

4. Епифанова, В.И. Разделение воздуха методом глубокого охлаждения. Технология и оборудование. Т. 1. Термодинамические основы разделения воздуха, схемы и аппараты воздухоразделительных установок / В.И. Епифанова – М.: Машиностроение, 1973. – 468 с.

УДК 541.18.045:66.0

Калишук Д.Г.

(Белорусский государственный технологический университет)

РЕКОМЕНДАЦИИ ПО ВЫБОРУ ПАРАМЕТРОВ ПЕРВИЧНОГО ГРЕЮЩЕГО ПАРА В ВЫПАРНЫХ УСТАНОВКАХ

Важнейшим фактором, определяющим интенсивную, устойчивую и высокоэффективную работу выпарной установки (ВУ), является оптимальное значение полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$, К. Величина $\Delta t_{\text{пол}}$ в первую очередь зависит от температуры первичного греющего пара в греющей камере выпарного аппарата t_D , К, и температуры кипения раствора $t_{\text{кип}}$, К. Значение t_D рассчитывают, принимая во внимание конструкцию и принцип действия оборудования, по следующим формулам [1]:

– для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией раствора и кипением его в зоне нагрева (в трубах греющей камеры)

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}} + t_{\text{кд}} + (\Delta' + \Delta'' + \Delta'''); \quad (1)$$

– для выпарных аппаратов с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения, а также для выпарных аппаратов с принудительной циркуляцией раствора

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}} + t_{\text{кд}} + (\Delta' + \Delta''' + 0,5\Delta t_{\text{пер}}); \quad (2)$$

– для прямоточных плёночных выпарных аппаратов

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}} + t_{\text{кд}} + (\Delta' + \Delta'''); \quad (3)$$

где $t_{\text{кд}}$ – температура вторичного пара в конденсаторе ВУ соответственно, К; Δ' , Δ'' и Δ''' – физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии соответственно, К; $\Delta t_{\text{пер}}$ – температура перегрева раствора в греющей камере, К.

При расчётах прямоточных выпарных аппаратов плёночного типа величину физико-химической депрессии Δ' рекомендуют принимать для средней в аппарате концентрации раствора [1].

Суммарную полезную разность температур для прямоточной многокорпусной выпарной установки (МВУ) $\Delta t_{\text{пол}\Sigma}$, К, вычисляют, используя зависимость [1]

$$\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = \sum_{i=1}^n \Delta t_{\text{пол}i}, \quad (4)$$

где n – число корпусов МВУ; $\Delta t_{\text{пол}i}$ – полезная разность температур в i -ом корпусе МВУ.

С использованием выражения (4) формулы для расчёта температура первичного греющего пара в первом корпусе МВУ t_{D1} , К, принимают вид:

– для МВУ с выпарными аппаратами с естественной циркуляцией раствора и кипением его в трубах греющей камеры

$$t_{D1} = \Delta t_{\text{пол}\Sigma} + \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + \sum_{i=1}^n \Delta_i'' + \sum_{i=1}^n \Delta_i''' \right) + t_{\text{конд}}; \quad (5)$$

– для МВУ с выпарными аппаратами с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения, а также с выпарными аппаратами с принудительной циркуляцией раствора

$$t_{D1} = \Delta t_{\text{пол}\Sigma} + \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + \sum_{i=1}^n \Delta_i''' + 0,5 \sum_{i=1}^n \Delta t_{\text{пер}i} \right) + t_{\text{конд}}; \quad (6)$$

– для МВУ прямоточными плёночными выпарными аппаратами

$$t_{D1} = \Delta t_{\text{пол}\Sigma} + \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + \sum_{i=1}^n \Delta_i''' \right) + t_{\text{конд}}, \quad (7)$$

где Δ_i' , Δ_i'' и Δ_i''' – физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии в i -ом корпусе МВУ соответственно, К; $\Delta t_{\text{пер}i}$ – температура перегрева в i -ом корпусе МВУ; $t_{\text{конд}}$ – температура вторичного пара в конденсаторе МВУ, К.

Из приведенных уравнений следует, что температура первичного греющего пара и, соответственно, его давление зависят от величин:

- полезной разности температур (суммарной полезной разности температур);
- температуры вторичного пара в конденсаторе установки;
- депрессий;
- при использовании аппаратов с вынесенной зоной кипения – от температуры перегрева раствора;
- для МВУ – от числа корпусов.

Температура вторичного пара в конденсаторе зависит от давления в нём $P_{\text{кд}}$. В однокорпусных ВУ в обычно $P_{\text{кд}}$ равно атмосферному. При выпаривании нетермостойких растворов, а также при использовании в качестве первичного греющего пара низкопотенциального утилизируемого тепла давление $P_{\text{кд}}$ может быть ниже атмосферного. В прямоточных МВУ $P_{\text{кд}}$ устанавливают меньшим, чем атмосферное, для создания перепадов давлений и температур в корпусах, необходимых для использования вторичного пара в качестве греющего. Величину $P_{\text{кд}}$ при разработке выпарных установок задаёт проектировщик.

Значение гидравлической депрессии рекомендуют не рассчитывать, а принимать в пределах от 0,5 до 2 К [1–3].

В соответствии с отечественными стандартами в аппаратах с кипением раствора в зоне нагрева максимальная высота кипяtilьных труб составляет 5 м. Расчёты показывают, что в вакуумных аппаратах такого типа (давление вторичного пара над раствором от 10 до 80 кПа) гидростатическая депрессия Δ'' находится в пределах от 5 до 21 К. Величина её снижается при повышении давления вторичного пара. В выпарных аппаратах, работающих под атмосферным и повышенным давлением значение этой депрессии не превышает 3 К. В МВУ, как правило, под давлением ниже атмосферного работает только последний корпус. Поэтому при предварительных расчётах, осуществляемых с целью выбора параметров первичного греющего пара можно принять:

1) для однокорпусных ВУ, работающих под атмосферным давлением $\Delta'' = 3$ К;

2) для вакуумных однокорпусных ВУ Δ'' определяют в зависимости от давления вторичного пара над раствором;

3) для МВУ для их последнего корпуса Δ''_n – по указаниям п. 2 настоящего перечисления, для остальных корпусов – $\Delta''_i = 3$ К.

В результате анализа большого массива расчетов выяснено, что в аппаратах с вынесенной зоной кипения значение температуры перегрева $\Delta t_{\text{пер}}$ ($\Delta t_{\text{пер}i}$) в большинстве случаев находится в пределах от 2 до 4 К.

Величину физико-химической депрессии Δ' (величины физико-химических депрессий Δ'_i) для аппаратов с естественной и принудительной циркуляцией раствора определяют, принимая за расчётный состав раствора его состав на выходе из аппарата.

Практически во всей известной литературе, рассматривающей вопросы процесса выпаривания, в том числе и в фундаментальных монографиях [2, 3], отсутствуют указания и рекомендации по выбору оптимальной величины полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$. Косвенным

путем, задавшись приведенной в пособии [4] величиной плотности теплового потока в выпарном аппарате (например, для аппаратов с естественной циркуляцией – от 20 до 50 кВт/м²) и приближенным значением коэффициента теплопередачи от греющего пара к раствору, можно ориентировочно определить $\Delta t_{\text{пол}}$.

В руководящем техническом материале, регламентирующем расчеты выпарных аппаратов с естественной циркуляцией [5], приведена информация о минимальной полезной разности температур в них $\Delta t_{\text{пол}}^*$, К, при которой обеспечивается нормальную работу ВУ. Величина $\Delta t_{\text{пол}}^*$ зависит от ряда факторов: высоты кипяtilьных труб, давления вторичного пара над кипящим раствором, суммарного коэффициента местных сопротивлений циркуляционного контура. На стадии предварительных расчётов можно принять значение минимальной полезной разности температур с запасом, игнорируя влияние перечисленных ранее факторов, а именно $\Delta t_{\text{пол}}^* = 19,5$ К.

Учитывая результаты анализа влияния различных факторов на расчётное значение температуры первичного греющего пара, можно получить упрощенные зависимости для определения его величины, основанные на уравнениях (1–3, 5–7).

Например, для однокорпусной ВУ, работающей под атмосферным давлением и включающей выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и кипением его в зоне нагрева, можно принять: $t_{\text{кд}} = 373$ К; $\Delta t_{\text{пол}} = 20$ К; $\Delta'' = 3$ К; $\Delta''' = 1$ К. Тогда на основании уравнения (1) ориентировочное значение температуры первичного греющего пара вычисляется

$$t_D = 397 + \Delta'. \quad (8)$$

Зависимость (8) также пригодна для расчёта ориентировочного значения t_D в однокорпусной атмосферной ВУ с аппаратом с вынесенной зоной кипения при $\Delta t_{\text{пер}} = 3$ К.

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А. Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А. Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 751 с.
2. Таубман, Е. И. Выпаривание / Е. И. Таубман. М.: Химия, 1982. – 328 с.
3. Перцев, Л. П. Трубчатые выпарные аппараты для кристаллизующихся растворов / Л. П. Перцев, Е. М. Ковалёв, В. С. Фокин. – М.: Машиностроение, 1982. – 136 с.

4. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г. С. Борисов и [др.]. Под ред Ю. И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.

5. РТМ 26-01-104-77. Аппараты выпарные с естественной циркуляцией и кипением раствора в трубах. Метод теплового и гидравлического расчета.

УДК 621.926

Пыкавая О.А., Боровский Д.Н.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЛИЯНИЕ МЕЛЮЩЕЙ ЗАГРУЗКИ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПОМОЛА В ВИБРАЦИОННОЙ МЕЛЬНИЦЕ

Для сверх тонкого помола рационально применять машины, в которых мелющие тела воздействуют на материал с высокой частотой, например, вибрационные мельницы [1].

Вибрационная мельница обычно представляет собой камеру, заполненную загрузкой, состоящей из обрабатываемого материала, среды и специальных обрабатывающих тел (шаров, цилиндриков, стержней, валков, труб и т.п.). Загрузке сообщается посредством периодического вибрационного движения камеры или расположенных в ней специальных поверхностей. В результате возникают относительные движения частиц загрузки, и в зонах их контакта при соударении создаются высокие механические напряжения, приводящие к изменению структуры твердых частиц, а также среды, заполняющей пространство между ними.

В качестве объекта исследований была выбрана лабораторная вибрационная мельница (рисунок 1). В стаканы засыпали измельчаемый материал и помещали мелющие тела. Опыты проводились при фиксированной частоте вращения выходного вала 1470 мин^{-1} . При этом продолжительность однократного помола была 1 мин, 3 мин и 5 мин. Масса измельчаемого продукта был 100 г, 150 г и 200 г.

Для проведения экспериментальных исследований в качестве основного измельчаемого материала был выбран цементный клинкер с размером частиц $3\div 5 \text{ мм}$, так как этот материал для мельниц сухого помола является эталонным, а его показатель размолоспособности равен единице. В качестве мелющих тел были использованы шары диаметром 18 мм, цельпёбс конический $\varnothing 20 \times \varnothing 12 \times 25$ и цельпёбс цилиндрический $\varnothing 40 \times 60 \text{ мм}$ (рисунок 2). Исходный продукт загружался в размольный стакан в следующих соотношениях от массы мелющих тел: 1:3, 1:5 и 1:7.