

УДК 663.551.41

**ИССЛЕДОВАНИЕ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ  
И ЭФФЕКТИВНОСТИ КЛАПАННОЙ ТАРЕЛКИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ***канд. техн. наук, доц. В.Б. ХАЛИЛ, М.Дж. АЛЬ-САЭДИ  
(Полоцкий государственный университет);**канд. техн. наук Д.И. МИСЮЛЯ  
(Белорусский государственный технологический университет, Минск)*

*Демонстрируется новая конструкция клапанной тарелки. Приведены результаты экспериментальных исследований. Показаны графические зависимости гидравлического сопротивления и эффективности разработанной тарелки от скорости газа в колонне. Сделан вывод об эффективности разработанной тарелки, обусловленной повышенным диспергированием газовой фазы с помощью перфорированных колпачков, что приводит к увеличению поверхности контакта фаз, а следовательно, и эффективности массообмена.*

**Введение.** Химическая промышленность – одна из наиболее крупных отраслей промышленного комплекса Республики Беларусь. Технология производства самых разнообразных химических продуктов и материалов включает ряд однотипных физических и физико-химических процессов, характеризующих общими закономерностями. Эти процессы в различных производствах проводятся в аналогичных по принципу действия машинах и аппаратах.

Приоритетным направлением развития конкурентоспособности химических, нефтехимических и нефтегазоперерабатывающих производств Беларуси является модернизация существующих или создание новых массообменных аппаратов большой единичной мощности.

Один из основных и широко распространенных процессов химической технологии – процесс массообмена между жидкой и газовой фазами, который реализуется в колонных аппаратах, оборудованных разнообразными контактными устройствами, обеспечивающими эффективный массообмен при высокой пропускной способности, низком гидравлическом сопротивлении и минимальной склонности к забивке загрязнениями, присутствующими в реальных технологических средах. Применительно к абсорбционным и десорбционным аппаратам это означает необходимость разработки новых контактных устройств, обеспечивающих интенсификацию межфазного переноса вещества в системах газ – жидкость.

Таким образом, учитывая вышеизложенное, разработка и исследование работы высокоэффективных тарелок для массообменных процессов в системах газ – жидкость для химических производств является актуальной задачей.

Разнообразие конструкций закономерно, так как невозможно существование универсальных, удовлетворяющих всем требованиям практического использования массообменных аппаратов в широком спектре технологических процессов. Их широкое распространение связано с относительно высокой эффективностью разделения, низким перепадом давления, хорошими нагрузочными характеристиками, сравнительно низкой стоимостью и другими факторами в зависимости от области их применения.

Последнее время широкое распространение в нефтехимической промышленности получили клапанные тарелки. Основными преимуществами этих тарелок являются способность обеспечить эффективный массообмен в большом интервале рабочих нагрузок, несложность конструкции, низкая металлоемкость и невысокая стоимость [1; 2].

**Основная часть.** Для повышения эффективности проведения массообменных процессов нами разработана новая конструкция клапанной тарелки, представленная на рисунке 1. Отличительная особенность тарелки – наличие перфорированных колпачков 2, которые крепятся к тарелке болтами, и саморегулирующиеся дисковые клапаны 3, способные подниматься при движении пара (газа). Диаметр отверстий в тарелке для прохода газовой фазы несколько меньше диаметра дисковых клапанов 3 и перфорированных колпачков 2, благодаря чему клапан удерживается на тарелке. Высота подъема клапана ограничивается высотой колпачка.

Принцип работы тарелки следующий. Свободно лежащий над отверстием в тарелке клапан с изменением расхода газа своим весом автоматически регулирует величину площади зазора между клапаном и плоскостью тарелки для прохода газа и тем самым поддерживает постоянной скорость газа при его истечении в барботажный слой. При этом с увеличением скорости газа в колонне гидравлическое сопротивление клапанной тарелки увеличивается незначительно. Жидкость поступает по трубке сверху на тарелку, переливается через приемный порог 4. Снизу поднимается газ, проходя через прорези в колпачках, попадает в жидкость и барботирует через неё в виде пузырьков. При увеличении столба жидкости над тарелкой она переливается через перегородку 5 и стекает вниз, откуда удаляется из колонны.

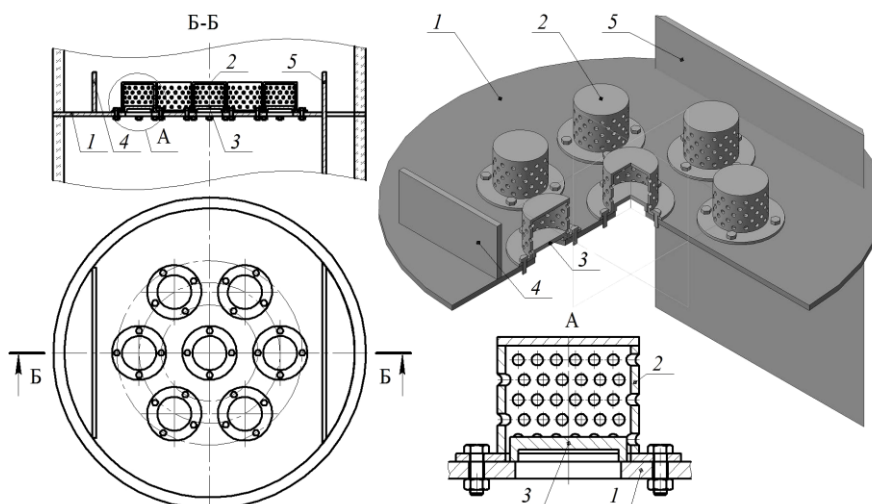


Рис. 1. Конструкция разработанной клапанной тарелки:  
1 – тарелка; 2 – колпачок; 3 – клапан; 4 – приемный порог; 5 – перегородка сливного стакана

Экспериментальные исследования разработанной клапанной тарелки проводились на двух модельных средах:

- 1) десорбция  $\text{CO}_2$  из воды (основное сопротивление массопереносу сосредоточено в жидкой фазе);
- 2) испарение воды с поверхности тарелки (основное сопротивление массопереносу сосредоточено в газовой фазе).

Целью исследований являлось определение гидравлического сопротивления и эффективности усовершенствованной клапанной тарелки.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2.

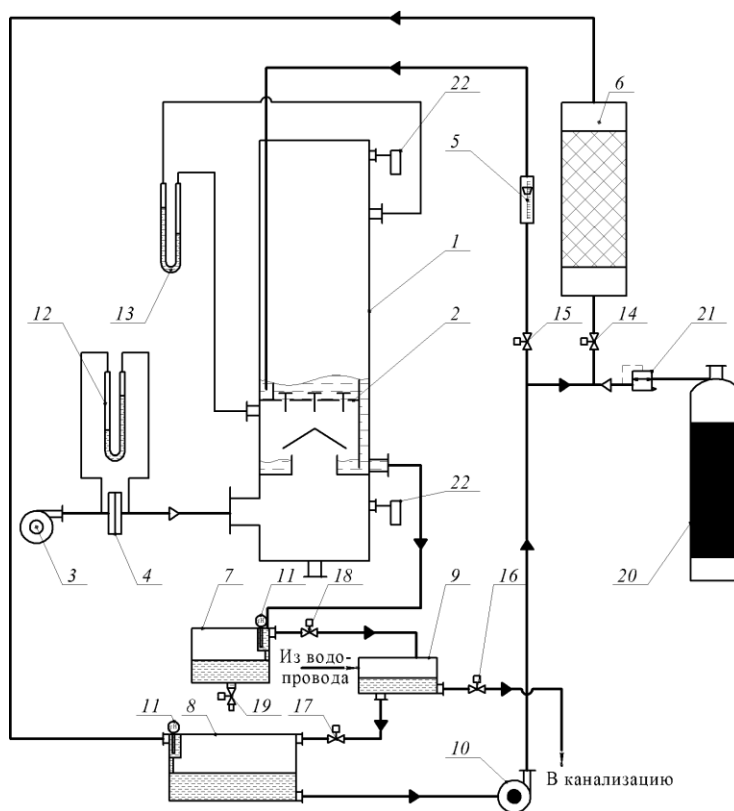


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:  
1 – массообменная колонна; 2 – клапанная тарелка; 3 – вентилятор; 4 – диафрагма; 5 – ротаметр; 6 – колонна насыщения; 7 – емкость для сбора отработанной жидкости; 8 – питающий резервуар; 9 – переливной бак; 10 – насос; 11 – рН-метры; 12, 13 – дифманометры; 14 – 19 – вентили; 20 – баллон с  $\text{CO}_2$ ; 21 – редукционный вентиль; 22 – термометры

Установка работает следующим образом. Воздух вентилятором 3 нагнетается в нижнюю часть колонны 1. Расход воздуха определялся с помощью диафрагмы 4 и дифманометра 12, а величина гидравлического сопротивления тарелки – дифманометра 13. В переливной бак 9 из сетевого водопровода подается необходимое количество воды. При открытии вентиля 17 она движется самотеком в питающий резервуар, откуда подается при помощи насоса 10 в колонну насыщения 6, где обогащается из баллона 20 газом  $\text{CO}_2$ . При этом вентиль подачи жидкости в колонну 15 закрыт, а вентиль 14 открыт. Для регулирования процесса подачи углекислого газа предусмотрен редукционный вентиль 21. Далее обогащенная смесь поступает в питающий резервуар 8. Такое круговое движение продолжается до тех пор, пока исходная жидкость не насытится компонентом до установившегося уровня pH. Обогащенная жидкость при помощи насоса попадает в массообменную колонну, где и происходит процесс десорбции  $\text{CO}_2$ . Расход жидкости определяется с помощью ротаметра 5, при этом вентиль подачи жидкости для обогащения 14 закрыт, а вентиль 15 открыт. Затем отработанная жидкость попадает в резервуар 7, где происходит конечный замер уровня pH. При исследовании испарения с поверхности тарелки жидкость из переливного бака самотеком подается в питающий резервуар, оттуда насосом подается в массообменную колонну, где и происходило ее испарение с поверхности тарелки. Влажность воздуха на входе в колонну и на выходе из нее измерялась термогигрометрами 22, установленными в нижней царге и в верхней части колонны.

Фиктивная (приведенная) скорость воздуха в колонне  $w$ , м/с, т.е. отнесенная к полному сечению колонны, определялась по уравнению [1]

$$w = \frac{4 \cdot V}{\pi \cdot d^2}, \quad (1)$$

где  $V$  – объемный расход воздуха в колонне, определяемый с помощью диафрагмы и дифманометра,  $\text{м}^3/\text{с}$ ;  $d$  – внутренний диаметр колонны, равный 0,144 м.

Гидравлическое сопротивление тарелки определялось по разности статических давлений под и над ней. Плотность орошения в колонне  $q$ ,  $\text{м}^3/(\text{м}^2 \cdot \text{ч})$ , определялась из уравнения расхода

$$q = \frac{4 \cdot Q}{\pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

где  $Q$  – объемный расход жидкости в колонне, определяемый с помощью ротаметра,  $\text{м}^3/\text{ч}$ .

Эффективность массопередачи определялась за счет изменения pH жидкости и влажности воздуха на входе в колонну и на выходе из нее.

При проведении экспериментальных исследований десорбции  $\text{CO}_2$  из воды эффективность клапанной тарелки определялась по уравнению [3]:

$$E = \frac{C_n - C_k}{C_n} = 1 - 10^{-(\text{pH}_k - \text{pH}_n)}, \quad (3)$$

где  $C_n$  и  $C_k$  – концентрации  $\text{CO}_2$  в воде на входе в колонну и на выходе из нее,  $\text{кг}/\text{м}^3$ ;  $\text{pH}_n$  и  $\text{pH}_k$  – pH жидкости на входе в колонну и на выходе из нее.

Содержание  $\text{CO}_2$  определялось по изменению кислотности среды стандартным прибором pH-метром. На основании обработки экспериментальных данных в работе [3] была получена зависимость для определения концентрации  $\text{CO}_2$  в воде от кислотности раствора. В диапазоне pH 5...7 она рассчитывается по формуле

$$C = 2,69 \cdot 10^5 \cdot 10^{-\text{pH}}. \quad (4)$$

Эффективность при испарении жидкости определялась на системе воздух – вода с учетом влажности воздуха на входе  $x_{\text{вх}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$  в колонну и выходе  $x_{\text{вых}}$ ,  $\text{кг}/\text{м}^3$ , из нее по формуле:

$$E = \frac{x_{\text{вых}} - x_{\text{вх}}}{x_{100} - x_{\text{вх}}}, \quad (5)$$

где  $x_{100}$  – абсолютная влажность воздуха, насыщенного водяным паром,  $\text{кг}/\text{м}^3$ .

Результаты экспериментальных исследований гидравлического сопротивления сухой и орошаемой тарелки, а также эффективности разработанной тарелки при десорбции  $\text{CO}_2$  из воды и ее испарении представлены на рисунке 3. Из приведенных на рисунке 3, а зависимостей видно, что гидравлическое сопротивление тарелки с увеличением скорости воздуха и плотности орошения возрастает и изменяется в пределах 0,4...1,6 кПа.

Диапазон устойчивой работы усовершенствованной клапанной тарелки наблюдается при скорости воздуха 0,6...1,7 м/с. При этом на тарелке возникает газожидкостная дисперсная система – пена, что соответствует пенному режиму работы тарелки. В указанном режиме контактирование газа и жидкости

происходит на поверхности пузырьков и струй газа, а также на поверхности капель жидкости, которые в большом количестве образуются над барботажным слоем при выходе пузырьков газа из барботажного слоя и разрушении их оболочек. В пенном режиме поверхность контакта фаз на тарелке максимальна.

Эффективность разработанной клапанной тарелки практически не зависит от скорости газа и изменяется в пределах 95...97 % при десорбции  $\text{CO}_2$  и 33...59 % при испарении воды с поверхности тарелки, в то время как эффективность стандартной клапанной тарелки не превышает 88 % [4].

Сравнивая эффективность различных конструкций тарелок [4], можно заключить, что эффективность усовершенствованной клапанной тарелки на 8...10 % выше традиционной.

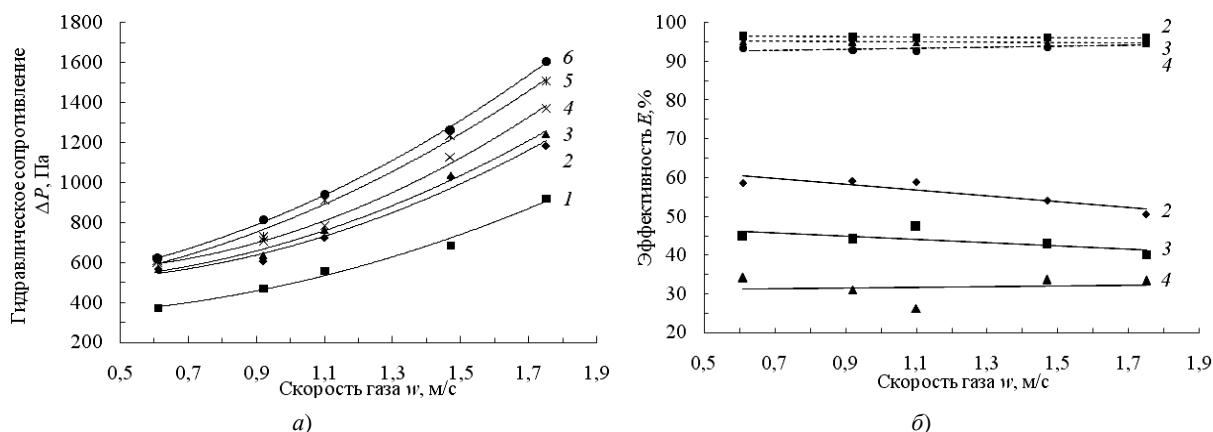


Рис. 3. Гидравлическое сопротивление (а) и эффективность (б) разработанной клапанной тарелки при десорбции  $\text{CO}_2$  из воды (-----) и испарение воды с поверхности тарелки (—) при различных плотностях орошения  $q$   
 1 –  $0 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ; 2 –  $10,8 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ; 3 –  $15,44 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ; 4 –  $20,01 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ; 5 –  $24,54 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$ ; 6 –  $29,2 \text{ м}^3/(\text{м}^2\cdot\text{ч})$

На основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

- 1) величина гидравлического сопротивления разработанной клапанной тарелки пропорциональна квадрату средней скорости газа в колонне и составляет 0,4...1,6 кПа;
- 2) эффективность разработанной клапанной тарелки практически не зависит от скорости газа и при десорбции  $\text{CO}_2$  равна 95...97 %. Высокая эффективность разработанной тарелки объясняется повышенным диспергированием газовой фазы с помощью перфорированных колпачков, что приводит к увеличению поверхности контакта фаз, а следовательно, и эффективности массопередачи;
- 3) разработанная тарелка имеет относительно невысокое гидравлическое сопротивление и высокую эффективность, что позволяет широко использовать данный тип тарелок для проведения массообменных процессов.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Касаткин, А.Г. Основные процессы и аппараты химической технологии: учеб. для вузов / А.Г. Касаткин. – 11-е изд., стереотип., дораб. – М.: ООО ТИД «Альянс», 2005. – 753 с.
2. Владимиров, А.И. Основные процессы и аппараты нефтегазопереработки: учеб. пособие для вузов / А.И. Владимиров, В.А. Щелкунов, С.А. Круглов. – М.: ООО «Недра-Бизнесцентр», 2002. – 227 с.
3. Вайтехович, П.Е. Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов: дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08 / П.Е. Вайтехович. – Минск, 1982. – 211 с.
4. Судаков, Е.Н. Расчеты основных процессов и аппаратов нефтепереработки / Е.Н. Судаков. – М.: Химия, 1979. – 569 с.

Поступила 05.02.2013

#### STUDY OF HYDRAULIC RESISTANCE AND EFFECTIVENESS OF A VALVE COLLAR OF NEW DESIGN

W. KHALIL, M.J. AL-SAEDI, D. MISIULIA

The new design of a valve collar is presented. The results of experimental research in the form of graphic dependences of hydraulic resistance and efficiency of the developed plate on gas speed in a column are shown. Conclusion about the effectiveness of the designed valve collar is made. It can be explained by the heightened material dispersion of gas phase with the help of perforated caps, which leads to expansion of the surface of the contact of phases, and therefore to the effectiveness of mass transfer.