

МАССОБМЕННОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ХИМИЧЕСКОГО СИНТЕЗА

1. Основы процессов массопередачи

Вопросы молекулярной диффузии изучены сравнительно подробно. Размеры и стоимость существующего массообменного оборудования практически обратно пропорциональны потоку массы через единицу поверхности раздела фаз. Поэтому важным аспектом технических проектов является интенсификация технологических процессов и оптимизация на основе экономических соображений. В химических процессах получения газового бензина, метанола, этилена, нафталина, регенерация ацетона, удаления серы из топочных газов и т.д. используются, в основном, насадочные колонны (скрубберы, газовые абсорберы, ректификационные колонны), включающих две и более ступеней с противоточным течением газа и жидкости. Так как на каждой ступени необходимо высоконапорное насосное и компрессорное оборудование, то процесс массопередачи сложен и энергозатратен. Процесс зависит, в основном, от размеров насадочных колонн и количества ступеней, т.е. не управляем, и сложно получить равновесную концентрацию компонентов газов в жидкости. В качестве загрузок насадочных колонн используются жесткие засыпные материалы, кольца Рашига, седла Берля и т.д., обладающие развитой поверхностью контакта, или тарельчатые загрузки, позволяющие увеличить время контакта газа и жидкости. В химической промышленности используется также второй тип оборудования – сосуды с мешалками и барботажные колонны, но они не могут функционировать при высоких потоках газов, которые доступны в насадочных колоннах.

Предлагаемые новые типы массообменного оборудования химической промышленности основаны на сочетании свойств насадочных и барботажных колонн. Причем барботажные колонны работают как за счет избыточного давления газа, так и за счет струйной эжекции газов. При конструировании барботажных устройств для повышения межфазной поверхности особое внимание уделяется диспергированию (уменьшению размеров пузырьков воздуха). Однако, увеличить поверхность газ – жидкость можно также за счет устройств для деления капель жидкости на более мелкие.

Для нового оборудования разработана конструкция загрузочных элементов, объединяющая свойства жестких засыпных и тарельчатых загрузок. Повысить эффективность абсорбции веществ, обладающих конечной растворимостью, можно с помощью двух или более ступеней насадочных и барботажных колонн (книга Шервуд Т. Пигфорд Р. Уилки Ч. Массопередача. М. Химия. 1982), но в этом случае необходимо увеличивать количество мешалок, насосного и компрессорного оборудования и соответственно энергетические затраты.

2. Принцип процесса массопередачи в Комбинированных сооружениях

В основу процессов массопередачи в новых аппаратах химической промышленности положены исследования процессов массопередачи между фазами газ – жидкость для очистки сточных вод в Комбинированных сооружениях (КС), которые проводились в 1982 – 84 г.г. на крупномасштабных пилотных установках.

Основными элементами новых аппаратов являются Комбинированные сооружения, состоящие из двух основных технологических узлов – биофильтров и расположенных под ними аэротенков-отстойников. Для обеспечения технологического процесса окисления органических веществ растворенным кислородом дополнительно в аэрационной зоне аэротенка-отстойника использована водоструйная аэрация.

В состав сооружений входят также камера смешения и циркуляционные насосы. На рис. 1.1

представлена схема КС.

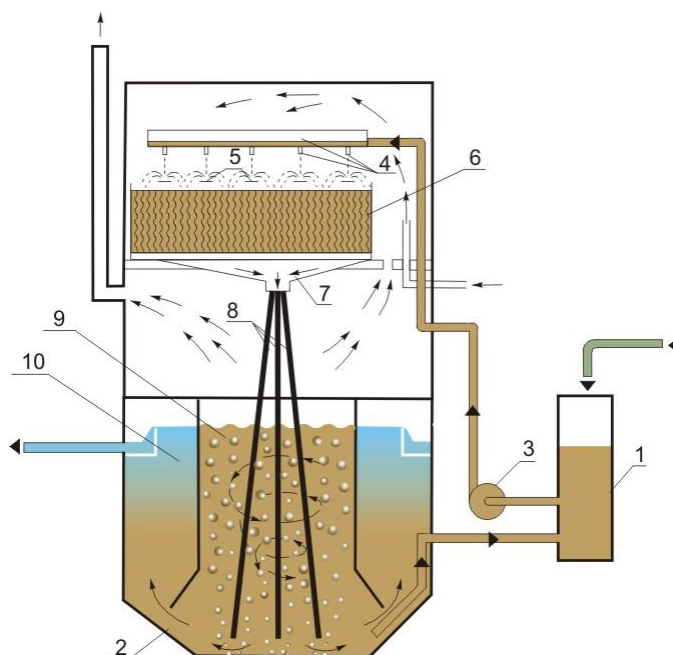


Рис. 1.1. Схема КС.

Сточные воды после предварительной механической очистки направляются в камеру смешения (1), в которой происходит смешение сточных вод с иловой жидкостью, поступающей из аэротенка-отстойника (2). Из камеры смешения смесь сточных вод с илом подается циркуляционным насосом (3) в систему орошения биофильтра, которая состоит из водораспределительных лотков со сливными патрубками (4) и отражательных дисков (5). Падающие струи жидкости дробятся на дисках и орошают плоскостную загрузку биофильтра (6). Жидкость, прошедшая через биофильтр, собирается поддоном (7) и по аэрационным колоннам (8) направляется в аэрационную зону аэротенка-отстойника (9). При движении жидкости по аэрационной колонне в ней формируется зона пониженного давления. В верхней части колонны образуется вихревая воронка, в которую вовлекается воздух ($0,5 - 0,8 \text{ м}^3/\text{м}^3$), и формируется водовоздушная эмульсия. Образовавшаяся в колонне газожидкостная смесь выходит из нижней части колонны в виде факела высотой $0,5 - 0,7 \text{ м}$. Специфическое расположение колонн в аэрационной зоне (различные углы наклона труб, расстояния от нижних концов колонн до днища $0,2 - 0,4 \text{ м}$) способствует равномерному ударному воздействию водовоздушных струй по днищу зоны, которое наряду с всплывающими пузырьками воздуха формирует движение газожидкостных потоков и обеспечивает эффективное перемешивание иловой смеси в аэрационной зоне. Из зоны аэрации иловая смесь поступает в зоны отстаивания (10), в которых происходит ее разделение.

Насыщение обрабатываемой сточной жидкости кислородом осуществляется комбинированным способом: - растворением кислорода воздуха в смеси сточных вод и ила в период орошения загрузки биофильтра; - в результате массообменного переноса между фазами газ – жидкость при пленочном истечении жидкости по поверхности плоскостной загрузки биофильтра; - насыщением обрабатываемой жидкости в аэротенке кислородом воздуха за счет дополнительного растворения кислорода в аэрационных колоннах и массопередачи при подъеме пузырьков воздуха.

Сочетание в элементах загрузки биофильтров (насадочных колонн) свойств жестких засыпных и тарельчатых загрузок, увеличение «фактора насадки» (уменьшение площади поверхности сухой насадки к кубу ее свободного объема) повышает эффективность процесса массопередачи по нашим исследованиям в сравнении с существующими твердыми телами специальной формы (рис. 1.2.) на $7 - 10\%$. В 1 м^3 загрузки за счет емкостей удерживается $40 - 50 \text{ л}$ жидкости.

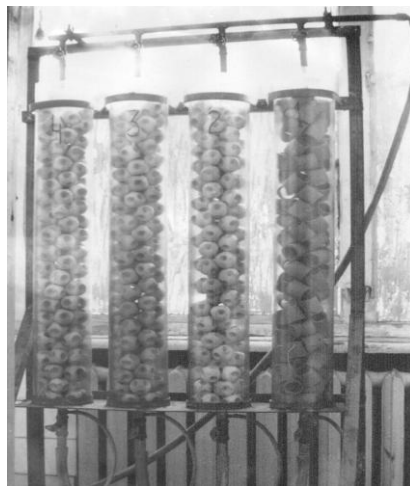


Рис. 1.2. Вид установки с колонной загруженной кольцами Рашига и колоннами, загруженными шарами с углублениями диаметром 22, 25, 27 мм.

Принцип комбинированной аэрации (пленочной и водоструйной) в КС осуществляется при определенном уровне жидкости над верхними обрезами колонн, расположенными в приемке сборного поддона биофильтра и определенных соотношениях высот колонн над поверхностью жидкости к заглубленной части; в этом случае возникают вихревые воронки, засасывающие воздух в отверстия труб.

В аэраторах водоструйного типа используется тот же принцип, что и в гидрокомпрессорах. Основным фактором, влияющим на воздухововлечение как в гидрокомпрессорных установках, так и в водоструйных эжекторах, является высота и диаметр колонны, по которой движется водовоздушный поток. Впервые шахтный аппарат (водоструйный аэратор) был применен в практике очистки сточных вод на предприятии «Шварце Пумпе» (Германия) в 1966 году.

В соответствии с конструктивными решениями КС, учитывающими рациональную высоту установок и достаточную глубину барботажных емкостей, высоту аэрационных колонн над уровнем жидкости в аэротенке рекомендуется принимать в пределах 1,5 – 2,5 м, заглубление колонн под уровень воды - 1,5 – 3,5 м.

Экспериментальные исследования по определению окислительной способности колонн проводили при их высоте над уровнем воды – 2м и при заглублении колонн под уровень воды на 1; 1,5; 2 и 3 м.

Исследования проводили на модельной установке, состоящей из резервуара (имитация аэротенка), емкостью 1500 дм³, циркуляционного насоса, сменных труб диаметром 37, 50 и 70 мм с приемными камерами. Для наблюдения за характером движения пузырьков воздуха в резервуаре были смонтированы окна из оргстекла. Замеры количества вовлекаемого воздуха производили с помощью крыльчатого анемометра. Воду в резервуаре предварительно обрабатывали сульфатом натрия (7,9 г/г кислорода) и хлористого кобальта (1 мг/дм³), что позволяло связать растворенный кислород, затем воду подавали в приемную камеру и далее направляли в аэрационную колонну. Расход воды регулировали, изменяя производительность насоса. Продолжительность эксперимента определяли временем достижения состояния равновесного насыщения кислородом воздуха воды. По вышеприведенным формулам были рассчитаны коэффициенты массопередачи, окислительные способности колонн $\text{d}\nu$ 50 и 70 мм в системе аэрационная колонна – аэротенк и построены соответствующие графики (рис. 1.3.).

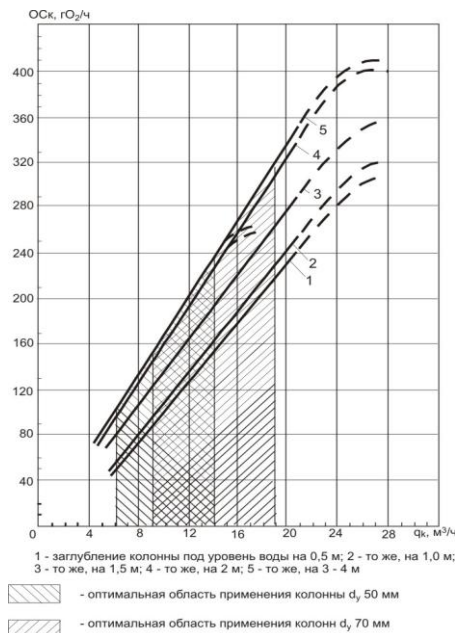


Рис. 1.3. График определения ОСк d_y 50, d_y 70.

По результатам математической обработки практических данных, представленных на графике, была получена формула, выражающая зависимость ОСк от расхода сточных вод, подаваемых на одну колонну - q_к, и уровня заглибления колонны над поверхностью воды в аэротенке - х. Указанная зависимость имеет вид:

$$ОСк = q_k (a_1 x^2 + a_2 x + a_3) + a_4 x^2 + a_5 x + a_6,$$

где: a_i (i = 1..6) - коэффициенты, учитывающие технические параметры.

При диаметре аэрационной колонны в пределах 45-70 мм и заглиблении колонны от 0,5 до 1,5 м формула имеет вид:

$$ОСк = q_k (0,4x^2 - 0,6x + 14,2) + 36,4x^2 - 34,6x - 37,8;$$

При диаметре аэрационной колонны в пределах 45 -70 мм и заглиблении колонны от 1,5 до 3,0 м формула имеет вид:

$$ОСк = q_k (-3,7x^2 + 18,8x - 6) + 9,7x^2 - 47,8x + 44;$$

При диаметре аэрационной колонны в пределах 37 - 45 мм и заглиблении колонны от 1,0 - 3,0 м формула имеет вид:

$$ОСк = q_k (- 1,7x^2 + 8,7x + 8,7) - 0,84x^2 + 4,3x - 26,7.$$

Приведенные различные варианты вычисления ОСк ведутся с помощью единой компьютерной программы, которая разработана с учетом граничных условий параметров расхода сточных вод (м³/ч), подаваемых на одну циркуляционную колонну.

Границы эффективного применения данных формул вычисляются в программе в зависимости от диаметра колонны d, следующим образом:

$$q_{\min} = -3600d^2 + 582,4d - 14,1$$

$$q_{\max} = -12200d^2 + 1715d - 41,3$$

Определение режима течения жидкости по числу Рейнольдса - Re, в аэрационных колоннах может быть осуществлено в соответствии с формулами:

$$Re_{\min} = 4(- 3600d^2 + 582,4d - 14,1) / (\pi d v)$$

$$Re_{\max} = 4(- 12200d^2 + 1715d - 41,3) / (\pi d v)$$

где: v - коэффициент кинематической вязкости.

По данным предыдущих экспериментов, установлено, что эффективность процесса насыщения воды кислородом воздуха во многом зависит от количества кислорода, растворившегося в жидкости при орошении биофильтра. Для определения коэффициента, учитывающего насыщение

жидкости кислородом в биофильтре (K_6), модельную установку дополняли биофильтром.

Циркуляция воды в этом случае осуществлялась насосом через биофильтр - аэрационную колонну ($dy\ 37$) – аэротенк. Величина K_6 представляет собой частное от деления количества растворенного кислорода, обнаруженного в резервуаре при работе системы биофильтр - аэрационная колонна – аэротенк на его количество в резервуаре при работе системы аэрационная колонна – аэротенк (рис. 1.4).

По конструктивным соображениям водоструйный аэратор выполняют в виде пучка аэрационных колонн – нескольких труб, установленных под разными углами наклона к вертикальной оси. Однако такое расположение колонн снижает количество вовлекаемого воздуха и соответственно окислительную способность колонн. Влияние указанного фактора исследовали на модельной установке, определяя величину окислительной способности сменных колонн $dy\ 50$ при их расположении под углом наклона: 15, 25 и 40 градусов.

Данные для расчета K_u приведены в таблице 1.

Исследования осуществляли при следующих условиях:

объем воды в резервуаре – $1,8\ m^3$;

высота колонны над уровнем жидкости – 2 м;

заглубление колонны – 2 м.

Таблица 1

Окислительная способность колонн в зависимости от углов наклона

Угол наклона колонны к вертикальной оси, град.	Температура воды, °C	Коэффициент Пасвера	Расход циркулирующей жидкости, $m^3/ч$	Средний коэффициент массопередачи, K_s	Окислительная способность OC_K , $гO_2/ч$
-	26,0	0,742	11,06	9,80	147,64
-	27,2	0,728	11,55	11,04	162,76
15	28,6	0,707	11,62	9,44	135,18
15	28,3	0,707	11,93	9,78	140,13
25	27,7	0,721	12,73	8,57	125,12
25	27,8	0,716	11,93	8,18	118,34
25	26,6	0,735	12,28	8,89	132,37
40	25,0	0,756	12,0	6,02	92,27
40	27,8	0,714	12,59	7,58	109,59

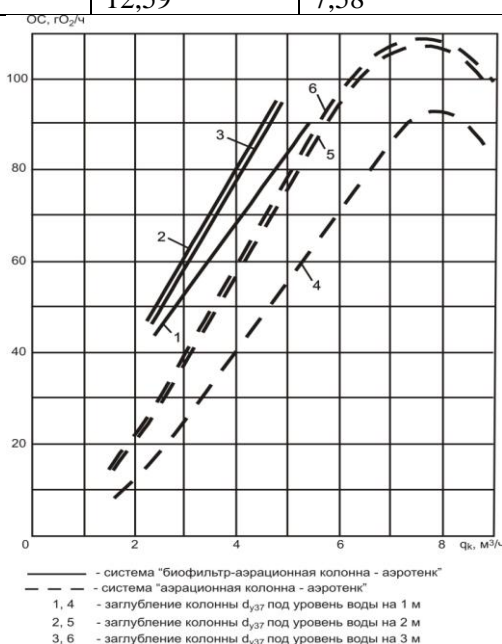


Рис. 1.4. График для определения окислительной способности колонн, в том числе с учетом биофильтра

- Окислительная способность аэрационных колонн в пределах их пропускной способности изменяется прямо пропорционально расходу жидкости.
- Нижний предел пропускной способности колонны, при котором начинается образование вихревой воронки, составляет: для труб d_y 37 мм – 2 м³/ч; d_y 50 мм – 6 м³/ч; d_y 70 мм – 9 м³/ч. Верхний расчетный предел пропускаемых расходов жидкости, должен быть принят для труб d_y 37 мм – 6 м³/ч; d_y 50 мм – 14 м³/ч; d_y 70 мм – 19 м³/ч. Уровень воды над верхним обрезом колонны в зависимости от циркуляционного расхода жидкости составляет 2 – 10 см;
- При равных расходах поступающей в колонны жидкости, величина коэффициента массопередачи и окислительная способность колонн увеличиваются при изменении заглубления колонн от 0,5 до 2 м. Это явление можно объяснить тем, что эффективность обмена между фазами газ-жидкость повышается с увеличением парциального давления внутри пузырька воздуха и его пути прохождения. При большем заглублении колонн происходит стабилизация окислительной способности (высота колонн в опытах фиксировалась на расстоянии 2 м над уровнем воды). В то же время количество воздуха, вовлекаемого на 1 м³ циркулирующей жидкости, снижается, так при заглублении 1 м составляет 0,8 – 0,9 м³/м³; 2 м – 0,7-0,8 м³/м³; 3 м – 0,5-0,6 м³/м³.
- Высота водовоздушного факела, выходящего из конца аэрационной колонны, составляет 0,5 – 0,7 м, диаметр основной массы всплывающих пузырьков воздуха колеблется в пределах 3 – 5 мм. Однако по мере заглубления колонны под уровень воды отмечается тенденция к появлению в системе крупных пузырьков (до 30 мм в диаметре). Это явление, по-видимому, обусловлено слиянием мелких пузырьков вследствие повышения давления в нижней части колонны.
- При сливе жидкости в колонны было отмечено формирование двух типов вихревых воронок, хорошо развитых и бесформенных. Со временем характер воронки может изменяться, т.е. бесформенная воронка может превратиться в хорошо развитую или наоборот. Бесформенные воронки чаще образуются при предельных значениях пропускной способности колонн. Отмечено также влияние на форму вихревой воронки гидродинамического режима работы других, близко расположенных аэрационных колонн, установленных в приемной камере сборного поддона биофильтра. Наиболее высокие показатели по объему вовлекаемого воздуха и окислительной способности характерны для аэрационных колонн, в которых образуются хорошо развитые вихревые воронки.

Величину коэффициента K_6 принимают равной 1,33. Величину понижающего коэффициента K_y следует определять по формуле:

$$K_y = 0,0116\alpha,$$

Дальнейшее совершенствование системы струйной аэрации может производиться в соответствии с патентом РФ № 2220915, согласно которому в верхней части аэрационных колонн (в зоне формирования сжатого сечения струи) следует устраивать направляющие выступы в виде спиралей или углубления в виде эвольвент высотой не более 0,5 d колонны. Выступы усиливают процесс закручивания воздуха по часовой стрелке и обеспечивают стабильность процесса формирования хорошо развитых воронок.

3. Новый принцип массообменного оборудования

Предлагаемые новые типы массообменного оборудования химической промышленности основаны на сочетании свойств насадочных и барботажных колонн. Причем барботажные колонны работают как за счет избыточного давления газа, так и за счет струйной эжекции газов. При конструировании барботажных устройств для повышения межфазной поверхности особое внимание уделяется диспергированию (уменьшению размеров пузырьков воздуха). Однако, увеличить поверхность газ – жидкость можно также за счет устройств для деления капель жидкости на более

мелкие. Для предлагаемого типа оборудования разработана новая конструкция загрузочных элементов, объединяющая свойства жестких засыпных и тарельчатых загрузок.

В новых аппаратах предлагается:

- интенсифицировать процесс формирования газожидкостной системы и растворения компонентов газовой смеси в жидкости на первой ступени с помощью акустических диспергаторов, снабженных продольно-крутильными ультразвуковыми волноводами, которые не только обеспечивают мелкодисперсное состояние среды, но и повышают кинетическую энергию молекул компонентов системы, что увеличивает эффективность их взаимодействия;
- осуществить дальнейшее растворение и химическое взаимодействие между фазами газ-жидкость путем многократной циркуляции жидкости и газа через насадочную камеру второй ступени с новой формой элементов загрузки и барботажную камеру третьей ступени, снабженную трубами прямой подачи газа и трубами струйной эжекции газа;
- производить конечную абсорбцию газов и завершение химических реакций до достижения равновесного состояния за счет повышения эффективности контакта мелких капель жидкости с компонентами газовой смеси в камере орошения четвертой ступени и в насадочной камере пятой ступени за счет использования новых форм элементов загрузочного материала и использования труб струйной эжекции газа в барботажной камере шестой ступени.
- использовать отражательные зонты, способствующие образованию более мелких капель жидкости и большему разнообразию траекторий их движения.
- применить в качестве загрузки насадочных камер шаровидные элементы с углублениями в сферической поверхности, образующих емкости, заполняемые жидкостью.

В патенте РФ № 2310499 эффективность процесса массопередачи достигается за счет шести ступенчатого последовательного контакта фаз: газ – жидкость. Схема массообменного аппарата представлена на рисунке 1.5.

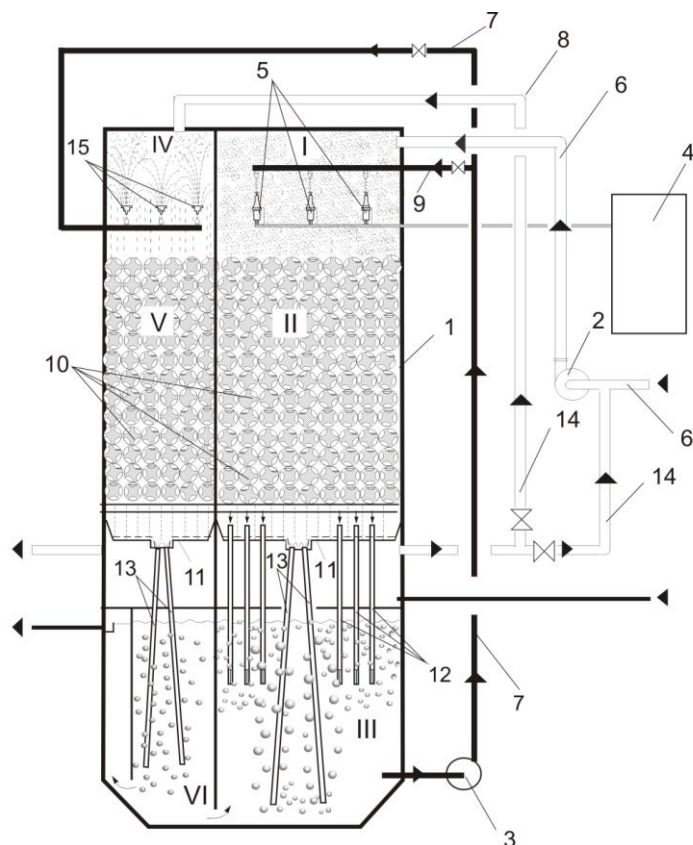


Рис. 1.5. Схема массообменного аппарата

Предлагаемый аппарат включает корпус 1, разделенный на шесть камер (ступеней) очистки, вентилятор высокого давления (ВВД) 2, циркуляционный насос 3 и модуль акустического диспергирования 4. В камере орошения I-ой ступени установлены акустические ультразвуковые диспергаторы 5 с продольно-крутильными ультразвуковыми волноводами. Вначале воздух, загрязненный органическим растворителем, смешивают в трубопроводе 6 с воздухом, направляемым на доочистку, по трубопроводу 14 и под давлением 0,05 – 0,07 атм. подают на I ступень очистки. Туда же подается циркуляционным насосом 3 по ответвлению 9 от трубопровода 7 жидкость из камеры III. С помощью диспергаторов 5 производится формирование газожидкостной смеси путем контакта загрязненного воздуха с мелкодиспергированной жидкостью.

Основным элементом процесса акустического диспергирования жидких сред является продольно-крутильный ультразвуковой волновод 5, выполненный из титанового сплава. Для достижения максимально возможного акустического диспергирования жидкости соотношение между продольной и крутильной составляющей должна составлять 1 : 3, данное соотношение выполняется при угле наклона каналов по отношению к оси вращения волновода равной 60°. Соотношение площадей торцов волновода обеспечивает заданный коэффициент передачи волновода, который вызывает при входной амплитуде 10 мкм колебание акустической системы на выходе 15 мкм. Волновод имеет резонансную частоту 22 кГц. В качестве акустической системы, на которой закреплен волновод, используется промышленный образец магнестрикционного преобразователя ПМС1-1, с закрепленным на его торце индуктивным датчиком акустической обратной связи. Датчик при максимальных амплитудах колебания акустической системы имеет максимальное выходное напряжение порядка 1В и синусоидальную форму изменения сигнала пропорциональной частоте акустической системы. Резонансная частота контура акустического диспергирования составляет $22 \pm 0,1$ кГц. Сигнал, вырабатываемый датчиком, поступает на формирователь датчика акустической обратной связи, который проводит цифровую фильтрацию входного сигнала, после чего он усиливается и подается на блок автоматической подстройки частоты, который выполняет активное управление следящей системы, чтобы амплитуды колебаний на выходе ультразвукового генератора была максимальной. Ультразвуковой генератор УЗГ 1-1 преобразует электрическую энергию промышленной частоты 50 Гц в ультразвуковую 22 кГц.

В процессе работы акустической системы геометрические размеры магнестрикционного материала изменяются, и происходит его разогрев, поэтому акустическая система снабжена системой охлаждения, которая представлена емкостью, насосом, контуром охлаждения и трубопроводами (рис. 1.6.). Элементы размещаются в модуле 4.

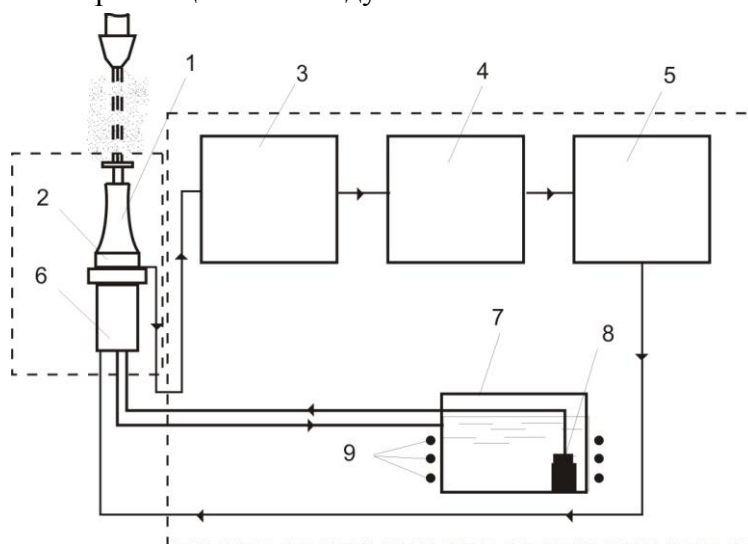


Рис. 1.6. Схема акустического диспергатора с модулем:

1 – продольно-крутильный ультразвуковой волновод; 2 – индуктивный датчик; 3 – формирователь датчика акустической обратной связи; 4 – блок автоматической подстройки частоты (АПЧ); 5 – ультразвуковой генератор; 6 – магнитострикционный преобразователь; 7 – емкость; 8 – насос; 9 – контур охлаждения.

Процесс интенсифицируется кавитационными эффектами, возникающими в акустически активной зоне преобразователей 5. Далее процесс абсорбции продолжается в насадочной камере II ступени, в которой часть газожидкостной смеси осаждается на поверхности шаровидных элементов загрузки 10 (рис. 1.7.) в виде капель жидкости с последующим накоплением их в емкостях и перетеканием в нижние элементы. Через капли, пленку жидкости на смачиваемой поверхности (до 80% от общей площади элемента насадки) и через поверхность жидкости в углублениях происходит дальнейшая диффузия и химические реакции компонентов газа и жидкости.

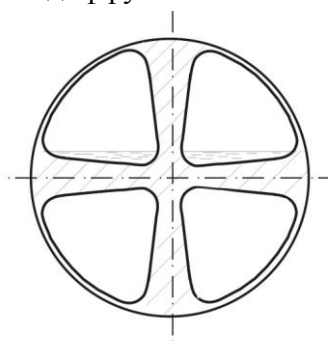


Рис. 1.7. Разрез шаровидного элемента загрузки.

Процесс интенсифицируется также за счет повышенного давления, создаваемого ВВД. Таким образом, в камере II ступени формируются две фазы – жидкая и газожидкостная смесь. Газожидкостная смесь ($\approx 60 - 80\%$) за счет избыточного давления поступает по трубам прямой подачи 12, вмонтированным в сборный поддон 11, в верхнюю часть жидкости барботажной камеры III ступени. Трубки меньшего диаметра, установленные в нижней части труб прямой подачи, уменьшают диаметр всплывающих пузырьков газа. Оставшаяся часть газожидкостной смеси вовлекается аэрационными колоннами 13, прикрепленными к приемной камере сборного поддона 11. При сливе жидкой фазы в колонны 13, в них возникают вихревые воронки, с помощью которых происходит вовлечение дисперсной газожидкостной смеси. В колоннах образуется газожидкостная эмульсия, которая поступает в нижнюю часть барботажной камеры III ступени. При соотношении высоты аэрационных колонн над жидкостью барботажной камеры 10 к заглубленной части колонн 1-2 м/0,5-2 м количество засасываемого газа составляет $0,7 - 0,8 \text{ м}^3$ на 1 м^3 жидкости; и с учетом давления ВВД количество вовлекаемого воздуха может достигать $0,9 \text{ м}^3/\text{м}^3$. При выходе газожидкостной смеси из труб прямой подачи из нее образуется большое количество мелких пузырьков газа, которые контактируют с верхней частью жидкости камеры III ступени, вследствие чего продолжается процесс массопередачи в системе газ-жидкость. Аэрационные колонны 13 обеспечивают дополнительное насыщение жидкости компонентами газа и перемешивание всего объема камеры III ступени, что позволяет интенсифицировать процесс обновления поверхности контакта фаз. В камере III ступени начинает формироваться равновесная газожидкостная система. Далее выходящий (всплывающий) газ с каплями жидкости (капельный унос) разделяется на два потока: первый с соотношением примерно $(1 - 3) : 1$ к исходному газу поступает по трубопроводу 14 во всасывающий трубопровод 6 ВВД 2, а второй с соотношением $1 : 1$ направляется по трубопроводу 8 в камеру IV ступени для дальнейшей обработки. Жидкая фаза камеры III ступени также разделяется на два потока, один из которых циркуляционным насосом по трубопроводам 7 и 9 направляется в камеру I

ступени, а второй в оросительную камеру IV ступени. Примерное соотношение жидких потоков составляет $(2 - 3) : (1 - 1,5)$. Расчетное соотношение потоков жидкости и газов определяется значением допустимой остаточной концентрации загрязненного компонента в воздухе и растворимостью газов. Таким образом, обедненная газовая смесь (второй поток) и часть циркулирующей жидкости (второй поток) поступает на ступени завершающей очистки в камерах IV, V, VI. Жидкость поступает в систему орошения камеры IV ступени, разбрызгивается с помощью отражательных зонтов (рис. 1.8.) и контактирует с газовой смесью второго потока. Предлагаемая конфигурация зонтов обеспечит дробление потока жидкости на отдельные мелкие капли с различными траекториями падения. Далее насыщенная газовой компонентой жидкость поступает в насадочную камеру V ступени, в которой происходят химические процессы аналогичные массообменным процессам, протекающим в камере II ступени. Затем жидкость и газ поступают через аэрационные колонны 13 в камеру VI ступени, в которой осуществляется конечное растворение газа, завершение химической реакции и отделение очищенной дисперсной фазы (газа) от дисперсной среды в окружающую среду. Жидкость (раствор) с равновесной концентрацией компонентов газа направляется на утилизацию.

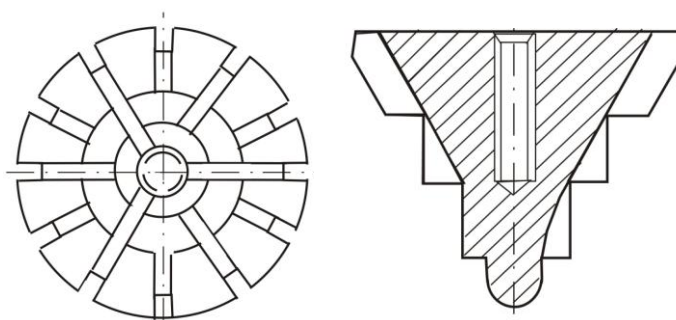


Рис. 1.8. План и разрез отражательного зонта с выступами и продольными нарезам.

Использование предлагаемого способа абсорбции газа и устройства для его осуществления по патенту РФ № 2310499 позволит создавать новые типы массообменного оборудования для химической промышленности (газовые абсорберы, скрубберы, ректификационные, насадочные колонны). При этом за счет интенсификации массообменных процессов высота оборудования может быть снижена с 50 – 80 м до 10 – 15 м; за счет применения низконапорных насосов и ВВД вместо высоконапорных насосов и компрессоров энергетические затраты уменьшаются в 2 – 3 раза. Эффективность процесса абсорбции можно регулировать путем изменения потоков жидкости и газа, что позволяет полностью автоматизировать технологический процесс.

Технические решения устройства массообменного оборудования, диспергирования жидкостей и грузочных материалов могут широко использоваться при технологических процессах очистки воздуха, абсорбции CO_2 из топочных газов, получении газового бензина, аммиака, нафталина, метанола и т.д.