

3. Москалев Л.Н. Применение контактного конденсатора вихревого типа при поглощении метанола из контактного газа. Москалев Л.Н., Поникаров С.И. Теоретические основы химической технологии. 2016. Т. 50. № 2. С. 200.

4. Moskalev L.N. Application of a contact vortex condenser to absorb methanol from a contact gas. Moskalev L.N., Ponikarov S.I. Theoretical Foundations of Chemical Engineering. 2016. Т. 50. № 2. С. 194-200.

УДК 541.18.045:66.0

Калишук Д.Г., Авазов М.Н.

(Белорусский государственный технологический университет)

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ГРЕЮЩЕГО ПАРА В ОДНОКОРПУСНОЙ ВЫПАРНОЙ УСТАНОВКЕ С АППАРАТОМ С ЕСТЕСТВЕННОЙ ЦИРКУЛЯЦИЕЙ РАСТВОРА

Для обеспечения эффективной и высокоинтенсивной работы выпарной установки (ВУ) необходимо правильно выбрать режимы ее работы. Одним из важнейших режимных параметров при этом является значение полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$, К [1]. Для однокорпусной выпарной установки, в составе которой используется выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и кипением его в трубах греющей камеры, значение $\Delta t_{\text{пол}}$ рассчитывают:

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

где t_D и $t_{\text{кд}}$ – температуры греющего пара и вторичного пара в конденсаторе ВУ; Δ' , Δ'' и Δ''' – физико-химическая, гидростатическая и гидравлическая депрессии соответственно, К.

Для однокорпусной выпарной установки, в составе которой используется выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и вынесенной зоной кипения величина $\Delta t_{\text{пол}}$ вычисляется:

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

где $\Delta t_{\text{пер}}$ – температура перегрева раствора в греющей камере, К.

Очевидным является то, что температура греющего пара t_D и, соответственно, его давление P_D зависят от величин $\Delta t_{\text{пол}}$, $t_{\text{кд}}$, депрессий, а в аппаратах с вынесенной зоной кипения – и от температуры перегрева. Температура $t_{\text{кд}}$ зависит от давления в конденсаторе ВУ $P_{\text{кд}}$, т.е. от давления, под которым работает данная установка. В большинстве

случаев это будет атмосферное давление, т. к. при этом аппаратурно-технологическое оформление процесса является самым простым. При выпаривании нетермостойких растворов, а также при использовании в качестве греющего низкопотенциального утилизируемого пара $P_{\text{кд}}$ может быть меньшим, чем атмосферное. При необходимости получения вторичного пара повышенных параметров с целью успешной утилизации его тепла в ВУ может приниматься $P_{\text{кд}}$ выше атмосферного. Следовательно, величину $P_{\text{кд}}$ при разработке ВУ задает проектировщик.

Значение гидравлической депрессии Δ''' рекомендуют задавать при расчетах в пределах от 0,5 до 2 К [1–3]. В аппаратах с кипением раствора в трубах греющей камеры величина гидростатической депрессии Δ'' обычно находится в пределах от 2 до 6 К [1,2]: меньшие значения соответствуют аппаратам, работающим под избыточным и атмосферным давлением, большие – вакуумным. Из анализа многочисленных расчетов, проведенных собственноручно, выяснено, что в аппаратах с вынесенной зоной кипения значение температуры перегрева $\Delta t_{\text{пер}}$ в большинстве случаев составляет от 2 до 4 К. Величину физико-химической депрессии Δ' для аппаратов рассматриваемых типов следует принимать (рассчитывать) для выпариваемого раствора при его составе на выходе из аппарата (конечной концентрации).

К сожалению, в подавляющей части литературы, рассматривающей вопросы выпаривания, в том числе и в фундаментальных монографиях [2], отсутствуют рекомендации по выбору оптимальной величины полезной разности температур $\Delta t_{\text{пол}}$. Косвенным путем, задавшись рекомендуемым значением плотности теплового потока в выпарном аппарате (для аппаратов с естественной циркуляцией – от 20 до 50 кВт/м² [3]) и приближенным значением коэффициента теплопередачи от греющего пара к раствору, можно ориентировочно определить $\Delta t_{\text{пол}}$.

В руководящем техническом материале, регламентирующем тепловые и гидравлические расчеты выпарных аппаратов с естественной циркуляцией [4], приведена информация о минимальной полезной разности температур в них $\Delta t_{\text{пол}}^*$, К, обеспечивающей нормальную работу ВУ. Величина $\Delta t_{\text{пол}}^*$ зависит от высоты кипяtilьных труб, давления вторичного пара над кипящим раствором P_W и в некоторой мере от суммарного коэффициента местных сопротивлений циркуляционного контура. Для аппаратов с высотой труб 3, 4 и 5 м значения $\Delta t_{\text{пол}}^*$ следующие: при $P_W = 12,5$ кПа – от 15 до 19,5 К; при $P_W = 100$ кПа – от 10,5 до 16,5 К; при $P_W = 200$ кПа – от 9,5 до 15 К.

Используя выше приведенную информацию, выполняем пример расчета и выбора параметров греющего пара в однокорпусной выпарной установке.

При этом примем следующие исходные данные:

- в ВУ выпаривается водный раствор KCl, массовая доля растворенного вещества в упаренном растворе $x_k = 0,30$ кг/кг;
- в ВУ используется вертикальный трубчатый выпарной аппарат с естественной циркуляцией раствора и его кипением в трубах;
- давление вторичного пара в конденсаторе ВУ принимаем близким к атмосферному, $P_{кд} = 100$ кПа.

При расчетах и анализе последовательно выполняем следующие действия.

По таблицам свойств водяного насыщенного пара при давлении $P_{кд} = 100$ кПа определяем температуру вторичного пара в конденсаторе $t_{кд} = 372,8$ К.

Принимаем значение гидравлической депрессии $\Delta''' = 1$ К и рассчитываем температуру вторичного пара над кипящим раствором t_w , К:

$$t_w = t_{кд} + \Delta''' = 372,8 + 1 = 373,8 \text{ К}$$

По таблицам свойств водяного насыщенного пара при температуре $t_w = 373,8$ К определяем его давление над поверхностью кипящего раствора $P_w = 103$ кПа.

Плотность кипящего раствора в выпарном аппарате при $x_k = 0,30$ кг/кг и $t_w = 373,8$ К составляет $\rho = 1160$ кг/м³ [5]. Тогда давление в среднем слое парожидкостной смеси $P_{ср}$, кПа:

$$P_{ср} = P_w + 2,5 \cdot 10^{-4} \rho g H \quad (3)$$

где $g = 9,81$ м/с² – ускорение свободного падения; $H = 4$ м – высота кипятильных труб (принимаем).

$$P_{ср} = 103 + 2,5 \cdot 10^{-4} \cdot 9,81 \cdot 1160 \cdot 4 = 114 \text{ кПа.}$$

При $P_{ср} = 142$ кПа температура насыщенного водяного пара $P_{ср} = 376$ К. Следовательно, гидростатическая депрессия Δ'' в данном случае составляет:

$$\Delta'' = t_{ср} - t_w = 376 - 373,8 = 2,2 \text{ К.}$$

Рассчитанное значение Δ'' согласуется с диапазоном величин гидростатической депрессии, указанным авторами ранее.

Физико-химическая депрессия для водного раствора KCl, характеризующегося $x_k = 0,30$ кг/кг, при нормальном атмосферном давлении равна $\Delta'_{ат} = 6$ К [3]. Т.к. давление $P_{ср}$ незначительно отличается от нормального атмосферного, физико-химическую депрессию для раствора в аппарате принимаем

$\Delta' \approx \Delta'_{\text{ат}}$. По рекомендациям из РТМ [4] принимаем минимальную полезную разность температур $\Delta t_{\text{пол}}^* = 16$ К. Тогда из формулы (1) следует, что минимальная расчетная температура греющего пара t_D^* , К, равна:

$$t_D^* = t_{\text{кд}} + (\Delta' + \Delta'' + \Delta''') + \Delta t_{\text{пол}}^* = 372,8 + (1 + 2,2 + 6) + 16 = 398 \text{ К.}$$

Температуре $t_D^* = 398$ К (125°C) соответствует давление насыщенного водяного пара $P_D^* = 232$ кПа. Окончательно принимаем с небольшим запасом давление греющего пара $P_D = 250$ кПа, при этом его температура $t_D = 401$ К. В таком случае полезная разность температур выпарном аппарате составит $\Delta t_{\text{пол}} = 19$ К, что не противоречит требованиям, изложенным в руководящем нормативном документе [4].

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. Основные процессы и аппараты химической технологии: Пособие по проектированию / Г.С. Борисов и [др.]. Под ред Ю.И. Дытнерского. – М.: Химия, 1991. – 496 с.
4. РТМ 26-01-104-77. Аппараты выпарные с естественной циркуляцией и кипением раствора в трубах. Метод теплового и гидравлического расчета.
5. 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.

УДК 658.567.1

Федарович Е.Г., Левданский А.Э., Ковалева А.А.
(Белорусский государственный технологический университет)

МЕХАНИЧЕСКАЯ ПОДГОТОВКА СТЕКЛОПЛАСТИКОВЫХ ОТХОДОВ К ИХ ПОВТОРНОМУ ИСПОЛЬЗОВАНИЮ

Стеклопластик представляет собой композитный материал, состоящий из связующего – синтетической смолы (полиэфирная смола, эпоксидная смола и т. д.) и армирующего компонента – стекломата, стеклоткани или роввинга [1].

Стеклопластики – первые высокопрочные композиционные материалы, широко используемые в различных отраслях техники и в быту.