

УДК 663.551.41

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДЕСОРБЦИИ УГЛЕКИСЛОГО ГАЗА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ КЛАПАННОЙ ТАРЕЛКИ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ

канд. техн. наук, доц. В.Б. ХАЛИЛ; Д.Н. МАЙТАМ
(Полоцкий государственный университет)

Демонстрируется новая конструкция клапанной тарелки. Приведены результаты экспериментальных исследований в виде графических зависимостей эффективности разработанной тарелки от скорости газа в колонне. Показано, что при относительно невысоком гидравлическом сопротивлении эффективность усовершенствованной клапанной тарелки при десорбции углекислого газа составляет 95...97 %.

Введение. Основным видом технологического оборудования, используемого на предприятиях отраслей химической, нефтехимической и нефтеперерабатывающей промышленности, являются колонные аппараты, оборудованные контактными массообменными устройствами различных типов и конструкций и предназначенные для осуществления конкретных технологических процессов, связанных с переносом компонентов перерабатываемых потоков между фазами, контактирующими в ходе реализуемого процесса (ректификация, абсорбция, десорбция и т.п.). Для процесса абсорбции среди различных типов колонных аппаратов наиболее распространены насадочные и тарельчатые абсорберы.

В промышленности часто используются колонные аппараты, оборудованные разнообразными контактными массообменными устройствами. Такое разнообразие конструкций закономерно, так как невозможно существование универсальных аппаратов, удовлетворяющих всем требованиям практического использования массообменных аппаратов в широком спектре технологических процессов. Цель данной работы состояла в разработке клапанной тарелки, исследовании её функционирования, а также в сравнении эффективности массопередачи.

Основная часть. Для повышения эффективности проведения массообменных процессов нами разработана новая конструкция клапанной тарелки (рис. 1), отличительной особенностью которой является наличие перфорированных колпачков 2 (рис. 1, б), которые крепятся к тарелке болтами, и саморегулирующихся дисковых клапанов 3 (рис. 1, в), способных подниматься при движении пара (газа).

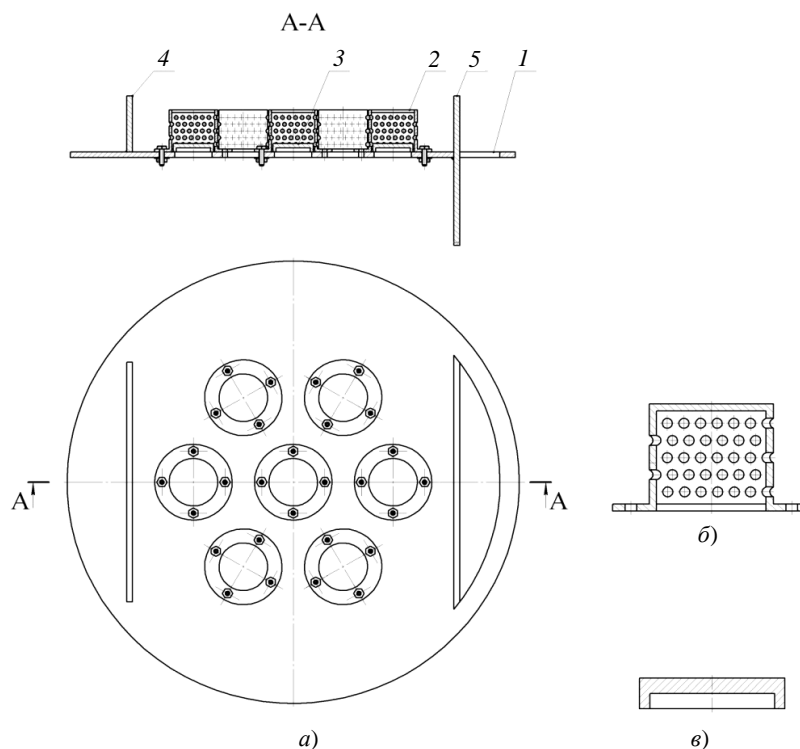


Рис. 1. Конструкция разработанной клапанной тарелки:
а – клапанная тарелка в сборе; б – колпачок; в – клапан;
1 – тарелка; 2 – колпачок; 3 – клапан; 4 – приемный порог; 5 – перегородка

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. Высота подъема клапана ограничивается высотой колпачка. 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.

Экспериментальные исследования разработанной клапанной тарелки проводились на испарение воды с поверхности тарелки (основное сопротивление массопереносу сосредоточено в газовой фазе). Цель исследований состояла в определении эффективности усовершенствованной клапанной тарелки.

Схема экспериментальной установки представлена на рисунке 2.

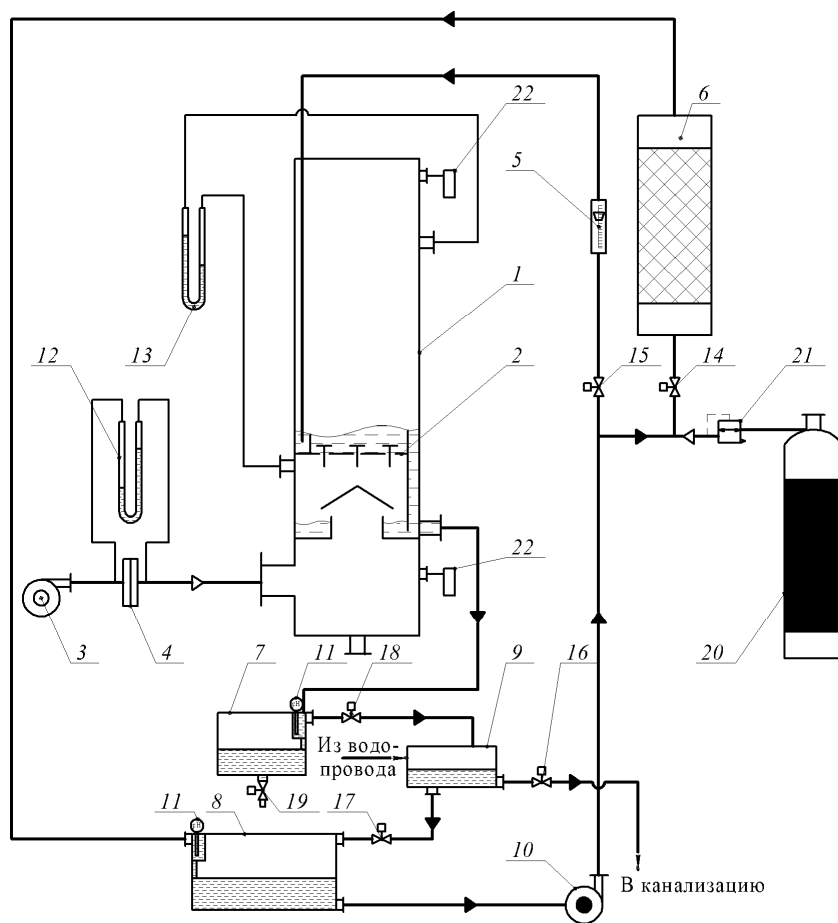


Рис. 2. Схема экспериментальной установки:

- 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 – pH-метры; 12, 13 – дифманометры; 14–19 – вентили;
 20 – баллон с углекислым газом; 21 – редукционный вентиль; 22 – термогигрометры

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 исследовании испарения с поверхности тарелки жидкость из переливного бака самотеком подается в питающий резервуар, откуда 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 верхней части колонны.

Фиктивная (приведенная) скорость воздуха в колонне w , м/с, то есть отнесенная к полному сечению колонны, определялась следующим образом [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, м³/с; d – внутренний диаметр колонны, равный 0,144 м.

Гидравлическое сопротивление тарелки определялось по разности статических давлений под тарелкой и над ней.

Плотность орошения в колонне q , м³/(м²·ч) находили из уравнения расхода:

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

где Q – объемный расход жидкости в колонне, измеряемый с помощью ротаметра, м³/ч.

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

При проведении экспериментальных исследований десорбции СО₂ из воды эффективность клапанной тарелки по уравнению [3] составила

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

где C_n и C_k – концентрации СО₂ в воде соответственно на входе в колонну и на выходе из нее, кг/м³; pH_n и pH_k – рН жидкости на входе в колонну и на выходе из нее.

Содержание СО₂ определялось по изменению кислотности среды стандартным прибором рН-метром. На основании обработки экспериментальных данных в работе [3] была получена зависимость для определения концентрации СО₂ в воде от кислотности раствора, которая в диапазоне рН 5...7 рассчитывается по формуле

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

Результаты экспериментальных исследований эффективности разработанной тарелки при десорбции СО₂ из воды представлены на рисунках 3–6.

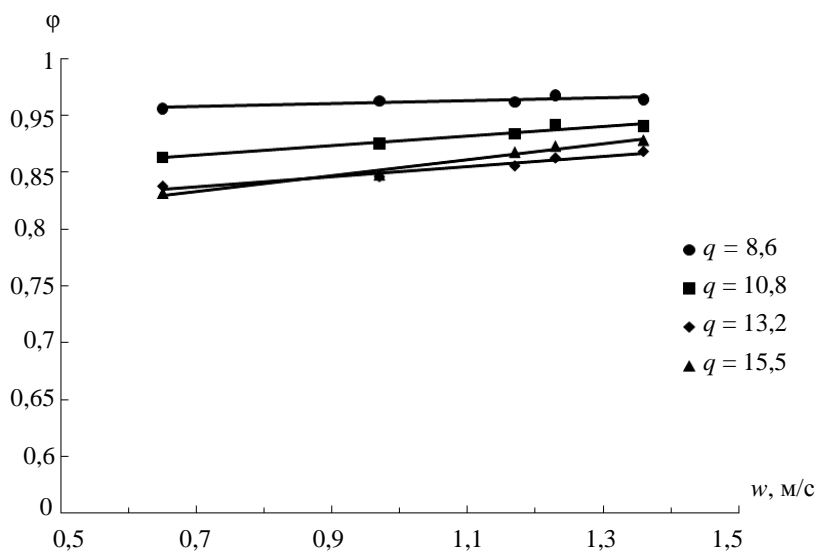


Рис. 3. Эффективность разработанной клапанной тарелки при десорбции СО₂ при различных плотностях орошения q , м³/(м²·ч); короткий клапан, диаметр отверстий 2 мм

Исследования проводились с двумя типами колпачка: с высоким подъемом клапана – до 27 мм; низким подъемом клапана – до 21 мм.

Кроме этого перфорация колпачка была выполнена в двух вариантах: 2 и 3 мм.

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.

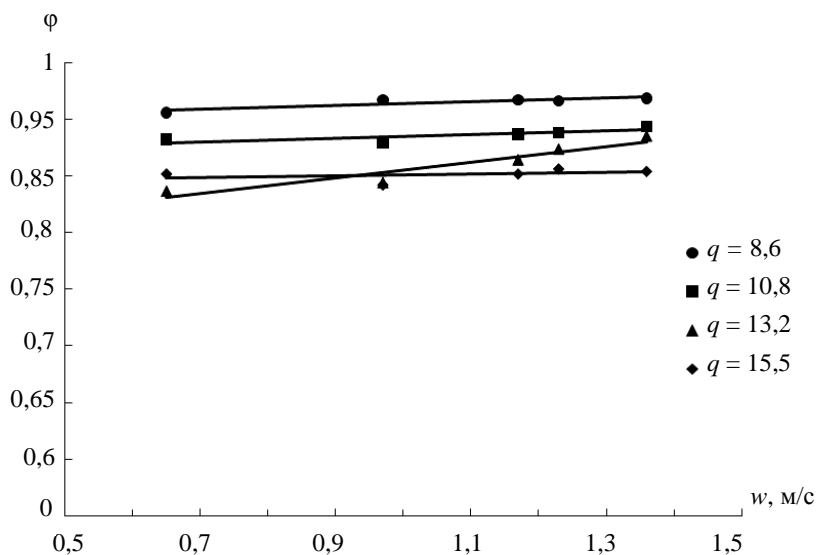


Рис. 4. Эффективность разработанной клапанной тарелки при десорбции CO₂ при различных плотностях орошения q , м³/(м² ч); длинный клапан, диаметр отверстий 2 мм

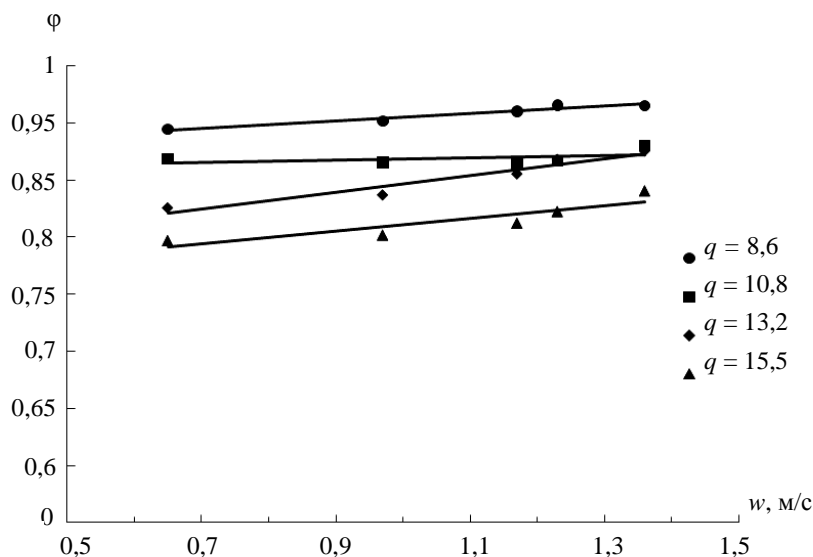


Рис. 5. Эффективность разработанной клапанной тарелки при десорбции CO₂ при различных плотностях орошения q , м³/(м² ч); короткий клапан, диаметр отверстий 3 мм

Эффективность разработанной клапанной тарелки практически не зависит от скорости газа и изменяется в пределах 95...97 % при десорбции CO₂, в то время как эффективность стандартной клапанной тарелки не превышает 88 % [4, с. 290, рис. III-43].

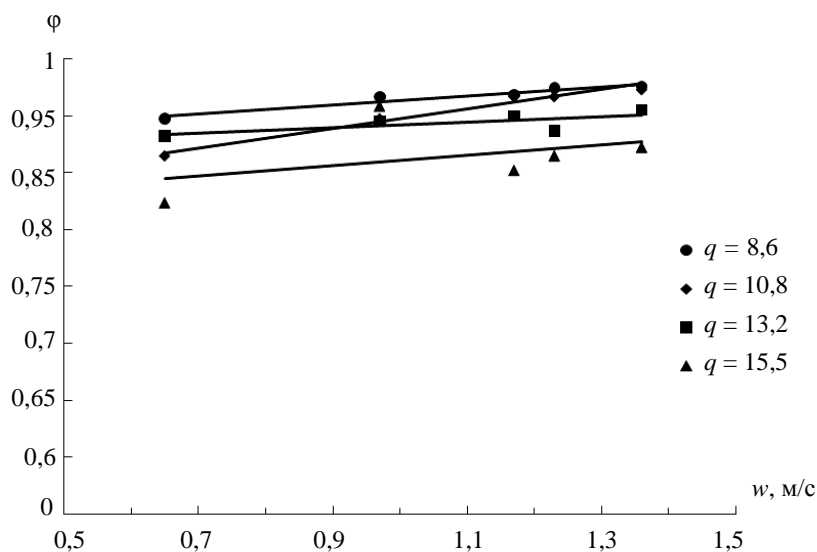


Рис. 6. Эффективность разработанной клапанной тарелки при десорбции CO_2 при различных плотностях орошения q , $\text{м}^3/(\text{м}^2 \text{ч})$; длинный клапан, диаметр отверстий 3 мм

Таким образом, на основании проведенных исследований можно сделать следующие **выводы**:

1) эффективность разработанной клапанной тарелки практически не зависит от скорости газа и при десорбции CO_2 составляет 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 к эффективности массопередачи;

2) разработанная тарелка имеет 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 30.01.2015

RESEARCH OF PROCESS OF THE DESORPTION OF CARBON DIOXIDE WITH USE OF THE VALVATE PLATE OF THE NEW DESIGN

W. KHALIL, D. MAITHAM

In the article the new design of valve collar is presented. The results of experimental researches in the form of graphic dependences of efficiency of the developed plate on gas speed in a column are resulted. The efficiency of improved valve collar at rather low hydraulic resistance is 95...97 %.