

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ ГРЕЮЩЕГО ПАРА В МНОГОКОРПУСНЫХ ВЫПАРНЫХ УСТАНОВКАХ

Одним из факторов, определяющим эффективную многокорпусную выпарную установку (МВУ), являются оптимизированные значения полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}i}$, град, в каждом (i -ом) из ее выпарных аппаратов.

При выполнении данного условия обеспечивается интенсивное и устойчивое протекание процесса выпаривания при минимизации капитальных затрат (эти затраты примерно пропорциональны суммарной поверхности теплопередачи МВУ). Суммарная полезная разность температур для прямоточной МВУ $\Delta t_{\text{пол}\Sigma}$, град, вычисляется по формулам [1]

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

$$\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = t_D - \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + \sum_{i=1}^n \Delta_i'' + \sum_{i=1}^n \Delta_i''' \right) - t_{\text{конд}}, \quad (2)$$

где n – число корпусов МВУ; t_D – температура греющего пара, °С; Δ_i' , Δ_i'' и Δ_i''' – физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии соответственно в i -ом корпусе МВУ, град; $t_{\text{конд}}$ – температура вторичного пара в конденсаторе МВУ, °С.

Для прямоточных МВУ, в состав которых входят только выпарные аппараты с вынесенной зоной кипения и с принудительной циркуляцией раствора в формуле (2) исключаются значения гидростатических депрессий Δ_i'' , но дополнительно вводятся величины температур перегрева раствора в каждом из корпусов $\Delta t_{\text{пер}i}$, град [2]:

$$\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = t_D - \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + 0,5 \sum_{i=1}^n \Delta t_{\text{пер}i} + \sum_{i=1}^n \Delta_i''' \right) - t_{\text{конд}}, \quad (3)$$

Для прямоточных МВУ, в состав которых входят только выпарные аппараты пленочного в формуле (2) также исключаются значения гидростатических депрессий Δ_i'' , а величины физико-химических депрессий рекомендуют принимать для средней для корпуса концентрации раствора [1–3]. Тогда:

$$\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = t_D - \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + \sum_{i=1}^n \Delta_i''' \right) - t_{\text{конд}}, \quad (4)$$

Из формул (1–4) следует, что температура греющего пара t_D и, соответственно, его давление P_D зависят от величин $\Delta t_{\text{пол}\Sigma}$, $t_{\text{конд}}$, депрессий и числа корпусов, а в аппаратах с вынесенной зоной кипения – и от температур перегрева раствора $\Delta t_{\text{пер}i}$.

Температура $t_{\text{конд}}$ зависит от давления в конденсаторе МВУ $P_{\text{конд}}$. Давление $P_{\text{конд}}$ в прямоточных МВУ меньше атмосферного для обеспечения перепада давлений и температур в корпусах, необходимого для использования вторичного пара в качестве греющего. Величину $P_{\text{конд}}$ при разработке МВУ задает проектировщик.

Значения гидравлических депрессий Δ_i'' при проектных расчетах рекомендуют задавать в пределах от 0,5 до 2 град [1–3]. В аппаратах с кипением раствора в трубах греющей камеры величина гидростатической депрессии Δ_i'' обычно находится в пределах от 2 до 6 град [1–3]: меньшие значения соответствуют всем корпусам МВУ за исключением последнего (они работают под избыточным и близким к атмосферному давлению), наибольшее – вакуумному последнему корпусу.

Путем анализа расчетов выяснено, что в аппаратах с вынесенной зоной кипения и с принудительной циркуляцией значения температур перегрева $\Delta t_{\text{пер}i}$ в большинстве случаев составляет от 2 до 4 град.

Величины физико-химических депрессии Δ_i' для аппаратов рассматриваемых типов принимают для выпариваемого раствора при его составе на выходе из корпуса. При приближенных расчетах, по нашему мнению, Δ_i' можно принимать равной величине физико-химической депрессии при атмосферном давлении $\Delta_{\text{атм}i}'$.

Руководствуясь выше изложенным, считаем, что на стадии предварительных расчетов можно принимать для каждого из корпусов установки приближенно: гидравлическую депрессию $\Delta'' = 2$ град; гидростатическую депрессию $\Delta'' = 4$ град; температуру перегрева $\Delta t_{\text{пер}} = 3$ град. При принятых допущениях формулы (2–4) принимают следующий вид:

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

$$\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = t_D - \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + 3,5n \right) - t_{\text{конд}}; \quad (6)$$

$$\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = t_D - \left(\sum_{i=1}^n \Delta_i' + 2n \right) - t_{\text{конд}}. \quad (7)$$

В фундаментальной [3–5] и иной научной литературе, посвященной процессу выпаривания, рекомендации по выбору оптимальной величины полезной разности температур в выпарном аппарате $\Delta t_{\text{пол}}$ отсутствуют.

Приближенные значения $\Delta t_{\text{пол}}$ для различных типов выпарных аппаратов можно определить косвенным путем, задавшись рекомендуемым значением плотности теплового потока q_p в них и ориентировочным значением коэффициента теплопередачи от греющего пара к раствору $K_{\text{оп}}$. Для аппаратов с естественной циркуляцией при q_p от 20 до 50 кВт/м² [2] и $K_{\text{оп}} \approx 1,2$ кВт/(м²·град) значения $\Delta t_{\text{пол}}$ составят от 17 до 40 град. Если для аппаратов с принудительной циркуляцией принять q_p от 40 до 80 кВт/м² и $K_{\text{оп}} \approx 1,5$ кВт/(м²·град), то значения $\Delta t_{\text{пол}}$ находится в диапазоне от 25 до 55 град.

В руководящем техническом материале [6], приведены данные о минимальной полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}^*$ в выпарных аппаратах с естественной циркуляцией, обеспечивающей их нормальную работу. $\Delta t_{\text{пол}}^*$ зависит от высоты кипяtilьных труб, давления вторичного пара над раствором в аппарате и от суммарного коэффициента местных сопротивлений циркуляционного контура.

Для аппаратов с высотой труб от 3 до 5 м значения $\Delta t_{\text{пол}}^*$ установлены в пределах от 9,5 до 19,5 град, возрастая при снижении давления над раствором.

Выполним пример расчета и выбора параметров греющего пара в МВУ, приняв исходные данные:

- число корпусов МВУ $n = 3$;
- в МВУ выпаривается водный раствор КОН, массовая доля его в исходном растворе 0,10 кг/кг, в упаренном – 0,40 кг/кг;
- в МВУ используются вертикальные трубчатые выпарные аппараты с естественной циркуляцией раствора и его кипением в трубах;
- давление вторичного пара в конденсаторе МВУ $P_{\text{конд}} = 20$ кПа.

При распределении расходов вторичного пара по корпусам 1:1,07:1,15 массовая доля КОН на выходе из первого, второго и третьего корпусов составит соответственно 0,131, 0,193 и 0,400 кг/кг. Физико-химическая депрессия при атмосферном давлении для растворов, кипящих в первом Δ_1' , втором Δ_2' и третьем Δ_3' корпусах соответственно составит 3,5, 6,2 и 19,5 град [7, 8].

По таблицам свойств водяного насыщенного пара при давлении $P_{\text{конд}} = 20$ кПа определяем температуру вторичного пара в конденсаторе $t_{\text{конд}} = 60,1^\circ\text{C}$ [8]. Принимаем в соответствии с ранее проведенным анализом полезную разность в каждом из корпусов равной 20 град. Тогда в соответствии с формулой (1) значение суммарной полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}\Sigma} = 60$ град. Применяв формулу (5), вычисляем расчетное значение температуры греющего пара, подаваемого в первый корпус МВУ:

$$t_D = \Delta t_{\text{пол}\Sigma} + (\Delta'_1 + \Delta'_2 + \Delta'_3 + 6n) + t_{\text{конд}} \quad (8)$$

$$t_D = 60 + (3,5 + 6,2 + 19,5 + 6 \cdot 3) + 60,1 = 167,3^\circ\text{C}$$

Температуре $t_D = 167,3^\circ\text{C}$ соответствует давление насыщенного водяного пара $P_D = 739$ кПа [8]. Окончательно принимаем с небольшим запасом давление греющего пара $P_D = 800$ кПа = 0,8 МПа, при этом его температура $t_D = 170,4^\circ\text{C}$. В таком случае среднее значение полезной разности температур к каждому из корпусов МВУ равно 21 град, что не противоречит требованиям, изложенным в руководящем нормативном документе [6], а также и выводам, сделанным авторами в результате анализа информации, приведенной в [2].

ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии / А.Г. Касаткин. – М.: Химия, 1973. – 751 с.
2. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов и [др.]. Под ред Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
3. Таубман, Е.И. Выпаривание / Е.И. Таубман. М.: Химия, 1982. – 328 с.
4. Чернобыльский, И. И. Выпарные установки / И. И. Чернобыльский. – Киев; Вища школа, 1970. – 244 с.
5. Колач, Т. А. Выпарные станции / Т. А. Колач, Д. В. Радун. – М.: Машгиз, 1963. – 400 с.
6. РТМ 26-01-104-77. Аппараты выпарные с естественной циркуляцией и кипением раствора в трубах. Метод теплового и гидравлического расчета.
7. Зайцев, И.Д. Физико-химические свойства бинарных и многокомпонентных растворов неорганических веществ. Справ. изд. / И.Д. Зайцев, Г.Г. Асеев. – М.: Химия, 1988. – 416 с.
8. Павлов, К. Ф. Примеры и задачи по курсу процессов и аппаратов / К. Ф. Павлов, П. Г. Романков, А. А. Носков. – Л.: Химия, 1987. – 576 с.