

УДК 697.942.2

В. М. СПИНОВ, ассистент

В. В. АФТАНЮК, д-р техн. наук, проф.

Одесская академия строительства и архитектуры, г. Одесса

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЕ КИНЕТИКИ МОКРОГО ПЫЛЕУЛОВИТЕЛЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований кинетики мокрого пылеуловителя с вихревой тарелкой. Определены рациональные технологические параметры плотности орошения и очищаемого газа. Доказана эффективность применения вихревой тарелки для пылеулавливания.

Наведено результати експериментальних досліджень кінетики мокрого пиловловлювача з вихрової тарілкою. Визначено раціональні технологічні параметри щільності зрошення і газу що очищають. Доведено ефективність застосування вихровий тарілки для пиловловлювання.

### Введение

Промышленное производство и другие виды хозяйственной деятельности людей сопровождаются выделением в воздух помещений и в атмосферный воздух различных веществ, загрязняющих воздушную среду. В воздух поступают аэрозольные частицы (пыль, дым, туман), газы, пары, а также микроорганизмы и радиоактивные вещества.

На современном этапе для большинства промышленных предприятий очистка вентиляционных выбросов от вредных веществ является одним из основных мероприятий по защите воздушного бассейна. Благодаря очистке выбросов перед их поступлением в атмосферу предотвращается загрязнение атмосферного воздуха [1].

### Основная часть

Одним из простых и эффективных способов очистки газов является мокрое пылеулавливание. Процесс мокрого пылеулавливания основан на контакте запыленного газового потока с жидкостью, которая захватывает взвешенные частицы и уносит их из аппарата в виде шлама.

Для повышения эффективности мокрого пылеулавливания предложена конструкция пылеуловителя с вихревой тарелкой (рис. 1), для которого на основании математического моделирования определены рациональные параметры поперечного сечения аппарата и концентрации пыли на входе в пылеуловитель [2].

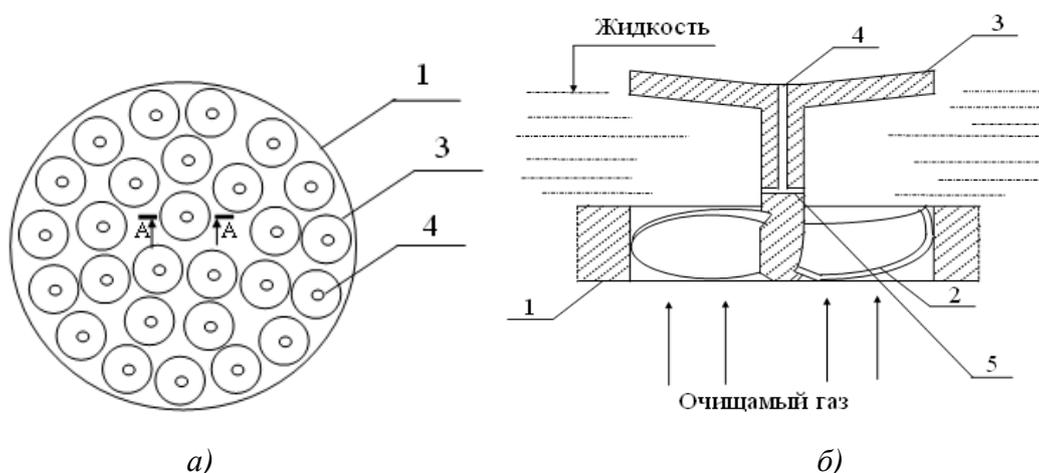


Рис. 1. Общий вид (а) и разрез (б) вихревой тарелки [3]:

- 1 – полотно тарелки; 2 – аксиальный завихритель;  
3 – отбойный диск; 4 – канал; 5 – отверстия.

Полученные теоретические результаты позволили выявить качественную картину процесса и оценить характер и степень влияния конструктивных и режимных параметров на условия сепарации пыли.

Однако выбрать оптимальный режим на основе только математического моделирования невозможно, т. к. при создании модели сделан ряд допущений, а некоторые факторы, влияющие на процесс сепарации, не поддаются аналитическому описанию.

Поэтому для уточнения теоретических расчетов необходимо выполнить экспериментальные исследования, для проведения которых была спроектирована и изготовлена лабораторная установка в соответствии с известными требованиями единой методики сравнительных испытаний пылеуловителей [4]. Исследования проводились в несколько этапов.

При эксплуатации пенных аппаратов необходимо добиваться полного смачивания всей поверхности орошаемых элементов. Это условие выполняется лишь в том случае, если локальная плотность орошения в любой точке поверхности элемента превышает некоторое минимально допустимое значение  $\Gamma_{\min}$ . Если же это условие не выполняется, то пленка разрывается, и жидкость течет отдельными струйками, т.е. задача равномерного распределения жидкости по сечению аппарата является сложной задачей, особенно для аппаратов с большой площадью сечения [1].

Поэтому на первом этапе для определения рациональных величин плотности орошения исследовались скорости соответствующие началу вступления вихревой тарелки в работу и переход к струйному (волновому) режиму когда наблюдается проскок воздуха через пенный слой.

Поиск области изменения значений скорости газа  $V$  на входе в аппарат и удельного орошения  $g$ , в которой эффективность очистки максимальна производился методом Гаусса – Зейделя [5].

Проведенные исследования изменения  $\eta = f(V)$  (рис.1) показали, что с повышением скорости газа от 5 до 12-15 м/с эффективность очистки заметно увеличивается. В диапазоне 12-15 м/с происходит изгиб кривой эффективности и при дальнейшем повышении скорости темп роста к.п.д. резко уменьшается.

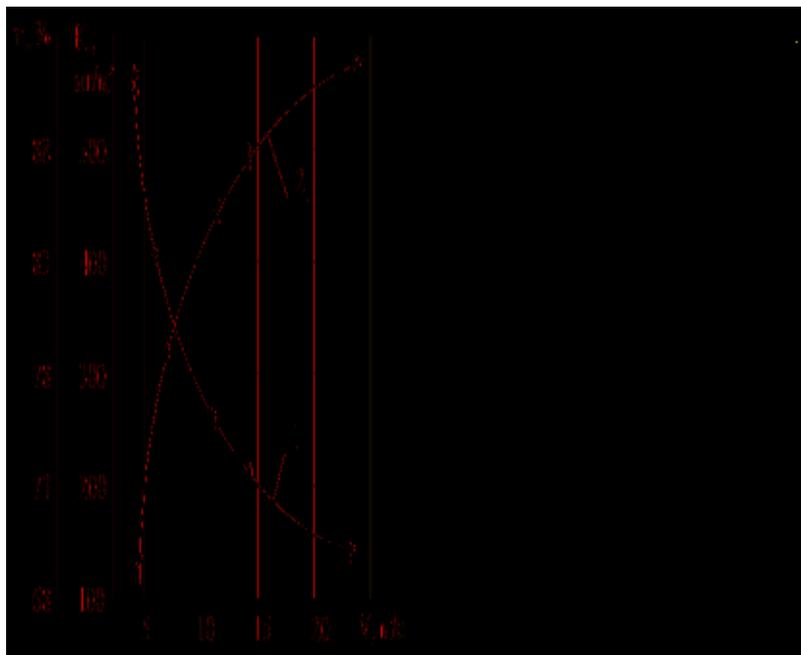


Рис. 1. Зависимость остаточной концентрации пыли  $K$  (кривая 1) и эффективности очистки  $\eta$  (кривая 2) от скорости газа  $V$ .

В результате сравнения величины  $\eta$  при разных  $g$  (рис. 2), установлено, что при значении удельного орошения  $g$ , превышающем  $0,17 \text{ кг/м}^3$ , степень очистки практически не повышается как при  $V < 15 \text{ м/с}$ , так и при  $V > 15 \text{ м/с}$ . Дальнейшее увеличение значений удельного орошения  $g$ , при практически неизменной степени очистки приведет к повышению аэродинамического сопротивления и расхода воды (таблица).

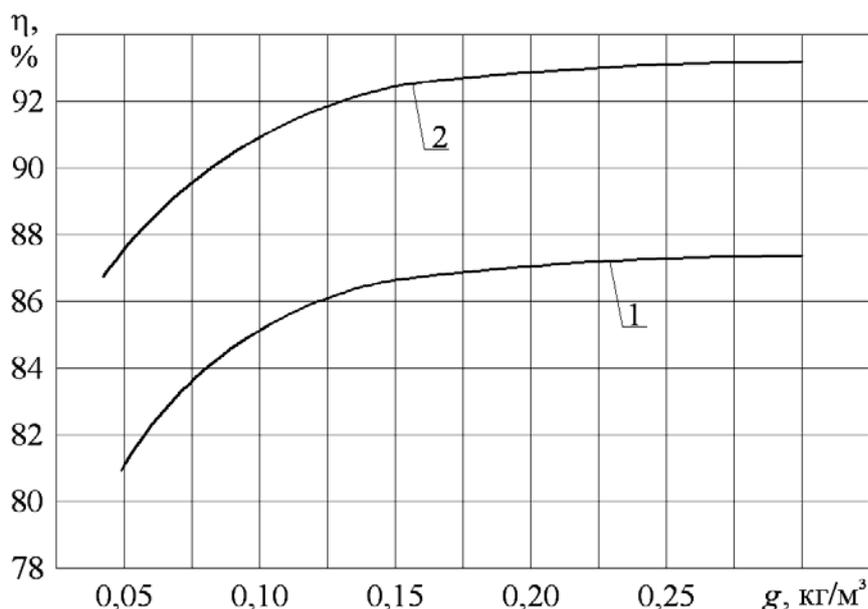


Рис. 2. Зависимость эффективности очистки  $\eta$  от удельного орошения  $g$ :  
1 – при  $V < 12 \text{ м/с}$ ; 2 – при  $V < 22 \text{ м/с}$

Таблица

Параметры работы вихревой тарелки

Параметры	Плотность орошения, $g$ , $\text{кг/м}^3$		
	0,15	0,25	0,35
Коэффициент сопротивления тарелки	1,2–1,4	1,6–1,8	2,2–2,4
Скорость соответствующая началу вступления в работу (конец провала), $\text{м/с}$	0,2–0,5	0,4–0,7	0,6–0,8
Скорость соответствующая переходу к струйному режиму, $\text{м/с}$	1,2–1,8	1,6–2,5	1,8–2,7

На следующем этапе исследовалось влияние угла установки лопастей завихрителя на эффективность пенообразования и общее сопротивление вихревой тарелки.

На основании математического моделирования [5], был определен рациональный диапазон изменения угла установки, при котором наблюдается минимизация сопротивления завихрителя при высокой степени закрутки потока, и который составляет от  $35$  до  $55^\circ$ . Для экспериментальных исследований были изготовлены пять образцов вихревых элементов с углом наклона лопаток завихрителей соответственно  $35, 40, 45, 50, 55^\circ$ .

При различных углах установки завихрителей установлены неодинаковые эффективности улавливания в зависимости от скорости газа (рис. 3).

Максимальная разница эффективностей  $\Delta\eta$  наблюдается и сохраняется практически неизменной при скорости газа  $V < 15 \text{ м/с}$ . Однако, при скорости  $V = 15 \text{ м/с}$  эффективность очистки и разность эффективностей начинает уменьшаться и практически исчезает при  $V < 23 \text{ м/с}$ . Однако гидравлическое сопротивление при увеличении скорости более  $25 \text{ м/с}$  значительно возрастает, что ограничивает дальнейшее увеличение скорости на входе в аппарат.

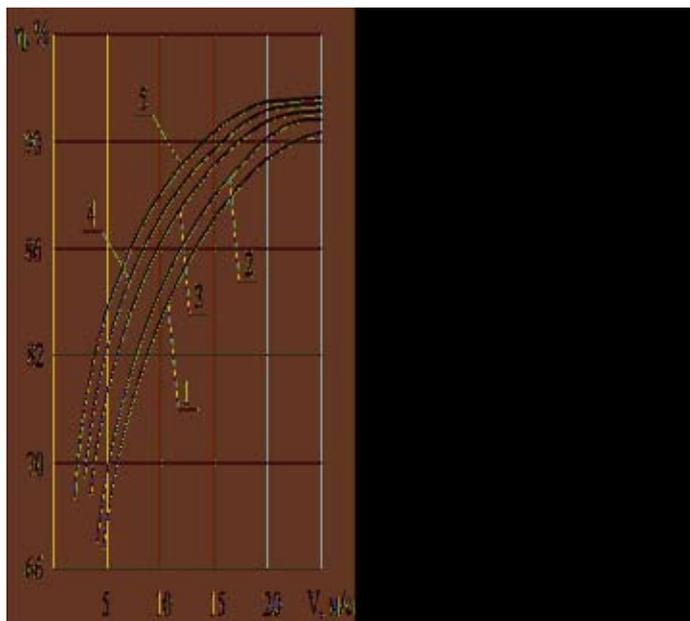


Рис. 3. Зависимость эффективности очистки  $\eta$  от скорости газа  $V$  при различных установках угла лопаток завихрителей:  
1 – при  $35^\circ$  ; 2 – при  $40^\circ$  ; 3 – при  $45^\circ$  ; 4 – при  $50^\circ$  ; 5 – при  $55^\circ$  .

Еще одним важным показателем, который характеризует эффективность работы мокрых пылеуловителей, является унос орошающей жидкости, интенсивность которого зависит от скорости газового потока и способа подвода орошающей жидкости.

Оросители, используемые в тарельчатых скрубберах, образуют крупные капли – 600 – 800 мкм и более. Образование капель может также происходить в процессе разрыва пузырей. В этом случае образуются капли которые лежат в двух интервалах 20–30 и 600–1200 мкм. Доля мелких, так называемых капель-спутников, невелика, не превышает 0,30–0,35 % уноса по массе и не может оказывать влияние на общий характер каплеуноса [7].

Поэтому следующий этап исследований был направлен на изучение влияния высоты установки отбойного диска на устойчивость пенного слоя и величину уноса жидкости с вихревой тарелки.

Для обеспечения максимально возможной эффективности пылеулавливания и минимизации уноса жидкости исследованы четыре варианта установки отбойного диска по высоте (рис. 2), которые составляли  $H_{уст} = 0,75d_3$ ,  $H_{уст} = d_3$ ,  $H_{уст} = 1,25d_3$ ,  $H_{уст} = 1,5d_3$ , где  $d_3$  – диаметр завихрителя, м. Выбранный ряд высот обусловлен устройством аппарата т.к. необходимо обеспечить минимально допустимый слой пены который составляет 0,07-0,1 м. Устойчивость пенного слоя оценивалась визуально.

Концентрация капель влаги в потоке очищенного воздуха определялась путем протягивания пробы воздуха через специальное устройство с последующим взвешиванием и отнесением массы уловленных капель к единице объема. Прошедшего через устройство. Отбор проб производился с соблюдением требований [4].

В результате проведенных исследований было выявлено, что наименьшее значение уноса жидкости наблюдается при установке отбойного диска на высоте  $H_{уст} = 1,25d_3$ , кроме того в этом случае наблюдался устойчивый пенный слой на всей плоскости тарелки. Поэтому в качестве базового варианта установки отбойного диска, принята высота  $H_{уст} = 1,25d_3$ .

### Выводы

Для определения оптимального режима работы и рациональных конструктивных параметров пылеуловителя с вихревой тарелкой разработан, изготовлен и испытан его опытный

образец, что позволяет проектировать пылеулавливающие аппараты для различных отраслей промышленности.

Оптимальным углом установки лопастей завихрителей в вихревой тарелке, обеспечивающей максимальную эффективность пылеулавливания и формирование равномерной аэродинамической нагрузки, соответствует угол наклона лопастей завихрителя 55°.

Определена величина рационального значения плотности орошения для вихревой тарелки которое составляет 0,17 кг/м<sup>3</sup>.

Установку отбойного диска в вихревой тарелке рационально устанавливать на высоте равной 1,25dз, такое расположение отбойного диска позволяет обеспечить равномерное распределение динамической пены в пылеуловителе, обеспечить эффективную внутреннюю циркуляцию жидкости и минимизировать унос орошающей жидкости.

Минимизация каплеуноса позволяет обеспечить выбор наиболее рациональной конструкции каплеуловителя, что снизит общее сопротивление аппарата, т.е. улучшит его технико-экономические показатели.

### Список литературы

1. Ветошкин А. Г. Процессы и аппараты пылеочистки. Учебное пособие/ Ветошкин А. Г. – Пенза : Изд -во Пенз. гос. ун -та, 2005. – 210 с.
2. Спинов В. М. Математическое моделирование пенного слоя в пылеуловителе с вихревой тарелкой / В. М. Спинов // Энергосбережение•Энергетика•Энергоаудит. – 2009. – № 11. – С. 15–20.
3. Афтанюк В. В. Разработка конструкции вихревой тарелки для тепло-массообменных аппаратов/ В. В. Афтанюк, В. М. Спинов // Вісн. Одес. держ. акад. будівництва та архітектури. – Одеса: ОДАБА, 2004. – Вип. № 13. – С. 12–15.
4. Коузов П. А. Единая методика сравнительных испытаний пылеуловителей для очистки вентиляционного воздуха / Коузов П. А. / – Л.: Химия, 1967. – 103 с.
5. Рузинов Л. П. Статистические методы оптимизации химических процессов / Л. П. Рузинов. – М., Химия, 1972, – 199 с.
6. Афтанюк В. В. Моделирование движения газа в вихревой тарелке для пенных аппаратов / В. В. Афтанюк, В. М. Спинов // Вісн. Одес. держ. акад. будівництва та архітектури. – Одеса : ОДАБА, 2004. – Вип. № 16. – С. 10–14.
7. Справочник по пыле- и золоулавливанию / М. И. Биргер, А. Ю. Вальдберг, Б. И. Мягков и др.; под общ. ред. А. А. Русанова. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Энергоатомиздат, 1983. – 312 с.

### EXPERIMENTAL STUDY OF KINETICS WET SCRUBBER

V. M. SPINOV, assist., V. V. AFTANIUK, Dr. Sci. Tech., Prof.  
Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture, Odessa

*The results of experimental studies of the kinetics of wet scrubber with a vortex plate. Rational technical parameters of the density of irrigation and the purified gas. The efficiency of the vortex plates for dust removal.*

*Поступила в редакцию 14.01 2011 г.*