

УДК 66.074:661

У статті розглянуті питання, пов'язані з конструктивними особливостями колонних апаратів, які дозволяють збільшити висоту пінного шару на трубчастих ґратах апаратів, при цьому, не збільшуючи швидкість газового потоку. Розроблений нами контактний елемент має хороші показники для широкого діапазону навантажень по рідині і газу. Описані в статті методи розрахунку повністю підтверджують експериментальні дослідження і добре корелюють з раніше проведеними дослідженнями

Ключові слова: колонні апарати, пінний шар, масопередача, трубчасті ґрати

В статье рассмотрены вопросы, связанные с конструктивными особенностями колонных аппаратов, которые позволяют увеличить высоту пенного слоя на трубчатых решетках аппаратов, при этом, не увеличивая скорость газового потока. Разработанный нами контактный элемент имеет хорошие показатели для широкого диапазона нагрузок по жидкости и газу. Описанные в статье методы расчета полностью подтверждают экспериментальные исследования и хорошо коррелируют с ранее проведенными исследованиями

Ключевые слова: колонные аппараты, пенный слой, массопередача, трубчатые решетки

Questions, related to the structural features of columnar vehicles which allow to increase the height of foamy layer on the tubular grates of vehicles, are considered in the article, here, not increasing speed of gas stream. Developed by us a contact element has good indexes for the wide range of loadings on a liquid and gas. The methods of calculation described in the article fully confirm experimental researches and well correlate with the before conducted researches

Key words: columnar vehicles, foamy layer, mass transfer, tubular grates

ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРО- ДИНАМИЧЕСКИХ РЕЖИМОВ РАБОТЫ ПЕННОГО АППАРАТА НА ТРУБЧАТЫХ РЕШЕТКАХ СО СТАБИЛИЗАТОРОМ ПЕНЫ

В.Н. Бабенко

Ассистент

Кафедра химической техники и промышленной экологии*

Контактный тел.: 8-057-707-61-55

E-mail: himeco@kpi.kharkov.ua

С.Д. Деменкова

Младший научный сотрудник

Кафедра 'АХТС и ЭКМ'*

Контактный тел.: 8-057-707-66-87

E-mail: Svetlanadem@Yandex.ru

*Национальный технический университет «ХПИ»
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002

1. Введение

Одним из основных показателей гидродинамических режимов работы пенного аппарата служит высота пены H . Как отмечают, высота пены содержит информацию о гидродинамических и конструктивных параметрах аппарата, а также позволяет судить о развитии поверхности контакта фаз. Авторы ряда работ указывают, что из всех факторов ($H, \Delta P, h_0$) с изменением

скорости газового потока W_m в наибольшей степени, изменяется высота пены H .

2. Методики расчетов для подтверждения экспериментальных данных.

Для трубчатых решеток без стабилизатора пены в данной работе приведены зависимости:

$$\Delta P_{\text{сл}} = 0,9 W_r^{1,3} L_0^{-1,5} S_0^{-1,8} \left(\frac{\sigma_{\text{ж}}}{\sigma_{\text{в}}} \right)^{-0,1} \left(\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_{\text{в}}} \right)^{0,066}, \quad (1)$$

$$H = 1,92 \left(\frac{\Delta P_{\text{сл}} W_r^{0,5} S_0^{0,5}}{g \rho_{\text{ж}}} \right)^{0,8}, \quad (2)$$

где: $\Delta P_{\text{сл}}$ - гидравлическое сопротивление пенного слоя Па;

$\sigma_{\text{ж}}$ - поверхностное натяжение для жидкости Па;

$\sigma_{\text{в}}$ - поверхностное натяжение для воды Н/м;

$\mu_{\text{ж}}$ - динамический коэффициент вязкости жидкости м²/с;

$\mu_{\text{в}}$ - динамический коэффициент вязкости воды м²/с;

$\rho_{\text{ж}}$ - плотность жидкости кг/м³;

g - ускорение свободного падения м/с².

$$H = 0,29 \cdot W_r^{1,44} L_0^{0,4} S_0^{-1,04} \rho_{\text{ж}} \left(\frac{\sigma_{\text{ж}}}{\sigma_{\text{в}}} \right)^{-0,08} \left(\frac{\mu_{\text{ж}}}{\mu_{\text{в}}} \right)^{0,053} \quad (3)$$

Следует отметить, что зависимости (1) и (3) получены ранее исследователями [1, 2, 3] при скорости газа в пенном сечении аппарата не превышающей 2 м/с. В изученных нами пределах $W=1,2-3,6$ м/с для трубчатых решеток без стабилизатора получена формула:

$$H = 1,19 \cdot 10^{-3} W_r^{1,2} L_0^{0,25} S_0^{-1,4} \quad (4)$$

Расчеты H , выполненные по (3) и (4) при скоростях газа в полном сечении аппарата до 2 м/с примерно совпадают. Однако, при $W=3-4$ м/с расчеты H , выполненные по (3) превышают опытные значения H на 80-100%, в то время как величины H , рассчитанные по формуле (4) отличаются от опытных не более чем на $\pm 9\%$.

Исследования, проведенные нами на трубчатых решетках со стабилизатором пены, показали, что также как и на решетках без стабилизатора, при увеличении скорости газа в полном сечении аппарата высота слоя пены неуклонно возрастает. При этом H на решетках со стабилизатором выше, чем на решетках без стабилизатора при одних и тех же значениях (W_r, S_0, L_0).

И кроме всего прочего на решетках со стабилизатором слоя пены более четко, чем без стабилизатора, выражена граница пенного слоя [4, 5], что позволяет точнее определить высоту слоя пены. На решетках без стабилизатора пенный слой обычно не имеет четко выраженной границы, и амплитуда колебаний пенного слоя может превышать даже средние значения высоты слоя. Вероятно, этим объясняется чрезвычайно большой разброс значений высоты пены поданным различных авторов. По визуальным наблюдениям на решетках со стабилизатором пена плотнее и однороднее, чем на решетках без стабилизатора, в ней отсутствуют газовые пустоты, практически нет раскочки газожидкостного слоя во всем исследованном диапазоне скоростей. Математическая обработка данных позволила сделать вывод о том, что:

$$H_{(c)} \approx W_r^{1,2} \quad (5)$$

Зависимость высоты слоя пены от другого гидродинамического фактора $-L_0$, выражается в зависимости $H = f(L_0)$ на решетках со стабилизатором и имеет

меньший угол наклона, чем аналогичные кривые, на решетках без стабилизатора [6, 7]. При малых плотностях орошения, порядка 1-5 м³/м²·ч высота слоя пены на решетках со стабилизатором в 1,5-2 раза превышает высоту слоя пены. На решетках без стабилизатора, по мере увеличения плотности орошения, различия в высоте слоя пены для решеток со стабилизатором и без него становятся незначительными, достигая при $L_0=24$ м³/м²·ч лишь 10%.

Из вышеуказанного следует, что применение стабилизатора наиболее эффективно в области малых значений плотности орошения, то есть в области малой устойчивости работы трубчатых решеток. При математической обработке результатов исследований выявлена зависимость:

$$H_{(c)} \approx L^{0,2} \quad (6)$$

Для трубчатых решеток со стабилизатором нами получена зависимость высоты пенного слоя от основных факторов:

$$H = 1,43 \cdot 10^{-3} \cdot W_r^{1,2} \cdot L_0^{0,2} \cdot S_0^{-1,6} \quad (7)$$

Погрешность расчетов по (7) не превышает $\pm 7\%$. Из вышеизложенного вытекает, что высота слоя пены на трубчатых решетках со стабилизатором в большей степени зависит от свободного сечения решеток, чем на решетках без стабилизатора и в несколько меньшей степени – от плотности орошения [8, 9]. Еще раз здесь следует отметить, что сама пена на трубчатых решетках со стабилизатором более однородная и устойчивая, чем на решетках без стабилизатора. Увеличение высоты слоя пены на решетках со стабилизатором и ее более интенсивная турбулизация создают предпосылки для более эффективного улавливания плохо растворимых газовых компонентов в химической технологии.

2. Влияние высоты исходного слоя жидкости на процесс массопередачи

Другим важнейшим фактором для трубчатых решеток со стабилизатором пены является высота слоя жидкости. Высота исходного слоя жидкости является одним из самых существенных факторов, влияющих на процессы тепло, массопередачи и пылеулавливания в пенных аппаратах. От высоты исходного слоя жидкости в значительной мере зависит гидравлическое сопротивление решеток со слоем пыли, время пребывания жидкости на решетке, высота слоя пены.

Многие исследователи при изучении работы пенных и барботажных аппаратов различных конструкций, уделяли большое внимание определению параметров, от которых зависит h_0 , разрабатывали способы и устройства для создания и поддержания определенной высоты исходного слоя жидкости. Все же, несмотря на довольно большое количество этих исследований, определению высоты исходного слоя жидкости на противоточных решетках уделялось значительно меньше внимания, чем на остальных типах решеток. Имеющиеся в литературе данные позволяют установить факторы, влияющие на высоту исходного слоя

жидкости на противоточных решетках [10, 11]. Для условий работы противоточных дырчатых решеток получена зависимость:

$$h_0 = f(W_r, L_0, S_0, d_0) \quad (8)$$

Учитывая выше изложенное, для трубчатых решеток со стабилизатором пены можно записать:

$$h_0 = f(W_r L_0, S_0, d_{тр}) \quad (9)$$

Рассмотрим влияние параметров зависимости на (9) на h_0 .

Как показали опыты, высота исходного слоя жидкости неуклонно возрастает при увеличении скорости газа в полном сечении аппарата от 1,8 до 4,5 м/с. Из сравнения значений можно видеть какое влияние оказывает стабилизатор на высоту исходного слоя жидкости. Так, при одной и той же скорости газа значения h_0 на решетке $S_0 = 0,171 \text{ м}^2/\text{м}^2$ со стабилизатором высота более чем в 2 раза превышает значения h_0 на решетке без стабилизатора пены. Анализ опытных данных приводит к следующей зависимости высоты исходного слоя жидкости на трубчатых решетках со стабилизатором от W_r :

$$h_0 \approx W_r^{0,25} \quad (10)$$

3. Влияние свободного сечения решетки на высоту исходного слоя жидкости на трубчатых решетках

Свободное сечение решетки оказывает весьма существенное влияние как на высоту исходного слоя жидкости, так и на остальные параметры работы аппарата. Как видно, увеличение свободного сечения трубчатой решетки в 1,5 раза приводит к снижению высоты исходного слоя жидкости на решетке примерно в 2 раза. Вместе с тем, зависимость высоты исходного слоя жидкости от свободного сечения решетки без стабилизатора, имеет несколько меньший угол наклона. При данных одних и тех же значениях скорости газа в полном сечении аппарата и плотности орошения во всем исследованном материале свободных сечений решеток, высота исходного слоя жидкости на трубчатых решетках со стабилизатором выше, чем на решетках без стабилизатора [12]. Таким образом, для создания единицы h_0 на решетках со стабилизатором непроизводительные затраты на преодоление сопротивления сухой решетки ниже, чем без стабилизатора. Выражение определяет высоту слоя пены от плотности орошения:

$$h_{0(c)} \approx S_0^{-1 \sum_{i=1}^n X_i^{0,6}} \quad (11)$$

Конечно, S_0 оказывает определенное влияние на высоту исходного слоя жидкости и плотность орошения [5, 6]. Очевидно, что увеличение плотности орошения должно привести к увеличению свободного сечения решетки, занятой стекающей жидкостью $\Phi_{ож}$ и к уменьшению доли свободного сечения решетки, занятой газом. Вследствие этого, должна возрасти скорость газа в отверстиях решетки, и увеличиться высота исходного слоя жидкости. Исходный слой жидкости

при использовании стабилизатора практически всегда выше, чем без стабилизатора [4, 6].

Особенно заметен эффект от применения стабилизатора при относительно малых плотностях орошения (до $5-8 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$), где высота исходного слоя жидкости на решетках со стабилизатором в 1,5-2 раза выше, чем без него. Зависимости высоты исходного слоя жидкости от плотности на трубчатых решетках со стабилизатором аппроксимируются выражением:

$$h_{0(c)} \approx L_0^{0,3} \quad (12)$$

С учетом остальных факторов получим:

$$h_{0(c)} = 0,75 \cdot 10^{-3} W_r^{0,25} L_0^{0,3} S_0^{-1,6} \quad (13)$$

Отклонение величин h_0 , полученных по уравнению (13) отличаются от опытных значений не более чем на $\pm 7\%$. Для трубчатых решеток без стабилизатора нами получена следующая формула:

$$h_0 = 0,38 \cdot 10^{-3} W_r^{0,36} L_0^{0,57} S_0^{-1,4} \quad (14)$$

Выводы

Как видно из формул (13) и (14), на высоту исходного слоя жидкости на решетках со стабилизатором скорость газа в полном сечении аппарата и плотность орошения оказывают меньшее влияние, чем на трубчатых решетках без стабилизатора. Между тем, большой коэффициент пропорциональности и большая степень у величины свободного сечения решетки в формуле (12) указывает на то, что величина исходного слоя жидкости на решетках со стабилизатором значительно больше, чем на решетках без стабилизатора [13, 14]. Увеличение, h_0 как и H , на трубчатых решетках со стабилизатором по сравнению с решетками без стабилизатора позволяет использовать трубчатые решетки для очитки газов и получения растворов в технологии минеральных солей, характеризующейся наличием в газах.

Литература

1. Стабников В.Н. Ректификационные аппараты. М., «Машиностроение», 1995. 356 с.
2. Ректификационные и абсорбционные колонны с новыми конструкциями тарелок. М., ВНИИОЭНГ, 1996. 64 с.
3. Чехов О. С., Матрозов В. И. Труды МИХМ, 1997, вып. 15, с. 78–96.
4. Позин М. Е., Мухленов И. П. и др. Пенный способ обработки газов и жидкостей. Л., Госхимиздат, 1985. 248 с.
5. Позин М.Е., Мухленов И. Я., Тарат Э. Я. Пенные газоочистители, теплообменники и абсорберы. Л., Госхимиздат, 2002. 123 с.
6. Клапанные тарелки для массообменных аппаратов. М., Центр, ин-т. научно-техн. информ. и техн. - эконом. иссл. по хим. и нефт. машиностр., 1992. 40 с.
7. Norman W. S., Grocott G. /., Trans. Inst. Chem. Eng., 1991, v. 39, N 4, p. 305–312.
8. Hoppe /C., Chem. Ing. Techn., 1999, Bd. 39, N 11, S. 659–666.

9. Robin V. /., Brit. Chem. Eng., 2002, v. 4, N 6, p. 351–354.
10. Бляхер И. Г., Живайкин Л. Я. и др. Хим. пром., 1996, № 3, с. 178–181; 2000, № 9, с. 678–680.
11. Стабников В. Я., Николаев А. П. Труды Киев. технол. ин-та пищевой пром., 1990, вып. 22, с. 171–178.
12. Родионов А.И. Труды ХТИ им. Д. И. Менделеева, 1993, вып. 40, с. 66–69.
13. Аэров М. Э., Быстрова Т. А. и др. Хим. и технол. топлив и масел, 1999, № 1, с. 37–41.
14. Mailer H. M., Othmer D. F., Ind. Eng. Chem., 1999, v. 51, N 5, p. 625–632.

УДК 544.723

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ПОГЛИНАННЯ ДІОКСИДУ СУЛЬФУРУ НА ЦЕОЛІТАХ

А. М. Меренгер
Магістр*

E-mail: anna.merenger@gmail.com

Ю. О. Безносик

Кандидат технічних наук, доцент*

E-mail: yu_beznosyk@ukr.net

Г. О. Статюха

Доктор технічних наук, професор, завідуючий
кафедрою*

Директор Центрально-східного інституту сталого
розвитку

E-mail: gen.statyukha@mail.ru

*Кафедра кібернетики хіміко-технологічних процесів
НТУУ «КПІ»

просп. Перемоги, корп. 4, м. Київ, 37, 03056

Контактний тел.: 8 (044) 241-76-12

Наведено результати експериментів з видалення діоксиду сульфуру із азоту на 5А цеолітах. Проведено математичне моделювання та побудовані криві поглинання. Визначено оптимальні умови, що забезпечують найдовший час поглинання

Ключові слова: цеоліти, адсорбція, діоксид сульфуру

Приведены результаты экспериментов по удалению диоксида серы с азота на 5А цеолитах. Проведено математическое моделирование и построены кривые поглощения. Определены оптимальные условия, обеспечивающие наибольшее время поглощения

Ключевые слова: цеолиты, адсорбция, диоксид серы

The results of experiments for the removal of sulfur-dioxide in nitrogen by 5A zeolites were showed. The mathematical modeling was carried out and breakthrough curves were simulated. The optimal conditions for the longest breakthrough time were determined

Key words: zeolites, adsorption, sulfur-dioxide

Вступ

Проблема захисту атмосфери від викидів діоксиду сульфуру, що викликає утворення кислотних дощів, є однією з найактуальніших. Основними джерелами викидів діоксиду сульфуру в атмосферу є підприємства енергетики, металургії та вугільної промисловості,

транспорт, нафтохімія. Одним з напрямків в очищенні димових газів є сорбційні методи, засновані на поглинанні діоксиду сульфуру різними сорбентами. На відміну від інших сорбентів, адсорбція оксидів сульфуру на цеолітах – альтернативний метод, який особливо ефективний для видалення SO₂ низьких концентрацій (до 1%). Моделювання такого процесу дозволить