

66
и 38

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА " ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ ИМЕНИ С.М.КИРОВА

На правах рукописи

ИЗОЖ Александр Иванович

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ТЕЧЕНИЯ ЖИДКОЙ
ФАЗЫ И ЭФФЕКТИВНОСТИ РАБОТЫ КОНТАКТНОЙ
СТУПЕНИ ЭЛЕМЕНТНОГО ТИПА

05.17.08 – процессы и аппараты химической
технологии

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Минск 1982

Работа выполнена в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте имени С.М.Кирова.

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор ЕРШОВ А.И.

Официальные оппоненты:

доктор технических наук, профессор ГРИШАЕНКОВ Б.Г.,

кандидат технических наук КАРПОВИЧ А.И.

Ведущая организация: Всесоюзный научно-исследовательский и проектно-конструкторский институт нефтяного машиностроения (ВНИИНЕФТЕМАШ).

Защита состоится 9 июня 1982 г. в 10 час. на заседании специализированного совета К-056.01.03 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском технологическом институте имени С.М.Кирова по адресу: 220630, г.Минск, ул.Свердлова, 13а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БТИ им.С.М.Кирова.

Автореферат разослан "5" мая 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

ДЭУБА Е.Д.

Общая характеристика работы

Актуальность проблемы. Решениями XXV и XXVI съездов КПСС перед всеми отраслями промышленности поставлены комплексные задачи по созданию агрегатов большой единичной мощности, реконструкции низкопроизводительных установок с использованием последних достижений науки и техники.

Колонные аппараты для проведения процессов массопередачи широко применяются в химической и нефтеперерабатывающей промышленности. Взаимодействие фаз в колонных аппаратах происходит на контактных ступенях (тарелках) различного конструктивного исполнения. К ним относятся все виды ситчатых, клапанных, колпачковых, насадочных и др. контактных устройств.

6377 оп.

Реальным путем повышения производительности барботажных контактных ступеней, которые наиболее широко распространены в настоящее время, является увеличение их диаметра, т.к. скорости газа (пара) на сечение аппарата достигли предела из-за брызгоуноса жидкости с потоком газа. Однако такой путь приводит к существенному увеличению габаритных размеров колонн и затрат на их монтаж и транспортировку. При реконструкции действующих колонных аппаратов и создании высокопроизводительных колонн с малыми габаритами перспективным путем следует признать использование для процессов массопередачи пленочных контактных ступеней элементного типа (КСЭТ) с взаимодействием фаз в закрученном потоке. Такие ступени уже работают на ряде предприятий химической промышленности и зарекомендовали себя с самой положительной стороны. Однако для перехода на серийный выпуск КСЭТ требуется дальнейшее проведение комплексных исследований закономерностей гидродинамики и массообмена с целью накопления достоверных результатов о режимах работы и создания инженерных методов их расчета.

Цель работы. Исследование закономерностей течения и перемешивания жидкости как в отдельном контактном элементе, так и на ступени в целом, а также их влияния на эффективность массообмена.

Научная новизна. Разработан метод одновременного получения параметров течения и перемешивания жидкости по экспериментальным F -кривым отклика на концентрационное трансверсальное возмущение, который позволяет использовать как всю F -кривую, так и с "отсеченным" хвостом. Для осевого и закру-

ченного восходящего двухфазного потока в контактном элементе определены коэффициенты турбулентной диффузии и среднее время пребывания жидкости. Предложен способ расчета времени контакта фаз на поверхности раздела, коэффициента массоотдачи в пленке жидкости и эффективности контактного элемента. Для контактной ступени с рециркуляцией жидкости определены коэффициент турбулентной диффузии и среднее время пребывания жидкости на ступени. Предложен способ расчета кратности циркуляции и эффективности ступени по жидкости.

Практическая ценность. Результаты лабораторных исследований использованы при разработке опытно-промышленной ступени контакта (КСЭТ), защищенной авторским свидетельством. Изготовление массообменного аппарата, состоящего из разработанных ступеней, проведено на Гродненском производственном объединении "Азот". Испытания изготовленного аппарата выполнены во ВНИИНЕФТЕМАШе по рабочей программе стендовых испытаний проблемы О15.03.07 (этап 4.3), координируемой ГК по Н и Т при СМ СССР и АН СССР.

Апробация работы. Основное содержание диссертационной работы обсуждалось на IV Всесоюзной конференции по ректификации (г.Уфа, 1978); Всесоюзной конференции по аэрогидродинамике химических аппаратов "АЭРОХИМ-I" (г.Северодонецк, 1981); научно-технических конференциях БТИ им.С.М.Кирова (1975, 1977-1979, 1981).

Публикации. Результаты работы опубликованы в 4 научных статьях и докладах; получено I авторское свидетельство.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов, списка использованной литературы (106 наименований) и приложения, в котором представлены программа расчета, записанная на языке АКИ(T) для ЭВМ "Минск-22", рабочая программа стендовых испытаний опытно-промышленной контактной ступени, акт испытания опытно-промышленной контактной ступени. Диссертация изложена на 134 страницах, содержит 35 рисунков, 7 таблиц.

Содержание работы

Глава 2 представляет собой литературный обзор, состоящий из двух взаимосвязанных частей и выводов. В первой части обзора представлены работы по математическому описанию эффективности элементарных контактных ступеней с использованием

различных моделей. Во второй части литературного обзора проанализированы работы по определению параметров течения и перемешивания жидкости на ступенях контакта. На основании выводов обзора поставленная задача исследования подразделена на две взаимосвязанные части: одна из них состоит в определении параметров течения и перемешивания жидкости в контактном элементе, а вторая - на контактной ступени элементного типа.

В третьей главе описана экспериментальная лабораторная установка, созданная для исследования течения и перемешивания жидкости в контактном элементе и на ступени с помощью индикаторной методики. Возмущающим сигналом выбран ступенчатый концентрационный сдвиг, как вносящий минимальные нарушения в гидродинамическую обстановку. Блок-схема лабораторной установки состоит из газо-жидкостного блока, трассерного блока и электрического блока.

Газо-жидкостной блок (рис.1), представляющий основу установки с исследуемым контактным устройством, укомплектован соответствующим оборудованием для подготовки и подачи фаз в зону взаимодействия, а также для их разделения после контакта, приборами для замера уноса жидкости и гидравлического сопротивления контактного устройства.

Трассерный блок служит для подачи трассера в исследуемое контактное устройство и получения ступенчатой формы возмущения. Основным узлом блока является быстродействующее переключающее клапанное устройство с временем переключения 0,005 с. Электрический блок состоит из специальной аппаратуры для записи кривой отклика системы на ступенчатое возмущение.

В четвертой главе представлены результаты экспериментального исследования параметров течения и перемешивания жидкости в контактном элементе и расчет его эффективности. Схематично исследуемый контактный элемент и его основные конструктивные размеры представлены на рис.2. Исследования гидродинамики проведены на системе "воздух-вода". Диапазон нагрузок по фазам изменялся: для осевого потока - $q = (1,7 \pm 4,2) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; $W_3 = 21,3 \pm 33,6 \text{ м/с}$; для закрученного - $q = (2,1 \pm 7,2) \cdot 10^{-4} \text{ м}^2/\text{с}$; $W_3 = 15,0 \pm 33,6 \text{ м/с}$. В качестве трассера использовался раствор хлористого калия в воде. Угол наклона лопастей закручивателя в контактном элементе к горизонтали изменялся в диапазоне $\alpha = 20 \pm 50^\circ$.

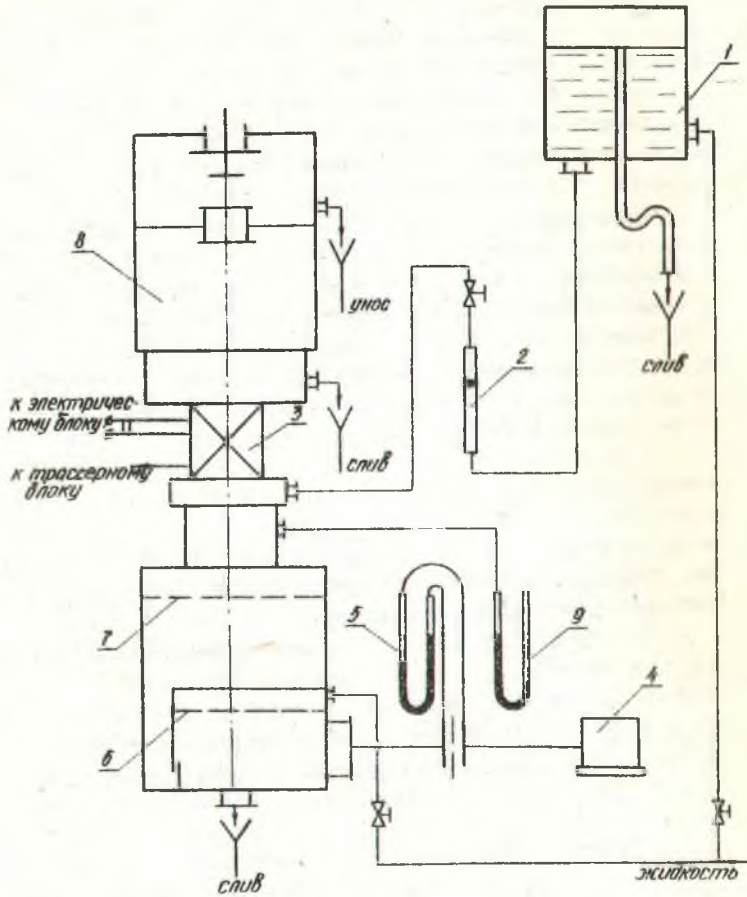


Рис. I. Схема газо-жидкостного блока экспериментальной лабораторной установки
I - напорный бак; 2 - ротаметр; 3 - исследуемое контактное устройство; 4 - газодувка; 5 - расходомер газа; 6 - ступень подготовки газа; 7 - каплеотбойник; 8 - объемный сепаратор; 9 - дифманометр

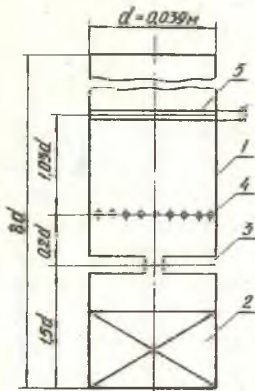


Рис. 2. Принципиальная схема контактного элемента
1 - прозрачный цилиндр; 2 - закручиватель; 3 - целевой ввод жидкости; 4 - ввод трассера; 5 - кольцевые электроды

ций трассера $\bar{C} = 2 \pm 10 \text{ кг/м}^3$ и напряжении на электродах $U = 2 \pm 9 \text{ В}$ проверена линейность процессов, протекающих в контактном элементе. Значения точек одноименных F -кривых отличались друг от друга не более, чем на 10%. Наличие в пленке жидкости неоднородностей потока проверено с помощью функции интенсивности

$$\lambda(t) = - \frac{d}{dt} \ln [1 - F(t)] \quad (2)$$

Расчеты показали отсутствие в пленке жидкости как в осевом, так и закрученном потоке ярко выраженных неоднородностей.

Распределение трассера в пленке жидкости описано с помощью уравнения конвективной диффузии. Для условий ввода и измерения концентрации трассера, которые соответствуют бесконечному каналу, получена следующая зависимость для теоретической F -кривой

$$F(\theta) = \frac{1}{2} \left(\frac{Pe}{\pi} \right)^{0.5} \int_0^{\infty} \theta^{2s} \exp \left[- \frac{Pe}{\theta} (1 - \theta)^2 \right] d\theta \quad (3)$$

Параметры течения и перемешивания определены с применением разработанного метода, при котором минимизировался функционал

Ввиду нелинейности зависимости "ток-концентрация трассера", перед съемом кривых отклика проводилась тарировка для каждого режима нагрузки по фазам. Пересчет кривых отклика для получения искомым экспериментальных F -кривых, определяемых зависимостью

$$F = 1 - \frac{\bar{C}}{C_{max}} = f(t) \quad (1)$$

проведен на ЭВМ с помощью стандартной программы квадратичной интерполяции.

По значениям точек экспериментальных F -кривых в диапазоне исходных концентра-

$$\varphi = \left\{ \sum_1^K \frac{1}{2T^*} \left(\frac{\rho_e}{K} \right)^{0.5} \int_0^{\frac{t}{T^*}} \left(\frac{t}{T^*} \right)^{0.5} \exp \left[\frac{\rho_e T^*}{4t} \left(1 - \frac{t}{T^*} \right)^2 \right] dt - F_x^* \right\}^2 \quad (4)$$

Минимизация функционала проведена по специальной программе на ЭВМ. Погрешность в определении параметров ρ_e и T^* не превышала 1%, а среднее отклонение сравниваемых точек экспериментальной и теоретической F -кривых не превышало 6%, что говорит об адекватности описания распределения трассера в пленке жидкости уравнением конвективной диффузии. Разработанный метод удобен тем, что позволяет использовать экспериментальную F -кривую с отсеченным "хвостом". Как показала проверка, отсечение хвостов вначале и в конце кривой до значений $1/3$ и $2/3 C_{max}$ практически не влияет на получаемые значения ρ_e и T^* .

При известных ρ_e и T^* были рассчитаны значения коэффициента турбулентной диффузии и среднего времени пребывания жидкости в элементе по формулам

$$D = \frac{S^2}{T^* \rho_e} \quad (5) \quad T = \frac{T^* \rho_e^2}{2\rho_e + \delta + \rho_e^2} \quad (6)$$

Для определения коэффициента массоотдачи в пленке жидкости применена зависимость пенетрационной теории обновления поверхности контакта фаз

$$\beta_x = 2 \left(\frac{D_M}{K \Delta t} \right)^{0.5} \quad (7)$$

Для расчета же времени контакта фаз Δt на поверхности раздела нами предложена формула с использованием параметров течения и перемешивания жидкости в пленке и принципа неразрывности ее течения

$$\Delta t = \frac{T^* T^*}{\rho_e} \quad (8)$$

Применимость пенетрационной теории и предложенного способа определения Δt подтверждена удовлетворительной сходимостью при сравнении расчетных β_x с литературными данными.

Эффективность контактного элемента по жидкости для процесса абсорбции труднорастворимого газа с учетом параметров течения и перемешивания рассчитана по следующей полученной зависимости

$$E_{zx} = \frac{K \cdot N_y \cdot \lambda}{1 + K \cdot N_y \cdot \lambda} \quad , \text{ где} \quad (9)$$

$$K = \frac{z_2}{z_1 - z_2} \left[\frac{1}{z_1} (1 - \exp z_1) - \frac{\exp z_1}{Pe(\lambda+1)} \right] - \frac{z_1}{z_1 - z_2} \left[\frac{1}{z_2} (1 - \exp z_2) - \frac{\exp z_2}{Pe(\lambda+1)} \right] - \frac{1}{Pe(\lambda+1)} \quad (10)$$

Величины z_1 и z_2 определялись из уравнений

$$z_1 = - \frac{Pe - N_y}{2} \left[1 - \sqrt{1 + \frac{4Pe N_y(\lambda+1)}{(Pe - N_y)^2}} \right] \quad (11)$$

$$z_2 = - \frac{Pe - N_y}{2} \left[1 + \sqrt{1 + \frac{4Pe N_y(\lambda+1)}{(Pe - N_y)^2}} \right] \quad (12)$$

Зависимости K , z_1 , z_2 получены в работе*.

В табл. I приведены данные некоторых исследованных режимов для среднерасходной скорости газа $W_g = 21,3$ м/с и длины контактной зоны $S = 1,03 d$.

Таблица I

№ режима	α	$q \cdot 10^{-4}$ м ² /с	$D \cdot 10^{-3}$ м ² /с	T^* , с	$\Delta t \cdot 10^{-2}$, с	$\beta \cdot 10^{-4}$, м/с	E_{zx}
I	осевой поток	1,7	0,8	0,46	0,59	5,6	0,13
2	осевой поток	2,9	0,8	0,42	0,49	6,1	0,08
3	осевой поток	4,2	1,0	0,39	0,35	7,3	0,07
4	50°	2,1	1,4	0,35	0,25	8,7	0,14
5	50°	3,3	2,2	0,32	0,12	12,6	0,14
6	50°	5,8	2,5	0,31	0,09	14,0	0,09
7	38°	2,1	2,0	0,33	0,14	11,6	0,21
8	38°	3,3	2,0	0,30	0,14	12,9	0,15
9	38°	4,5	2,0	0,32	0,13	12,0	0,10
10	20°	2,1	5,0	0,32	0,03	25,4	0,34
11	20°	4,5	3,6	0,29	0,05	20,3	0,16
12	20	7,2	3,0	0,22	0,03	23,7	0,12

Глава 5 посвящена исследованию течения и перемешивания жидкости на лотковой контактной ступени с рециркуляцией жидкости и определению эффективности ее работы. Лотковый тип

* Берговский М.А., Александров И.А., Скобло А.И. К расчету эффективности массопередачи при проточном движении фаз. - ТОХТ, 1971, т.5, № 3, с.463-466.

тарелки принят на основании положения о необходимости продольного секционирования массообменных ступеней контакта и представляет собой одну продольную секцию круглой тарелки с 4-мя элементами (рис.3). Диаметр контактных элементов на ступени был одинаковый с исследованным в главе 4. Закручиватели элементов - шестилопастные с углом наклона лопастей к горизонтали 38° . Подача жидкости в зону контакта осуществлялась по радиальным трубочкам, выступающим вовнутрь элементов на расстояние $d/8$. В верхней части контактных элементов имелись сепарационные колпачки.

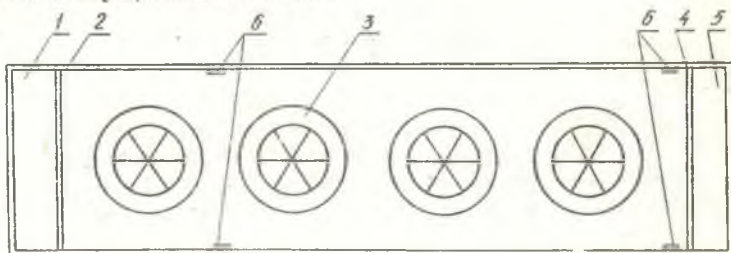


Рис.3. Схема лотковой ступени контакта (вид сверху)

1-приемный стакан; 2-переливная планка с трубочкой для ввода трассера; 3-контактный элемент; 4-сливная планка; 5-сливной стакан; 6-электроды

Для проведения опытов выбран трассерный метод с подачей возмущения в виде концентрационного ступенчатого сдвига, что позволило использовать лабораторную установку, описанную в главе 3.

Исследования гидродинамики проведены на системе "воздух-вода" при орошении ступени $OR = 2,8+15 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ и скорости газа в элементах $W_g = 15+28,2 \text{ м/с}$. Запас жидкости на тарелке изменялся с помощью высоты сливной планки $h_p = 0,025; 0,038 \text{ м}$. В качестве трассера использовался водный раствор хлористого калия.

Первоначально во всем диапазоне изменения нагрузок по фазам были измерены потери давления на гидравлическое сопротивление и унос жидкости со ступени. Затем в таком же порядке, как и в главе 4, нами сняты кривые отклика и тарировка для зон тарелки с одним элементом и с четырьмя для чисто лоткового течения, когда трубочки подачи жидкости в элементы были заглушены и отсутствовала нагрузка по газу, и для каждого ре-

жима нагрузок фаз. Пересчет кривых отклика в F -кривые по (I) выполнен на ЭВМ. Далее по аналогии с методикой главы 4 проверена линейность процессов, происходящих на ступени, и наличие в потоке жидкости неоднородностей. Расчеты показали, что значения одноименных точек отличаются между собой не более, чем на 12%. Это говорит о линейности процессов и отсутствии в потоке жидкости ярко выраженных неоднородностей.

Для описания распределения трассера в исследуемых зонах тарелки использовано уравнение конвективной диффузии

$$\frac{\partial C}{\partial t} + W_x \frac{\partial C}{\partial x} = D \frac{\partial^2 C}{\partial x^2} \quad (13)$$

Решение уравнения (13) для условий проведения эксперимента, соответствующих полубесконечному каналу, имеет следующий вид

$$F(\theta) = \left(\frac{\rho_e}{\rho}\right)^{0.5} \int_0^{\infty} \frac{\exp\left(-\frac{\rho_e(1-\theta)}{2\theta^{0.5}}\right)}{\theta^{0.5}} d\theta - \frac{\rho_e}{2} \exp(\rho_e) \operatorname{erfc} \frac{\rho_e^{0.5}}{2} \left(\frac{1}{\theta^{0.5}} - \theta\right) d\theta \quad (14)$$

Параметры течения и перемешивания определены по ранее использованной методике для чисто лоткового течения и при работающих элементах. Отклонение одноименных точек экспериментальных и теоретических F -кривых для лоткового течения не превышает 3%, при работающих элементах - 10%.

Согласно полученным результатам при плотностях орошения $OR < 2,8 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ значения критерия $\rho_e < 0,5$, что свидетельствует об интенсивном перемешивании на ступени и о возможности описания течения жидкости с помощью модели идеального перемешивания. Для остального диапазона орошений $2,8 < OR < 14,8 \frac{\text{м}^3}{\text{м}^2\text{ч}}$ значения $\rho_e > 0,5$ и в этом случае перемешивание жидкости на ступени можно описать уравнением (13).

С использованием уравнения (5) рассчитаны значения коэффициента турбулентной диффузии. На рис.4 представлена зависимость D^{CP} от скорости газа для зоны с одним элементом и $h_p = 0,025 \text{ м}$.

По полученным значениям среднего времени пребывания жидкости на ступени контакта при чисто лотковом течении, а также среднего времени пребывания жидкости в элементе рассчитана кратность циркуляции по формуле

$$K = \frac{T_r^* - T_i}{T_s} \quad (15)$$

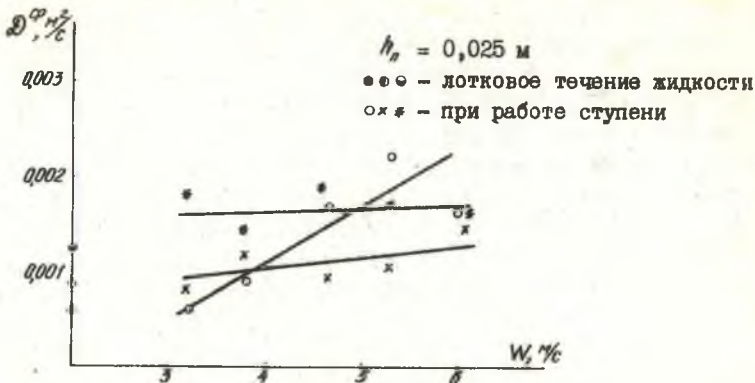


Рис.4. Зависимость коэффициента турбулентной диффузии от скорости газа в колонне

●●● - $Re = 6,7$; ○× - $10,7$; ○* - $14,8$

Эффективность ступени по жидкости с учетом ее перемешивания определена с помощью зависимости

$$E_{ix} = \frac{1}{1 - \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{A}}, \quad \text{где} \quad (16)$$

$$A = \frac{1}{4q} \left[(q+1)^2 \exp \frac{Pe(q-1)}{2} - (q-1)^2 \exp \frac{Pe(q+1)}{2} \right] - 1 \quad (17)$$

$$q = \left[1 + \frac{4}{Pe \left(\frac{1}{K} + \frac{1}{\lambda} + \frac{1}{E_{xx}} - 1 \right)} \right] \quad (18)$$

Для расчета τ , и E_{xx} использованы данные, полученные в главе 4. В таблице 2 представлены некоторые результаты исследования и расчета параметров ступени при наличии в контактной зоне 4-х элементов. Анализ результатов показывает, что эффективность ступени несколько меньше эффективности отдельного контактного элемента и зависит от кратности циркуляции жидкости, которая очень сильно изменяется с изменением нагрузок по фазам.

В главе 6 представлены материалы разработки и испытания опытно-промышленной контактной ступени элементного типа. Конструкция ее (рис.5) разработана с использованием результатов исследования отдельного контактного элемента и лотковой ступени, а также с учетом требований головного института

Таблица 2

№ режима	DK м ³ /м ² ч	W_2 м/с	h_n м	Pe	T_T^* с	K	E_{3X}	E_{TX}
1	6,7	15,0	0,025	3,9	12,1	1,5	0,19	0,18
2	10,7	15,0	0,025	9,3	8,1	0,8	0,22	0,19
3	14,8	15,0	0,025	8,9	6,1	0,5	0,24	0,17
4	6,7	17,9	0,025	3,4	11,9	0,9	0,32	0,25
5	6,7	15,0	0,038	3,4	20,9	1,6	0,18	0,17
6	10,7	15,0	0,038	5,0	13,7	1,0	0,19	0,17
7	14,8	15,0	0,038	4,0	10,3	0,5	0,24	0,17
8	6,7	17,9	0,038	3,4	23,0	0,9	0,34	0,26
9	10,7	17,9	0,038	5,4	14,5	0,5	0,36	0,23

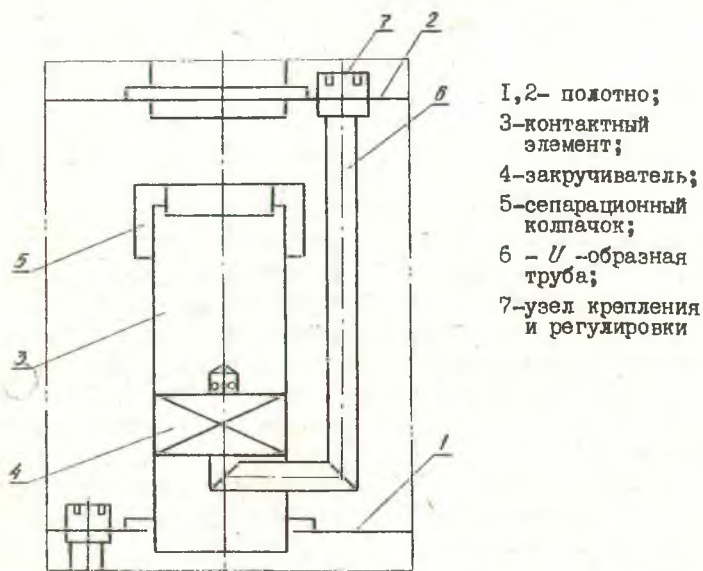


Рис.5. Массообменный аппарат по а.с. № 724150 (СССР)

ВНИМАТЕЛЬНО о возможности сборки-разборки отдельных деталей при эксплуатации. Контактная ступень аппарата состоит из полотно тарелки 1, на котором расположены контактные элементы 3 с U-образными трубами 6 для подвода жидкости, снабжен-

ными в верхней части узлом крепления и регулировки 7. Внутри элементов на входе газа установлены лопастные закручиватели 4, а в верхней части - сепарационные колпаки 5. Такой конструктивный вариант тарелки позволяет обеспечить удобства монтажа и демонтажа контактных элементов, взаимозаменяемость их при ремонте. Соосность элементов ступеней по высоте снижает гидравлическое сопротивление. Кроме того с помощью узла регулировки 7 можно установить оптимальное расстояние между элементами в зависимости от физико-химических свойств реагирующих фаз в системе.

Принцип движения жидкости принят противоточный в целом по колонне и без циркуляции на ступенях, что позволяет расширить диапазон работы по газу и жидкости при высокой эффективности массопередачи. Массообменный аппарат, состоящий из опытно-промышленных контактных ступеней, защищен авторским свидетельством на изобретение № 724150.

Опытно-промышленный образец массообменного аппарата с тремя тарелками диаметром 0,5 м и живым сечением контактных элементов 38% был изготовлен на Гродненском производственном объединении "Азот". Испытания аппарата проведены по рабочей программе научной проблемы О15.03.07 (этап 4.3), разрабатываемой несколькими организациями страны и координируемой ГК по И и Т при СМ СССР и АН СССР на многоцелевом стенде ВНИИНЕФ-ТЕМАШа, предназначенном для сравнительных испытаний различных массообменных тарелок. При испытаниях изучался перепад давления на неорошаемой и орошаемой ступени, унос жидкости, диапазон устойчивой работы при переменной скорости газа и различных нагрузках по жидкости, массопередача при десорбции двуокиси углерода из водного раствора воздухом.

В результате испытаний установлены следующие параметры контактной ступени.

1. Диапазон устойчивой работы при условии уноса жидкости < 10%: орошение ступени $0+25 \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$; скоростной фактор по колонне $3+9 \text{ м}^{0,5} \cdot \text{кг}^{0,5}/\text{с}$.

2. Гидравлическое сопротивление не более 2000 н/м^2 .

3. Эффективность массопередачи $E_{rx} = 0,7+0,95$.

На основе полученных результатов проведена технико-экономическая оценка, показывающая, что разработанная конструкция КСЭТ не уступает широкоприменяемым массообменным тарелкам.

В ы в о д ы

1. Для широкого практического использования скоростных контактных ступеней элементного типа необходимо проведение дальнейших исследований закономерностей движения и перемешивания фаз, определяющих эффективность массопередачи.

2. Применение экспериментальных F -кривых отклика на концентрационное трассерное возмущение дает возможность определить параметры течения и перемешивания в жидкости внутри отдельного элемента и на контактной ступени в целом.

3. Для одновременного получения данных по течению и перемешиванию жидкости разработан новый метод расшифровки экспериментальных F -кривых отклика, позволяющий использовать как полную кривую, так и с отсеченным "хвостом".

4. Впервые получены данные по коэффициенту турбулентной диффузии в пленке жидкости, движущейся в двухфазном закрученном потоке.

5. Предложен метод определения времени контакта фаз на поверхности раздела с использованием коэффициента турбулентной диффузии и среднего времени пребывания жидкости.

6. Разработана методика расчета коэффициента массоотдачи в пленке жидкости, движущейся в двухфазном восходящем потоке, с применением положений пенетрационной теории обновления поверхности, и эффективности контактного элемента по жидкой фазе с учетом продольного перемешивания.

7. Получены данные по коэффициенту турбулентной диффузии и среднему времени пребывания жидкости на ступени контакта и предложен метод расчета ее эффективности с учетом кратности циркуляции жидкости на тарелке и эффективности контактного элемента.

8. Определены границы применимости расчета эффективности контактной ступени по различным моделям для исследованного диапазона нагрузок; для орошения ступени меньше $2,8 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ целесообразно применять формулу модели идеального перемешивания жидкости, а для орошения $2,8 < OR < 14,8 \text{ м}^3/\text{м}^2\text{ч}$ - уравнение конвективной диффузии.

9. С использованием полученных результатов исследований разработана новая конструкция элементной контактной ступени без рециркуляции жидкости, которая успешно прошла опытно-промышленные испытания на стенде ВНИИНЕФТМАШа.

Условные обозначения

C, \bar{C} - безразмерная, размерная концентрация, кг/м³;
 D - коэффициент турбулентной диффузии, м²/с; d - диаметр
элемента, м; E - эффективность по Мерффи; h_n - высота слив-
ной планки, м; K - кратность циркуляции; L - расход жидко-
сти, м³/с; Pe - критерий Пекле; S - длина элемента, м; пло-
щадь тарелки, м²; τ^* , T , T_c - среднее время пребывания трас-
сера, жидкости, жидкости при чисто лотковом течении, с; θ ,
 \bar{t} - безразмерное, размерное время, с; \bar{x} - продольная коор-
дината; W - среднерасходная скорость газа, м/с; $\lambda(t)$ - функ-
ция интенсивности; $OR = \frac{L}{S}$ (м³/м²ч); $q = \frac{L}{\pi a}$ (м²/с). Индексы
верхние: ε - экспериментальный, элемент; cp - средний. Ин-
дексы нижние: max - максимальный; M - молекулярный; k - по-
рядковый номер точки кривой; x, y - жидкость, газ; t - тар-
елка.

Основное содержание диссертации опубликовано в работах:

1. Шнайдерман М.Ф., Изох А.И., Ершов А.И. Закономернос-
ти явлений переноса при взаимодействии фаз в прямоточно-
центробежных контактных устройствах. Тезисы докладов 4 Всес.
конф. по ректификации. - Уфа, 1978, с.224-226.

2. Изох А.И., Ершов А.И., Шнайдерман М.Ф. Применение
диффузионной модели для определения параметров жидкой плен-
ки, закрученной потоком газа. - Химия и хим.технология. -
Мн.: Вышэйшая школа, 1979, вып.14, с.128-131.

3. Изох А.И., Ершов А.И. Исследование перемешивания
жидкой фазы на элементной ступени контакта и эффективности
ее работы. - Химия и хим.технология. - Мн.: Вышэйшая школа,
1980, вып.15, с.126-128.

4. Ершов А.И., Изох А.И. Исследование влияния аэродина-
мики потока газа на перемешивание и массоотдачу в пленке
жидкости. Тезисы докладов Всес.конф. по аэрогидродинамике
химических аппаратов "АЭРОХИМ-1". - Северодонецк, 1981,
с.152-157.

5. А.с. 724150 (СССР). Массообменный аппарат / Пле-
хов И.М., Ершов А.И., Изох А.И. Опубл. в Б.И., 1980, № 12.

Александр Иванович Изох

Исследование закономерностей течения жидкой фазы и
эффективности работы контактной ступени элементного типа

Подписано в печать 27.04.82. АТ 05641. Формат 60x84 ^I/16.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд. л. I. Тираж
100 экз. Заказ 276 Бесплатно.

Отпечатано на ротапринтере Белорусского ордена Трудового
Красного Знамени технологического института им.С.М.Кирова.
220630. Минск, Свердлова, 13.