

**Раздел 5. «Химия»**

МРНТИ 61.13.15

А.И. Алмазов, Е.В. Ситдикова

*Карагандинский индустриальный университет, г. Темиртау, Казахстан**E-mail: [a.almazov@ttu.edu.kz](mailto:a.almazov@ttu.edu.kz)***Создание нового высокоэффективного контактного устройства наклонного типа**

Проблема охраны природы является одной из наиболее актуальных, поскольку от ее решения зависят жизнь на Земле, здоровье людей. Эта проблема обострилась в XX веке, когда интенсивное развитие химической, коксохимической и металлургической промышленности привели к загрязнению атмосферы, воды и почвы. Промышленные газовые выбросы, содержащие токсичные вредные соединения наносят огромный ущерб природе и здоровью населения. Металлургическая, коксохимическая и химическая промышленности являются многотоннажными, и как следствие образуется большое количество отходящих газов, поэтому возникает необходимость применения высокоэффективного оборудования, с большой пропускной способностью по газу, с высокой степенью очистки.

*Ключевые слова:* абсорбция, газоочистка, массообменные процессы, контактные устройства, десорбция.

*Введение*

Существуют различные способы очистки отходящих газов промышленных предприятий. Одним из традиционных способов очистки является массообменный процесс – селективная абсорбция компонентов из газовой смеси жидкими поглотителями.

Выделение и последующая переработка химических продуктов из газа происходит в массообменных аппаратах колонного типа – абсорберах. Вследствие того, что увеличение единичной мощности абсорберов, повышение требований к качеству и чистоте конечных продуктов, охрана окружающей среды обуславливает необходимость совершенствования массообменного оборудования [1].

Одной из важных проблем разработки новых конструкций тепло-массообменных аппаратов, является решение задач интенсификации процесса и увеличение удельной производительности аппаратов. Интенсификация процессов тепло-массообмена связана с тем, что в современных аппаратах газ является основным источником подводимой энергии, и потому именно он определяет интенсивность турбулизации газожидкостной системы, эффективность массообмена и скорость, что так же позволит увеличить производительность единицы объема аппарата.

Решение этих задач может быть достигнуто путем создания благоприятными гидродинамическими условиями взаимодействия фаз, главным образом путем повышения скорости газа, развития межфазной поверхности контакта, зависящими от конструкции применяемого аппарата. При этом величины гидравлического сопротивления и брызгоуноса должны находиться в допустимых пределах. Необходимо добиваться того, чтобы благоприятные для массообмена гидродинамические условия сохранялись в широком диапазоне нагрузок по газу и жидкости [2].

**Основанием** для исследования явилась необходимость создания аппарата с высокой эффективностью контакта фаз, обладающего высокой пропускной способностью потоков, широким диапазоном рабочих скоростей газа и способного формировать развитый газожидкостной слой, при небольших плотностях орошения.

**Исходными данными** для разработки темы стали результаты анализа конструкций и работы аппаратов с провальными тарелками, а также данные лабораторных и промышленных исследований.

**Актуальность темы.** Тепло-массообменные процессы находят широкое применение в химической и нефтегазовой промышленности. Колонные аппараты являются необходимым элементом большинства промышленных технологических линий и применяются в процессах разделения и очистки многокомпонентных смесей. От качества функционирования таких аппаратов зависит

### Раздел 5. «Химия»

эффективность работы предприятий в целом. Очистка газопылевых выбросов также во многом определяется эффективностью работы колонных аппаратов, что решает одну из задач экологических проблем. Существующие в настоящее время конструкции тарельчатых аппаратов не в полной мере способны решить данные задачи. Основными недостатками указанных конструкций является недостаточный диапазон рабочих скоростей газа и необходимость применения высоких плотностей орошения для создания развитой межфазной поверхности [3].

**Целью** исследования явилась разработка высокоэффективного контактного устройства «наклонного типа» в виде распыливающих конусов провального типа, исследование гидродинамических и массообменных характеристик на базе экспериментальной лабораторной установки.

Разработана усовершенствованная конструкция аппарата с контактными устройствами «наклонного типа» в виде распыливающих конусов провального типа.

Основными конструктивными характеристиками распыливающего конуса провального типа, существенно влияющими на закономерности его работы, являются свободное сечение тарелок  $F_0$  (доля сечения тарелки занятая перфорацией,  $\text{м}^2/\text{м}^2$ ), диаметр отверстий  $d_0$  и угол наклона поверхности распыливающего конуса  $\alpha$  [4].

Увеличение свободного сечения тарелки позволяет увеличить производительность аппаратов, но при этом эффективность их работы понижается из-за уменьшения задержки жидкости на тарелке и снижения величины межфазной поверхности. Тарелки с большим свободным сечением применяются обычно для проведения процессов газоочистки, так как для этого требуется высокая производительность аппарата по газу при сравнительно мягких требованиях к эффективности одной ступени контакта. Тарелки с меньшим свободным сечением применяются для проведения процесса ректификации, так как предъявляются требования высокой степени разделения исходных компонентов жидкости [5].

Вследствие этого, предложено для проведения исследования следующие характеристики конструкций распыливающих конусов (таблица 1).

Таблица 1

Основные характеристики распыливающих конусов

№ тарелки	Свободное сечение, $F_0$ , %	Угол наклона конуса к основанию, град.	Диаметр отверстий, мм	
			для газа	для жидкости
1	8,5	45	10	10
2	12	45	10	15
3	12	30	10	15
4	12	60	10	15
5	25	45	15	15
6	35	45	20	20
7	50	45	25	20

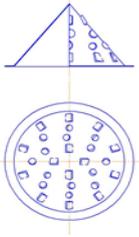
Исследования *гидродинамических* и *массообменных* характеристик проводились на экспериментальной установке в системе "вода-воздух". Схема экспериментальной установки представлена на рисунке. Основным устройством установки является колонна (1) диаметром 240 мм.

Воздух с помощью вентилятора (3) подавался в колонну (1). Проходя через рабочую зону колонны, воздушный поток взаимодействовал с жидкостью, в результате чего на контактном устройстве образовывался газожидкостной, слой. Воздух сбрасывался в атмосферу. Расход воздуха регулировался вентилем (13) и измерялся по перепаду давления на диафрагме (8) и фиксировался U-образным дифманометром (10).

Вода из общей сети водопровода подавалась в колонну через ороситель (7), а затем отводили из куба колонны в абсорбер (4). Часть воды сбрасывалась в канализацию. Расход воды регулировался вентилем (12) и контролировался по показаниям ротаметра (9).

Основными характеристиками контактного устройства, характеризующих работу колонного оборудования являются: гидравлическое сопротивление, количество удерживаемой жидкости, брызгоунос, коэффициент массопередачи, и степень улавливания.

## Раздел 5. «Химия»



В процессе эксперимента изменяли следующие параметры:

- Плотность орошения,  $L=3,5... 40 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{-ч}$ ;
- Скорость воздуха  $w= 0,2...6 \text{ м/с}$ ;
- Свободное сечение тарелки  $F_0=0,085...0,5 \text{ м}^3/\text{м}^3$ .

Для экспериментального исследования массоотдачи в жидкой фазе и в газовой фазе выбран процесс десорбции углекислого газа из водных растворов - воздухом. Температура жидкости и газов на протяжении всех опытов поддерживают постоянной.

Для приготовления водного раствора угольной кислоты подают воду в абсорбционную колонку (4), заполненную кольцами Рашига, в которой происходит насыщение ее угольной кислотой. Углекислый газ, расход которого регулируется вентилем (19), через редуктор из баллона (5) подавали в абсорбционную колонку, где обеспечивалось насыщение воды  $\text{CO}_2$  до 1 г/л, что позволяло достаточно точно определять значения концентраций. Количество угольной кислоты, подаваемой на абсорбционную колонку, поддерживали таким, чтобы концентрация ее в водном растворе на входе в колонку (1) оставалась примерно постоянной. По ротаметру (9) устанавливали заданную плотность орошения  $L_f = \text{const}$  колонны (1). Для создания циркуляции воды снизу колонны часть воды насосом (2) качается в абсорбционную колонку (4), расход которой регулируется вентилем (12). Затем при открытом вентиле (13) включают вентилятор (3) и по показаниям дифманометра (10) устанавливают наименьшую скорость воздуха. Через 3-5 минут работы колонны в установившемся режиме отбирают пробы воды, насыщенные углекислым газом на входе и выходе из колонны. Как правило отбирали 3-5 проб жидкости и газа и при обработке опытных данных принимали усредненные значения концентраций. Температура потоков жидкости и газа, выходящих из колонны практически были равны температурам потоков жидкости и газа на входе в колонку. Интервал времени между отборами проб на анализ до десорбции и после нее выдерживался постоянным и равнялся примерно времени, необходимому на прохождение жидкости через аппарат.

Для определения **коэффициента массоотдачи в жидкой фазе** необходимо определить концентрацию углекислого газа в воде до и после тарелки. Так как бикарбонатная жесткость воды в процессе десорбции не изменялась, то при анализе определяли только свободную угольную кислоту в воде. Метод определения углекислого газа в воде основан на реакции нейтрализации. Поэтому для более точного анализа и определения коэффициента массоотдачи в жидкой фазе использовали метод обратного титрования в присутствии хлористого бария .

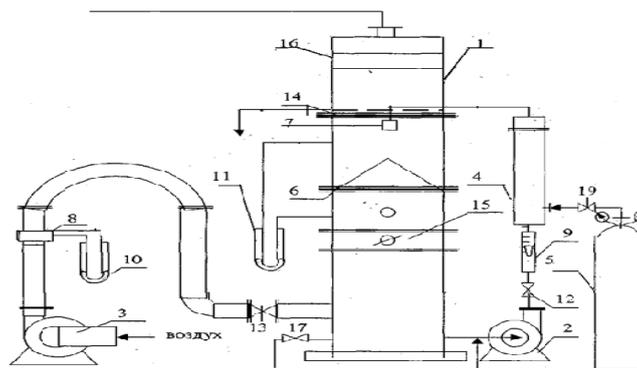


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки

1-колонна; 2-центробежный насос; 3-вентилятор; 4-абсорбер; 5-газовый баллон с угольной кислотой; 6-контактное устройство; 7-ороситель; 8-диафрагма; 9-ротаметр; 10-дифманометр-расходомер; 11-дифманометр; 12,13-вентили; 14-клапанная тарелка; 15-шибер; 16-слой насадки; 17,18,19-вентили

## Раздел 5. «Химия»

Таблица 2.

Зависимость характеристик массообмена от  $F_c$  тарелки

$F_c$ , %	Угол наклона, град	Плотность орошения, $\text{м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$	Гидравлическое сопротивление, Па	Коэффициент массоотдачи, $\beta_{ж}, *10^3 \text{ м/с}$	Степень улавливания, %
8,5	45	5,5	700	5,41	77,97
12	45	5,5	260	30,05	95,16
12	30	5,5	140	2,7	63,85
12	60	5,5	310	2,55	62,50
25	45	5,5	340	34,12	95,71
35	45	20	310	35,14	95,83
50	45	30	300	35,78	81,11

## Выводы

На основании проведенных экспериментов было выяснено, что наиболее эффективно работают тарелки с  $F_c = 25,35,50\%$

Элемент наклонного типа позволяет увеличить коэффициенты тепло-, массопередачи в абсорбционных аппаратах. В отличие от тарелок других типов, данная тарелка практически не забивается твердыми включениями. Следовательно, она может эксплуатироваться без ремонта долгое время.

Отличие от прототипа - отверстия выполнены в виде насечек, которые формируют необходимый гидродинамический режим в объеме газожидкостной фазы. Каждый ряд насечек формирует потоки в противоположном направлении, что способствует интенсификации процесса.

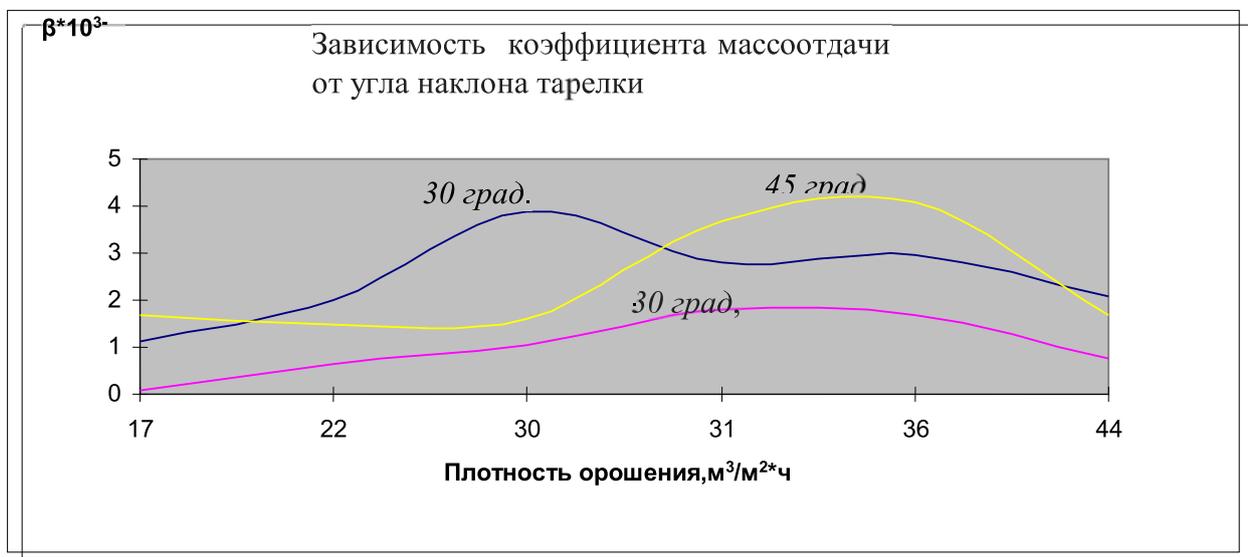


Рисунок 2. Из графика видно, что наиболее эффективно работают тарелки с углом наклона 30-45 градусов при наличии бортика 10 мм.

## Раздел 5. «Химия»

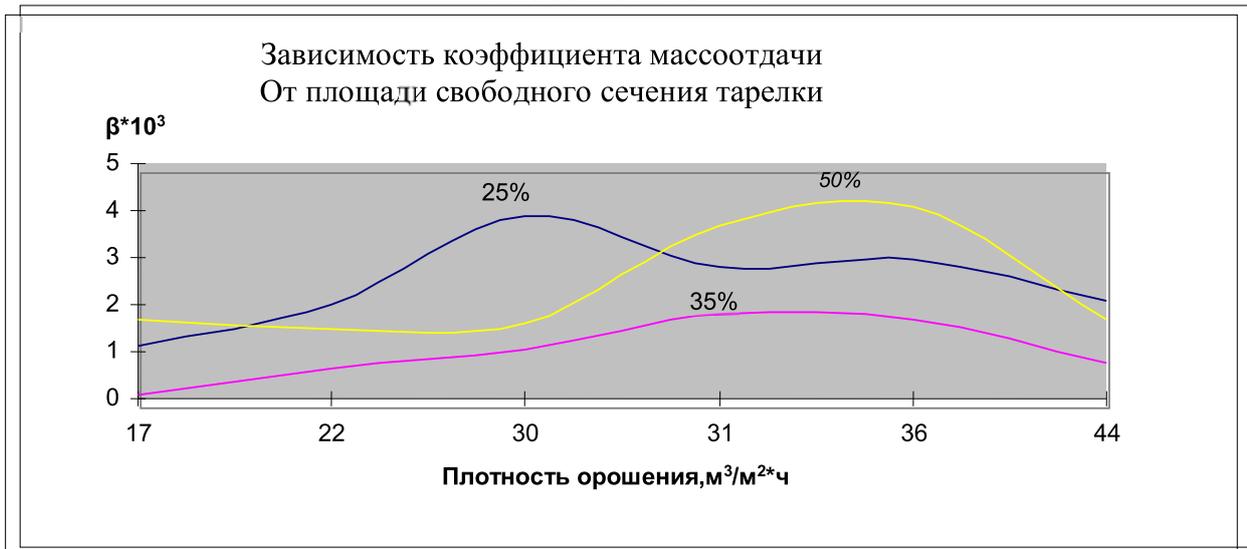


Рисунок 3. Из графика следует, что самым оптимальным является площадь свободного сечения 25-50%, бортик 10мм.

## Список литературы:

1. Сосновский В. И., Сосновская Н. Б., Степанова С. В. Процессы и аппараты защиты окружающей среды. Казань: Казанский национальный исследовательский технологический университет (КНИТУ), 2009 г., 114 с.
2. Митропов В.В., Цветков О.Б. Основы теории массообмена. СПб: Университет ИТМО, 2019 г., 126 с.
3. Рамм В.М. Абсорбция газов. Изд. 2-е, перер., и доп. Москва: "Химия", 1976.-656 с.
4. Основные процессы и аппараты химической технологии, пособие по проектированию. Под ред. Ю. И. Дытнерского. Москва: Химия, 1991 г.
5. Плановский А.Н., Рамм В.М., Каган С.З. Процессы и аппараты химической технологии. Изд.5-е. Москва: «Химия», 1998, 847 с.

А.И. Алмазов, Е.В. Ситдикова

### Жаңа жоғары тиімді көлбеу типті байланыс құрылғысын құру

Табиғатты қорғау мәселесі ең өзекті мәселелердің бірі болып табылады, өйткені жердегі өмір, адамдардың денсаулығы оны шешуге байланысты. Бұл мәселе ХХ ғасырда химия, кокс-химия және металлургия өнеркәсібінің қарқынды дамуы атмосфераның, судың және топырақтың ластануына әкелген кезде шиеленісе түсті. Құрамында улы зиянды қосылыстар бар өнеркәсіптік газ шығарындылары табиғат пен халықтың денсаулығына үлкен зиян келтіреді. Металлургия, кокс-химия және химия өнеркәсібі көп тоннажды болып табылады, нәтижесінде шығатын газдардың көп мөлшері пайда болады, сондықтан жоғары тиімді жабдықты, газдың үлкен өткізу қабілеттілігін, жоғары тазарту дәрежесін қолдану қажет.

*Түйін сөздер:* сіңіру, газ тазарту, масса алмасу процестері, байланыс құрылғылары, десорбция.

**Раздел 5. «Химия»**

A.I. Almazov, E.V. Sitdikova

**Creation of a new highly efficient contact device of the inclined type**

The problem of nature protection is one of the most urgent, since life on Earth and human health depend on its solution. This problem worsened in the twentieth century, when the intensive development of the chemical, coke and metallurgical industries led to pollution of the atmosphere, water and soil. Industrial gas emissions containing toxic harmful compounds cause enormous damage to nature and public health. The metallurgical, coke-chemical and chemical industries are multi-tonnage, and as a result, a large number of waste gases are formed, therefore it becomes necessary to use highly efficient equipment with high gas throughput, with a high degree of purification.

*Keywords:* absorption, gas purification, mass transfer processes, contact devices, desorption.

## References

1. Sosnovsky V. I. , Sosnovskaya N. B. , Stepanova S. V. Processes and devices of environmental protection. Kazan: Kazan National Research Technological University (KNITU), 2009, 114 p.
2. Mitropov V.V., Tsvetkov O.B. Fundamentals of the theory of mass transfer. St. Petersburg: ITMO University, 2019, 126 p.
3. Ramm V.M. Absorption of gases. Ed. 2nd, transl., and add. Moscow: "Chemistry", 1976.-656 p.
4. Basic processes and devices of chemical technology, design manual. Edited by Yu. I. Dytnersky. Moscow: Khimiya, 1991 .
5. Planovsky A.N., Ramm V.M., Kagan S.Z. Processes and devices of chemical technology. Ed.5th. Moscow: "Chemistry", 1998, 847 p.