

Испытания опытно-промышленной установки активации древесного угля проведены Борисовским ОАО «Лесохимик» в сентябре–октябре 2002 года. Основные показатели режима работы опытно-промышленной установки за период испытаний соответствовали проектным величинам. Расход воды для выработки водяного пара измеряли ротаметром РС-3. Обогрев установки осуществляли дизельным топливом, расход которого измеряли также ротаметром РС-3а. В середине активатора температура угля в период рабочего режима активации составляла 820–880 °С. Уровень жидкости в парогенераторе в период прогрева установки изменялся от 35 до 80% высоты парогенератора. В этот период температура угля в месте подвода пара составляла 100 °С. После выхода на рабочий режим уровень жидкости в парогенераторе не превышал 35%, а температура угля в месте подвода пара составляла более 200 °С.

Проведенные испытания подтвердили работоспособность всех элементов опытно-промышленной установки, которые функционировали устойчиво и стабильно. В период рабочего режима активации угля горелка работала устойчиво и равномерно. Парогенератор справлялся с требуемой нагрузкой и вырабатывал необходимое количество пара. В топку поступало требуемое количество топлива и воздуха, подогретого до температуры 400–500 °С. Спекание частиц угля и его зависание в активаторе не наблюдались. Исходный и активный угли равномерно проходили через активатор. В период рабочего режима активации достигнута адсорбционная активность угля по йоду 30–40%, что соответствует показателям угля марки ДАК. Анализ проб выполняли специалисты ОАО «Лесохимик».

Относительно низкая активность угля обусловлена малым количеством водяного пара, достигающего зоны активации, из-за протечек его через неплотности.

Уровень жидкости в парогенераторе после выхода на рабочий режим не превышал 35%. На поверхности, соответствующей остальной высоте парогенератора, происходил перегрев пара, и температура угля в месте подвода пара составляла 240 °С. Поэтому для снижения температуры выгружаемого угля водяной пар целесообразно подводить нагретым до меньшей температуры.

Вода в парогенератор подавалась из мерника, и в результате гидравлического сопротивления слоя активируемого угля движению в нем водяного пара и газов активации имели место колебания в расходе воды.

Для снижения этих колебаний в мернике с исходной водой целесообразно повысить ее уровень или подводить из водопроводной сети.

УДК 66.048.375

В.Н. Павлечко, доцент

ОБОБЩЕННЫЕ ЗАВИСИМОСТИ ДЛЯ РАСЧЕТА ЭФФЕКТИВНОСТИ МАССООБМЕНА

The generalized equations to calculate the differences of concentrations of volatile component from the parameters of vapor and liquid phases and for determination of mass exchange efficiency have been obtained. It is demonstrated that the efficiency can be found from two concentrations for one phase and at least one concentration for another phase.

В работах [1–5] выведены зависимости для расчета разности концентраций легколетучего компонента в жидкости:

для прямого тока

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right) E_n}{(1-h) \frac{L}{mV} + 1 - h_1 + h \frac{L}{mV} E_n - (1-h_1) E_n}; \quad (1)$$

для противотока

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right) E_g}{(1-h) \frac{L}{mV} - h_1 + h \frac{L}{mV} E_g - (1-h_1) E_g}; \quad (2)$$

для противотока с перемешиванием жидкости

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right) E_{g,\varphi}}{(1-h) \frac{L}{mV} + \varphi - h_1 + h \frac{L}{mV} E_{g,\varphi} - (1-h_1) E_{g,\varphi}}; \quad (3)$$

для перекрестного тока

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right) E_k}{(1-h) \frac{L}{mV} + \frac{1}{2} - h_1 + h \frac{L}{mV} E_k - (1-h_1) E_k}; \quad (4)$$

для перекрестного тока с перемешиванием жидкости

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right) E_{k,\varphi}}{(1-h) \frac{L}{mV} + \frac{1+\varphi}{2} - h_1 + h \frac{L}{mV} E_{k,\varphi} - (1-h_1) E_{k,\varphi}}; \quad (5)$$

Из анализа формул (1)–(5) следует, что они схожи и могут быть представлены обобщенной зависимостью

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right) E}{(1-h) \frac{L}{mV} + C - h_1 + h \frac{L}{mV} E - (1-h_1) E}, \quad (6)$$

где $C = 1$ для прямотока; $C = 0$ для противотока; $C = \varphi$ для противотока с перемешиванием жидкости; $C = 0,5$ для перекрестного тока; $C = (1 + \varphi)/2$ для перекрестного тока с перемешиванием жидкости.

Выражения (1)–(6) получены для случая представления равновесной линии в виде

$$y = mx. \quad (7)$$

При использовании в качестве уравнения равновесной линии формулы [6]

$$y = mx + b \quad (8)$$

зависимости преобразуются незначительно [7], и их общее выражение (6) принимает вид

$$x_n - x_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - b}{m}\right)E}{(1-h)\frac{L}{mV} + C - h_1 + h\frac{L}{mV}E - (1-h_1)E} \quad (9)$$

Аналогичным образом найдена разность концентраций легколетучего компонента в паровой фазе

$$y_n - y_{n-1} = \frac{\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1}}{m}\right)\frac{L}{V}E}{(1-h)\frac{L}{mV} + C - h_1 + h\frac{L}{mV}E - (1-h_1)E} \quad (10)$$

Формулы (9) и (10) могут быть непосредственно использованы для расчета концентраций по тарелкам массообменной колонны. В них расстояния h и h_1 конкретизируются в зависимости от выбранной модели массообмена. Эти величины принимают значения $h = 0$ и $h_1 = 1$ при условиях связи идеальной и действительной тарелок, аналогичных модели Мерффри при анализе эффективности в паровой фазе, $h = 1$ и $h_1 = 0$ для условий связи этих тарелок, свойственных модели Мерффри при анализе эффективности в жидкости, $h = h_1 = 0$, если условия связи тарелок характерны модели Хаузена, $h = h_1 = 1$ для гипотетической модели и $h = h_1 = 1/(m+1)$ для комплексной модели. В частности, для последней модели уравнения (9) и (10) принимают вид

$$x_n - x_{n-1} = \frac{(m+1)\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - b}{m}\right)E}{\frac{L}{mV}(m+E) + C(m+1) - mE - 1} \quad (11)$$

$$y_n - y_{n-1} = \frac{(m+1)\left(x_{n-1} - \frac{y_{n-1} - b}{m}\right)\frac{L}{V}E}{\frac{L}{mV}(m+E) + C(m+1) - mE - 1} \quad (12)$$

Из (9) выведена общая зависимость эффективности массообмена для всех указанных выше моделей:

$$E = \frac{\frac{L}{mV} + C - h\frac{L}{mV} - h_1}{\frac{x_n - y_{n-1} - b}{x_n - x_{n-1}} - h\frac{L}{mV} - h_1} \quad (13)$$

и частная для комплексной модели:

$$E = \frac{\frac{L}{V} - 1 + C(m+1)}{mx_n - y_{n-1} + x_{n-1} - \frac{y_n - b}{m} + b} (x_n - x_{n-1}), \quad (14)$$

или с учетом уравнения материального баланса по легколетучему компоненту $L(x_n - x_{n-1}) = V(y_n - y_{n-1})$

$$E = \frac{\frac{L}{V} - 1 + C(m+1)}{x_n \left(m - \frac{L}{V} \right) + x_{n-1} \left(1 - \frac{L}{V} \right) - y_{n-1} - \frac{y_n - b}{m} + b} (x_n - x_{n-1}). \quad (15)$$

Уравнения (14) и (15) показывают, что эффективность в комплексной модели в отличие от известных моделей может быть определена не только по концентрациям одной из фаз, но и при наличии хотя бы одной, например входной, концентрации другой фазы.

Найденные уравнения могут быть использованы для расчета массообменных процессов непосредственно или в качестве основы для разработки соответствующих программных продуктов.

Обозначения

E – эффективность массообмена; ϕ – количество полностью перемешанной жидкости на тарелке; h, h_1 – безразмерное расстояние от места ввода соответственно пара и жидкости до поверхности равенства концентраций в идеальной и реальной тарелках; L – молярный поток жидкости; m – коэффициент фазового равновесия; V – молярный поток пара; x, y – соответственно концентрация легколетучего компонента в жидкости и паровой фазе. Индексы: b – отрезок, отсекаемый касательной к равновесной линии на оси координат; ϕ – учет перемешивания жидкости; g – противоток; k – перекрестный ток; n – номер рассматриваемой тарелки; $n-1$ – номер предыдущей тарелки по ходу движения пара; π – прямоток.

ЛИТЕРАТУРА

1. Павлечко В.Н. // ИФЖ. – 2001. – Т. 74. – № 1. – С. 50–56.
2. Павлечко В.Н. // ИФЖ. – 2001. – Т. 74. – № 1. – С. 57–61.
3. Павлечко В.Н. // ИФЖ. – 2001. – Т. 74. – № 2. – С. 38–42.
4. Павлечко В.Н. // ИФЖ. – 2001. – Т. 74. – № 2. – С. 43–47.
5. Павлечко В.Н. // ИФЖ–2001. – Т. 74. – № 3. – С. 177–180.
6. Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М., 1972. – С. 218.
7. Павлечко В.Н. // ИФЖ. – 2001. – Т. 74. – № 3. – С. 181–183.