

С использованием механохимического воздействия из смеси угля марки Т и воды в соотношении (1:1) была получена гомогенная, текучая водоугольная суспензия, обладающая хорошей стабильностью (не расслаивалась в течении 10 сут). При использовании угля марки СС водоугольная смесь была в виде вязкой пасты.

Поэтому для получения текучей суспензии из подобных углей необходимо увеличение количе-

ства дисперсионной среды (воды), либо применение специальных реагентов, способных разрушать сольватные оболочки на поверхности угольных частиц.

Работа выполнена при поддержке Интеграционной программы Сибирского отделения РАН по проекту «Энергосбережение СО РАН» и Гранта РФФИ 07-08-96019 р_урал_a.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Хилько С.Л., Титов Е.В. Физико-химические аспекты приготовления трехфазных коллоидных топлив // Химия и технология топлив и масел. 2007. №1. С. 52-56.
- Хилько С.Л., Титов Е.В. Физико-химические аспекты приготовления топливных суспензий // Химия и технология топлив и масел. 2007. №3. С. 52-56.
- Фролов Ю.Г. Курс коллоидной химии. Поверхностные явления и дисперсные системы. – М.: Химия, 1982. 400 с.
- Ларина А.А., Макаров А.С. Влияние степени окисленности поверхности природных углей на реологические свойства высококонцентрированных водоугольных суспензий // Химия твердого топлива. 1992. №2. С. 39-42.

□ Авторы статьи:

Федорова
Наталья Ивановна
– канд. хим. наук, с.н.с. Института
угля и углехимии СО РАН,
chem@kemnet.ru

Патраков
Юрий Федорович
– докт. хим. наук, зав. лабораторией
Института угля и углехимии СО
РАН, chem@kemnet.ru

УДК 532.5

Ю.О. Афанасьев, А.Р. Богомолов, П.В. Дадонов

К РАСЧЕТУ РАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫХ ТАРЕЛОК НАСАДОЧНЫХ КОЛОНН

В различных отраслях промышленности применяют поверхностные массообменные аппараты,

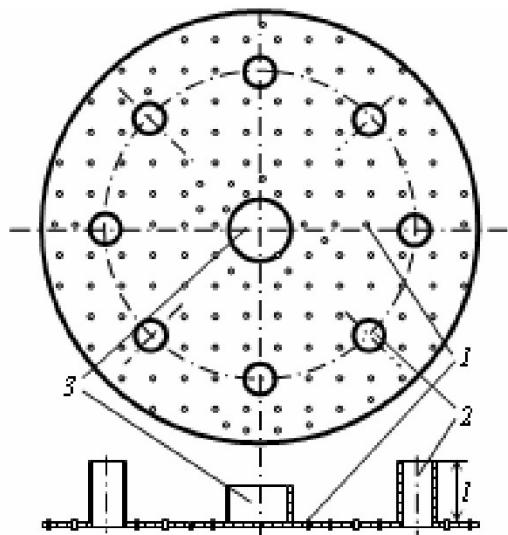


Рис 1. Конструкция распределительной тарелки: 1 – отверстия оросителя; 2 – газопроводящие патрубки; 3 – кольцевой перелив

к которым относят распространенные в процессах разделения смесей или поглощения компонентов жидким поглотителем насадочные колонны. Одной из трех основных частей насадочных колонн считают оросительное устройство для распределения жидкости по сечению загруженной в аппарат насадки.

От надежной работы распределительных устройств зависят основные технологические показатели проводимого в колонне массообменного процесса. Хотя при течении по насадке жидкость не сохраняет первоначального распределения, орошение насадки следует начинать равномерно.

Для равномерного распределения жидкости по поперечному сечению насадки колонны применяют распределительные плиты, или тарелки. Действие распределительных тарелок основано на низконапорном истечении жидкости, осуществляемом одновременно с проходом газа через патрубки днища оросителя либо еще и в кольцевом зазоре между тарелкой и стенкой аппарата. Основными условиями эффективной работы распределительных тарелок являются:

- обеспечение равномерного орошения поперечного сечения насадки колонны уже в верхних

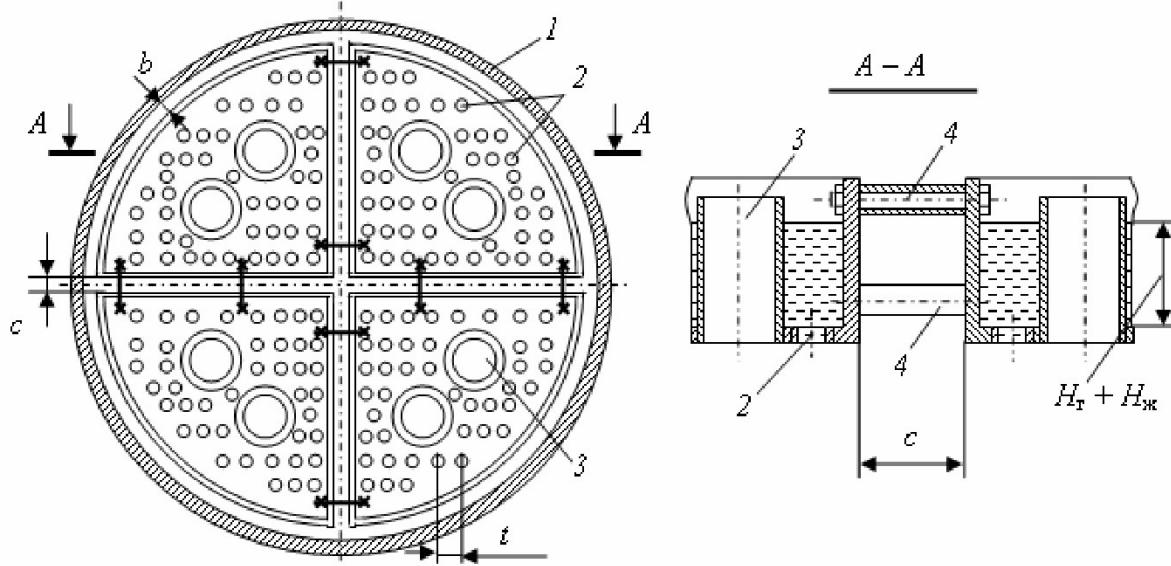


Рис. 2. Схема газового тракта оросительных плит:
 1 – стенка колонны; 2 – оросительные патрубки; 3 – газопроводящие патрубки;
 4 – дистанционные стяжки; t – шаг оросительных патрубков; b – кольцевой зазор между стенкой колонны и распределительной плитой; c – зазор между секторами плиты

её слоях;

- отсутствие уноса брызг газовым потоком, проходящим через отверстия оросителя;
- подача жидкости в достаточном количестве точек.

С физической точки зрения более оправдана конструкция тарелки, в которой жидкость и газ, движущиеся противотоком, проходят через тарелку по разным патрубкам (трактам), как показано на рис. 1.

При правильной конструкции тарелки, такое орошение насадки происходит при минимальном уносе капель жидкости газовым потоком. Жидкость на орошение поступает через кольцевой перелив 3, растекается по поверхности оросителя и через отверстия 1, расположенные по квадратной сетке, движется к насадке колонны. Поток газа проходит через газопроводящие патрубки 2 тарелки в верхнюю часть колонны.

Расчет тарелки проводят по заданному расходу жидкости G , характеристике насадки и объемному расходу газа V .

Действительная скорость газа в насадке w_g определяется по расходу газа, площади поперечного сечения колонны S и доле свободного объема насадки φ :

$$w_g = V / \varphi S .$$

Средняя плотность орошения и число точек орошения определяются соответственно

$$L = G / S \quad \text{и} \quad n_{ж} = G / q_m ,$$

где q_m – расход жидкости в каждой точке орошения принимается из эмпирической зависимости, связывающей диаметр поперечного сечения контура растекания жидкости в насадке (d_3) и расхода

жидкости в данной точке

$$d_3 = A q_m^n ,$$

где A и n – эмпирические коэффициенты, учитывающие характер насадки, размер и способ её укладки, определяют по таблицам [1, 3].

По диаметру контура растекания d_3 (зоны смачивания) определяют количество отверстий или точек орошения, расположенных по квадратной или треугольной сетке и шаг сетки. Диаметр отверстий мелко-перфорированных плит, для орошения чистыми жидкостями принимают $d_0 = 6-8$ мм и $d_0 = 10-20$ мм для загрязненных жидкостей.

Определение размеров отверстий газового тракта при заданной действительной средней скорости (скорость скольжения) газа в сечении газопроводящих каналов распределительной плиты производят по формуле [1]

$$0.785D^2 - 0.785(D-2b)^2 + 2(D-2b)c - c^2 + n f_g = V / w_{cp} , \quad (1)$$

где D – внутренний диаметр колонны;

b – ширина зазора вокруг тарелки;

n_g – количество отверстий газового тракта;

c – зазор между секторами плит;

f_g – площадь поперечного сечения газопроводящего патрубка (рис. 2).

Чтобы обеспечить необходимый уровень жидкости над поверхностью оросителя, для работы всех отверстий по сечению тарелки и исключения образования воронок в отверстиях, рассчитывают гидравлическое сопротивление по газовому тракту

$$\Delta p = \zeta (\rho w_e^2)/2 \quad (2)$$

где ζ – коэффициент местного сопротивления, определяемый согласно справочнику [2] для перфорированных плит по коэффициенту живого сечения

$$f'' = n f_e / S \quad (3)$$

После расчета перепада давления Δp определяется необходимый уровень жидкости H_e над поверхностью отверстий оросителя, учитывая что $H_e = \Delta p / \rho g$, где ρ – плотность орошающей жидкости.

Таким образом, движение жидкости через отверстия оросителя будет возможно лишь тогда, когда давление столба жидкости H_e превысит перепад давления Δp , создаваемый газовым потоком.

Решая совместно уравнения (1-3), определяют среднюю скорость газа w_{cp} при оптимальном значении количества газопроводящих патрубков n_e и площади поперечного сечения патрубка $f_e = 0,785 \cdot d_e^2$.

Для устойчивой работы тарелки в режиме пуска колонны определяют гидравлическое сопротивление сухой тарелки

$$\Delta p_c = \zeta_c (\rho w_e^2)/2 \quad ,$$

где ζ_c – коэффициент местного сопротивления, определяемый по коэффициенту живого сечения [2]

$$f_c'' = (n f_e + n_{jk} f_{jk}) / S \quad .$$

Минимальное гидравлическое сопротивление сухой тарелки должно быть не менее $\Delta p_{min} = \rho g^2 d_{jk} (d_{jk} – \text{диаметр отверстий оросителя})$.

В противном случае увеличивают скорость газа w_{cp} уменьшением количества газопроводящих патрубков. Как следствие, увеличится коэффициент местного сопротивления ζ_c и перепад давления на тарелке Δp .

Скорость w_{jk} и расход G жидкости через отверстия диаметром d_{jk} производится при уровне жидкости H_{jk} , который определяют из уравнения

$$w_{jk} = \sqrt{2g \frac{H_{jk} - \Delta p / \rho g}{1 - \left(f_{jk} / F \right)^2}} \quad ;$$

$$G = \alpha n_{jk} f_{jk} w_{jk} \quad ,$$

где f_{jk} – площадь поперечного сечения отверстия;

F – площадь части тарелки, приходящаяся на одно отверстие,

α – коэффициент расхода, учитывающий сжатие струи при её истечении из отверстия.

Течение жидкости происходит под действием напора жидкости H , определяемого как сумма напоров на истечение жидкости H_{jk} и на преодо-

ление перепада давления H_e .

$$H = H_{jk} + H_e = \left[\frac{G^2 - \left(G f_{jk} / F \right)^2}{\alpha^2 n_{jk}^2 f_{jk}^2 2g} \right] + \frac{\Delta p}{\rho g} \cdot$$

По уровню столба жидкости определяют высоту газопроводящих патрубков l из условия исключения перелива жидкости через них при внезапном увеличении нагрузки по орошению

$$l = (3 \div 5)H.$$

Для примера приведен расчет распределительной тарелки, которая используется для орошения флегмой (бензин) в укрепляющей части насадочной ректификационной колонны для переработки нефти. Сверху из колонны удаляется $G = 1,71 \text{ м}^3/\text{ч}$ (1129 кг/ч) паров, образующих после конденсации флегму $\Phi = 1 \text{ м}^3/\text{ч}$ (660 кг/ч) и дистиллят $P = 0,54 \div 0,71 \text{ м}^3/\text{ч}$ (356,4 – 468,6 кг/ч).

Расчет производим для насадочной колонны диаметром $D = 0,7 \text{ м}$. Насадка – нерегулярная засыпка стальными кольцами Рашига размером 20x20. Плотность орошения в верхней части колонны

$$\Gamma = \Phi / S = 1 / (0.785 \cdot 0.7^2) = 2,6 \text{ м}^3 / (\text{м}^2 \cdot \text{ч}),$$

Объемный расход и скорость паров бензина

$$V = \frac{G}{M} \cdot \frac{22,4(273+t)}{273 \cdot p} = \frac{1129}{120} \cdot \frac{22,4(273+130)}{273 \cdot 1} = 311 \text{ м}^3/\text{ч};$$

$$w_e = V / \varphi S = 311 / [3600 \cdot 0.92 \cdot 0.785 \cdot 0.7^2] = 0,24 \text{ м/с} \quad ,$$

где $\varphi = 0,92 \text{ м}^3/\text{м}^3$ – доля свободного объема в насадке, M – молекулярная масса бензина, кг/кмоль; p – давление в колонне, кг/см², t – температура пара, °C.

Следовательно, при условии сухой насадки скорость пара составляет 0,24 м/с, при расходе пара $V = 311 \text{ м}^3/\text{ч}$.

Определяем размеры отверстий газового тракта при заданной средней скорости пара бензина по формуле

$$0,785 D^2 - 0,785 (D-2S)^2 + n f = V / w_e \quad ,$$

где D – внутренний диаметр аппарата – 0,7 м;

Принимаем ширину зазора вокруг плиты $S = 0$ (плита располагается между фланцами колонны). Оптимальную скорость пара в проходных сечениях газопроводящих патрубков тарелки принимаем с учетом гидравлического сопротивления по формулам (2, 3) с последующей проверкой. В первом приближении $w_e = 5,4 \text{ м/с}$, $n f = 311 / (5,4 \cdot 3600)$, откуда $F_0 = n f = 0,016 \text{ м}^2$, $n = 8,2$ отв. диаметром 50 мм.

Для газового тракта выбираем 8 патрубков из трубы 57x3,5.

Гидравлическое сопротивление по газовому

тракту в первом приближении

$$\Delta p = \zeta \cdot (\rho w_e^2)/2 = 1546 (3.63 \cdot 0.24^2)/2 = 162 \text{ Па},$$

где коэффициент сопротивления $\zeta = 1546$ принят [3] по отношению

$$f'' = F_0 / S = 0.016 / (0.785 \cdot 0.7^2) = 0,042, \quad \zeta = 1546.$$

Гидравлическое сопротивление по газовому тракту соответствует давлению столба жидкости $H = \Delta p / \rho g = 25$ мм, что исключает условия образования воронок в отверстиях.

Гидравлическое сопротивление по жидкостному тракту при средней скорости жидкости (флегмы) по сечению колонны

$$w_{\text{жк}} = \Phi / S = 1 / \{3600 \cdot (0.785 \cdot 0.7^2)\} = 0,72 \cdot 10^{-3} \text{ м/с}$$

Принимаем общую площадь отверстий жидкостного тракта $0,0077 \text{ м}^2$, при этом гидравлическое сопротивление по жидкости

$$\Delta p_{\text{жк}} = \zeta \cdot (\rho w_{\text{жк}}^2)/2 = 7000 (660 \cdot w_{\text{жк}}^2)/2 = 1,2 \text{ Па},$$

где коэффициент сопротивления $\zeta = 7000$ принят [3] по отношению

$$f'' = F_0 / S = 0.0077 / (0.785 \cdot 0.7^2) = 0,02.$$

При этом число отверстий диаметром 8 мм

$$F_0 = n \cdot S = n \cdot 0,785 \cdot d^2;$$

$$n = 0,0077 / (0,008^2 \cdot 0,785) = 153 \text{ шт.}$$

Диаметр поперечного сечения контура растекания жидкости в насадке (d_3) в зависимости от расхода жидкости в данной точке определяем по эмпирической зависимости

$$d_3 = A q_T^n = 24.81 [1/(3600 \cdot 153)]^{0.085} = 26,1 \text{ см},$$

где коэффициент $A = 24,81$ и показатель степени $n = 0,085$ принимаем по таблице [1] для колец Рашига 50×50 навалом (на кольца 20×20 данных нет). Поскольку более крупным кольцам свойственна и большая распределительная способность то расчетный диаметр контура растекания следует уменьшить до 100 мм. Расположив отверстия по сетке шагом $t = 50$ мм, обеспечим равномерное орошение насадки (при параметре $\varepsilon = d/t = 2$).

Гидравлическое сопротивление «сухой» тарелки в режиме пуска колонны, учитывая площадь

отверстий жидкостного тракта

$$\Delta p_c = \zeta \cdot (\rho w^2)/2 = 700 (3.63 \cdot 0.24^2)/2 = 73 \text{ Па},$$

где коэффициент сопротивления $\zeta = 700$ принят [3] по отношению

$$f'' = F_0 / S = (0.016 + 0.0077) / (0.785 \cdot 0.7^2) = 0,062.$$

Расход бензина через 153 отверстия диаметром 8 мм производится при уровне жидкости H определяемом из соотношения

$$H = H_{\text{жк}} + H_{\text{р}} = \left[\frac{\Phi^2 - \left(\frac{\Phi f_{\text{жк}}}{F} \right)^2}{\alpha^2 n_{\text{жк}}^2 f_{\text{жк}}^2 2g} \right] + \frac{\Delta p}{\rho_{\text{жк}} g};$$

$$H = \frac{\left(\frac{1}{3600} \right)^2 - \left(\frac{1 \cdot 0,785 \cdot 0,008^2 \cdot 153}{3600 \cdot 0,785 \cdot 0,7^2} \right)^2}{0,76^2 \cdot 153^2 \cdot (0,785 \cdot 0,008^2)^2 2 \cdot 9,81} + \frac{162}{660 \cdot 9,81} = 0,115 \cdot 10^{-3} + 0,025 = 0,025 \text{ м.}$$

Следовательно, длина газопроводящих патрубков принимается 100 мм, что в 4 раза перекрывает уровень жидкости на оросителе.

По результатам расчета принимаем тарелку мелко перфорированную (153 отверстия диаметром 8 мм располагают по сетке с шагом 50 мм) с питающим кольцевым переливом (центральный патрубок, труба 89x4 длиной 50 мм) и газопроводящими патрубками (8 патрубков из трубы 57x3,5 длиной 100 мм) как показано на рис. 1.

В данной работе представлена методика расчета распределительных плит (неразбрзгивающих оросителей), действие которых основано на низконапорном истечении жидкости, осуществляющем одновременно с проходом газа через патрубки днища оросителя, либо с проходом газа еще и в кольцевом зазоре между плитой и стенкой аппарата. Методика основана на совместном решении уравнений гидравлического сопротивления газового потока и истечения жидкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Головачевский, Ю. А. Оросители и форсунки скрубберов химической промышленности / Ю.А. Головачевский. – М.: Машиностроение, 1974, – 271 с.
- Идельчик, И. Е. Справочник по гидравлическим сопротивлениям / И.Е. Идельчик. – М.: Машиностроение, 1975. – 559 с.
- Рамм, В. М. Абсорбция газов / В.М. Рамм. – М.: Химия, 1976. – 656 с.

□ Авторы статьи:

Афанасьев
Юрий Олегович
- канд. техн. наук, доц. каф. «Процессы, машины и аппараты химических производств» КузГТУ
т.ел.: 8-384-2 -581036

Богомолов
Александр Романович
- канд. техн. наук, с.н.с. Института теплофизики СО РАН
barom@kuzstu.ru

Дадонов
Петр Васильевич
- канд. техн. наук, н.с. Института теплофизики СО РАН
тел.: 8-384-2 -581036