

ЛЕКЦИЯ 5

РАСЧЕТ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ С ОДНИМ РАСПРЕДЕЛЯЕМЫМ КОМПОНЕНТОМ

Расчет поперечного сечения (диаметра) колонны; предельно допустимая и экономически оптимальная скорости сплошной фазы.

Основы расчета высоты массообменных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Два основных метода расчета: на основе коэффициентов массопередачи и на основе понятия теоретической ступени разделения.

Аппараты с непрерывным и ступенчатым контактом фаз

Применяемые для массообмена в системах газ (пар) – жидкость [Г(П)–Ж], и жидкость-жидкость [Ж–Ж] аппараты принято подразделять на две группы: с непрерывным и со ступенчатым контактом фаз. К аппаратам с непрерывным контактом фаз относятся насадочные, барботажные, распылительные колонны. К аппаратам со ступенчатым контактом фаз относят тарельчатые колонны. В обоих случаях назначение насадки или тарельчатых устройств состоит в развитии поверхности контакта взаимодействующих фаз.

Технологический расчет этих аппаратов состоит в определении основных размеров: внутреннего сечения (затем диаметра) и высоты рабочей части. При этом в случае аппаратов с непрерывным контактом фаз определяют высоту насадочной (рабочей) части, а для аппаратов со ступенчатым контактом фаз ищут число тарелок. Зная расстояние между тарелками, также определяют рабочую высоту. Диаметр характеризует производительность аппарата, а высота отражает интенсивность протекающего в нем процесса.

Расчет поперечного сечения (диаметра) колонны

Расчет поперечного сечения противоточных абсорбционных колонн проводят по уравнению расхода:

$$\dot{V} = v_0 S_0 = v_0 \frac{\pi d^2}{4} \quad (5.1)$$

где: \dot{V} – объемный расход сплошной (газовой) фазы, м³/с; S_0 – поперечное сечение, м²; d – диаметр колонны, м; v_0 – фиктивная скорость сплошной фазы, м/с.

Предельно допустимая и экономически оптимальная скорости сплошной фазы

Чтобы воспользоваться уравнением (5.1), сначала необходимо выбрать фиктивную скорость сплошной фазы. Она выбирается на основе следующих общих соображений:

- С увеличением скоростей потоков, как правило, возрастают коэффициенты массопередачи, т.е. потребуется аппарат меньшего размера. Иногда при увеличении скорости возрастает удельная поверхность контакта фаз (например, при барботаже). В результате при той же производительности можно уменьшить объем аппарата.

- Вместе с тем при увеличении скоростей потоков возрастает гидравлическое сопротивление аппарата, что приводит к увеличению расхода энергии на проведение процесса. Поэтому наиболее правильным является определение оптимальной скорости газа или пара на основе технико-экономических соображений. Такой расчет позволяет определить такую скорость сплошной фазы, при которой стоимость эксплуатации аппарата будет наименьшей.

При этом площадь поперечного сечения противоточных аппаратов должна быть такой, чтобы скорости фаз не превышали значений, при которых происходит нарушение противоточного движения – так называемое «захлебывание» колонны.

В абсорбционных аппаратах предельная производительность характеризуется минимальной фиктивной скоростью газовой фазы, выше которой при определенном соотношении расходов фаз наблюдается нарушение противотока. В экстракционных колоннах режим захлебывания определяется по предельному значению суммарной фиктивной скорости обеих фаз. Предельные скорости позволяют найти минимально допустимые при заданной производительности площади поперечного сечения аппаратов и, соответственно, минимально требуемые диаметры. Диаметр колонн больше минимального выбирают с учетом действующих стандартов таким, чтобы колонна работала при скоростях фаз, близких к оптимальным.

Например, для тарельчатых колонн, диапазон эффективной работы тарелок характеризуется произведением $v_0\sqrt{\rho_y}$ и для колпачковых тарелок должно соблюдаться условие $0,48 < v_0\sqrt{\rho_y} < 2,8$

(здесь: v_0 – скорость газовой фазы в м/с, отнесенная к полному сечению колонны, ρ_y – плотность газовой фазы в кг/м³).

Предельную скорость газовой или паровой фазы для насадочных колонн (скорость захлебывания) можно рассчитать по известным эмпирическим выражениям, приведенным в специальной литературе.

Основы расчета высоты массообменных противоточных аппаратов с непрерывным и ступенчатым контактом фаз. Два основных метода расчета: на основе коэффициентов массопередачи и на основе понятия теоретической ступени разделения.

Как было отмечено ранее, основная задача расчета размеров колонных противоточных аппаратов состоит в определении высоты рабочей зоны и поперечного сечения колонны.

Существует два основных метода расчета высоты рабочей зоны колонных аппаратов:

1. Метод, основанный на понятии теоретической ступени разделения.
2. Расчет на основе коэффициентов (уравнения) массопередачи.

Оба этих способа применяют как для аппаратов с непрерывным контактом фаз, так и со ступенчатым. По мере изложения будут отмечены различия, характерные для этих типов колонн.

Расчет высоты аппаратов с непрерывным контактом фаз

Расчет на основе понятия теоретической ступени разделения

Для этого типа аппаратов определение числа теоретических ступеней разделения N_T основывается на предположении, что процесс проводится в аппарате со ступенчатым контактом фаз, каждая из ступеней которого является теоретической.

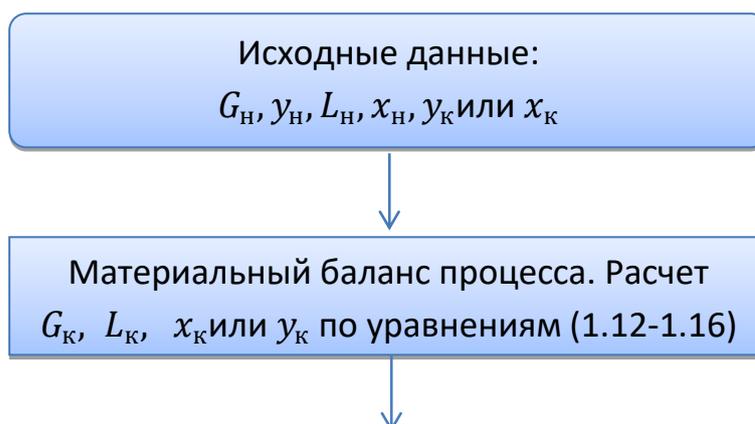
Под теоретической ступенью разделения подразумевается аппарат или часть аппарата, из которого выходят фазы, находящиеся в состоянии равновесия. Для аппаратов, работающих в изотермических условиях, состояние равновесия для n -го участка может быть представлено в виде уравнений (см. рис. 1.2 б):

$$y_n = y^*(x_n) \quad \text{или} \quad Y_n = Y^*(X_n) \quad (5.2)$$

Расчет числа теоретических ступеней проводят по уравнениям (1.12-1.16) с учетом соотношения (5.2), которые должны выполняться для любого n , т.е. для всех ступеней.

G_k, L_k, x_k или y_k

Возможный алгоритм расчета приведен на рис. 5.1:



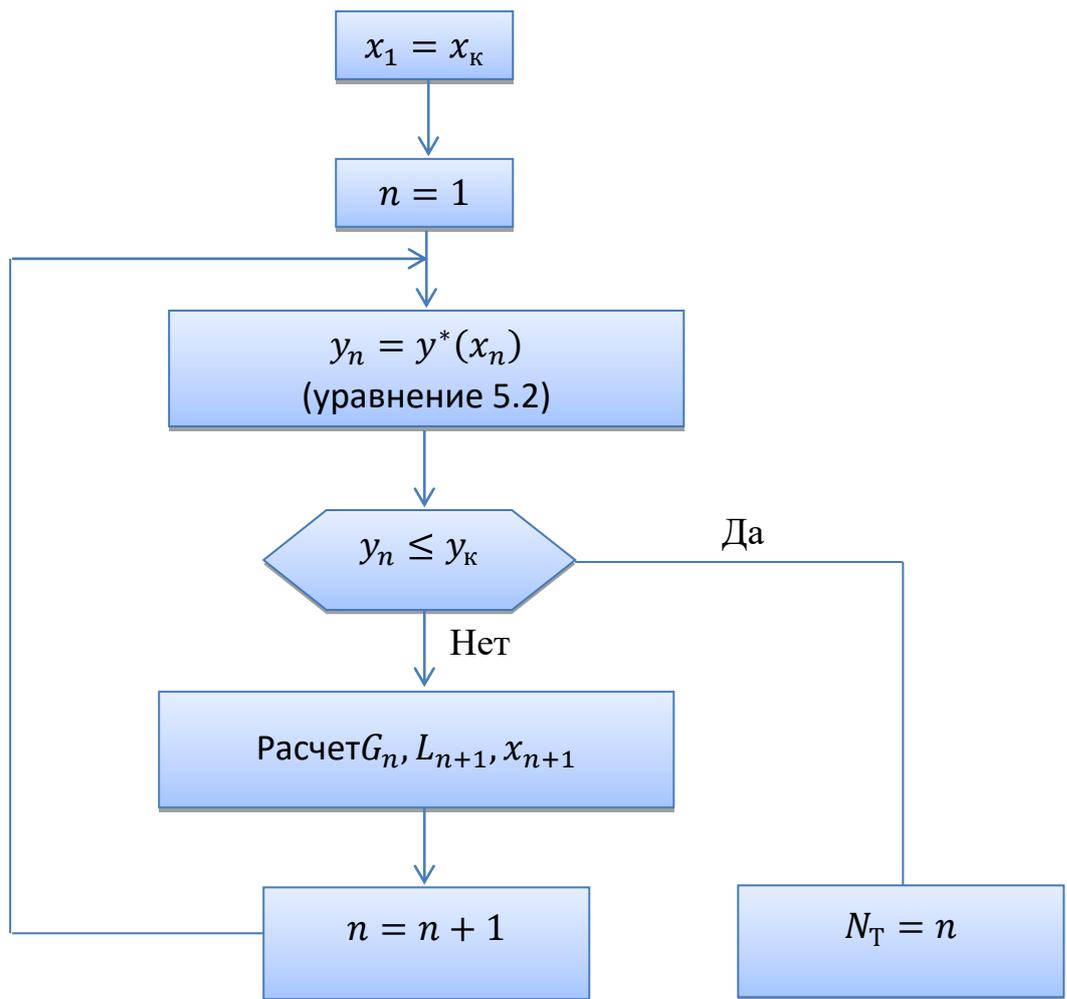


Рис. 5.1 Алгоритм расчета числа теоретических ступеней разделения

Как правило, задача абсорбции состоит в удалении из газовой смеси какого-либо компонента. Тогда известны величины G_n, y_n, y_k характеризующие расход, состав и степень очистки газовой смеси, а также исходные характеристики абсорбента L_n, x_n . Если задача состоит в приготовлении раствора, например, аммиачной воды, то вместо y_k должна быть задана величина x_k .

Расчет начинают с определения по уравнениям материального баланса (1.12-1.16) конечного состава другой фазы и конечных расходов обеих фаз. Далее последовательно, от ступени к ступени, определяют составы фаз, выходящих со всех ступеней. Концентрацию в газовой фазе находят из выражения (5.2), а состав жидкой – из уравнений (1.12-1.16). Расчет продолжают до тех пор, пока y_n не станет меньше или равным y_k . Номер ступени, при котором это условие удовлетворяется, равен числу теоретических

ступеней N_T . При этом может быть обеспечена заданная степень извлечения распределяемого компонента.

Алгоритм расчета можно проиллюстрировать или выполнить графически, как показано на рис. 5.2.

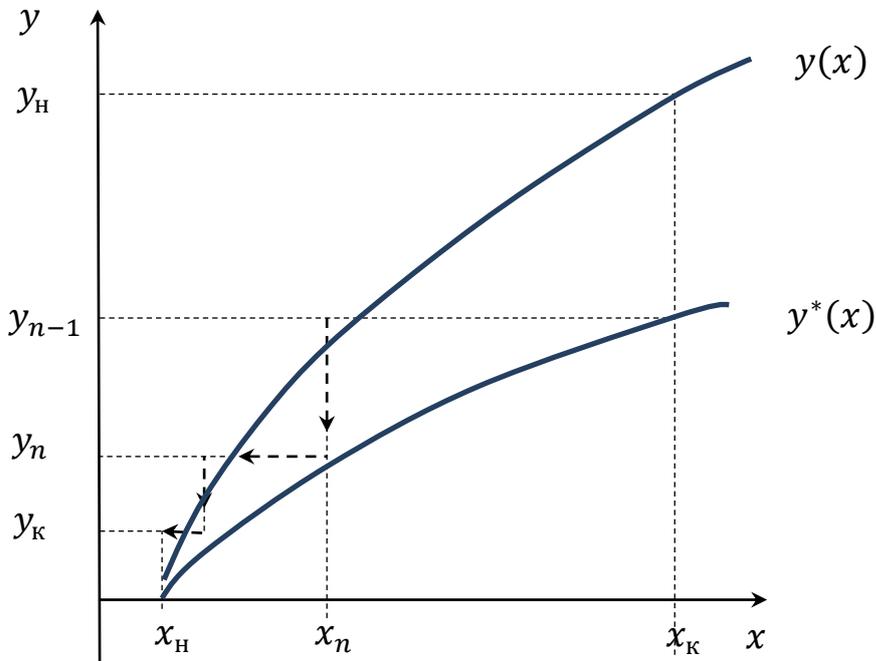


Рис. 5.2 Иллюстрация расчета числа теоретических ступеней разделения.

$y(x)$ – рабочая линия; $y^*(x)$ – равновесная. Число точек на равновесной линии определяет число теоретических ступеней разделения.

Высота рабочей части аппарата вычисляется по выражению:

$$H = (\text{ВЭТС}) \times N_T \tag{5.3}$$

где: ВЭТС – высота, эквивалентная теоретической ступени (м).

Неудобство метода состоит в том, что ВЭТС определяется по опытным данным или из эмпирических уравнений. Например, для газожидкостных насадочных колонн используют уравнение:

$$\text{ВЭТС} = 70 \left(\frac{\rho_y \omega_y}{d_n \mu_x} \right)^{-0.5}$$

где: d_n – размер насадки, μ_x – вязкость жидкой фазы.

Расчет на основе уравнения массопередачи

Этот метод, базирующийся на применении уравнения массопередачи, более точен, но для него требуется значительно большее число разнообразных данных.

Рассмотрим противоточный колонный аппарат с непрерывным контактом фаз. Будем полагать процесс стационарным, а обе фазы движущимися в режиме идеального вытеснения (МИВ по газовой и жидкой фазе). Считаем, что имеются 3 компонента, химически не взаимодействующие, а фазы являются бинарными растворами. Пусть заданы величины G_n, y_n, L_n, x_n и y_k . Требуется определить высоту рабочей части аппарата H .

Из основного уравнения массопередачи:

$$A = \frac{J}{K_y \cdot \Delta Y_{cp}} \quad (5.4)$$

Пусть 1 м^3 объема аппарата развивает удельную поверхность массопередачи $a \left[\frac{\text{м}^2}{\text{м}^3} \right]$.

Тогда $A = a \cdot V$, где V - объем массообменного аппарата $[\text{м}^3]$

Следовательно:

$$V = \frac{J}{K_y \cdot a \cdot \Delta Y_{cp}} \quad (5.5)$$

Выразим рабочий объем аппарата через высоту аппарата H [м] и площадь его поперечного сечения: $V = H \cdot S_0$

Тогда:

$$H = \frac{J}{K_y \cdot S_0 \cdot a \cdot \Delta Y_{cp}} \quad (5.6)$$

Для использования этого уравнения нужно предварительно решить вопрос со скоростью и найти S_0 .

Из справочников находят a_n - геометрическую удельную поверхность. Но не вся эта поверхность является удельной поверхностью контакта фаз. Поэтому находят в литературе коэффициент смачиваемости насадки ψ .

$$a = a_n \cdot \psi \quad (5.7)$$

Либо определяют K_{yV} – объёмный коэффициент массопередачи, $\frac{\text{кмоль } A}{\text{м}^3 \cdot \text{с}} \cdot \frac{\text{кмоль } A}{\text{кмоль } G}$.

$$K_{yV} = K_y \cdot a \quad (5.8)$$

Уравнение (5.5) тогда принимает вид:

$$V = \frac{J}{K_{yV} \cdot \Delta Y_{cp}}$$

$$\text{Уравнение } J = K_{yV} \cdot V \cdot \Delta Y_{cp} \quad (5.9)$$

Называется модифицированным уравнением массопередачи.