

тировании циклонных устройств различного технологического назначения в широком диапазоне изменения геометрических и режимных характеристик.

ЛИТЕРАТУРА

1. Циклонные топки.—М.—Л.: ГЭИ, 1958.—216 с.
2. Сабуров Э. Н., Карпов С. В., Осташев С. И. Теплообмен и аэродинамика закрученного потока в циклонных устройствах.—Л.: Изд-во Ленингр. ун-та, 1989.—276 с.
3. Ляховский Д. Н. Исследование аэродинамики циклонной камеры // Вопросы аэродинамики и теплопередачи в котельно-топочных процессах.—М.: ГЭИ, 1958.—С. 114—150.
4. Стерлигов В. В., Воронцов В. Г., Ливанов С. Ф. Исследование мощности осевых токов в вихревой камере // Интенсификация процессов в металлургической теплотехнике.—Новокузнецк: Сиб. металлург. ин-т, 1974.—С. 109—111.
5. Кутателадзе С. С., Волчков Э. П., Терехов В. И. Аэродинамика и теплообмен в ограниченных вихревых потоках.—Новосибирск: ИТФ СО АН СССР, 1987.—282 с.
6. The effect of the entrained gas on the vortex combustion flow / G. H. Vatistas, C. Lam, S. Lin, C. K. Kwok // AIAA Pap.—1986.—N. 1608.—P. 1—3.
7. Vatistas G. H., Lin S., Kwok C. K. Recent findings on confined vortex chamber flow // AIAA Pap.—1985.—N. 1559.—P. 1—18.
8. Карпов С. В., Сабуров Э. Н. Некоторые особенности аэродинамики циклонных камер с малыми диаметрами выходного отверстия // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).—1986.—№ 8.—С. 91—96.
9. Карпов С. В., Сабуров Э. Н. Аэродинамика и теплоотдача в циклонных камерах и пылеотделителях: Обзор и обобщения / Арханг. лесотехн. ин-т.—Архангельск, 1988. Деп. в ВИНТИ 28.01.88. № 850—В88.—312 с.
10. Карпов С. В. О расчете движения газов и теплоотдачи в приосевой области циклонного потока // ИФЖ.—1984.—Т. 47.—№ 6.—С. 892—903.
11. Сабуров Э. Н., Карпов С. В. О влиянии формы выходного отверстия на аэродинамику циклонно-вихревых нагревательных устройств // Кузнечно-штамповочное производство.—1974.—№ 2.—С. 35—38.
12. Якубов Г. В. Обобщение аэродинамических характеристик циклонных камер // Изв. АН Каз. ССР.—1957.—Вып. 1 (12).—С. 105—118.
13. Саткевич А. Общий анализ свободно-вихревого потока несжимаемой вязкой жидкости // Записки Гос. гидролог. ин-та. Т. 5.—Л.: Изд-во ГГИ, 1931.—С. 1—21.
14. Рапоиу Н. Зависимость между геометрическими симплексами и режимом течения при однофазном изотермическом моделировании циклонных топок // Rev. Roum. Sci. Techn.—Electrotechn. et Energ.—1966.—V. 11.—P. 217—236.
15. Латкин А. С. К вопросу о характерных зонах потока в циклонных камерах // Межвуз. сб.—Дальневост. гос. ун-т, 1976.—Вып. 1: Эффективность теплоэнергетических процессов.—С. 147—153.
16. Гольдштик М. А., Леонтьев А. К., Палеев И. И. Аэродинамика вихревой камеры // Теплоэнергетика.—1961.—№ 2.—С. 40—45.
17. Голубцов В. М. К расчету размеров зоны обратных потоков в циклонно-вихревых устройствах при течении вязкой жидкости // Энергетика... (Изв. высш. учеб. заведений).—1979.—№ 9.—С. 41—45.
18. Васильев О. Ф. Основы механики винтовых и циркуляционных потоков.—М.—Л.: ГЭИ, 1958.—142 с.

Представлена кафедрой
теплотехники

Поступила 17.07.1990

УДК 532.529

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА ДИСПЕРГИРОВАНИЯ ЖИДКОСТИ В РОТОРНОМ АППАРАТЕ

*Канд. техн. наук, доц. МАРКОВ В. А., инж. ВОЛКОВ В. К.,
докт. техн. наук, проф. ЕРШОВ А. И., инж. ВОЛК А. М.*

*Белорусский ордена Трудового Красного Знамени
технологический институт имени С. М. Кирова*

У исследователей и проектировщиков повышенный интерес вызывают конструкции роторных аппаратов различного назначения с подводом энергии извне. Анализ результатов исследований и публикаций [1, 2]

свидетельствует о том, что эффективность явлений переноса в таких аппаратах существенно превосходит кинетические характеристики контактных устройств с традиционными способами взаимодействия фаз в системах, что способствует заметному уменьшению габаритов оборудования.

Вместе с тем из-за повышенных энергозатрат и сложности изготовления, применение их пока ограничивается специфическими областями. Например, в химической технологии они могут быть использованы для выпаривания нестойких к повышенным температурам и некристаллизующихся растворов большой вязкости; для вакуумной ректификации жидких смесей, склонных к разложению при нагревании; для проведения процессов экстракции. Одним из перспективных направлений применения роторных аппаратов следует признать создание компактных установок с замкнутой системой очистки газовых выбросов от вредных компонентов.

На основании анализа работы известных конструкций [3, 4] авторами разработан многоступенчатый роторный аппарат, позволяющий в пределах ступени контакта, благодаря вращению ротора, достигать равномерного по высоте тонкодисперсного распыла жидкости при восходящем перекрестном движении газа. Устройство аппарата схематично изображено на рис. 1.

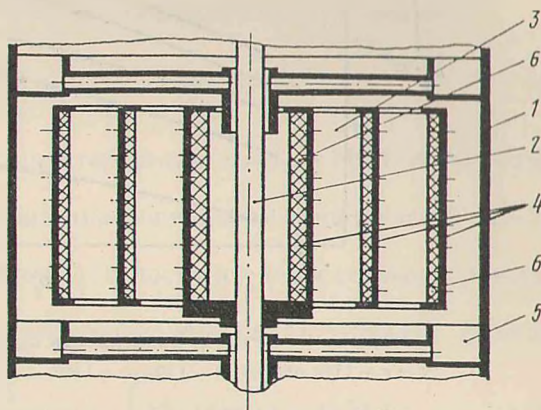


Рис. 1

При работе жидкость с вышележащей ступени контакта 3 поступает по переливному устройству 5 во внутренний отбортованный перфорированный цилиндр 4, жестко закрепленный с валом 2. За счет механического воздействия перераспределительного элемента 6, выполненного в виде рулона из гофрированной сетки, жидкости передается вращательное движение, и это приводит к быстрому выравниванию скоростей их вращения, причем наблюдается равномерное распределение толщин пленки по высоте цилиндра. Под действием центробежных сил происходит истечение жидкости из отверстий перфорации и ее диспергирование в пространстве между цилиндрами 4, где капли жидкости перемещаются в радиальном направлении и попадают на внутреннюю стенку элемента следующего цилиндра, после чего циклы повторяются соответственно числу цилиндров. При этом газ проходит в направлении оси аппарата, взаимодействуя с диспергированной жидкостью в пространстве между соседними цилиндрами 4 и между внешним цилиндром и корпусом 1, а также с пленкой жидкости на внутренней поверхности цилиндров и корпуса. Достигнув стенки корпуса аппарата жидкость по переливному устройству 5 стекает на нижележащую, а газ уходит на вышележащую ступень контакта.

Для разработки методики расчета аппарата важно установить зависимость дисперсного состава жидкой фазы от режимных и конструктивных параметров, а также функции распределения количества, поверхности, объема капель жидкости и характеристики этих распределений.

Для этого проведены экспериментальные исследования по изучению дисперсного состава жидкой фазы методом стробоскопического фотографирования.

В опытах использовался полый цилиндрический стакан, жестко закрепленный на валу и предназначенный для диспергирования жидкой фазы (в нашем случае воды). Подвод жидкости осуществлялся внутрь вращающегося стакана, отвод — через отверстие, выполненное на его боковой поверхности. Благодаря воздействию центробежных сил, возникающих при вращении, жидкость при выходе из отверстия диспергировалась и в виде капель отбрасывалась на стенку неподвижной обечайки.

Фотографирование капель проводилось при установившемся режиме истечения на разных участках между стаканом и обечайкой. При этом диаметр отверстия на стенке стакана изменялся в пределах 1,3—3 мм, частота вращения — 1 000—2 300 об/мин, диаметр стакана составлял 50 мм, диаметр наружной обечайки 300 мм.

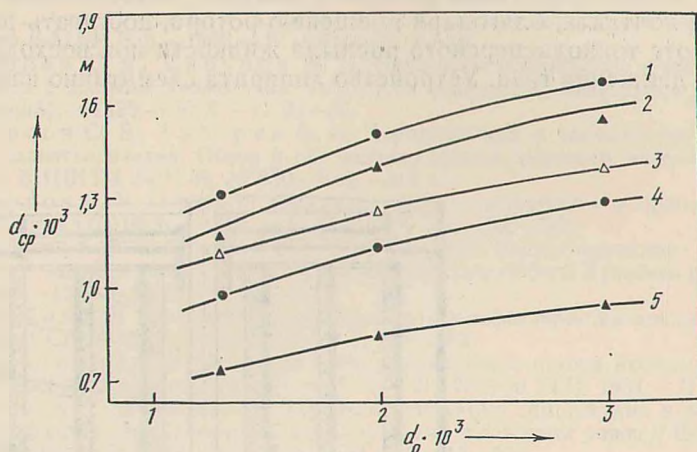


Рис. 2. Зависимость d_{10} от d_{0r} :

1 — $n = 1000$ об/мин; 2 — 1 300; 3 — 1 600; 4 — 2 000; 5 — $n = 2300$ об/мин

Установлено (рис. 2), что дисперсный состав капель зависит от скорости вращения стакана, а также от диаметра отверстия для оттока жидкости.

Обработка большого количества экспериментальных данных показала, что зависимость среднего диаметра капель диспергированной жидкости от указанных параметров хорошо аппроксимируется выражением

$$d_{10} = 0,089 \left(\frac{\pi n_{\text{ц}}}{30} \right)^{-0,64} \left(\frac{d_{0\text{т}}}{D_{\text{ц}}} \right)^{0,31}, \quad (1)$$

где d_{10} — средний диаметр капель диспергированной жидкости, м;

$n_{\text{ц}}$ — частота вращения диспергирующего цилиндра, 1/мин;

$d_{0\text{т}}$ — диаметр отверстия в цилиндре, м;

$D_{\text{ц}}$ — наружный диаметр диспергирующего цилиндра, м.

Погрешность аппроксимации составляет 7,4 %.

Кроме того, результаты эксперимента показали, что процесс дробления имеет вероятностный характер, поэтому дисперсный состав капель можно описать степенно-показательным распределением [5, 6], которое обобщает многие аналитические формы для законов статистического распределения однокомпонентных случайных величин. Оно наиболее точно описывает статистические распределения во всем диапазоне изменения размера частиц и инвариантно относительно величины порядка d^n . Функции распределения и плотности приведенного размера $t = d/a$ имеют вид:

$$F_k(t) = \frac{n}{\Gamma[(m+k+1)/n]} \int_0^t x^{m+k} \exp(-x^n) dx; \quad (2)$$

$$f_k(t) = \frac{n}{\Gamma[(m+k+1)/n]} t^{m+k} \exp(-t^n). \quad (3)$$

Как известно, распределение однозначно определяется своими моментами [7]. Зададимся условием совпадения моментов экспериментального статистического и аналитического распределений. Средние значения, используемые при оценке дисперсного состава среды, связаны с моментами распределения соотношением

$$d_{pq}^{p-q} = M_p(d)/M_q(d) = \sum_{i=1}^n P_i d_i^p / \sum_{i=1}^n P_i d_i^q. \quad (4)$$

Для распределения (2), (3) приведенные средние значения выражаются через гамма-функции

$$t_{pq} = \left[\Gamma\left(\frac{m+p+1}{n}\right) / \Gamma\left(\frac{m+q+1}{n}\right) \right]^{1/(p-q)}. \quad (5)$$

Параметры m , n и a могут быть определены из соотношений

$$\frac{t_{pq}}{d_{pq}} = \frac{t_{10}}{d_{10}} = \frac{t_{20}}{d_{20}} = \frac{t_{30}}{d_{30}} = \frac{1}{a}. \quad (6)$$

Дисперсный состав имеет характеристики: $d_{20}/d_{10} = 1,043$; $d_{30}/d_{10} = 1,08$; $d_{40}/d_{10} = 1,11$; $d_{\max}/d_{10} = 1,56$.

Система (6) дает следующие значения параметров: $n = 4,5$, $m = 2,5$, $t_{10} = 0,84$, $t_{\max} = 1,7$.

Графики полученных функций плотности и распределения представлены на рис. 3.

Параметр $t = 0,84d/d_{10}$ является приведенным. Полученные функции

$$F_k(t) = \frac{4,5}{\Gamma[(3,5+k)/4,5]} \int_0^t x^{2,5+k} \exp(-x^{4,5}) dx; \quad (7)$$

$$f_k(t) = \frac{4,5}{\Gamma[(3,5+k)/4,5]} t^{2,5+k} \exp(-t^{4,5}) \quad (8)$$

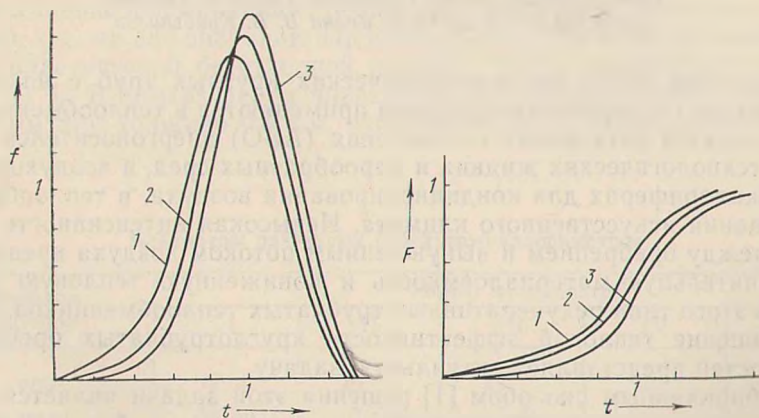


Рис. 3. Распределение количества 1, поверхности 2 и объема 3 частиц диспергированной жидкости по приведенному диаметру $t = 0,84 d/d_{10}$

с высокой степенью точности описывают распределение количества ($k=1$, $\gamma=1$), поверхности ($k=2$, $\gamma=0,9126$) и объема ($k=3$, $\gamma=0,8857$) капель жидкости, распыленной в роторном аппарате.

Средние значения диаметра частиц жидкости вычисляются по полу-ченной зависимости (1).

Полученные результаты исследований по дисперсному составу позволяют сделать расчет оптимальных нагрузок по газовой фазе, поскольку последние связаны с допустимой величиной уноса жидкости, зависящей, в свою очередь, от размера капель. Кроме того, данные могут быть использованы при расчетах межфазной поверхности и, следовательно, тепломассообменных характеристик роторных и других аппаратов с аналогичным диспергированием жидкой фазы.

ЛИТЕРАТУРА

1. Олевский В. М., Ручинский В. Р. Роторно-пленочные тепло- и массообменные аппараты.— М.: Химия, 1977.—208 с.
2. Пленочная тепло- и массообменная аппаратура / В. М. Олевский, В. Р. Ручинский, А. М. Кашников, В. И. Чернышев.— М.: Химия, 1988.—240 с.
3. А. с. 1057054 СССР. Ротационный массообменный аппарат / Ф. А. Мусташкин, И. В. Шарнин, А. А. Колесник // Изобретения стран мира.—1984.—№ 5.
4. А. с. 1127611 СССР. Роторная массообменная колонна / Я. М. Константинов // Изобретения стран мира.—1985.—№ 5.
5. Коузо в П. А. Основы дисперсного состава промышленных пылей и измельченных материалов.— Л.: Химия, 1987.—264 с.
6. Левданский Э. И., Волк А. М., Плехов И. М. О законе распределения частиц при дроблении // ТОХТ.—1986.— Т. 20.— № 5.— С. 672—677.
7. Корн Г., Корн Т. Справочник по математике для научных работников и инженеров.— М.: Наука, 1984.—832 с.

Представлена кафедрой
процессов и аппаратов
химических производств

Поступила 19.12.1990

УДК 536.244

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ТЕПЛООТДАЧИ ТРУБНЫХ ПУЧКОВ ПРОДОЛЬНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ РАЗРЕЗКОЙ СПИРАЛЬНЫХ НАКАТНЫХ РЕБЕР

Кандидаты техн. наук, доценты КУНТЫШ В. Б., ПИИР А. Э.

*Архангельский ордена Трудового Красного Знамени
лесотехнический институт имени В. В. Куйбышева*

Шахматные пучки из биметаллических круглых труб с накатными спиральными непрерывными ребрами применяются в теплообменных секциях аппаратов воздушного охлаждения (АВО) энергоносителей и различных технологических жидких и парообразных сред, в воздухоохладителях и калориферах для кондиционирования воздуха, в теплообменном оборудовании искусственного климата. Невысокая интенсивность теплоотдачи между оребрением и вынужденным потоком воздуха предопределяет значительную материалоемкость и пониженную тепловую эффективность этого типа рекуперативных трубчатых теплообменников. Поэтому повышение тепловой эффективности круглотрубчатых оребренных поверхностей представляет актуальную задачу.

Апробированным способом [1] решения этой задачи является искусственное прерывание развития пограничных слоев на боковых поверхностях круглого ребра с одновременным созданием вихревых структур в межреберной полости, повышающих общий уровень турбулентности по-