

Секция V

**АППАРАТУРНОЕ ОФОРМЛЕНИЕ ПРОЦЕССОВ.
ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ТЕПЛООБМЕННОЙ
АППАРАТУРЫ ХИМИЧЕСКОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ.
ЦИФРОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ**

УДК 621.928; 66.011

Вайцехович П.Е., Левданский Э.И., Волк А.М.
(Белорусский государственный технологический университет)

**ЦЕНТРОБЕЖНЫЕ СЕПАРАТОРЫ
ДЛЯ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ**

Массообменные аппараты широко используются в химической и нефтехимической промышленности. Одной из основных проблем этих аппаратов является капельный унос жидкой фазы. Межтарельчатый унос снижает эффективность массопередачи, а унос между аппаратами нарушает работу технологических установок в целом. Для снижения уноса используются различные типы сепарационных устройств. Это, преимущественно, пакет металлической сетки в верхней части колонны или выносной гравитационный сепаратор в виде емкости, в которой снижается скорость газа (пара). Первый из них характеризуется низкой эффективностью, второй – обладает тем же недостатком и имеет большую металлоемкость.

Проблемы уноса в массообменных аппаратах могут быть успешно решены при использовании центробежных сепарационных устройств. Основным силовым фактором в них является инерционная центробежная сила, значительно превышающая силу тяжести, что предопределяет их высокую эффективность. Кроме того, из-за высоких допустимых скоростей газа они компактны и менее металлоемки.

Центробежные сепарирующие устройства включают центробежные патрубки, установленные на общей тарелке. В нижней части они снабжены завихрителем газового потока, в верхней – устройством для отделения жидкой фазы. Центробежные сепарационные элементы работают в режиме восходящего прямотока. Завихрители чаще всего выполняются лопастными или в виде тангенциальных прорезей. Устройства для отделения жидкостей – колпачек, боковые прорези, сетчатая поверхность.

Авторами данной работы накоплен огромный опыт разработке, исследованию и внедрению центробежных сепарационных устройств [1, 2]. Влияние технологических и конструктивных параметров основательно изучены при выполнении диссертационных работ [3, 4].

Общим подходом для всех работ является то, что движение капельной жидкости в сепарационном элементе с учетом геометрических и гидродинамических параметров в достаточно точной степени можно рассчитать по уравнениям (1)

$$\begin{cases} m_a \left(\frac{dV_r}{dt} - \frac{V_\phi^2}{r} \right) = F_r - F_\Pi, \\ m_a \left(\frac{dV_\phi}{dt} + 2 \frac{V_\phi V_r}{r} \right) = F_\phi, \\ m_a \frac{dV_z}{dt} = m_a g + F_z - F_A. \end{cases} \quad (1)$$

Данная система уравнений описывает движение частицы в закрученном газовом потоке. Принимается, что частицы имеют сферическую форму радиуса a , плотностью ρ_a , массой m . Скорость частицы обозначается через V , а скорость газового потока через W .

Входящие в уравнение движения силы описаны в работе [5].

1. Сила воздействия внешних силовых полей – сила тяжести

$$\vec{F}_g = m_a g = \rho_a V_a \vec{g}. \quad (2)$$

2. Силы, обусловленные неравномерным распределением давления по поверхности частицы при ее движении в сплошном потоке, сила Архимеда

$$\vec{F}_A = \rho_0 V_a \vec{g}. \quad (3)$$

3. Сила гидродинамического воздействия $\vec{F} = F_r \vec{e}_r + F_\phi \vec{e}_\phi + F_z \vec{e}_z$ потока, движущегося с некоторой скоростью относительно частицы, будет:

$$\vec{F} = \zeta \cdot \frac{1}{2} \rho_\Gamma |\vec{W} - \vec{V}| (\vec{W} - \vec{V}) \pi a^2. \quad (4)$$

Коэффициент сопротивления ζ зависит от режима движения частицы и определяется числом Рейнольдса:

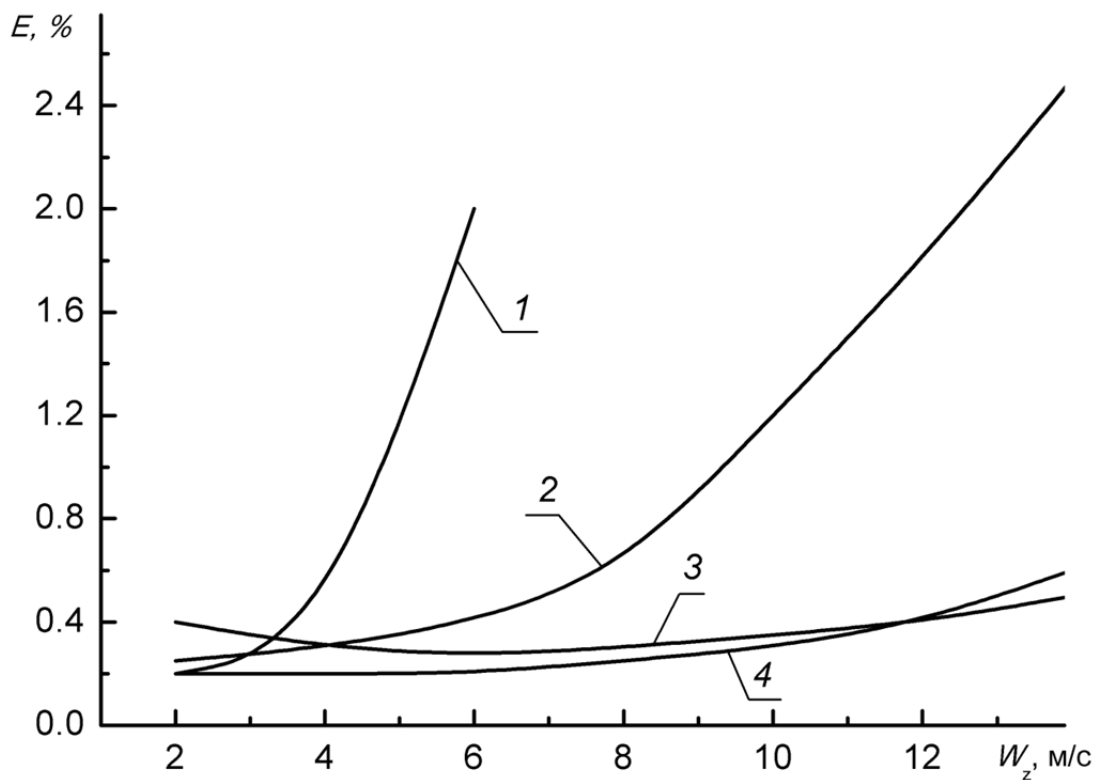
$$\text{Re}_a = |\vec{W} - \vec{V}| \frac{2a}{\nu}. \quad (5)$$

Для нахождения коэффициента сопротивления более удобной является зависимость

$$\zeta = \frac{24(1 + 0,17 \text{Re}_a^{2/3})}{\text{Re}_a}. \quad (6)$$

Полученный анализ сил позволил рассчитать траекторию движения жидких частиц в газовых потоках и оценить эффективность сепарации.

Основательные теоретические и экспериментальные исследования [1, 5] позволили установить оптимальные технологические и конструктивные параметры центробежных сепарационных устройств и рассчитать эффективность процесса сепарации.



1 – сетчатый сепаратор, 2 – циклон ЦН-15;
 3 – центробежный сепаратор элементного типа с отбойными колпачками;
 4 – центробежный сепаратор с патрубками из фильтровальной сетки

Рисунок 1 – Результаты сравнительных испытаний сепараторов

Сепарационные устройства характеризуются своими основными показателями: эффективностью разделения газожидкостных потоков, производительностью и гидравлическим сопротивлением. Но не менее важными являются надежность работы, диапазон изменения

нагрузок, металлоемкость капитальные и эксплуатационные затраты. Выполненный анализ эффективности газоцентрибежных разделителей, сетчатого сепаратора и циклона представлен на рис.1.

Сетчатый сепаратор изготавливался из сетки в виде проволочного рукава с диаметром нержавеющей стальной проволоки 0,2 мм. Рукав сматывался в рулон диаметром 300 мм. Два рулона плотно устанавливались друг на друга, и их общая высота составляла 140 мм.

Анализ приведенных данных показывает, что при скоростях газа до 5 м/с эффективность всех конструкций отличается незначительно. Наибольшую эффективность имеет сепаратор из фильтровальной сетки (унос 0,1%), наименьшую – сепаратор с отбойными колпачками (унос 0,4%). Унос из циклона составил 0,3%, а из сетчатого сепаратора – 0,15%. Но при скоростях газа выше 5 м/с сетчатый сепаратор прекращает работать, в нем наблюдается полный унос жидкости, а эффективность циклона существенно снижается.

Газоцентрибежные сепараторы обеспечивают унос не более 0,6% при скорости газа 12 м/с, что более чем в два раза ниже по сравнению с циклоном.

Конечно, с повышением эффективности увеличивается и гидравлическое сопротивление. Задача исследователей заключается в достижении минимально возможных затрат при максимальном эффекте.

В целом авторы считают, что использование центробежных сепарационных устройств позволит решить многие производственные проблемы без дополнительных материальных затрат.

Литература

1. Левданский А. Э., Левданский Э. И. Высокоэффективные процессы и аппараты. – Мн.: БГТУ, 2001. – 235 с.
2. Волк А. М. Закономерности процесса разделения суспензий с использованием закрученного газового потока: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Волк Анатолий Матвеевич. – Мн. : БТИ им. С. М. Кирова, 1990. – 124 с.
3. Марков В. А. Разделение фаз в тепломассообменных аппаратах: дис. ... докт. техн. наук: 05.17.08 / Марков Владимир Алексеевич. – Мн.: БГТУ, 1996. – 333 с.
4. Вайцехович П. Е. Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / Вайцехович Петр Евгеньевич. – Мн.: БТИ им. С. М. Кирова, 1982. – 211 с.
5. Волк А. М. Разделение многофазных систем в полях массовых сил / А. М. Волк, В. А. Марков. – Мн.: БГТУ, 2006. – 216 с.