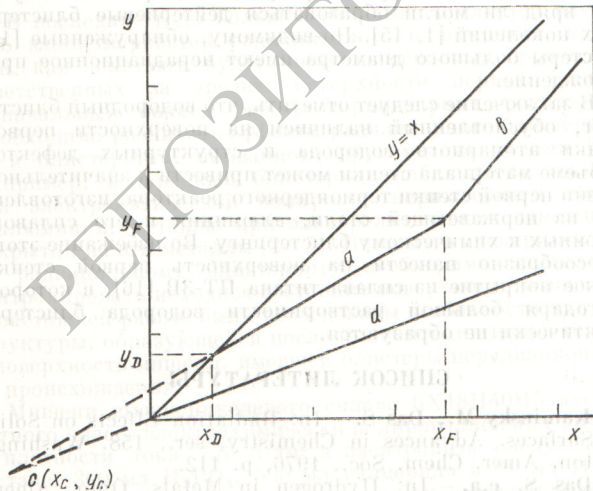


Рис. 1. $y-x$ -Диаграмма колонны: a — рабочая линия извлекающей части колонны; b — рабочая линия концентрирующей части колонны; d — линия равновесия ТЛК; C — точка пересечения рабочей линии с равновесной

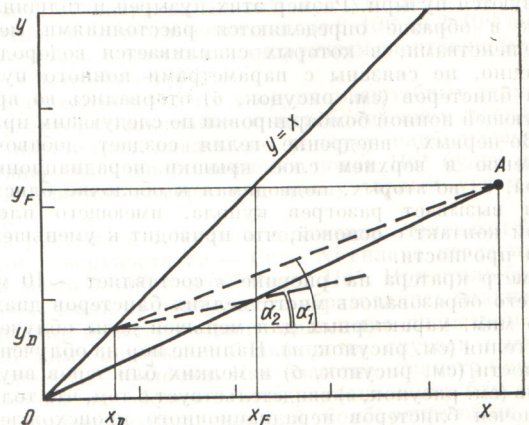


Рис. 2. Определение минимального наклона рабочей линии из условия равенства нулю движущей силы массообмена в точке ввода сырья: $\lg \alpha_1 = \lambda_{\min}$ — минимальный наклон при вводе сырья в газовой фазе; $\lg \alpha_2$ — то же при вводе в жидкой фазе

Зависимость общего числа ступеней разделения от различных условий ввода питающего потока

Условия ввода	Метод расчета	$N_{извл}$	$N_{конц}$	$\frac{N_{извл}}{N_{конц}}$	ΣN
Питание в жидкой фазе	ЧТСП	11,5	16,2	0,71	27,7
	ЧЕП	11,8	20,0	0,60	31,8
Питание в газовой фазе	ЧТСП	13,7	15,8	0,87	29,5
	ЧЕП	14,3	19,6	0,73	33,9

приведен в работе [2]. Интегрируя общее уравнение массопередачи

$$N_{\Pi} = \int_{x_D}^{x_F} \frac{dy}{y - y^*}, \quad (5)$$

авторы получили соотношение:

$$N_{\Pi} = \frac{1}{1 + (R+1)/\alpha R} \ln \left\{ \left[\frac{y_F/y_D (R+1) - 1}{R} + \frac{1}{R - (R+1)/\alpha} \right] / \left[1 + \frac{1}{R - (R+1)/\alpha} \right] \right\}. \quad (6)$$

Следует отметить, что авторы работы [2] не ограничили применимость уравнения (6) случаем ввода сырья в газовой фазе. Причиной тому, по-видимому, явилось сложившееся представление о несущественном значении данного обстоятельства. Ниже показано влияние фазового состава питающего потока на конечные результаты расчета ректификации дейтероводорода.

Используя соотношение (3) и (4), уравнение (6) можно привести к более удобному для инженерных расчетов виду:

$$N_{\Pi} = \frac{1}{\epsilon_c} \ln \frac{1 - \delta}{1 - \Gamma}, \quad (7)$$

где $\epsilon_c = (\alpha\lambda - 1)/\alpha\lambda$ — эффективный коэффициент обогащения.

Расчет ЧТСП и ЧЕП для концентрирующей части колонны. Число теоретических ступеней разделения по методу точек пересечения (рис. 3)

$$N_T = \frac{\lg \frac{q - \delta\alpha}{1 - \delta}}{\lg \alpha}, \quad (8)$$

где $q = y_P/y_F$ — коэффициент обогащения.

Формула для расчета ЧЕП выводится путем интегрирования уравнения массопередачи (5) в пределах от x_F до $x_P = y_P$, после преобразования получаем уравнение:

$$N_{\Pi} = \frac{1}{\epsilon} \ln \frac{q - \delta}{1 - \delta}, \quad (9)$$

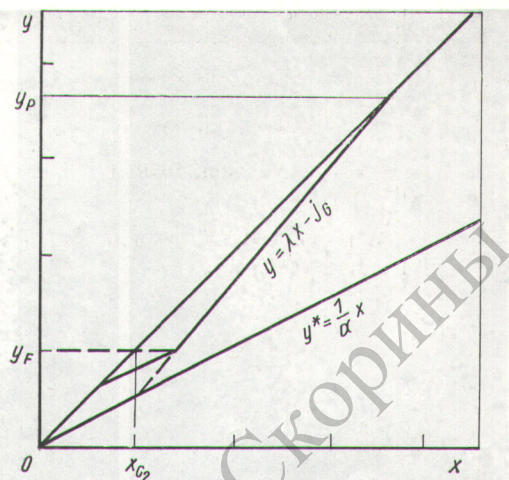


Рис. 3. $y-x$ -Диаграмма для концентрирующей части колонны: x_{c2} — точка пересечения рабочей линии с равновесной

где $\epsilon = (\alpha - 1)/\alpha$.

В таблице приведены результаты расчета, выполненного с использованием соотношений (1), (4), (7) — (9) для примера, рассмотренного в работе [1]. Примем, что содержание дейтерия в исходном водороде 0,015 мол. % D_2 или 0,03% HD; степень извлечения $\Gamma = 0,9$; флегмовое число $R = 2,3$, $\lambda = R/(R + 1) = 0,697$; коэффициент разделения $\alpha = 1,55$; концентрация в кубе колонны $y_P = x_P = 9\%$ HD. Питающий поток вводится в виде насыщенного пара.

Выводы. Получены простые аналитические выражения для расчета ЧТСП и ЧЕП при ректификации смесей с малым содержанием ТЛК при вводе потока питания в газовой фазе.

Показано на примере, что при вводе сырья в газовой фазе увеличивается необходимое число ступеней разделения и изменяется положение точки ввода.

Поскольку в случае ректификации дейтероводорода правильное определение числа ступеней разделения и положения точки ввода имеет важный практический интерес, необходим контроль фазового состава питающего потока.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Розен А. М. Теория разделения изотопов в колоннах. М., Атомиздат, 1960.
2. Малков М. П. и др. Выделение дейтерия из водорода методом глубокого охлаждения. М., Госатомиздат, 1961.

Поступило в Редакцию 24.04.80
В окончательной редакции 09.10.80

УДК 539.4.019.3:620.187.3

Электронно-микроскопические наблюдения блистеринга на пленках алюминия, облученных ионами гелия

БЕНДИКОВ В. И., ЗЕЛЕНСКИЙ В. Ф., НЕКЛУДОВ И. М., РЫБАЛКО В. Ф., ТАЛЫАНСКАЯ О. Я., ХАЗАН С. М.

Для выявления механизма блистеринга необходимо проследить этот процесс от стадии развития газовой пористости в объеме материала до стадии образования и взры-

ва блистеров. Такого рода исследования могут быть выполнены с помощью просвечивающей электронной микроскопии. В ряде работ блистеринг наблюдали на массивных