

NEWS**OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN
SERIES CHEMISTRY AND TECHNOLOGY**

ISSN 2224-5286

Volume 1, Number 427 (2018), 87 – 92

УДК 66.02.071.7

А.А. Ешжанов¹, А.А. Волненко¹, А.Э. Левданский², Б.Н. Корганбаев¹¹ Южно-Казахстанский государственный университет им. М. Ауэзова, г. Шымкент, Казахстан;² Белорусский государственный технологический университет, г. Минск, Беларусь
e-mail: nii_mm@mail.ru**К РАСЧЕТУ ЭКВИВАЛЕНТНОГО ДИАМЕТРА
КОМБИНИРОВАННОЙ РЕГУЛЯРНО-ВЗЕШЕННОЙ НАСАДКИ**

Аннотация. Исходя из анализа работы существующих тепломассообменных аппаратов со стационарной насадкой, показаны преимущества аппарата с трубчатой насадкой регулярной структуры, заключающиеся в том, что в трубчатой насадке возможно регулирование процесса теплообмена непосредственно в зоне контакта при подаче теплоносителя в трубы. При этом контакт происходит через стенки труб и движение теплоносителя в трубах не влияет на структуру газожидкостного слоя в аппарате. Дополнительные преимущества дают введение в контактную зону дискретных контактных элементов (шары, кубики и т.д.), которые при рабочих условиях обеспечивают очистку поверхностей контактной зоны трубного пространства, сохраняют синфазный режим взаимодействия вихрей и увеличивают межфазную поверхность.

Рассмотрено движение газа через стационарную насадку по извилистым каналам, образованным насадочными телами. Применительно к тепломассообменному аппарату с комбинированной регулярно – взешенной насадкой получены уравнения для определения удельной поверхности трубчато - шаровой насадки, их объемной порозности, а также уравнение для расчета ее эквивалентного диаметра.

Дан анализ влияния шагов расположения труб в вертикальном и радиальном направлениях, диаметров труб и шаровой насадки на величину эквивалентного диаметра.

Ключевые слова: регулярная насадка, вертикальный шаг, радиальный шаг, трубы, шары, трубчато-шаровая насадка, удельная поверхность, порозность, эквивалентный диаметр.

Введение. В настоящее время разработано большое количество тепломассообменных аппаратов, используемых для проведения процессов абсорбции, ректификации, экстракции, охлаждения газов и жидкостей [1-5].

В большинстве случаев, в силу своих конструктивных особенностей, разработанные аппараты могут быть использованы для проведения только одного технологического процесса [6-10] или сопутствующих процессов [11-15]. Например, абсорбция горячего газа, содержащего твердые частицы. Основным процессом является абсорбция, но параллельно ей осуществляется теплообмен и очистка от твердых частиц. При этом регулирование параллельно протекающих процессов практически невозможно.

Особенностью разработанной и исследованной конструкции аппарата с трубчатой насадкой регулярной структуры [16] является то, что в ней возможно регулирование процесса теплообмена непосредственно в зоне контакта при подаче теплоносителя в трубы. При этом контакт происходит через стенки труб и движение теплоносителя в трубах не влияет на структуру газожидкостного слоя в аппарате.

Недостатком известного аппарата является то, что при проведении некоторых массообменных процессов (например, в производстве кальцинированной соды аммиачным способом в процессах абсорбции аммиака и углекислого газа раствором хлорида натрия) происходит выпадение тонкодисперсных твердых частиц, отлагающихся на трубном пучке и стенках аппарата, в результате чего возможно зарастание межтрубного пространства, приводящего к нарушению

синфазного режима, а, следовательно, к значительному снижению эффективности проводимых процессов [17-19].

Для исключения этого предлагается ввести в контактную зону дискретные контактные элементы (шары, кубики и т.д.), которые при рабочих условиях обеспечивают очистку поверхностей контактной зоны трубного пространства, сохраняют синфазный режим взаимодействия вихрей и увеличивают межфазную поверхность [20].

Методы исследований. Для проведения исследований использованы численные методы с применением ЭВМ.

Результаты исследований. Газ движется через насадку по извилистым каналам, образованным насадочными телами. Сечение этих каналов не постоянно по высоте аппарата и, следовательно, скорость газа также является переменной величиной. При изучении насадочных абсорбераов исходят из средней скорости газа, которую находят делением объемного расхода газа на среднее сечение каналов [2].

Для насадочных аппаратов со стационарной насадкой [2] площадь сечения колонны S (м^2), высота насадки H (м) и ее свободный объем ε . Тогда объем пустот в насадке, т.е. объем каналов, по которым движется газ, составляет $SH\varepsilon$ (м^3). Средняя длина каналов (длина пути газа) равна Hk (здесь k – коэффициент, учитывающий извилистость каналов). Среднее значение каналов составляет:

$$S_{\text{кан}} = \frac{S \cdot H \cdot \varepsilon}{H \cdot k} = \frac{S \cdot \varepsilon}{k} \quad (1)$$

Величину $\omega = S_{\text{кан}}/S = \varepsilon/k$, равную отношению среднего сечения каналов к сечению колонны, называют живым сечением насадки [2].

Средняя скорость газа:

$$w = \frac{V_\varepsilon}{S_{\text{кан}}} = \frac{V_\varepsilon}{S \cdot \omega} = \frac{w_0 \cdot k}{\varepsilon}, \quad (2)$$

где $w_0 = V_\varepsilon/S$ - скорость газа, отнесенная ко всему сечению колонны.

Обычно принимают $k=1$, тогда $\omega = \varepsilon$ и уравнение (2) принимает вид:

$$w = \frac{w_0}{\varepsilon} \quad (3)$$

Эквивалентный диаметр насадки определим как эквивалентный диаметр каналов, по которым движется газ [2]:

$$d_{\text{экв}} = \frac{4\varepsilon}{a_h}, \quad (4)$$

где ε - объемная порозность насадки; a_h – удельная поверхность насадки в единице объема аппарата.

Для вывода уравнения эквивалентного диаметра насадки применительно к тепломассообменному аппарату с комбинированной регулярно – взешенной насадкой [17] определим составляющие формулы (4).

Удельная поверхность трубчатой насадки рассчитывается по формуле:

$$a_{mp} = \frac{\pi d_{mp}}{2 \cdot t_p \cdot t_e}, \quad (5)$$

где t_p - величина шага между трубами в радиальном направлении; t_e - величина шага между трубами в вертикальном направлении.

Удельная поверхность шаровой насадки определим по формуле:

$$a_{uu} = \frac{\pi d_{uu}^2}{2 \cdot t_p \cdot t_e \cdot l} \quad (6)$$

Здесь l – размер эквивалентный длине труб, м. Для шаровой насадки можно представить:

$$l = m \cdot d_{uu} \quad (7)$$

Тогда

$$a_{uu} = \frac{\pi d_{uu}}{2 \cdot m \cdot t_p \cdot t_e} \quad (8)$$

Удельная поверхность трубчато - шаровой насадки составит:

$$a_{obui} = a_{mp} + a_{uu} = \frac{\pi(m \cdot d_{mp} + d_{uu})}{2 \cdot m \cdot t_p \cdot t_e} \quad (9)$$

Объемную порозность трубчатой насадки определим по формуле:

$$\varepsilon_{mp} = 1 - \frac{\pi d_{mp}^2}{2 \cdot t_p \cdot t_e} \quad (10)$$

Для определения объемной порозности слоя шаровой насадки определим объем слоя:

$$V_{cl} = h \cdot \varepsilon \cdot l, \quad (11)$$

В этом уравнении:

относительная высота - $h = n_1 \cdot d_{uu}$. Количество шаров $h/d_{uu} = n_1$;

относительная ширина - $\varepsilon = (t_p + d_{mp}) = n_2 \cdot d_{uu}$. Количество шаров $(t_p + d_{mp})/d_{uu} = n_2$;

относительная длина слоя l .

Подставляя полученные значения в уравнение (11), получим:

$$V_{cl} = \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot l \cdot \pi \cdot d_{uu}}{6} \quad (12)$$

Единица объема аппарата:

$$V_{an} = 2 \cdot t_p \cdot t_e \cdot l \quad (13)$$

Тогда порозность шаровой насадки:

$$\varepsilon_{uu} = 1 - \frac{V_{cl}}{V_{an}} = 1 - \frac{n_1 \cdot n_2 \cdot \pi \cdot d_{uu}}{12 \cdot t_p \cdot t_e} \quad (14)$$

Объемная порозность трубчато-шаровой насадки:

$$\varepsilon_{обу} = 1 - \left[\frac{\pi \cdot (6 \cdot d_{mp}^2 + n_1 \cdot n_2 \cdot \pi \cdot d_{uu}^2)}{12 \cdot t_p \cdot t_e} \right] \quad (15)$$

Эквивалентный диаметр трубчато-шаровой насадки:

$$d_{\varphi_{\text{кв}}} = \frac{2 \cdot m \cdot [12 \cdot t_p \cdot t_e - \pi \cdot (6 \cdot d_{mp}^2 + n_1 \cdot n_2 \cdot d_{uu}^2)]}{3 \cdot \pi (m \cdot d_{mp} + d_{uu})} \quad (16)$$

На рисунках 1 и 2 приведены результаты расчета по полученным уравнениям.

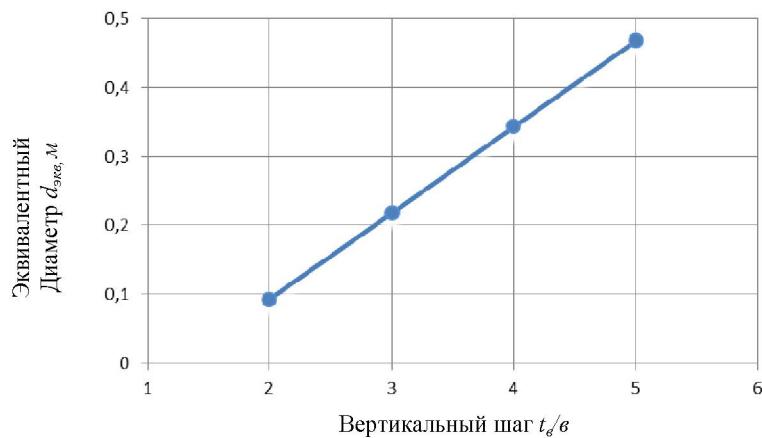


Рисунок 1 – Зависимость эквивалентного диаметра регулярно-взвешенной насадки $d_{\varphi_{\text{кв}}}$ от шагов расположения труб в вертикальном направлении t_e / ϵ

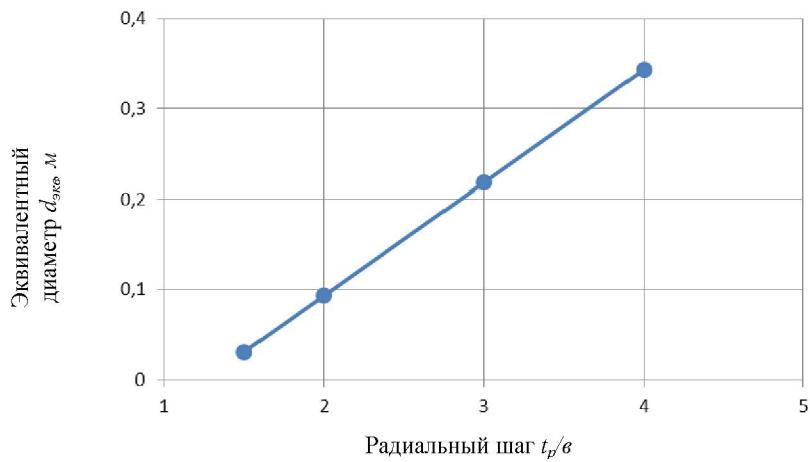


Рисунок 2 – Зависимость эквивалентного диаметра регулярно-взвешенной насадки $d_{\varphi_{\text{кв}}}$ от шагов расположения труб в радиальном направлении t_p / ϵ

Как видно из рисунка 1 при изменении шагов расположения труб в вертикальном направлении t_p/d от 2 до 5, также как и при изменении шагов расположения труб в радиальном направлении t_p/d от 1,5 до 2 (рисунок 2) значение величин $d_{экв}$ растут. Это очевидно, так как зависимость эквивалентного диаметра от шагов расположения труб прямо пропорциональна.

Расчет по уравнению (16) показывает, что с увеличением диаметра труб значения величин эквивалентного диаметра увеличиваются, тогда как с увеличением диаметра шаров снижается.

Выводы. Рассмотрено движение газа через стационарную насадку по извилистым каналам, образованным насадочными телами. Применительно к тепломассообменному аппарату с комбинированной регулярно – взешенной насадкой получены уравнения для определения удельной поверхности трубчато - шаровой насадки, их объемной порозности, а также уравнение для расчета ее эквивалентного диаметра.

Дан анализ влияния шагов расположения труб в вертикальном и радиальном направлениях, диаметров труб и шаровой насадки на величину эквивалентного диаметра.

ЛИТЕРАТУРА

- [1] Касаткин А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1975. – 752с. ISBN: 5-98535-004-5
- [2] Рамм В.М. Абсорбция газов. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
- [3] Кафаров В.В. Основы массопередачи. – М.: Высш. школа, 1979. – 439с.
- [4] Дыгтерский Ю.И. Основные процессы и аппараты химической технологии. – М.: Химия, 1991. – 496с. ISBN: 5-7245-0133-3
- [5] Машины и аппараты химических производств /Под ред. И.И. Чернобыльского. - М.: Машиностроение, 1975. - 454с.
- [6] Рамм В.М. Абсорбция газов. 2-е изд. перераб. и доп. – М.: Химия, 1976. – 656с.
- [7] Справочник по пыле – и золоулавливанию / М.И.Биргер, А.Ю.Вальдберг, Б.И.Мягков и др. Под общ. ред. А.А.Русанова. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312с.
- [8] Вальдберг А.Ю., Ковалевский Ю.В., Лебедюк Г.К. Мокрые пылеуловители ударно-инерционного, центробежного и форсуночного действия. – М.: ЦИНТИХимнефтемаш, 1981. – 38с.
- [9] Дергачев Н.Ф. Мокрые золоуловители системы ВТИ. М.-Л.: Госэнергоиздат, 1960. – 96с.
- [10] Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов: Справ. изд. /Алиев Г.М.-А. М.: Металлургия, 1986. – 544с. ISBN: 5-45825-201-2
- [11] Абсорбция и пылеулавливание в производстве минеральных удобрений /О.С.Ковалев, И.П.Мухленов, А.Ф.Туболкин, О.С.Балабеков и др.; под ред. И.П.Мухленова, О.С.Ковалева. – М.: Химия, 1987. – 208с.
- [12] Пленочная тепло- и массообменная аппаратура. (Процессы и аппараты химической и нефтехимической технологии) / Под ред. В.М. Олевского. – М.: Химия, 1988. – 240с. ISBN: 5-7245-0080-9
- [13] Йордан В. Скреббер Вентури и дезинтегратор для охлаждения используемых и отходящих газов // Черные металлы. – 1966. - №7. – С.399 – 401.
- [14] Сажин Б.С., Тюрин М.П. Энергосберегающие процессы и аппараты текстильных и химических предприятий. – М.: МГТУ, 2001. – 239с. ISBN: 5-02-001540-7
- [15] Андреев Е.И. Расчет тепло - и массообмена в контактных аппаратах. Л.: Энергоатомиздат, 1985.-192с.
- [16] Инновационный патент №30217 Республика Казахстан. МПК B01D 53/20, B01D 47/14. Аппарат с насадкой для тепломассообмена и пылеулавливания / Волненко А.А., Балабеков О. С., Сарсенбекулы Д., Жумадуллаев Д.К., Корганбаев Б.Н.; заявитель и патентообладатель ЮКГУ им.М.Ауэзова. - № 2014/1176.1; заявл. 09.09.14; опубл. 17.08.15, Бюл. №8. – 4 с.
- [17] Зайцев И.Д., Ткач Г.А., Стоев Н.Д. Производство соды. – М.: Химия, 1986. – 312с.
- [18] Крапенинников С.А. Технология кальцинированной соды и очищенного бикарбоната натрия. – М.: Высш. школа, 1985. – 287с.
- [19] Крапенинников С.А., Греф Т.С. Технология кальцинированной соды, щелочей и глинозема. – М.: МХТИ им.Д.И.Менделеева, 1988. – 48с.
- [20] Патент на полезную модель №2092 МПК B01D 53/20, 47/14. Аппарат с насадкой для тепломассообмена и пылеулавливания / Бишимибаев В.К., Волненко А.А., Ескендиров М.З., Протопопов А.В., Жантасов К.Т., Анарбаев А.А. Опубл. 30.03.17, бюл. №6.

