

56. А.с. 788486 СССР, В 01 D 53/18. Распределительное устройство для трубчатых противоточных аппаратов. – 1980.
57. А.с. 1039057 СССР, В 01 D 53/18. Оросительное устройство для аппаратов массообменных. – 1983.
58. А.с. 1646580 СССР, МКИ³ В 01 D 11/04. Экстрактор. – 1991.
59. А.с. 1386217 СССР. Установка для ректификации многокомпонентных смесей. – 1987.
60. А.с. 1530193. Абсорбер. – 1989.
61. Калишук Д. Г. Разработка ресурсосберегающих аппаратурно-технологических решений в производстве капролактама и аммиака: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. – Мн., 1993. – 34 с.
62. А.с. 1646580 СССР, МКИ³ В 01 D 11/04. Экстрактор. – 1991.
63. А.с. 1266034 СССР, МКИ³ В 01 D 3/26. Контактнo-эмульгационный аппарат. – 1984.
64. Жалковский В.И. Исследование закономерностей работы контактной ступени с прямоточно-центробежными элементами: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. – Мн., 1979. – 201 с.
65. Голдар А. П. Гидродинамика и массообмен при абсорбции газов в барботажно-прямоточных контактных устройствах: Дис. ... канд. техн. наук: 05.17.08. – Мн., 1986. – 209 с.
66. А.с. 779793 СССР, Кл. В 01 D 35/18. Тепломассообменный газожидкостной аппарат. – 1980.
67. Рабко А. Е. Разработка барботажно-прямоточных контактных устройств для абсорбции труднорастворимых газов химически реагирующими поглотителями: Дис. ... канд. техн. наук. – Мн., 1993. – 225 с.

УДК 66.074.515

В. А. Марков, профессор;
И. М. Плехов, профессор;
А. И. Ершов, профессор

ИССЛЕДОВАНИЕ АППАРАТОВ РОТОРНОГО ТИПА ДЛЯ ОЧИСТКИ ГАЗОВЫХ ПОТОКОВ

In the article new rotor apparatus for clearing gas flows from dispersible phase is considered.

Анализ работы циклонных сепараторов показывает, что степень очистки, достигаемая при использовании этих конструкций, зависит от

величины фактора разделения (отношения центробежного ускорения к ускорению силы тяжести) и может быть повышена либо за счет увеличения окружной скорости, либо за счет уменьшения радиуса вращения потока запыленного газа. Однако повышение скорости газа приводит к значительному возрастанию гидравлического сопротивления и увеличению турбулентности потока, ухудшающей разделительную способность, а уменьшение радиуса – к снижению производительности сепаратора.

Отличительной особенностью сепараторов роторного типа является то, что здесь величина фактора разделения зависит от числа оборотов ротора и может достигать больших значений, чем в циклонных устройствах, при высокой производительности и сравнительно небольших геометрических размерах сепараторов.

Таким образом, с точки зрения эффективности разделения эти сепараторы наиболее перспективны, так как при необходимом соотношении центробежной силы и силы аэродинамического сопротивления газа можно достигнуть практически любой степени очистки (теоретически – 100%). Отметим также, что совершенные конструкции роторных сепараторов обладают относительно высоким аэродинамическим коэффициентом полезного действия, обеспечивающим снижение удельных расходов на очистку 1000 м^3 газа до $0,3\text{--}0,35 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$. (У циклонов эта величина составляет около $0,5 \text{ кВт}\cdot\text{ч}$) [1].

В зависимости от направления движения очищаемого газа во вращающемся роторе по отношению к направлению действия центробежной силы роторные сепараторы условно делят на три группы [2]:

- противоточные (движение газа от периферии ротора к центру) [3,4];
- прямоточные (движение газа от центра ротора к его периферии) [5,6];
- осевые роторные сепараторы (очищаемый газ движется в роторе вдоль или под углом к оси его вращения) [3].

Основное достоинство роторных сепараторов прямоточной группы заключается в том, что все они вентиляторного типа, т. е. сами обеспечивают расход газа и это обуславливает компактность сепарационных устройств. Недостаток: отсепарированная взвесь в большинстве случаев отводится из сепаратора с некоторым количеством очищаемого газа, поскольку газ и взвешенные частицы движутся в одном направлении. Это требует доочистки газового потока и, следовательно, установки дополнительных сепарационных устройств. Роторные

сепараторы противоточной группы, в отличие от прямоточной, не являются одноступенчатыми сепарационно-вентиляторными устройствами, а состоят из двух последовательно соединенных ступеней: сепарационной и вентиляторной, вращающихся на одном валу. Процесс сепарации здесь осуществляется в поле центробежных сил до ротора и в самом роторе при движении газа во вращающихся каналах. Анализ работы сепараторов показывает, что степень очистки вполне удовлетворительна при небольших скоростях газа в каналах [2]. Каналы при этом должны быть выполнены узкими и длинными, чтобы движение газа было менее вихревым. Основным недостатком роторных сепараторов противоточной группы является повышенное гидравлическое сопротивление вследствие вентиляторного эффекта самого ротора. Однако этот недостаток может быть устранен установкой дополнительной центробежной ступени на роторе или изготовлением ротора таким образом, чтобы компенсировать его гидравлическое сопротивление.

Наряду с указанными выше типами имеются также сепараторы, сочетающие в себе несколько принципов организации движения очищаемого газа в роторе (комбинированные сепараторы) [1-3]. Причем каждая группа может включать сепараторы вентиляторного типа, выполняющие одновременно функции сепаратора и вентилятора, а также сепараторы мокрой очистки газовых потоков.

Для очистки низконапорных газовых потоков большой производительности, на наш взгляд, некоторым преимуществом перед другими типами обладают осевые роторные сепараторы, в которых совмещаются процессы сепарации и транспортирования газового потока и которые по принципу работы и эффективности близки к прямоточным конструкциям.

Учитывая, что известные конструкции сложны в изготовлении, нами разработаны более простые сепараторы, применение которых позволяет проводить очистку как обычных газовых потоков от взвешенных частиц, так и низконапорных потоков большой производительности, в том числе очистку от вредных газообразных компонентов [9].

При исследованиях главное внимание уделялось изучению влияния геометрических и режимных параметров на эффективность сепарации роторно-кольцевого сепаратора и осевого вентилятора-сепаратора.

Вопросы, связанные с аэродинамикой ротора и рабочего колеса (напор, производительность и т. п.) и влияние на них конструктивных параметров, не рассматривались, так как они достаточно полно изучены другими авторами [1,5].

Прямоточный роторно-кольцевой сепаратор, схематично представленный на рис. 1, а, состоит из ротора 1, размещенного в цилиндрической обечайке 2 и выполненного в виде набора плоских колец 3, диаметр которых увеличивается по высоте сепаратора, образуя ступеньки. Ротор жестко закреплен на валу 4 и вращается от электродвигателя. Очищаемый газ, поступая в сепаратор, равномерно распределяется по ступенькам и попадает в каналы 5 между лопатками 6, где движется от периферии к центру. Твердые частицы (или капли жидкости), соприкасаясь с лопатками, осаждаются на них и под действием центробежных сил отбрасываются на стенку обечайки, а затем удаляются из сепаратора.

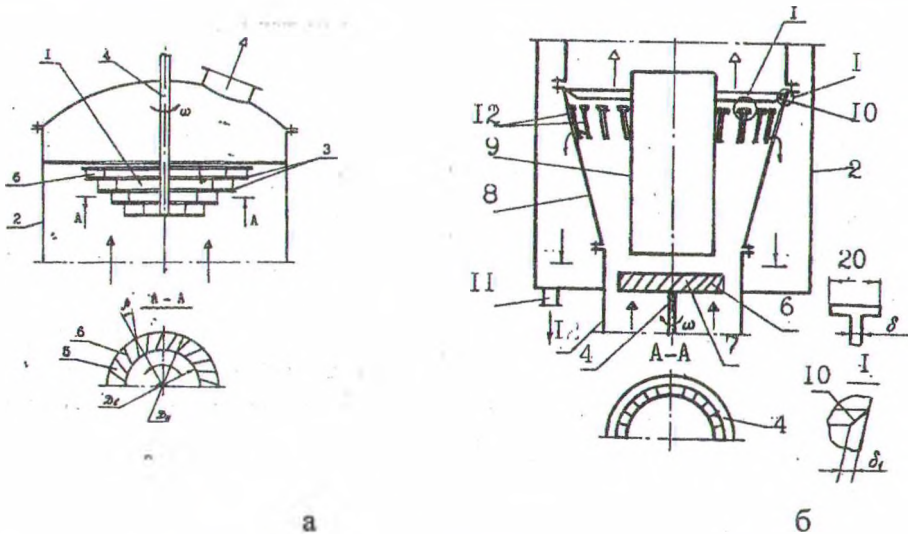


Рис. 1. Роторные сепараторы: а – противоточный роторно-кольцевой сепаратор; б – осевой вентилятор-сепаратор; 1 – ротор; 2 – обечайка; 3 – кольца; 4 – вал; 5 – каналы; 6 – лопатки; 7 – рабочее колесо; 8 – конический диффузор; 9 – внутренний цилиндр; 10 – конический отбойник; 11 – штуцер; 12 – щели; 13 – корпус

Опыты по замеру величины уноса, определяемой по разности веса тканевого фильтра до и после опыта, проводились на модели роторно-кольцевого сепаратора на системах газ–твердое и газ–жидкость. В качестве твердых примесей использовалась соль $NaCl$ с размерами частиц 25, 50 и 75 мкм, в качестве жидкости – диэтиленгликоль. Сред-

ний диаметр капель жидкости, получаемых при ее диспергировании форсункой, рассчитывался по известным зависимостям. Величина уноса определялась поочередно с каждой ступеньки ротора, выполненной с плоскими лопатками, длина и высота которых составляла 0,02 м. Угол наклона лопаток (угол между плоскостью лопатки и радиусом ступени, угол β на рис. 1, а) принят равным 20° , согласно рекомендациям [2]. Относительный диаметр ступени (\bar{D}), представляющий собой отношение диаметра ступени (D) к внутреннему диаметру обечайки D_o , изменялся в пределах 0,64-0,93 ($D_o = 0,275$ м), угловая скорость вращения ротора (ω) – в пределах 50–300 рад/с, скорость газового потока на входе в ступень ($w_{вх}$) – 1–12 м/с, число лопаток (m) – 16–64.

Из рис. 2, где представлены некоторые результаты эксперимента по замеру величины уноса, следует, что с увеличением числа лопаток и скорости вращения ротора унос частиц уменьшается, причем для жидкой фазы численные значения величины относительного уноса (e , %) меньше, чем для твердой, при одинаковых условиях разделения. По-видимому, это объясняется разными адгезионными свойствами твердых частиц и капель жидкости. Повышение скорости газового потока приводит к росту величины уноса как для твердых частиц, так и для капель жидкости. С уменьшением диаметра частиц величина уноса также возрастает.

Для очистки низконапорных газовых потоков (допустимый напор не более 20–40 мм вод. ст.) с большими объемными расходами нами разработана конструкция осевого вентилятора-сепаратора [7-9], в котором для транспортировки потока газа и его закрутки используется энергия вращения рабочего колеса.

На рис. 1, б схематично представлен осевой вентилятор-сепаратор, включающий корпус 13, жестко закрепленное с валом 4 рабочее колесо 7 с лопатками 6, конический диффузор 8, внутренний цилиндр 9 с заглушенными торцами. В коническом диффузоре выполнены коаксиальные щели 12, в его верхней части установлен конический отбойник 10, а снаружи цилиндрическая обечайка 2 со штуцером 11 для отвода отсепарированной фазы.

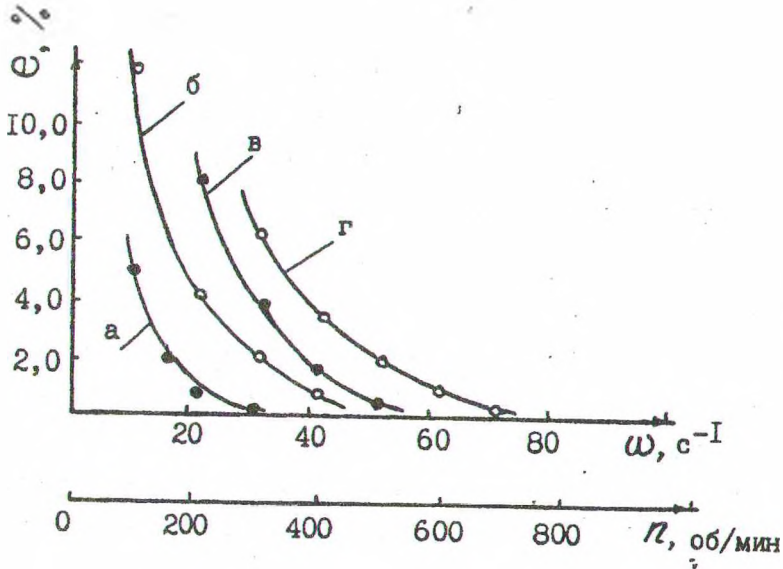


Рис. 2. Влияние скорости вращения ротора на величину уноса твердых примесей (кривые б, г) и капель жидкости (кривые а, в); $d \cong 50$ мкм; а, б — $w_{ex} = 1,8$ м/с; в, г — $w_{ex} = 3,7$ м/с

Отделение взвешенных частиц от газового потока осуществляется следующим образом. Газожидкостной поток, проходя рабочее колесо, приобретает вращательное движение и поступает в кольцевой зазор между цилиндром и коническим диффузором. Под действием центробежной силы жидкость отбрасывается на стенку диффузора и в виде пленки транспортируется газовым потоком до узла отвода (щелей), где отделяется и через штуцер 11 удаляется из цилиндрической обечайки. Такое конструктивное решение позволяет проводить процесс разделения фаз непосредственно в корпусе осевого вентилятора без установки дополнительных сепарационных устройств, а также обеспечить необходимый напор для транспортировки потока газа.

При анализе механизма разделения фаз в вентиляторе-сепараторе и разработке методики расчета конструкции усилия были направлены на решение следующих задач:

1) определение конструктивных и режимных параметров рабочего колеса, при которых будет достигнут отброс капель жидкости на стенку конического диффузора;

2) расчет узла отвода жидкой фазы (определение необходимого количества щелей, их расположения по высоте конического диффузо-

ра, геометрических размеров их и т. п.) для полного удаления жидкости с внутренней стенки конического диффузора.

Реализация поставленных задач была осуществлена теоретическими расчетами и экспериментальными исследованиями.

Установлено (рис. 3), что наибольшей эффективностью разделения обладает конструкция диффузора, выполненная со щелями шириной $6,0 \cdot 10^{-3}$ м и включающая конический отбойник с вылетом конуса (δ_1), равным $9,0 \cdot 10^{-3}$ м. Скорость вращения рабочего колеса для этой конструкции на величину уноса практически не оказывает влияния. Для диффузора без отбойника с увеличением частоты вращения колеса унос возрастает как для Т-образных, так и для прямых щелей. Уменьшение ширины щелей приводит также к росту уноса.

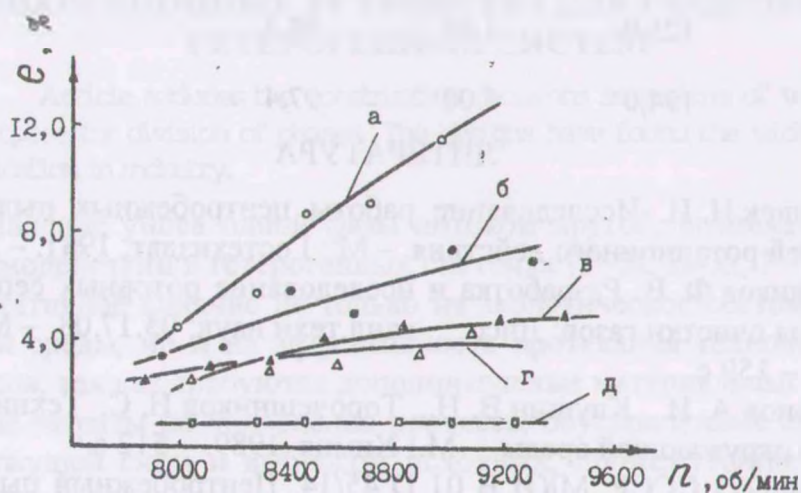


Рис. 3. Влияние числа оборотов рабочего колеса на величину уноса жидкости: а, б, в — прямые (обычные) щели, $\delta = (4,5,6) \cdot 10^{-3}$ м соответственно; г — Т-образные щели, $\delta = 6 \cdot 10^{-3}$ м; д — диффузор с отбойником, $\delta = 6 \cdot 10^{-3}$ м, $\delta_1 = 5 \cdot 10^{-3}$ м

Проведенные промышленные испытания разработанной конструкции в цехе производства карбамида Северодонецкого ПО «Азот», результаты которых представлены в табл. , свидетельствуют о высокой эффективности сепарации жидкости, достигающей 97–98,5%. Внедрение этой конструкции позволило получить годовой экономический эффект, равный 95 тыс.руб. (в ценах до 1990 г.).

Результаты опытно-промышленных испытаний осевого вентилятора-сепаратора

Общий расход вентвыбросов (карбамид, CO_2, N_3 и др)	Количество карбамида в потоке		Степень очистки η , %	Примечание
	на входе M_H , кг/ч	на выходе M_K , кг/ч		
585600	187,5	5,62	97,0	Расчет η проведен по формуле $\eta = \frac{M_H - M_K}{M_H} \cdot 100\%$
585650	220,0	5,50	97,5	
585650	160,0	2,90	98,2	
585630	156,5	3,13	98,0	
585600	125,0	1,90	98,5	
585690	194,0	5,00	97,4	

ЛИТЕРАТУРА

1. Женищек Н. И. Исследование работы центробежных пылеотделителей ротационного действия. – М.: Гостехиздат, 1981. – 272 с.
2. Прудников Ф. В. Разработка и исследование роторных сепараторов для очистки газов: Дисс. ... канд.техн.наук: 05.17.08. – Минск, 1980. – 159 с.
3. Родионов А. И., Клушин В. Н., Торочешников Н. С. Техника защиты окружающей среды. – М.: Химия, 1989. – 512 с.
4. А.с. 186973 СССР, МКИ В 01 D 45/14. Центробежный пылеуловитель / В. П. Новаков (СССР). – 942595/40-23; Заявлено 13.02.65; Оpubл. 20.05.66, Бюл. № 20. – 2 с.
5. Мельдау Р. Пыль в производстве и способ ее удаления. Пер. с нем. / Под ред. Л. П. Шишко. – М.: Гостехиздат, 1931. – 272 с.
6. Карпухович Д. Т. Исследование центробежного вентилятора для сухого улавливания пыли // Химическая промышленность. – 1968. – № 5. – С. 54-56 (374-376).
7. Очистка низконапорных газовых потоков от взвешенных частиц / В. А. Марков, Ф. В. Прудников, С. А. Лахтанов, Н. П. Ермакович. – Химическая промышленность. – 1991. – № 10. – С. 41-43 (617-619).
8. Исследование рабочих характеристик осевого вентилятора-сепаратора / С. А. Лахтанов, А. И. Ершов, В. А. Марков, Н. П. Ермакович // Тезисы докл. конф. «Безотходная технология

химических, нефтехимических, гальванических производств и в стройиндустрии. Ресурсосбережение-90». – Куйбышев, 1990. – С. 55.

9. Марков В. А. Разделение фаз в теплообменных аппаратах: Дис. ... докт. техн. наук.: 05.17.08. – Минск, 1996. – 350 с.

УДК 621.928

В. А. Марков, профессор;
И. М. Плехов, профессор;
Б. М. Шишло, ассистент;
Е. В. Перминов, доцент

СЕПАРАЦИОННЫЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ РАЗДЕЛЕНИЯ ГЕТЕРОГЕННЫХ СИСТЕМ

Article adduces the constructive decisions separators of various purpose for division of phases. The designs have found the wide application in industry.

Явление уноса одной фазы потоком другой, возникающее при их взаимодействии в гетерогенных системах (Г–Ж, П–Ж, Г–Т), оказывает негативное влияние не только на экологическое состояние окружающей среды, но и на эффективность протекания технологических процессов, так как требуются дополнительные материальные и энергетические затраты на проведение процесса, обусловленные снижением его движущей силы и выбросом исходных, промежуточных или конечных продуктов в окружающую среду, подлежащих утилизации.

С целью устранения уноса в инженерной практике идут по пути снижения скоростей потоков газа или пара, что неизбежно приводит к уменьшению производительности установок, или применения специально встроенных и выносных сепарационных устройств, обеспечивающих разделение фаз. Однако многообразие известных конструктивных решений [1-6] еще не всегда приводит к положительным результатам при их практическом использовании, поскольку даже при условии рациональной технологии и правильной эксплуатации сепарационных устройств последние должны быть выбраны для каждого конкретного процесса с учетом особенностей химико-физических свойств отделяемой от газового потока дисперсной фазы, условий сепарации и требуемой эффективности разделения. Например, анализ показывает, что многие конструкции сепарационных устройств не могут быть использованы в теплообменных аппаратах в сочетании