



## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ГАЗОЖИДКОСТНЫХ АППАРАТОВ В ПРОМЫШЛЕННОСТИ

**В. К. Леонтьев, О. Н. Кораблева, Е. А. Гирба**

Леонтьев В.К., канд. техн. наук, доцент; Кораблева О.Н., канд. хим. наук, доцент; Гирба Е.А., канд. техн. наук, доцент

Институт химии и химической технологии, Ярославский государственный технический университет, Московский пр., 88, Ярославль, Российская Федерация, 150023

E-mail: leontievvk@ystu.ru; korablevaon@yandex.ru; girbaea@ystu.ru

---

**Ключевые слова:**

газожидкостной аппарат, диспергирование, перемешивающее устройство, газожидкостной эжекционный аппарат, эффективность

Рассмотрены различные конструкции газожидкостных аппаратов, в которых газожидкостная система получает запас кинетической энергии от перемешивающего устройства или одной из контактируемых фаз. Представлены некоторые конструкции наиболее распространенных аппаратов с эжекционным диспергированием газа и проведен анализ их эффективности.

---

### Введение

Непрерывно развивающиеся технологии производства в химической, нефтехимической, микробиологической и других отраслях промышленности неразрывно связаны с необходимостью повышения эффективности тепло- и массообмена и интенсификации процесса смешения. Экономичность и удельная производительность оборудования определяются конструкцией аппарата, зависят от способа ввода энергии в рабочую среду и ее распределения в рабочем объеме [1-3]. Большое распространение получили аппараты с инжектированием газа жидкостью, т.е. подводом механической энергии. Аппараты данного типа должны обеспечивать высокие газовые нагрузки на единицу площади поперечного сечения аппарата, обладать высокой удельной поверхностью, простотой конструкции, технологичностью в исполнении, бесперебойностью в работе, возможностью быстрого регулирования скорости протекания процесса в аппарате [4, 5].

### Основная часть

Высокая эффективность работы газожидкостных аппаратов обеспечивается за счет сохранения высокой степени диспергирования при изменении расхода сырья [6].

Экспериментальные исследования гидродинамики двухфазного потока в газожидкостных аппаратах показали, что одним из определяющих факторов турбулизации является давление газового потока. При этом основной гидродинамической характеристикой двухфазного потока является газосодержание [7, 8].

Имеется большое разнообразие турбулизирующих газожидкостных устройств, в которых осуществляется принцип контакта газа с жидкостью, а газожидкостная смесь



получает определенный запас кинетической энергии от перемешивающего устройства или одной из контактирующих фаз [9,10].

На рис. 1 представлены некоторые типы аппаратов, относящиеся к данному классу.

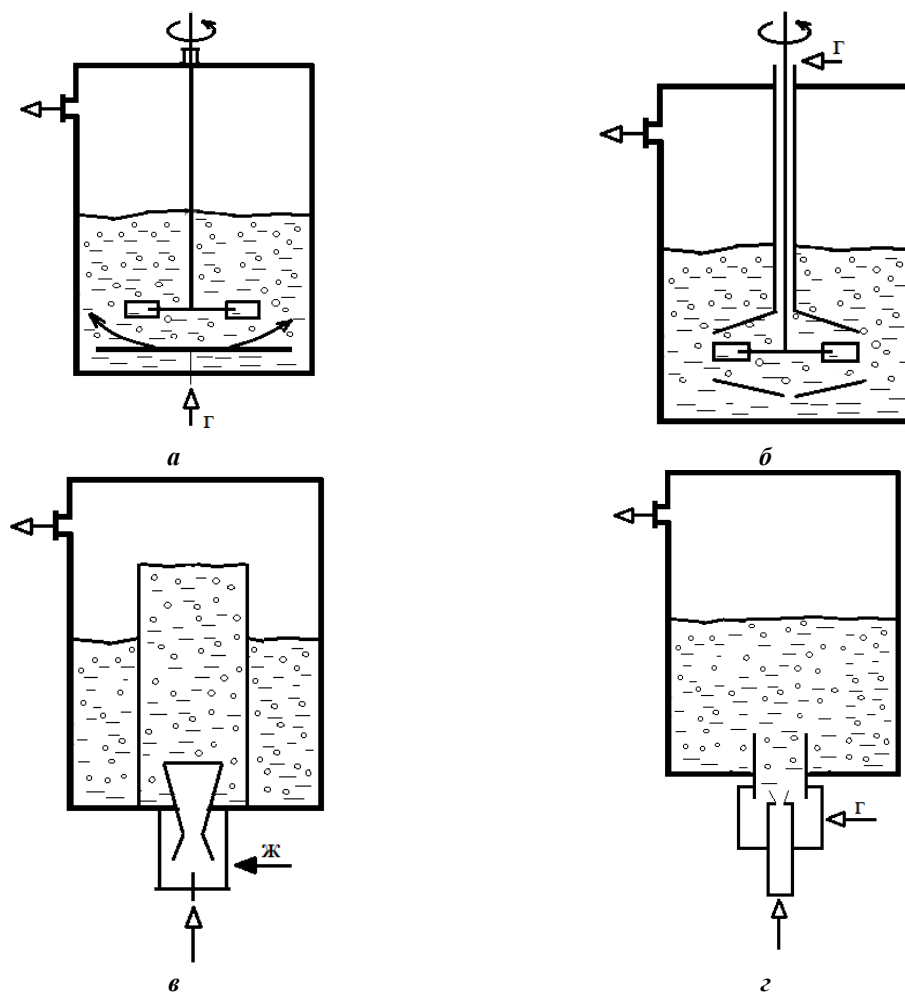


Рис. 1. Газожидкостные аппараты с различными диспергирующими устройствами:

*а* – с турбинной мешалкой открытого типа; *б* – самовсасывающие турбинные мешалки закрытого типа; *в* – инжектирование и диспергирование газа через насадок; *г* – с гидродинамической мешалкой

На рис. 1, *а* представлен аппарат, в котором в качестве диспергатора используется турбинная мешалка открытого типа. Подача газа осуществляется через барботер под мешалку. За счет создания большого градиента поперечного сдвига в слоях жидкости такие аппараты более эффективны в смысле создания удельной поверхности контакта фаз. Они обеспечивают больший расход газа на единицу площади поперечного сечения ( $q_{\Gamma} > 0,03 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{с}$ ), чем аппараты с другими типами мешалок.

При использовании самовсасывающих мешалок типа «полый трубы» (рис. 1, *б*) основным недостатком является малый коэффициент инжекции, что приводит к малому значению удельного расхода газа.

На рис. 1, *в* изображена схема аппарата, получение газожидкостной дисперсии в котором осуществляется инжектором. Носителем энергии является газ, поступающий в сопло. Образовавшаяся газожидкостная смесь направляется в цилиндр, где создается слой пены. Аппарат данного типа не обеспечивает большого значения коэффициента инжекции.



Применение жидкогазового инжектора, в котором носителем энергии служит жидкость, вытекающая в виде струи из сопла, инжектируя газ (рис. 1, 2), обеспечивает высокую массообменную способность и поверхность контакта фаз.

Анализ типовых конструкций газожидкостных аппаратов позволил создать более эффективный газожидкостный аппарат с инжекционным диспергированием газа. Основными достоинствами аппарата являются: 1) высокая удельная поверхность контакта фаз, 2) высокий удельный расход газового потока, 3) отсутствие застойных зон, 4) простота конструкции, 5) технологичность в изготовлении, 6) легкость ремонта, 7) возможность быстрого регулирования скорости протекания процесса в аппарате, 8) обеспечение необходимого температурного режима технологического процесса.

Многочисленные теоретические и экспериментальные исследования гидродинамики и массообмена в таких аппаратах позволили разработать многообразие конструкций аппаратов данного типа. На рис. 2 представлены некоторые конструкции наиболее распространенных аппаратов с эжекционным диспергированием газа [11].

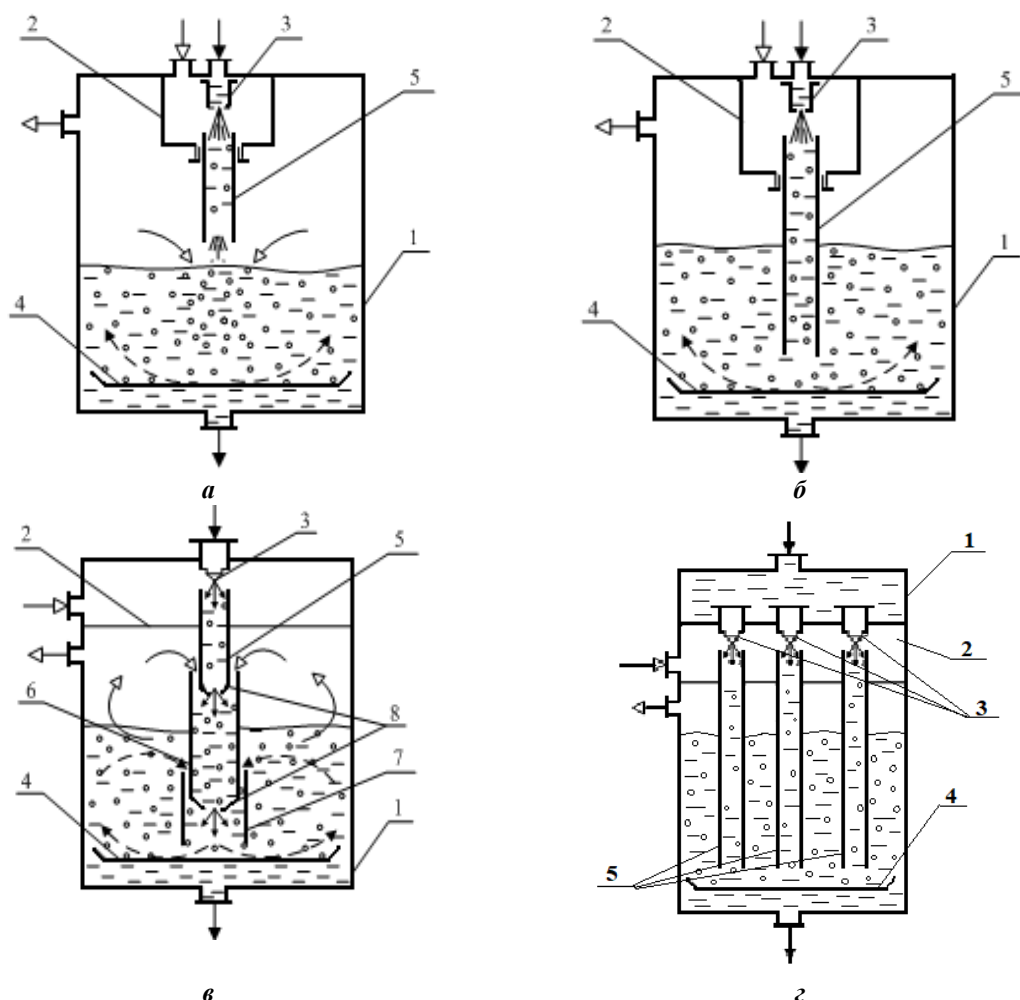


Рис. 2. Конструкции газожидкостных эжекционных аппаратов:

*а* – газожидкостной эжекционный аппарат с газожидкостной струей и коротким эжектором; *б* – газожидкостной эжекционный аппарат с длинным эжектором; *в* – газожидкостной эжекционный аппарат с многоярусным эжектором; *г* – многосопловой газожидкостной эжекционный аппарат;

1 – корпус; 2 – эжекционная камера; 3 – распылитель жидкости (форсунка); 4 – диспергатор; 5, 6, 7 – эжекторы-смесители; 8 – сопла



В представленных конструкциях газожидкостных аппаратов для интенсификации теплообменных и массообменных процессов используется попеременное изменение формы и направления потока, удар потока о твердые преграды-отбойники, закручивание, взаимная эжекция и инверсия фаз, наложение пульсаций, эффективное распыливание жидкости.

Аппараты работают следующим образом: жидкость под давлением подается в форсунку, распыливается и засасывает газ, поступающий в эжекторную камеру. Образовавшаяся газожидкостная смесь проходит через эжектор-смеситель. В эжекторе происходит контакт жидкости и газа при развитой поверхности распыленной жидкости. В зависимости от режима работы эжектора, его геометрических параметров и перепада давления на форсунке, в эжекторе может образовываться газожидкостный двухфазный поток с различным соотношением жидкости и газа. Двухфазный поток может быть с дисперсной жидкой или газовой фазой. При определенных условиях может происходить инверсия фаз. Подобный режим работы наиболее эффективен ввиду того, что в момент инверсии наблюдается наибольшее значение коэффициента массопередачи. При выходе из эжектора газожидкостный поток ударяется в диспергатор. При ударе газожидкостного потока о диспергатор газовые пузырьки дробятся – происходит следующая стадия контакта газа с жидкостью. Затем образовавшая смесь распределяется по реакционному объему аппарата, где осуществляется еще одна стадия контакта газа с жидкостью.

Особенности работы каждой из представленных конструкций заключаются в следующем.

В эжекторном аппарате с газожидкостной струей и коротким эжектором (рис. 2, а) имеется газожидкостная струя, которая дополнительно захватывает газ из пространства из реакционного объема, что увеличивает газосодержание в аппарате.

Эжекторный аппарат с многоярусным эжектором (рис. 2, в) создает значительные скорости сдвига и многократный контакт газа и жидкости в эжекторе-смесителе.

Особое место среди газожидкостных эжекторных аппаратов занимает многосопловой аппарат (рис. 2, з). Многочисленные экспериментальные исследования показали, что коэффициент эффективности таких аппаратов на 15–20% выше, чем у газожидкостного эжекторного аппарата с длинным эжектором (рис. 2, б).

Одним из наиболее надежных и точных способов оценки эффективности газожидкостных аппаратов считается химический метод, основанный на определении эффективной поверхности контакта фаз, т.е. межфазной поверхности, действительно участвующей в массообменном процессе [11]. Этот метод основан на хемосорбции кислорода из воздуха, которая позволяет определить скорость проводимого процесса, и определении «сульфитного числа».

## Выводы

По результатам экспериментальных исследований было установлено, что из представленных выше конструкций наиболее простой газожидкостной эжекторный аппарат с газожидкостной струей и коротким эжектором, он обеспечивает более высокое (на 6–8%) значение коэффициента массопередачи по сравнению с традиционными



аппаратами с длинным эжектором. Газожидкостной аппарат с многоярусным эжектором отличается сложностью конструкции, однако по значениям «сульфитных чисел» значительно превосходит остальные аппараты – более чем на 15%, что позволяет значительно интенсифицировать процессы тепло- и массообмена. Еще бóльшие (на 15–20%) значения «сульфитных чисел» имеет многосопловой газожидкостной эжекционный аппарат.

### Литература

1. Леонтьев В.К., Барашева М.А. Расчет газожидкостного эжекционного аппарата для проведения процесса абсорбции. *Изв. вузов. Химия и хим. технология*. 2012. Т. 55. № 12. С. 98-100.
2. Басаргин Б.Н., Галицкий И.В., Гуцин Ю.И. Массообменные и теплообменные процессы химической технологии. *Сб. науч. тр. Ярослав. политехн. ин-та*. 1975. С. 39–44.
3. Кан Н.С., Нургазизова Т.Т., Кораблева О.Н., Леонтьев В.К. О поверхности контакта фаз в смесителе газожидкостного эжекционного аппарата. *Семьдесят четвертая всероссийская научно-техническая конференция студентов, магистрантов и аспирантов высших учебных заведений с международным участием: сборник материалов конференции*. 2021. Ч. 1. С. 171-174.
4. Ульянов Б.А., Бадеников В.Я., Ликучев В.Г. Процессы и аппараты химической технологии. Ангарск: Изд-во АГТА, 2005. 903 с.
5. Фролов В.Ф. Лекции по курсу «Процессы и аппараты химической технологии». СПб.: Химиздат, 2003. 608 с.
6. Пат РФ № 2176929. Газожидкостной реактор / Ф.Ш. Хафизов, Н.Ф. Хафизов, В.С. Андреев, В.А. Зязин, Ю.Г. Морочкин, И.Ф. Хафизов. Оpubл. 20.12.2001, Бюл. № 35.
7. Лепешинский И.Л., Истомин Е.Л., Заранкевич И.Л., Решетников В.Л. Смесительное устройство пузрырьковой структуры открытого типа. *Известия вузов. Авиационная техника*. 2016. № 3. С. 71-75.
8. Леонтьев В.К., Кораблева О.Н. Расчет энергии аэрирования рабочего объема в газожидкостных эжекционных аппаратах. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2021. № 4. С. 48.
9. Пат. РФ № 167023 Аппарат для контакта газа с жидкостью / В.К. Леонтьев, О.Н. Кораблева, О.В. Смирнова, И.А. Невзоров, Т.В. Погодина. Оpubл. 20.12.2016, Бюл. № 35.
10. Пат. РФ № 152989 Аппарат для контакта газа с жидкостью с комбинированным сопловым элементом / В.К. Леонтьев, О.Н. Кораблева. Оpubл. 27.06.2015, Бюл. № 18.
11. Леонтьев В.К., Кораблева О.Н. Разработка конструкций газожидкостных эжекционных аппаратов. *Химическое и нефтегазовое машиностроение*. 2016. № 3. С. 8-10.

Поступила в редакцию 01.05.2021

Принята к опубликованию 28.05.2021