

66
В 14

БЕЛОРУССКИЙ ОРДЕНА ТРУДОВОГО КРАСНОГО ЗНАМЕНИ
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ им. С.М.КИРОВА

66.021.0.023
На правах рукописи

ВАНТЕХОВИЧ Петр Евгеньевич

РАЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ
ВИКРЕВЫХ МАССООБМЕННЫХ АППАРАТОВ

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 им. С.М.Кирова.

Научный руководитель: кандидат технических наук, доцент
ПЛЕХОВ И.М.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
МЕДВЕДЕВ В.Ф.

кандидат технических наук, доцент
РЕШАНОВ А.С.

Ведущая организация: Гродненское производственное
объединение "Азот" (г. Гродно)

Защита состоится " 19 " мая 1982 г. в 10⁰⁰ часов на заседании специализированного совета К 056.01.03 по присуждению ученой степени кандидата наук в Белорусском ордена Трудового Красного Знамени технологическом институте им. С.М.Кирова. Адрес: 220630, г. Минск, ул. Свердлова, 13 а.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова.

Автореферат разослан " 31 " марта 1982 г.

Ученый секретарь
специализированного совета,
К.Х.Н., С.Н.С.

ДЗЮБА Б.Д.

Актуальность проблемы. Высокие темпы развития химической промышленности, увеличение объема выпускаемой продукции требуют создания и применения агрегатов большой единичной мощности. Решение этой задачи может осуществляться в двух направлениях: увеличением габаритов существующих или разработкой новых малогабаритных высокопроизводительных аппаратов. Второе направление является единственно верным для массообменных аппаратов, имеющих большую металлоемкость.

Значительное повышение производительности и уменьшение габаритов возможно при использовании вихревых массообменных аппаратов. Одной из ведущих организаций, занимающихся разработкой и исследованием вихревых аппаратов, является Белорусский технологический институт им. С.М.Кирова. Важность этой работы подтверждена включением ее в координационный план Государственного Комитета по науке и технике при Совете Министров СССР (задание № 015.03.07). Исследования вихревых аппаратов показали, что основная трудность при их внедрении в производство заключается в масштабном переходе от лабораторных образцов к промышленным. Гарантировать надежность масштабного перехода можно путем разделения поперечного сечения на ряд секций меньшего размера, соизмеримых с лабораторными аппаратами. Обычно принцип секционирования реализуется в многоэлементных аппаратах. Однако низкая эффективность массопередачи одних из них и высокое гидравлическое сопротивление других ограничивает широкое использование таких аппаратов в процессах тепло - массообмена.

Цель работы.

1. Разработка вихревых секционированных аппаратов, обладающих высокой эффективностью и низким гидравлическим сопротивлением.

2. Теоретические и экспериментальные исследования гидродинамических и массообменных характеристик, направленные на создание инженерной методики расчета промышленных аппаратов.

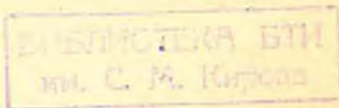
3. Внедрение новых аппаратов в процессах абсорбции и ректификации.

Научная новизна.

1. Разработаны на уровне изобретений новые конструкции вихревых секционированных аппаратов с шестигранными контактными элементами.

2. Выявлены основные закономерности движения закрученного

6336 аэ



потока газа в шестигранном элементе.

3. Предложен метод определения высоты контактного элемента, основанный на решении дифференциальных уравнений движения каплеи и пленки жидкости.

4. Исследованы гидродинамические и массообменные характеристики и получены уравнения для расчета промышленных аппаратов.

Практическая ценность. По результатам исследований разработан и внедрен в производстве диметилтерефталата Могилевского ПО "Химволокно" вихревой ректификационный аппарат для очистки метанола. Годовой экономический эффект от внедрения составил 13763 руб.

Разработаны и внедрены вихревые секционированные аппараты для абсорбции фтористых газов в производствах криолита и калийфоса Гомельского химического завода. Внедрение аппаратов позволило снизить содержание фтора в выхлопных газах до санитарных норм.

Автор защищает:

- новые конструкции вихревых секционированных аппаратов;
- результаты экспериментальных исследований гидродинамических и массообменных характеристик;
- метод определения высоты ступени контакта;
- методику расчета вихревых секционированных аппаратов;
- результаты промышленных испытаний секционированных аппаратов.

Апробация работы. Основные положения работы докладывались на первом Всесоюзном совещании по проблеме "Абсорбция газов" (г. Чирчик, 1979 г.), второй Всесоюзной научной конференции "Современные машины и аппараты химических производств" (г. Чимкент, 1980 г.), первой Всесоюзной конференции "Аэрохим-81" (г. Северодонецк, 1981 г.), научно-технических конференциях Белорусского ордена Трудового Красного Знамени технологического института им. С.М.Кирова (1979-1981 г.г.).

Публикация. По теме диссертации опубликовано пять статей и получено 6 авторских свидетельств СССР на изобретения.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы (132 наименования советских и зарубежных авторов) и приложения. Работа изложена на 162 страницах машинописного текста. Иллюстрационный материал содержит 60 рисунков и 6 таблиц.

1. Разработка новых конструкций вихревых массообменных аппаратов

Основной недостаток вихревых массообменных аппаратов - снижение эффективности массопередачи при увеличении диаметра. Достижение высокой эффективности и стабильности в работе возможно при поперечном секционировании. Одним из перспективных методов секционирования является разделение поперечного сечения на сотообразные ячейки с образованием шестигранных контактных элементов.

При участии автора разработано несколько новых конструкций секционированных аппаратов с шестигранными контактными устройствами (ШКУ), рис. 1.

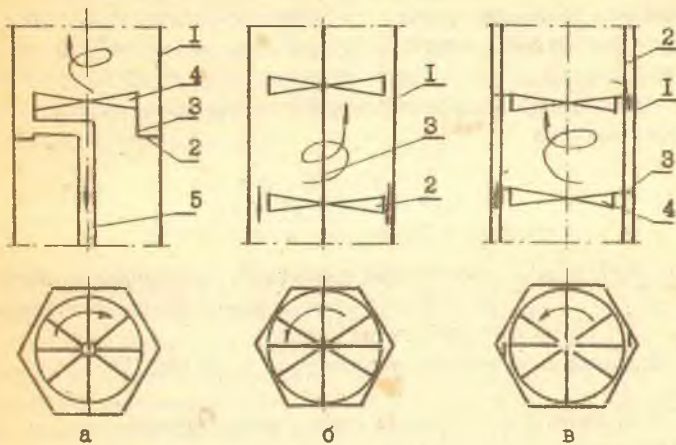


Рис. 1. Шестигранные контактные устройства
а - ШКУ - 1; б - ШКУ - 2; в - ШКУ - 3.

Первое из них (ШКУ-1) является перекрестно-прямоточным, рис. 1 а. По его высоте укреплены шестиугольные перегородки 2. На перегородках установлены цилиндрические обечайки 3 с завихрителем 4. Жидкость подается в центр завихрителя, подхватывается потоком газа и отбрасывается к стенке. Контакт фаз осуществляется в каплях над завихрителем и в пленке на стенке элемента. Перелив жидкости происходит по Г-образной переливной трубке 5.

Второе контактное устройство (ШКУ-2) - противоточное. Его завихрители 2 укреплены на вертикальном стержне 3, установленном по оси элемента. Жидкость движется в виде тонкой пленки по стенкам и углам контактного элемента в противотоке с газом.

Третье устройство (ШКУ-3) можно отнести к противоточным. В его противоположных углах установлены вертикальные пластины 2, прикрепленные к одной грани и образующие зазор с другой. К пластинам прикреплены шестиугольные перегородки 3 с завихрителем 4. По карману между пластинами и гранью осуществляется циркуляция и перелив жидкости.

2. Сравнительные исследования контактных устройств

Все три типа шестигранных контактных устройств (ШКУ) сравнивались с цилиндрическим перекрестно-прямоточным контактным устройством^{*}, вихревым прямоточным элементом^{**} и ситчатой тарелкой. В качестве критерия оценки оптимального контактного устройства использовался коэффициент экономической эффективности

$$E_3 = \pm \left(1 - \frac{\min \Pi_p \mathcal{Z}_i}{\min \Pi_p \mathcal{Z}_3} \right) \quad (2.1)$$

где $\Pi_p \mathcal{Z}_i$, $\Pi_p \mathcal{Z}_3$ - приведенные затраты на проведение процесса в колонне с i -ми и эталонными контактными устройствами, руб/т.

Эталонным контактным устройством считалась ситчатая тарелка.

При расчете приведенных затрат использовались экспериментальные значения эффективности массопередачи и гидравлического сопротивления. Эффективность массопередачи определялась на системах с основным сопротивлением массопередачи в жидкой (десорбция CO_2) и газовой (испарение воды) фазах.

Эффективность массопередачи шестигранных контактных устройств по жидкой фазе составляет $E_{ж} = 0,5 + 0,8$. Значение эффективности по газовой фазе $E_{г}$ на $0,2 + 0,3$ ниже, но характер их изменения идентичный. По этому показателю ШКУ сравнимы с прямоточным элементом, но уступают ситчатой тарелке. Однако

*Раб. 1024488 (ВРД), 1958.

**А.с. 498009 (СССР). Опубл. в Б.И., 1976, № 1.

неоспоримым преимуществом ШКУ перед ситчатой тарелкой является большая пропускная способность (в 2+3 раза) по газовой фазе, а перед прямоточным элементом - значительно меньшее гидравлическое сопротивление. Величина гидравлического сопротивления в рабочем диапазоне скоростей для всех ШКУ не превышает 600 Па.

Сравнение шестигранного (ШКУ-1) и цилиндрического перекрестно-прямоточных контактных устройств указывает на увеличение эффективности массопередачи в шестигранном элементе, что обусловлено дополнительной турбулизацией пленки жидкости в углах шестигранника.

Расчет коэффициента экономической эффективности показал, что его величина для всех ШКУ остается положительной. Это убедительно доказывает целесообразность использования шестигранных контактных устройств. С учетом широты диапазона, стабильности в работе оптимальным следует считать ШКУ-1. Возможна и совместная компоновка ШКУ-1 с ШКУ-2 и ШКУ-3. Поэтому дальнейшие исследования направлены на углубленное изучение гидродинамики и массообмена ШКУ-1.

3. Аэрогидродинамика шестигранных контактных устройств

3.1. Аэродинамика однофазного закрученного потока. Структура газового потока определяется конструкцией завихрителя и формой контактного устройства. В связи с этим проведены исследования профилей скоростей закрученного потока в ШКУ-1 при различных геометрических размерах (табл. 1) его внутренних устройств. За масштаб при расчете относительных скоростей и координат принялась среднерасходная скорость газа в элементе и длина стороны основания шестигранника.

В результате исследований установлено наличие двух областей течения: области формирования потока и области стабилизированного течения.

Область формирования потока находится непосредственно над завихрителем. Она характеризуется большим градиентом осевой и тангенциальной скорости в продольном и поперечном направлениях. В центре элемента и в углах обнаружено существование обратных токов. Формирование потока заканчивается на расстоянии $\bar{x} = 1,5+2$ от завихрителя.

В области стабилизированного течения изменение осевой \bar{x}

Таблица I.
Основные геометрические размеры ШКУ - I

№ серии опытов	Длина стороны шести-гранника, a , м	Эквивалентный диаметр, d_3 , м	Диаметр завихрителя, d_3 , м	Угол наклона лопастей, \angle , град	Высота порога над завихрителем, h , м	Интенсивность закрутки, n
1	0,057	0,1	0,075	30	0,02	1,67
			0,085			1,43
			0,095			1,26
2	0,057	0,1	0,085	15	0,02	3,51
				30		1,43
				45		0,94
3	0,057	0,1	0,085	30	0,02	1,43
					0,04	
					0,06	

тангенциальной скорости более плавное. Тангенциальная скорость изменяется по квадратичному закону и аппроксимируется зависимостью

$$\bar{W}_r = -0,2 + 9,66\bar{z} - 9,12\bar{z}^2 \quad (3.1)$$

При приближении к углам шестигранника значение тангенциальной скорости резко уменьшается. Это свидетельствует о спрямлении закрутки потока в углах шестигранника. Затухание максимальной тангенциальной скорости по высоте ШКУ-I описывается уравнением

$$\bar{W}_{r\max} = \frac{\bar{z}}{0,485\bar{z} - 0,0125} \quad (3.2)$$

Измерения в плоскости, проходящей через центр грани шестигранника, показали, что в основной массе потока характер изменения скоростей во взаимно перпендикулярных плоскостях аналогичен. Однако их значения непосредственно в углах ($\bar{z} = 0,98$) и у грани ($\bar{z} = 0,84$) разные. У грани, в частности, не обнаружено обратных токов даже в области формирования потока. Здесь не происходит резкого падения тангенциальной скорости. По величине она значительно выше, чем в углах.

Наиболее существенное влияние на величину скорости оказывает угол наклона лопастей и диаметр завихрителя. Эти два конструктивных фактора можно выразить через обобщенный критерий интенсивности крутки

$$n = \frac{8d_3(d_3^3 - d_0^3)}{3\pi(d_3^2 - d_0^2)^2} \cdot \text{ctg} \alpha \quad (3.3)$$

Тогда зависимость максимальной тангенциальной скорости от интенсивности крутки аппроксимируется выражением

$$\bar{W}_{\varphi m} = \frac{n}{0,5 + 0,15n} \quad (3.4)$$

Исследование аэродинамики однофазного закрученного потока дало возможность качественно оценить характер распределения газа в шестигранных контактных устройствах. Знание структуры потока позволило дать объективную оценку гидродинамическим процессам, происходящим в элементах.

3.2. Гидравлическое сопротивление ступени контакта. Гидравлическое сопротивление ШКУ-I исследовалось на системе воздух-вода при изменении плотности орошения в диапазоне $q = (2,33 + 8,39) \cdot 10^{-3}$ м/с и различных геометрических размерах его внутренних устройств (см. табл. I).

Выявлено наличие двух режимов взаимодействия фаз: пенного и подвисяния. Уменьшение угла наклона лопастей и диаметра завихрителя приводит к значительному увеличению сопротивления в обоих режимах. Влияние остальных конструктивных параметров менее существенно.

Исследования гидравлического сопротивления при различных геометрических размерах позволяют сделать вывод о том, что применять завихрители с углом наклона лопастей менее 30° нецелесообразно. Диаметр завихрителя следует выбирать из соотношения $\frac{d_3}{d_0} = 0,8 + I,0$.

Коэффициент гидравлического сопротивления выраженный через интенсивность крутки определяется по эмпирической формуле

$$f = 4,2n^{2,11} \quad (3.5)$$

Гидравлическое сопротивление орошаемой ступени контакта можно представить как сумму сопротивлений сухой ступени и газо-жидкостного слоя. Тогда уравнения для его расчета принимают вид:

пенный режим

$$\Delta \rho_{op} = 4,2 n^{2,44} \frac{\rho W^2}{2} + 79,4 W^{0,67} \rho^{0,1} \quad (3.6)$$

режим подвисяния

$$\Delta \rho_p = 4,2 n^{2,44} \frac{\rho W^2}{2} + 46,2 W^{1,62} \rho^{0,29} \quad (3.7)$$

3.3. Высота ступени контакта. Определяющим фактором при расчете межступенчатого расстояния у перекрестно - прямоточно-го контактного устройства является высота подъема жидкости в элементе. Она складывается из высоты полета капель и высоты подъема пленки жидкости по стенкам элемента.

Движение одиночной сферической капли описывается системой дифференциальных уравнений

$$\begin{cases} \frac{dV_z}{dt} - \frac{V_p^2}{r} = \frac{1}{m} \approx F_z \\ \frac{dV_p}{dt} + \frac{V_p V_z}{r} = \frac{1}{m} \approx F_p \\ \frac{dV_z}{dt} = \frac{1}{m} \approx F_z \end{cases} \quad (3.8)$$

Система уравнений (3.8) решалась численным методом на ЭВМ ЕС - 1020. Расчет производился для системы воздух - вода и диаметра капли $d_k = 5 \cdot 10^{-4}$ м. Движение капли рассматривалось под действием силы тяжести и силы лобового сопротивления

$$F_c = \xi \cdot S \cdot \frac{\rho_r (W-V)^2}{2} \quad (3.9)$$

Коэффициент гидравлического сопротивления определялся по формуле

$$\xi = \frac{24}{Re} + \frac{2,5}{\sqrt{Re}} \quad (3.10)$$

Осевая и тангенциальная скорости газа рассчитывались по уравнениям, полученным из предположения параболического закона распределения по радиусу.

В результате расчета определена скорость капли и высота ее полета. Максимальная высота полета определяется из соотношения $H_k = z = 0,31 d_s$ и не зависит от среднерасходной скорос-

ти газа.

Движение пленки жидкости в ШКУ-I происходит по параболической траектории. Максимальная высота ее подъема определяется на основе совместного решения дифференциальных уравнений движения газа и жидкости. Ряд физически обоснованных допущений позволил свести задачу к решению системы уравнений двумерного пограничного слоя на плоской пластине. Математическая модель гидродинамики в этом случае приводится к виду:

для ламинарной пленки жидкости

$$u_x \frac{\partial u_x}{\partial x} + u_y \frac{\partial u_x}{\partial y} = - \frac{1}{\rho_{ж}} \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \sin \theta + \nu_{ж} \frac{\partial^2 u_x}{\partial y^2} - g \cdot \sin \theta \quad (3.11)$$

$$\frac{\partial u_x}{\partial x} + \frac{\partial u_y}{\partial y} = 0 \quad (3.12)$$

для турбулентного потока газа

$$W_x \cdot \frac{\partial W_x}{\partial x} + W_y \frac{\partial W_x}{\partial y} = - \frac{1}{\rho_r} \frac{\partial p}{\partial x} \cdot \sin \theta + (V_r \cdot V_{r'}) \cdot \frac{\partial^2 W_x}{\partial y^2} \quad (3.13)$$

$$\frac{\partial W_x}{\partial x} + \frac{\partial W_y}{\partial y} = 0 \quad (3.14)$$

Преобразования с помощью безразмерной координаты

$$\eta = \frac{y}{\sqrt{x}} \sqrt{\frac{u_\infty}{\nu_{ж}}} \quad (3.15)$$

и введение функции тока

$$\psi = f(\eta) \sqrt{u_\infty \nu_{ж} x} \quad (3.16)$$

даст возможность свести уравнения движения и неразрывности в частных производных к обыкновенным дифференциальным уравнениям третьего порядка:

для пленки жидкости

$$f''' + \frac{1}{2} f'' \cdot f - \frac{x}{u_\infty^2} \left(\frac{1}{\rho_{ж}} \frac{\partial p}{\partial x} + g \right) \cdot \sin \theta = 0 \quad (3.17)$$

для газа

$$F''' + \frac{1}{2} F'' \cdot F - \frac{x}{W_\infty^2} \cdot \frac{1}{\rho_r} \cdot \frac{\partial p}{\partial x} \sin \theta = 0 \quad (3.18)$$

Начальная скорость пленки U_0 , направление ее движения θ рассчитывались из предположения абсолютно неупругого удара капли о стенку элемента

$$U_0 = \sqrt{V_z^2 + V_p^2} \quad (3.19)$$

$$\theta = \arctg \frac{V_z}{V_p} \quad (3.20)$$

Уравнения (3.17), (3.18) решались численным методом на ЭВМ ЕС-1020 при соответствующих граничных условиях на стенке элемента, на границе раздела фаз и в потоке газа.

В результате решения определена продольная координата точки перехода восходящего движения в нисходящее. Критерием определения являлось нулевое касательное напряжение в пленке жидкости.

Высота подъема пленки жидкости на плоской грани шестигранника рассчитывалась по формуле

$$H_{nr} = x \cdot \sin \theta \quad (3.21)$$

Увеличение высоты подъема жидкости в углах шестигранника, происходящее за счет спрямления закрутки потока, определялось

$$H_{ny} = H_{nr} \cdot \frac{\cos \gamma_1}{\cos \gamma_2} \quad (3.22)$$

Суммарная высота подъема жидкости в шестигранном контактном элементе

$$H_{\Sigma} = H_k + H_{ny} \quad (3.23)$$

Межступенчатое расстояние должно быть больше максимальной высоты подъема жидкости на величину сепарационного пространства.

4. Исследование массообмена в вихревых шестигранных контактных устройствах

Эффективность и коэффициент массопередачи определялись при десорбции CO_2 и испарения воды. При этом изменялась скорость газа $W = 2+7$ м/с, удельная плотность орошения $q = (2,33+3,39) \cdot 10^{-3}$ м/с и геометрические размеры ШКУ-I (табл. I).

Установлено, что изменение конструктивных факторов, способствующих увеличению эффективности массопередачи, приводит к одновременному увеличению гидравлического сопротивления. В связи с этим оптимальное соотношение размеров можно установить по фактору

$$j = \frac{\Delta P}{L} \quad (4.1)$$

Используя этот фактор, удалось оптимизировать все геометрические соотношения шестигранного контактного устройства (ШКУ-I). Оптимальными следует считать:

- угол наклона лопастей завихрителя $\alpha = 30^\circ + 40^\circ$;
- диаметр завихрителя $d_3 = (0,8 + 1,0) d_1$;
- высоту порога над завихрителем $h_3 = (0,2 + 0,5) d_3$;
- максимальный размер поперечного сечения отдельного шестигранного элемента $d_2 \leq 0,5m$.

Величина эффективности массопередачи многоэлементной тарелки такая же, как одноэлементной. Причем, подобен и характер ее изменения в зависимости от скорости газа и плотности орошения.

Влияние скорости газа и плотности орошения на эффективность массопередачи и коэффициент массоотдачи в различных режимах проявляется по-разному. Соответственно отличаются и расчетные зависимости

пенный режим

$$\beta_{Vж} = 0,37 W^{0,27} \cdot q^{0,69} \quad (4.2)$$

режим подвисяния

$$\beta_{Vж} = 0,15 W^{1,1} \cdot q^{0,75} \quad (4.3)$$

$$\beta_{Vr} = 2,48 W^{1,78} \cdot q^{0,29} \quad (4.4)$$

С целью проверки эффективности массопередачи на реальной системе проведены исследования при ректификации смеси вода - уксусная кислота. Эффективность массопередачи для этой системы принимает промежуточное значение между величинами E_r и $E_{ж}$. Это свидетельствует о достоверности опытных данных и возможности проведения опытов на модельных средах.

В результате комплексных исследований по массообмену уда -

лось установить, что шестигранные контактные устройства обладают высокой (0,5 + 0,8) эффективностью массопередачи и пригодны для ряда процессов абсорбции и ректификации.

5. Практическая реализация результатов исследований

Экспериментальные данные и расчетные зависимости использовались при расчете и проектировании промышленных аппаратов.

Разработан и внедрен вихревой ректификационный аппарат на стадии очистки метанола в производстве диметилтерефталата Могилевского ПО "Химволокно". Замена насадочной колонны в цехе ДМТ - 2 на колонну с вихревыми тарелками позволила снизить содержание метанола в кубовом продукте с 3,36% до 2,65%, что уменьшило его потери со сточными водами. Годовой экономический эффект от внедрения одной колонны составил 13763 рубля. Такая же колонна изготовлена для цеха ДМТ - I.

Проведены полупромышленные испытания вихревых секционированных аппаратов на абсорбции фтористых газов, показавшие возможность их применения для этого процесса. По результатам исследований спроектированы, изготовлены и внедрены промышленные аппараты для абсорбции фтористых газов на системах производства криолита и калийфоса Гомельского химического завода. Они использованы в качестве второй ступени очистки выхлопных газов и выполняют одновременно функции брызгоуловителя. Внедрение аппаратов позволило снизить содержание фтора в выхлопных газах до санитарных норм.

В ы в о д ы

1. Установлено, что надежность масштабного перехода в вихревых массообменных аппаратах обеспечивается при их поперечном секционировании; из разработанных на уровне изобретений секционированных аппаратов оптимальным является аппарат с шестигранными перекрестно-прямоточными контактными устройствами.

2. Шестигранные контактные устройства обладают низким (200 + 600 Па) гидравлическим сопротивлением и высокой (0,5 + 0,8) эффективностью массопередачи и ее повышение по сравнению с цилиндрическим устройством обусловлено дополнительной турбу-

лизацией пленки жидкости в углах шестигранника.

3. Выявлены особенности движения закрученного газового потока в шестигранном элементе, характеризующиеся наличием зоны формирования и стабилизированного течения, спрямлением закрутки в углах шестигранника.

4. Предложен метод расчета высоты ступени контакта, основанный на решении дифференциальных уравнений движения капель и пленки жидкости.

5. Получены эмпирические уравнения для расчета гидравлического сопротивления, коэффициентов массоотдачи в жидкой и газовой фазах, обеспечивающие хорошую сходимость с экспериментальными результатами при различных гидродинамических режимах движения.

6. Разработана методика инженерного расчета вихревых аппаратов с шестигранными контактными устройствами.

7. Результаты работы использованы при проектировании ректификационных аппаратов для очистки метанола в производстве диметилтерефталата Могилевского ПО "Химволокно" и аппаратов для абсорбции фтористых газов в производствах криолита и калийфоса Гомельского химического завода.

Условные обозначения

W - среднерасходная скорость газа в элементе, м/с; E - эффективность массопередачи; \bar{r} , \bar{z} , \bar{W}_φ - относительные значения радиуса, высоты и тангенциальной скорости; n - интенсивность закрутки; α - угол наклона лопастей завихрителя, град; d_3 , d_0 - диаметр завихрителя и центральной втулки, м; d_3 - эквивалентный диаметр шестигранника, м; Δp - гидравлическое сопротивление, Па; ρ - удельная плотность орошения, м/с; r , φ , z - цилиндрические координаты; V , V_φ , V_z , V_z - скорость капли и ее проекции на оси цилиндрической системы координат, м/с; F_x , F_y , F_z - проекция сил на оси цилиндрической системы координат, н; m - масса капли, кг; θ - угол направления движения пленки, град; x , y - координаты декартовой системы, м; u_x , u_y - составляющие скорости газа, м/с; W_x , W_y - составляющие скорости пленки жидкости, м/с; ν , ν_t - молекулярная и турбулентная вязкости, м²/с; η - безразмерная координата; ψ - функ-

ция тока; f, F - безразмерные функции тока; γ_1, γ_2 - угол отклонения газового потока от оси в углах и у грани шестигранника, градус; β_v - объемный коэффициент массоотдачи, с^{-1} ; i, j - индексы для газовой и жидкой фаз.

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. А.с. 743684 (СССР). Массообменный аппарат / И.М.Плехов, П.Е.Вайтехович, В.А.Марков, Л.В.Новосельская. Оpubл. в Б.И., 1980, № 24.
2. А.с. 808091 (СССР). Контактное устройство для взаимодействия газа с жидкостью / П.Е.Вайтехович, И.М.Плехов, Э.И.Левданский, Л.В.Новосельская. Оpubл. в Б.И., 1981, № 8.
3. Насадка для тепло-массообменных аппаратов / П.Е.Вайтехович, И.М.Плехов, Э.И.Левданский, В.В.Бабкин, Н.И.Киреев. Решение ВНИИГПЭ от 5.03.81 о выдаче а.с. по заявке № 2977375 / 23 - 26.
4. Тепло-массообменная тарелка / П.Е.Вайтехович, Э.И.Левданский, И.М.Плехов, В.В.Бабкин, Н.И.Киреев. Решение ВНИИГПЭ от 5.03.81 о выдаче а.с. по заявке № 2977735 / 23 - 26.
5. А.с. 590331 (СССР). Аппарат для выращивания микроорганизмов / И.И.Бортников, П.Е.Вайтехович. Оpubл. в Б.И., 1978, № 4.
6. А.с. 739089 (СССР). Аппарат для выращивания микроорганизмов / П.Е.Вайтехович, И.И.Бортников, Ф.В.Прудников. Оpubл. в Б.И., 1980, № 21.
7. Вайтехович П.Е., Плехов И.М., Новосельская Л.В. Сравнительные исследования вихревых контактных устройств. - Минск, 1979, 10 с. Рукопись деп. в ОНИИТЭХИМ г. Черкассы 15 окт. 1979г., № 3256 / 79 деп.
8. Плехов И.М., Вайтехович П.Е., Новосельская Л.В. Разработка и исследование абсорберов с низким гидравлическим сопротивлением. - В сб.: Абсорбция газов. Материалы конференции. - Ташкент, 1979, с. 187 - 188.
9. Вайтехович П.Е., Плехов И.М., Левданский Э.И. Сравнительная характеристика контактных устройств массообменных аппаратов. - В сб.: Современные машины и аппараты химических производств. Материалы конференции. - Чимкент, 1980, т. 2, с. 240 - 243.
10. Вайтехович П.Е., Плехов И.М., Левданский Э.И. Аэродина-

мика закрученного потока в шестигранном контактном элементе. -
Материалы Всесоюзной конференции по аэрогидродинамике хими-
ческих аппаратов. - Северодонецк, 1981, ч. 3, с. 73-78.

II. Вайтехович И.Е., Левданский Э.И., Плехов И.М. Улавли-
вание фтористых газов в скоростном тарельчатом аппарате. -
В научно-техн.реф. сб.: Промышленная и санитарная очистка га-
зов. - М.: ЦИПТИХИМнефтемаш, 1981, № 5, с. 12+13.

Петр Евгеньевич Вайтехович

Разработка и исследование вихревых массообменных аппаратов.

Подписано в печать 22.03.82. АТ - 11283 . Формат 60x84/16.
Печать офсетная. Усл.печ.л. 0,93. Уч.-изд.л. 1,0.
Тираж 100 экз.

Заказ 193. Бесплатно.

Отпечатано на ротавинте БТИ им. С.М.Кирова.
220680, Минск, ул. Свердлова, 13.