

Анализ аппаратурных схем конструктивного исполнения инерционных жалюзийных сепараторов

С.И. Голубева, Л.И. Хорзова, О.С. Власова

Волгоградский государственный технический университет, Волгоград

Аннотация: Интенсификация технологических процессов современных отраслей промышленности сопровождается увеличением объема вентиляционных и технологических выбросов, оказывающих крайне неблагоприятное воздействие на окружающую среду. Как известно, для решения этой проблемы широко и успешно используются аппараты мокрой пылегазоочистки. Однако, наличие капельной дисперсии рабочей жидкости в очищенном воздушном потоке, способной загрязнять атмосферу уловленными в процессе очистки компонентами, не позволяет добиться требуемой степени очистки. В статье представлены конструкции каплеуловителей радиально-инерционного действия, оптимизированные по функционально-энергетическим характеристикам, предлагаемые к установке в интенсивных аппаратах мокрой пылегазоочистки для эффективной сепарации капельной влаги.

Ключевые слова: интенсивные аппараты мокрой пылегазоочистки, газожидкостный поток, инерционные жалюзийные сепараторы, капельная дисперсия, сепарация капельной влаги, сепарирующие элементы, эффективность процесса каплеулавливания.

Эффективность комплексной очистки многокомпонентных технологических выбросов аэрозольных систем, которые могут содержать и газообразные, и дисперсные компоненты, достигается при использовании мокрых способов очистки в аппаратах с интенсивным режимом работы [1]. Однако, присутствие взвешенной капельной дисперсии рабочей жидкости в очищенном воздушном потоке снижает результативность работы пылегазоочистной установки. Отделение капельной дисперсии на выходе из нее - есть главная задача при модернизации конструкции аппаратов мокрой пылегазоочистки [2,3].

По принципу действия все каплеуловители, применяемые в промышленности, можно разделить на три основные группы: гравитационные, инерционные и центробежные. Наиболее предпочтительны для очистки пылегазовоздушного потока в интенсивных аппаратах мокрой очистки - это инерционные каплеуловители, механизм сепарации в которых

основан на стремлении движения капель жидкости под воздействием инерционной силы в прежнем направлении при внезапном изменении траектории движения сепарируемого газожидкостного потока [4,5]. Хороший результат показывает ударная сепарация, при которой процесс каплеулавливания осуществляется при прохождении двухфазного газожидкостного потока через входное отверстие сепаратора с достаточно высокой скоростью и дальнейшее его столкновение с плоской поверхностью, установленной под углом 90° к направлению движения потока на определенном расстоянии от входного отверстия сепаратора [6]. Применяемые конструкции инерционных каплеуловителей легко улавливают только, так называемые, грубодисперсные капли, а мелкодисперсные “микронные” капли остаются в воздушном потоке, что существенно затрудняет достижение требуемой степени очистки как в пенных, так и интенсивных вихрепленных пылегазоуловителях [7,8].

Предлагаемое устройство жалюзийного сепаратора также относится к инерционным каплеуловителям. Отличительной особенностью такой конструкции является двухэтапная сепарация. На первом этапе очищаемый двухфазный воздушный поток коаксиально вводится в зону сепарации, что позволяет при разделении его на несколько составляющих параллельных струй и затем их повороте на угол, превышающий 90° , создать радиально направленные веерные потоки. Второй этап сепарации предполагает новый поворот образованных воздушных потоков на угол 90° . Капли жидкости, содержащиеся в газожидкостном потоке, благодаря значительной плотности, при этом выносятся за границы воздушного потока и теряют скорость в результате соприкосновения с направляющими поверхностями сепаратора [9]. Далее происходит объединение отсепарированных от капель рабочей жидкости газовоздушных потоков. Из зоны сепарации очищенный от капельной дисперсии воздушный поток выводится также коаксиально.

В результате проведения многочисленных экспериментов, анализируя и оценивая условия сепарации, определяя величину уноса капельной дисперсии, предлагаются следующие схемы конструкций жалюзийных сепараторов радиально-инерционного действия, которые представлены в форме круговых жалюзийных решеток с конфузорными, плоскокольцевыми и лопаточными пакетами элементов каплеулавливания (рис. 1).

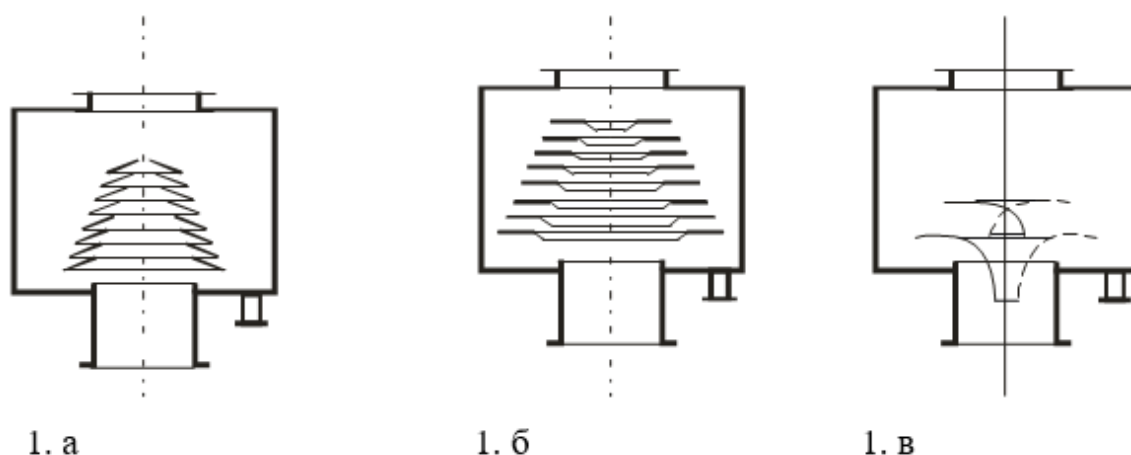


Рис. 1. а – элементы сепарации, выполненные в форме конфузорных жалюзи;
1. б – элементы сепарации, выполненные в форме плоскокольцевых жалюзи;
1. в – элементы сепарации, выполненные в форме специально профилированных лопаток.

Предназначение предлагаемых конструкций каплеуловителей: сепарация капельной дисперсии в интенсивных аппаратах мокрой очистки технологических пылегазовых выбросов из высокоскоростных вертикально восходящих газовоздушных потоков.

Целью именно такого конструктивного исполнения сепараторов являлось максимальная их оптимизация как по функциональным, так и по энергетическим характеристикам процесса каплеулавливания. Добиться этого возможно за счет уменьшения гидравлических потерь напора очищаемого газовоздушного потока, в результате увеличения площади входного сечения сепарирующих элементов при их исполнении в форме

конфузорных (рис. 1 а) и плоскокольцевых жалюзи (рис. 1 б), а также в форме специально профилированных лопаток (рис. 1 в).

Основу всех схем конструктивного исполнения пакетов сепарирующих элементов составляет принцип радиально направленного поворота восходящего вертикально вверх высокоскоростного газовойздушного потока. В результате проведенных экспериментов, наибольшую эффективность сепарации показал каплеуловитель с выполнением сепарирующих элементов в форме специально профилированных лопаток.

Определяющими конструктивными характеристиками элементов такого жалюзийного сепаратора являются: ширина радиально направленной части профилированной лопатки ($S, м$), высота размещения над входным патрубком каплеуловителя нижней кромки пакета элементов сепарации ($H, м$), расстояние между смежными сепарирующими элементами по высоте ($h, м$) и диаметр входного отверстия сепаратора ($d, м$). $S = f(d)$; $H = f(d)$; $h = f(d)$.

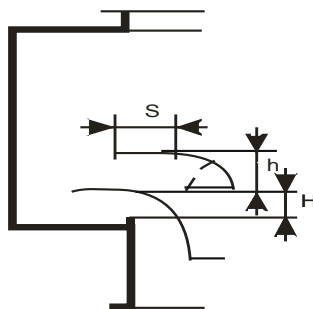


Рис. 2. - Сепаратор с лопаточным исполнением сепарирующих элементов

В результате проведенных аэродинамических испытаний были установлены следующие предпочтительные соотношения между конструктивными характеристиками:

$$S = \frac{1}{3}d; S = \frac{1}{9}d; S = \frac{2}{9}d \quad (1)$$

$$H = \frac{1}{3}d; H = \frac{2}{3}d \quad (2)$$

$$h = \frac{1}{3}d = \text{const} \quad (3)$$

Самым оптимальным вариантом устройства сепарации является устройство, в котором ширина радиально направленной части профилированной лопатки составляет $S = \frac{1}{3}d$, а высота расположения нижнего пакета сепарирующих элементов – $H = \frac{1}{3}d$.

Эта конструкция сепаратора представляет собой вертикальный цилиндрический корпус, внизу которого коаксиально установлен входной для двухфазного воздушного потока патрубок, который сверху оборудуется пакетом круговых жалюзийных решеток. Конструктивное исполнение жалюзи решеток: лопатки в форме прямоугольной трапеции, перпендикулярная сторона которых заглубляется внутрь входного патрубка. Плоскость лопаток профилируется по равнобочной гиперболе. Смежные жалюзи-лопатки, частично перекрывая друг друга, образуют жалюзийные конфузорные криволинейные каналы. Сверху цилиндрический корпус оборудуется выпускным коаксиально установленным патрубком для выхода очищенного от капельной дисперсии воздушного потока, а снизу - штуцером для удаления уловленной жидкости.

Процесс сепарации происходит следующим образом: воздушный поток, содержащий капельную дисперсию, поднимается по патрубку вверх и разбивается радиально установленными нижними краями лопаток жалюзийной решетки на несколько составляющих потоков. В процессе дальнейшего движения происходит отклонение разделенных воздушных потоков от вертикали по траектории гиперболического профиля, приобретая при этом в криволинейных межлопаточных каналах ускорение без увеличения турбулентного и поперечного пульсирования [9]. Вследствие изменения направления движения газожидкостного потока, содержащиеся в

нем грубодисперсные капли жидкости, оседают на поверхность профилированных лопаток жалюзи, перемещаясь при этом к их верхним кромкам под действием движущегося воздушного потока. Мелкодисперсные “микронные” капли, в связи с ускорением движения потока, получают в межлопаточных каналах сепарирующих элементов инерцию, вполне достаточную для перемещения их к внутренней поверхности корпуса сепаратора при вторичном повороте потока при его движении вверх к выпускному патрубку.

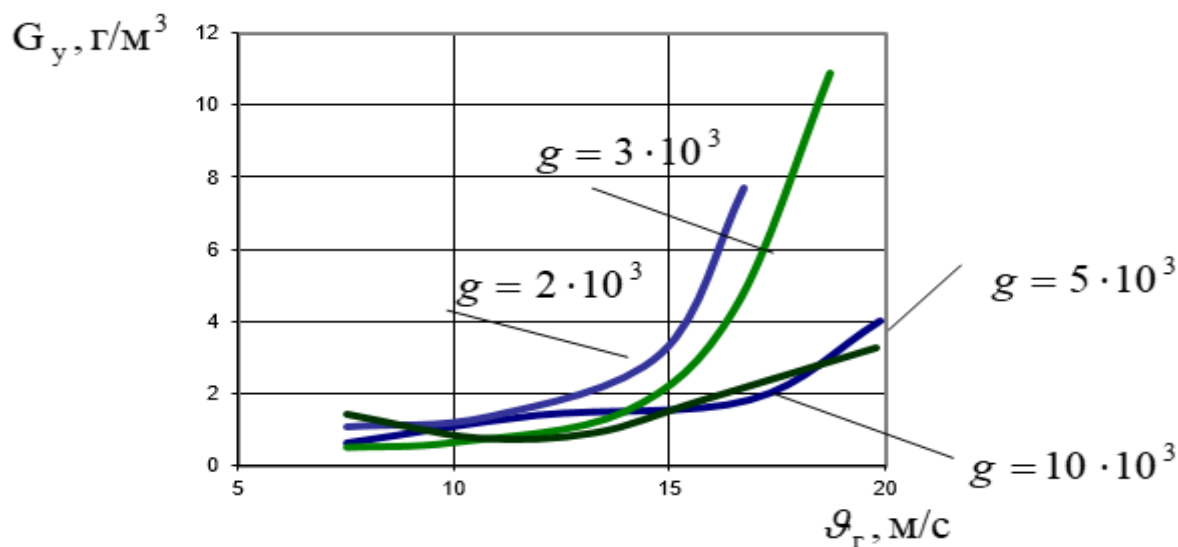
Капли жидкости, достигая внутренней поверхности корпуса, ударяются об нее, теряют при этом скорость и, образуя жидкостную пленку под действием силы тяжести, стекают в поддон сепаратора. Удаляется уловленная жидкость из устройства через сливной штуцер. Газовоздушный поток, очищенный от капельной дисперсии, выводится из зоны сепарации через верхний, коаксиально установленный, конфузорный патрубок.

Изготовление пакета сепарирующих элементов в форме лопаток круговой жалюзийной решетки, которые профилируются по равнобочной гиперболе, объясняется тем, что именно такой профиль более всего приближен к профилю гиперболических спиралей, являющегося одним из самых рациональных для реализации монотонности изменения кривизны лопаток при различном угле изгиба их профиля. Не менее важным при этом является возможность создавать профили лопаток без скачков кривизны, которые, как известно, вызывают значительное увеличение потерь энергии [9,10].

Размещение входных сторон лопаток в рассматриваемом устройстве каплеуловителя по радиусу к оси круговой профилированной лопаточной решетки, а также их заглубление внутрь патрубка, позволяет обеспечить равные условия обтекания кромок решеток газожидкостным потоком, не вызывая при этом увеличения гидравлических потерь [11].

Определяющие гидродинамические характеристики режима сепарации - это скорость газожидкостного потока в активном сечении сепаратора, соотношение объемных концентраций воздуха и жидкости, т.е. его газосодержание, а также гидравлическое сопротивление устройства сепарации [11].

Анализ экспериментальных данных показывает, что изменение скорости движения газожидкостного потока до 12,5 м/с фактически не оказывает влияния на эффективность отделения капельной влаги при различных значениях его относительного газосодержания. С увеличением скорости очищаемого потока до 15 м/с величина каплеуноса G_y резко возрастает при относительном газосодержании $2 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $3 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$.



$$S = \frac{1}{3} d; \quad H = \frac{1}{3} d$$

Рис. 3. - Зависимость величины каплеуноса G_y от скорости потока g_r и относительного газосодержания $2 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $3 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$, $10 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$, соответственно.

Эффективность каплеулавливания в жалюзийных сепараторах определяется общим расходом очищаемого газа и коэффициентом его

прохода через межлопаточный канал. С увеличением объемного расхода газоздушного потока возрастает его скорость в жалюзийных каналах решетки, что приводит к увеличению скорости движения капель жидкостной дисперсии и, соответственно, к увеличению центробежной силы инерции, приводящей к увеличению эффективности каплеулавливания.

Из обобщения экспериментальных значений установлено, что, по сравнению с известными конструкциями каплеуловителей, при скорости воздушного потока от 12,5 до 14,0 м/с, данная радиально-инерционная схема исполнения сепарирующих устройств обеспечивает достаточно устойчивую и эффективную работу сепаратора. Эффективность сепарации свыше 99% достигается при разделении воздушных потоков, газосодержание которых не превышает $5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$. При увеличении газосодержания потока от $5 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ до $10 \cdot 10^3 \text{ м}^3/\text{м}^3$ коэффициент полезного действия немного снижается, но все равно достаточно велик и составляет 98%.

Принцип работы каплеуловителей с сепарирующими элементами, выполненными в форме плоскокольцевых и конфузорных жалюзи, достаточно близок к рассмотренной выше специфике действия.

Литература

1. Arravsmith A., Ashton N., Parsons A.C. Gaseous emission control by gas absorption some case studies // Process Safety and Environ. Prot. 1990. v. 68, № 3. p.176–180.
2. Азаров В.Н., Кошкарев С.А. К экспериментальной оценке эффективности аппарата мокрой очистки в системах обеспыливания выбросов в атмосферу от печей обжига керамзита // Инженерный вестник Дона, 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n4y2014/2572/.

3. Сергина Н.М. О применении вероятностного подхода для оценки эффективности многоступенчатых систем пылеулавливания // Инженерный вестник Дона, 2013, №3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1866/.

4. Волгин С.И., Исаев В.Н. Опыт эксплуатации каплеуловителей за системами мокрой газоочистки // Промышленная и санитарная очистка газов. 1983. №1. С.11-12.

5. Николаев А.Н., Малюсов В.А. Опыт эксплуатации каплеуловителей за системами мокрой газоочистки металлургических агрегатов // Промышленная и санитарная очистка газов. 1980. №1. С.235-242.

6. Вальдберг, А. Ю., Лебедюк Г.К. Мокрые пылеуловители ударно-инерционного, центробежного и форсуночного действия // Промышленная и санитарная очистка газов. 1981. №2. 36с.

7. Лебедюк Г.К. Исследование гидродинамики жалюзийных каплеуловителей. Физико-химическая гидродинамика // Физматгиз. 1979. 253 с.

8. Кигур Ю.Н. Некоторые данные экспериментальных исследований жалюзийных сепараторов // Рига.: РПИ. 1972. 43 с.

9. Пирунов А.И. Аэродинамические основы инерционной сепарации // М.: Госстройиздат, 1961. 123 с.

10. Hanson A.R., Domich E.G., Adams H.S., Investigations of the destruction of droplets by air impacts using shock tubes // Phys. Liquids. 1963. v. 6, № 8, p.1071–1080.

11. Кутателадзе С.С., Стырикович М.А. Гидродинамика газожидкостных систем // М.: Энергия, 1976. 296 с.

References

1. Arravsmith A., Ashton N., Parsons A.C. Process Safety and Environ. Prot. 1990. v. 68, № 3. pp. 176–180.



2. Azarov V.N., Koshkarev S.A. Inzhenernyj vestnik Dona, 2014, № 4. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/N4y2014/2572/.
3. Sergina N.M. Inzhenernyj vestnik Dona, 2013, № 3. URL: ivdon.ru/ru/magazine/archive/n3y2013/1866/.
4. Volgin S.I., Isaev V.N. Promyshlennaja i sanitarnaja ochildka gazov. 1983. №1. pp. 11-12.
5. Nikolayev A.N., Malyusov V.A. Promyshlennaja i sanitarnaja ochildka gazov. 1980. №1. 235p.
6. Val'dberg, A. Yu., Lebedyuk G.K. Promyshlennaja i sanitarnaja ochildka gazov. 1981. №2. 36 p.
7. Lebedyuk G.K. Issledovanie gidrodinamiki zhalyuziinyh kapleulovitelei. Fiziko-himicheskaja gidrodinamika [Research of the hydrodynamics of louvered drop eliminators. Physical and chemical hydrodynamics]. Fizmatgiz, 1979. 253 p.
8. Kigur YU.N. Nekotorye dannye yeksperimental'nyh issledovanii zhalyuziinyh separatorov [Some data from experimental studies of louver separators]. Riga. RPI sb. №5, 1972. 43 p.
9. Pirunov A.I. Aerodinamicheskie osnovy inercionnoi separacii [Aerodynamic foundations of inertial separation]. M., Gosstroizdat, 1961. 123 p.
10. Hanson A.R., Domich E.G., Adams H.S. Phys. Liquids. 1963. v. 6, № 8, pp.1071–1080.
11. Kutateladze S.S., Styrikovich M.A. Gidrodinamika gazozhidkostnyh sistem [Hydrodynamics of gas-liquid systems]. M.: Yenergija, 1976. 296 p.

Дата поступления: 29.01.2024

Дата публикации: 13.03.2024