

УДК 66.069.82

Черепанов Анатолий Петрович,

д.т.н., профессор кафедры «Управление на автомобильном транспорте»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»,  
тел. +7 (3955) 53-30-36, e-mail: boning89@mail.ru

Ушаков Павел Олегович,

магистрант кафедры «Машины и аппараты химических производств»,  
ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет»

## СПОСОБЫ И УСТРОЙСТВА ПОЛУЧЕНИЯ ГАЗОЖИДКОСТНОЙ СМЕСИ

Cherepanov A.P., Ushakov P.O.

## WAYS AND APPARATUS OF RECEIVING GAS-LIQUID MIX

**Аннотация.** В статье рассмотрены способы получения газожидкостной смеси путем наложения пульсаций на газожидкостную смесь и устройства клапанных тарелок для повышения эффективности массообмена контактирующих фаз.

**Ключевые слова:** газожидкостная смесь, массообменные процессы, пульсация.

**Abstract.** The article deals with the methods of obtaining a gas-liquid mixture by applying pulsations to the gas-liquid mixture and the device of valve plates to increase the mass transfer efficiency of the contacting phases.

**Keywords:** gas-liquid mix, mass transfer processes, pulsation.

Газожидкостные смеси широко применяются в химических, нефтехимических и других отраслях промышленности, в которых используются массообменные процессы абсорбции, ректификации, очистки газов, смешивания компонентов и прочих технологических процессов.

Сбережение энергетических и сырьевых ресурсов в химической, нефтехимической и других технологиях достигается интенсификацией массообменных процессов, тепло- и массопереноса за счет рационального преобразования подводимой к технологическому аппарату энергии.

На сегодняшний день известно множество способов и устройств осуществления массообменных процессов с применением газожидкостных смесей, поэтому рассмотрим только некоторые из них, на наш взгляд наиболее перспективные. Например, типичными из устройств являются клапанные тарелки [1], в которых пульсация газожидкостной смеси осуществляется перемещением клапана относительно тарелки под воздействием давления газожидкостной смеси, подаваемой в зазор через перепускные отверстия тарелки. На рисунке 1 показано устройство клапана тарелки для осуществления массообмена [2]. Клапан состоит из кольцевого клапана 1 и расположенного под ним балластного клапана 2 с профилированными отверстиями 3 в нем, разделенными перемычками 4. Клапанная тарелка снабжена основа-

нием 5 в виде плоского листа с отверстиями. Клапан работает следующим образом. При малых нагрузках кольцевой клапан 1 поднимается и контактирование происходит при истечении газа (пара) из двух кольцевых зазоров, внешнего и внутреннего, образованных между кольцевым 1 и балластным 2 клапанами. При дальнейшем увеличении нагрузки по газовой фазе, клапан 1 увлекает за собой клапан 2, выполняющий функцию балласта и как самостоятельного клапана. В образовавшемся кольцевом зазоре между клапаном 2 и плоскостью тарелки тоже происходит образование газожидкостной смеси.

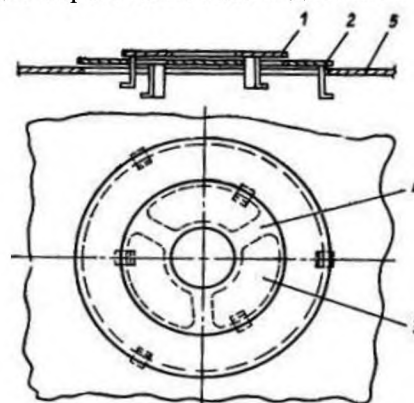


Рисунок 1 – Устройство клапана тарелки

Другой тип клапанной тарелки [3] содержит клапаны с углублением. Устройство тарелки и конструкция клапана показаны на рисунке 2. Клапанная тарелка работает сле-

дующим образом. Жидкость из приемного устройства 1 поступает на основание 3 тарелки и движется в направлении сливного устройства 2. Поток пара поступает в отверстия 4. При малых нагрузках по пару большая часть клапанов 5 находится в нижнем положении, при котором грани 9 углубления 7, выполненного в крышке 10 клапана 5, касаются по всему периметру кромок отверстия 4 и препятствуют провалу жидкости с тарелки. С увеличением нагрузки по пару все большее число клапанов 5 приподнимается потоком пара над основанием 3 тарелки. Пар, поступающий под клапан 5, плавно обтекает наружную поверхность углубления 7, выполненного в крышке клапана 10, разделяясь на отдельные потоки, число которых равно числу боковых граней 9. При этом количественное разделение пара по отдельным частям потока зависит от доли сечения отверстия 4 в основании тарелки, занятой гранью углубления, отклоняющей данную часть потока. При выполнении на боковых гранях углубления направленных под клапан прорезей 11 пар, проходя с большой скоростью в сечении между клапаном 5 и основанием 3 тарелки, создает в этом сечении зону с пониженным давлением, что способствует эжекции.

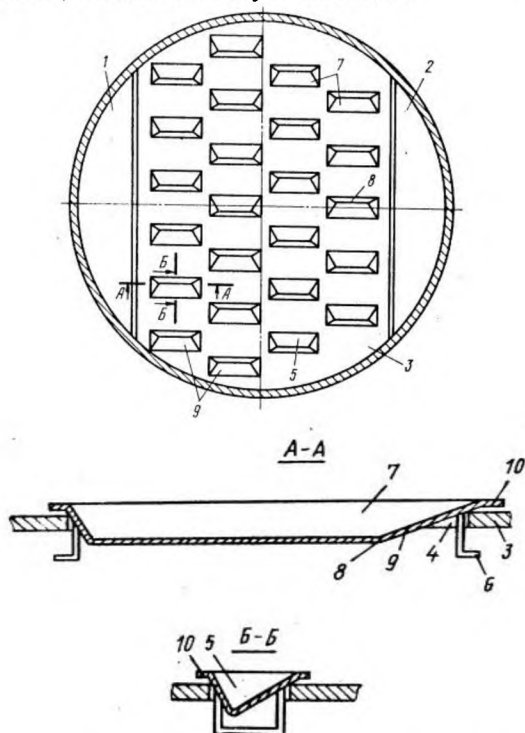


Рисунок 2 – Устройство тарелки и конструкция клапана

На рисунке 3 показан клапан прямоточной тарелки [4] для осуществления мас-

сообмена. Клапанная прямоточная тарелка содержит перфорированное основание 1 с клапанами, каждый из которых выполнен в виде пластины 2, снабженной ребром 3 жесткости, боковыми стенками 4 и ограничительными приспособлениями 5 и 6. Основание тарелки снабжено также отбойными элементами 7 и переливным устройством 8. Газ, проходящий через перфорацию в основании тарелки, открывает клапан и захватывает жидкость, поступающую на тарелку, далее транспортируя ее по направлению к переливному устройству. В данной конструкции у клапана имеются ограничители перемещения, а для обеспечения эжекции газожидкостной смеси из пространства над клапаном, на гранях выполнены углубления, направленные под клапан прорези.

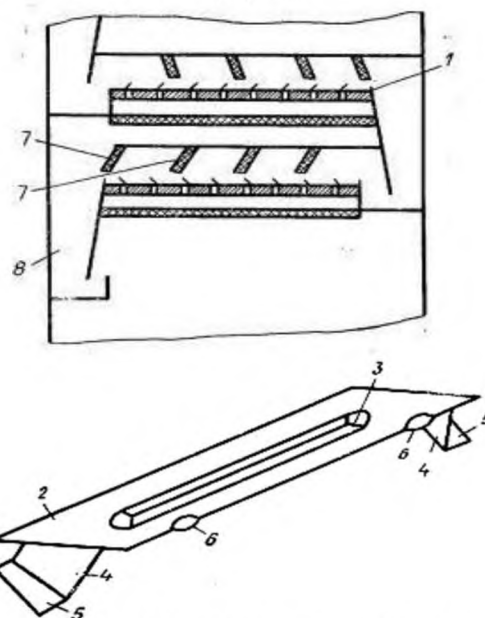


Рисунок 3 – Клапан прямоточной тарелки

Поскольку прорези 3 не обеспечивают равномерного распределения потока в зазоре, клапан 2 относительно тарелки может устанавливаться с наклоном и вызывает неравномерность выхода потока из зазора между тарелкой и клапаном, что не позволяет повысить эффективность взаимодействия контактирующих фаз, и, соответственно, повысить качество приготовления газожидкостной смеси. Выполнение направленных под клапан прорезей и углублений усложняет конструкцию клапана и тарелки в целом. Кроме того, в конструкциях тарелок предусматриваются только жесткие клапаны, что не позволяет повысить эффективность взаимодей-

ствия контактирующих фаз газожидкостной смеси в массообменных процессах [2].

Однако, несмотря на повышение интенсификации массообменных процессов, тепло - и массопереноса и рациональное преобразование подводимой к технологическому аппарату энергии, конструкции клапанных тарелок [1, 2, 3, 4] сложны. Они неустойчивы в работе при наложении колебаний газожидкостной смеси под давлением среды, подаваемой в зазор между клапанами и тарелкой через перепускные отверстия, и перемещением клапанов относительно тарелки из-за неравномерности изменения зазора между ними. Кроме того, анализ приведенных конструкций клапанов показал, что в известных устройствах и способах не учтен ряд обстоятельств, существенно влияющих на эффективность массообменных процессов.

Поэтому наиболее современным и перспективным, с точки зрения дальнейшей модернизации конструкции клапанов и самих клапанных тарелок, является поиск новых способов и устройств повышения эффективности массообмена.

Результатами поиска новых технических решений явилось изобретение нового способа образования пульсаций газожидкостной смеси и устройство для его осуществления [5], направленное на повышение качества приготовления газожидкостной смеси и эффективности массообменных процессов абсорбции, ректификации, очистки газов, смешивания компонентов и других технологических процессов. За основу способа было принято течение потока в зазоре между двумя близко расположенными пластинами, при котором образуется кольцевая зона пониженного давления (разрежение) за перепускным отверстием в одной из пластин [6].

Исследованиями, приведенными в работе [6], было установлено что, несмотря на малую величину зазора между стенками, течение потока в зазоре происходит волнообразно с образованием нескольких кольцевых зон пониженного давления (разрежения).

Пульсацию газожидкостной смеси согласно [5] осуществляют за счет разрежения потока, образующегося в кольцевых зонах, сначала в первой, затем во второй, и далее в следующих кольцевых зонах, расположенных за перепускным отверстием тарелки благодаря перетеканию потока в зазоре между клапаном и тарелкой в пространство за клапаном.

Клапан из жесткого материала по отношению к газожидкостной смеси, с обеспечением свободного перетекания потока в зазоре кольцевых зон пониженного давления, закреплен относительно тарелки подвижно в нескольких точках, наиболее удаленных от перепускного отверстия тарелки. Жесткость клапана, по отношению к газожидкостной смеси, может быть обеспечена, например, за счет увеличения прочности материала клапана или его толщины.

В данном случае пульсацию газожидкостной смеси создают изменением зазора клапана относительно тарелки за счет деформации клапана под воздействием пониженного давления, образующегося в следующих кольцевых зонах. Для этого клапан изготавливают из нежесткого и неупругого материала относительно газожидкостной смеси, с обеспечением свободного перетекания потока в кольцевых зонах пониженного давления, расположенных за перепускным отверстием тарелки, в пространство за клапаном. Клапан неподвижно закреплен относительно тарелки в нескольких точках, наиболее удаленных от перепускного отверстия тарелки.

Описание нового устройства для осуществления способа образования пульсаций газожидкостной смеси представлено на рисунке 4.

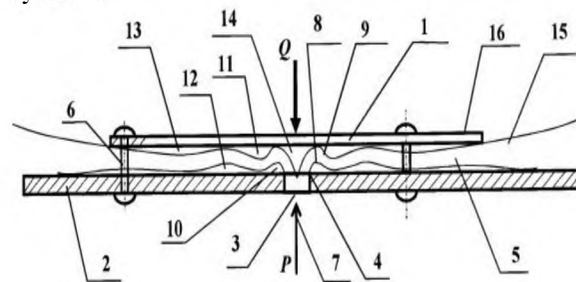


Рисунок 4 - Устройство для осуществления способа образования пульсаций газожидкостной смеси

Устройство для осуществления способа, содержит клапан 1, установленный на тарелке 2 с перепускным отверстием 3 с кромкой 4 и закрепленный с образованием зазора 5 крепежными элементами (ограничителями хода клапана 1) 6 в нескольких точках, наиболее удаленных от перепускного отверстия 3 тарелки 2.

Поток газожидкостной смеси 7 под давлением P, проходя через перепускное от-

верстие 3, срывается с его кромки 4 и некоторый путь крайние границы зоны 8 и зоны 9 расходящегося потока в зазоре 5 не касаются тарелки 2, образуя кольцевую зону 10 пониженного давления, а затем прилипают к ней. В зонах 8 и 9 образуется сужение потока газожидкостной смеси 6. Согласно закону Бернулли увеличение скорости потока газожидкостной смеси 6 в зонах 8 и 9 вызывает снижение давления в кольцевой зоне 10 по сравнению с давлением  $P$  и с давлением в свободном пространстве 15 за пределами клапана 1. Снижение давления потока в кольцевой зоне 10 достигает отрицательных значений (образует вакуум) и создает присасывающую силу. Далее за первой кольцевой зоной 10 расходящийся в зазоре 5 поток газожидкостной смеси 7 отрывается от клапана 1 и образуется вторая кольцевая зона 11 пониженного давления. Аналогично образуются кольцевые зоны 12, 13 и далее, до выхода расходящегося потока из зазора 5 в свободное пространство 15 за клапаном 1. Таким образом, в кольцевых зонах 10÷13 и далее в расходящемся потоке в зазоре 5 создается присасывающая сила  $Q$ , которая преодолевает силу давления  $P$  потока газожидкостной смеси 7, выходящего из отверстия 3 в центральной зоне 14, и уменьшает зазор 5 между клапаном 1 и тарелкой 2. При уменьшении зазора 5 снижается расход газожидкостной смеси 7 в кольцевых зонах 8 и 9 и далее в расходящемся потоке в зазоре 5 за счет уменьшения площади проходного сечения между клапаном 1 и кромкой 4 перепускного отверстия 3. При снижении расхода потока в зазоре 5 давление в кольцевых зонах 10÷13 и далее повышается, снижая присасывающую силу  $Q$ . Сила давления  $P$  потока газожидкостной смеси 7 в центральной зоне 14 увеличивает зазор 5, отталкивая клапан 1 от тарелки 2. Поскольку ход клапана 1 ограничен крепежными элементами 6, при увеличении зазора 5 расход потока газожидкостной смеси 7 повышается, вызывая увеличение скорости потока в зонах 8 и 9 и увеличение присасывающей силы  $Q$  в кольцевых зонах 10÷13 и далее, которая вновь уменьшает зазор 5. Последующее увеличение и снижение присасывающей силы  $Q$  создает автоколебания клапана 1 относительно тарелки 2 и пульсацию

расходящегося потока газожидкостной смеси 7 в зазоре 5 и в пространстве 15 за клапаном 1.

Если на свободной поверхности 16 находится газожидкостная смесь (на чертеже не показана), то в пространстве за клапаном 1 расходящийся поток 15 одновременно с автоколебаниями клапана 1 и пульсацией газожидкостной смеси 6 создает эжекцию газожидкостной смеси, находящейся на свободной поверхности 16 клапана 1. Неподвижное или подвижное закрепление периферийной части клапана 1 относительно тарелки 2 не препятствует колебаниям клапана. Пульсация газожидкостной смеси образуется изменением зазора и перемещением или деформацией клапана относительно тарелки под воздействием пониженного давления потока газожидкостной смеси. Пульсация образуется в зазоре между клапаном и тарелкой, а также за счет эжекции потока на свободной поверхности клапана, смешивает пульсирующие потоки газожидкостной смеси в пространстве за клапаном, что повышает эффективность взаимодействия контактирующих фаз газожидкостной смеси.

Расходящийся в зазоре между клапаном и тарелкой поток распределяется по всему зазору равномерно и создает подушку из газожидкостной смеси, которая препятствует наклону клапана относительно тарелки и повышает равномерность распределения потока как в зазоре между тарелкой и клапаном, так и в пространстве за клапаном.

**Выводы.** Результатами анализа, исследований и создания нового способа и устройства является повышение качества приготовления газожидкостной смеси и эффективности массообменных процессов путем образования пульсации контактирующих фаз газожидкостной смеси с применением эффекта присасывания клапана к тарелке за счет разрежения в кольцевых зонах и создания автоколебаний клапана относительно тарелки.

Таким образом, изобретением нового способа была решена задача повышения качества приготовления газожидкостной смеси и эффективности массообменных процессов абсорбции, ректификации, очистки газов, смешивания компонентов и других технологических процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. ФРГ №1906606. Клапанная тарелка. МКИ В01 D3/18, 1973 г.
2. Авторское свидетельство СССР №391835. Клапанная тарелка для осуществления массообмена. МКИ В01D 3/30, 1973 г.
3. Авторское свидетельство СССР №1442248. Клапанная тарелка. МКИ В01D 3/30, 1988 г.
4. Авторское свидетельство СССР №425632. Клапанная прямоточная тарелка. МКИ В01D 3/30, 1974 г.
5. Патент Российской Федерации № 2657301. МПК В01D 3/14. Способ образования пульсаций газожидкостной смеси и устройство для его осуществления // Черепанов А.П. Заявитель: ФГБОУ ВО «Ангарский государственный технический университет». Оpubл.: 19.06.2018 Бюл. № 17.
6. Чупраков Ю. И. «Гидропривод и средства гидроавтоматики: Учебное пособие для вузов по специальности «Гидропривод гидроавтоматика». М. Машиностроение, 1979-232 с.
7. Черепанов А.П. Струйно-логические устройства автоматической ориентации плоских деталей при сборке. Автореферат кандидатской диссертации. ИПИ. Иркутск, 1993., 20 с.