Министерство образования и науки
Российской Федерации
Федеральное государственное
бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«Тверской государственный университет»

ФИЗИКО-ХИМИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ИЗУЧЕНИЯ КЛАСТЕРОВ, НАНОСТРУКТУР И НАНОМАТЕРИАЛОВ

МЕЖВУЗОВСКИЙ СБОРНИК НАУЧНЫХ ТРУДОВ

выпуск 9

ТВЕРЬ 2017

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145
ББК Ж36:Г5+В379
Ф50

Рецензирование статей осуществляется на основания Положения об рецензировании статей и материалов для опубликования в Межвузовском сборнике научных трудов «Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов».

Официальный сайт издания в сети Интернет:
www.physchemaspects.ru

Ф50 Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов [Текст]: межвуз. сб. науч. тр. / под общей редакцией В.М. Самсонова, Н.Ю. Сдобнякова. – Тверь: Твер. гос. ун-т, 2017. – Вып. 9. – 592 с.

ISBN 978-5-7609-1275-6

Зарегистрирован Федеральной службой по надзору в сфере связи, информационных технологий и массовых коммуникаций, свидетельство о регистрации СМИ ПИ № ФС 7747789 от 13.12.2011.

Сборник составлен из оригинальных статей теоретического и экспериментального характера, отражающих результаты исследований в области изучения физико-химических процессов с участием кластеров, наноструктур и наноматериалов физики, включая межфазные явления и нанотермодинамику. Сборник предназначен для научных и инженерно-технических работников, преподавателей ВУЗов, студентов и аспирантов. Издание подготовлено на кафедре общей физики Тверского государственного университета.

УДК 620.22:544+621.3.049.77+539.216.2:537.311.322: 530.145
ББК Ж36:Г5+В379
ISBN 978-5-7609-1275-6
ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2017
© Тверской государственный университет, 2017

УДК 621.928.9

ИССЛЕДОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ ДЛЯ ПОЛУЧЕНИЯ ПЕННОГО РЕЖИМА В СТРУЙНОМ БАРБОТЕРЕ

Г.И. Свердлик, А.С. Выскребенец, Р.Н. Максимов, А.Ю. Атаева
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»
362021, Россия, Владикавказ, ул. Николаева, 44
angelaak@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2017.9.430

Аннотация: Рассмотрены преимущества пенного режима в барботажных аппаратах при пылеулавливании, при котором возможно улавливание широкого размерного спектра пылевидных материалов, включая наночастицы, не улавливаемые другими пылеуловителями. Описана экспериментальная лабораторная установка по исследованию параметров для получения пенного режима в струйном барботере. Приведена таблица значений параметров пенного режима и их взаимосвязь.

Ключевые слова: пылегазовые выбросы, струйный барботер, пенный режим, экспериментальная установка, соударение газожидкостных струй, варьирование параметров.

1. Введение

Интенсификация технологических процессов на промышленных предприятиях приводит к ухудшению экологической обстановки из-за пылегазовых выбросов, в которых зачастую содержатся ценные компоненты сырья. К числу процессов с выделением значительного количества пыли относятся процессы дробления, грохочения, измельчения, сушки, приготовления шихты, окомкования, обжига концентратов, вельцевания, плавки [1-5]. Распространенные двухстадийные схемы очистки газов от пыли с циклонами и рукавными фильтрами не улавливают частицы с диаметром меньше 1 мкм из-за наличия в ткани фильтров ячеек [6].

Фракционный анализ партии доломитовой муки, выполненный в СКГМИ (ГТУ) на рентгеновской аналитической центрифуге Brookhaven XDC, показал, что содержание фракции крупностью меньше 1 мкм составляло около 25 %. Содержание этой фракции в пылевидных возгонах вельц-печей цинковых заводов достигает 10 %.

С фильтрами могут успешно конкурировать мокрые пылеуловители – барботажные аппараты, позволяющие уловить широкий размерный спектр пыли, включая наночастицы, не улавливающиеся в фильтрах [7-11].

При анализе существующих режимов образования и движения пузырьков в жидкой среде: квазистатический, динамический, струйный [13, 14] было установлено, что наиболее эффективным является пенный режим [7], для получения которого в промышленности обычно добавляются поверхностно-активные вещества (ПАВ) [15].

В СКГМИ (ГТУ) на базе запатентованной конструкции распределительной тарелки [12] разработана конструкция струйного барботера, в котором пенный режим создается за счет соударения газожидкостных струй.

2. Методика эксперимента

При проектировании аппарата потребовались экспериментальные данные, для получения которых была изготовлена лабораторная установка для исследования процессов барботажа при улавливании пыли. Установка представляет собой фрагмент пылегазоуловителя с промышленными размерами колпаков, образующих струи газовых пузырьков, и прозрачной передней стенкой для наблюдения за процессами барботажа (см. рис. 1).

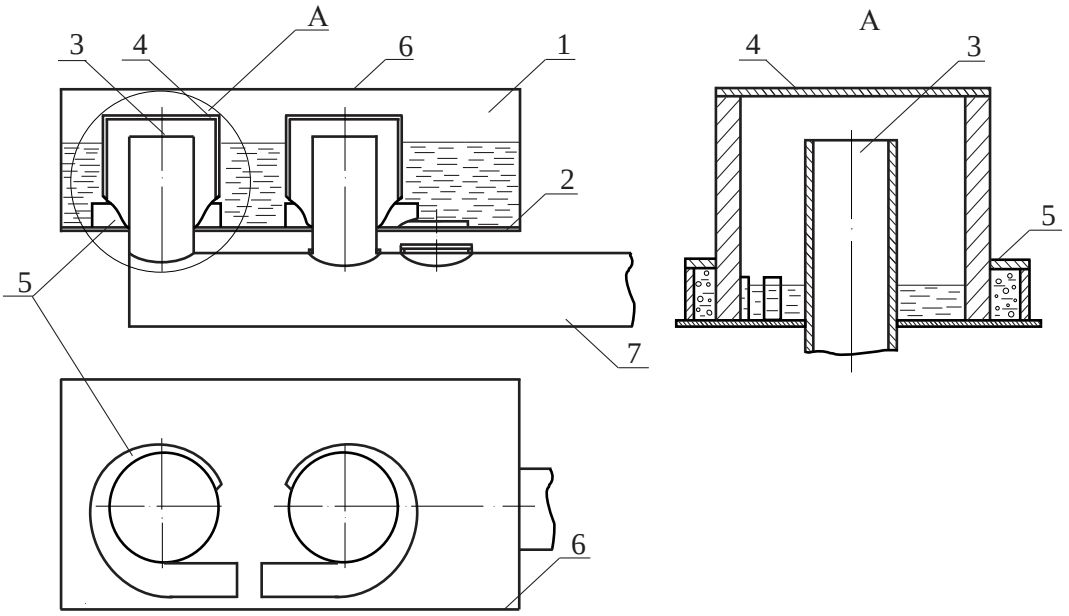

Рис. 1. Схема экспериментальной установки: 1 – корпус установки, 2 – основание, 3 – патрубки, 4 – колпаки, 5 – направляющие каналы, 6 – стекло, 7 – газоподводящая труба.

Установка содержит корпус размерами $500 \times 250 \times 200$ мм. На основании 2 (элемент распределительной тарелки) установлены два колпака 4 диаметром 114 мм, высотой 140 мм с толщиной стенок 11 мм с боковыми прорезями по касательной. В зоне прорезей колпаков установлены направляющие каналы 5 в форме улитки. Внутри колпаков расположены патрубки 3, соединенные с воздухоподводящей трубой 7.

В состав экспериментальной установки входят: центробежный вентилятор среднего давления, марка Ц13-50 с регулятором потока воздуха, микроманометр (тягонапоромер ТНЖ-Н – для измерения скорости воздуха в подающей трубе), 2 прибора освещения-подсветки.

При выполнении экспериментов планируется варьирование

следующих технологических и конструктивных параметров: производительности вентилятора, ширины прорезей в колпаках установкой вставок, высоты столба жидкости в корпусе.

3. Результаты и обсуждение

При исследовании влияния параметров на получение пенного режима сначала было определено влияние высоты слоя жидкости в корпусе установки в неподвижном состоянии h_b, создающего определенное давление в зоне выхода пузырьков из направляющего канала. При высоте $h_b = 85$ мм, ширине прорезей в колпаках $\vartheta = 2$ мм и открытом входном патрубке вентилятора (расход воздуха в подающей трубе $Q_t = 0,033$ м^3/с) образовался периодичный подъем области с пузырьками. При уменьшении h_b до 80 мм и тех же остальных условиях область взаимодействия воздуха с жидкостью имела расширяющуюся кверху форму конуса. С уменьшением h_b до 65 мм все пространство между колпаками непрерывно было заполнено областью взаимодействия воздуха с жидкостью (см. рис. 2), то есть наблюдается образование высокотурбулизированной пены, в которой происходит непрерывное разрушение, слияние и образование новых пузырьков.

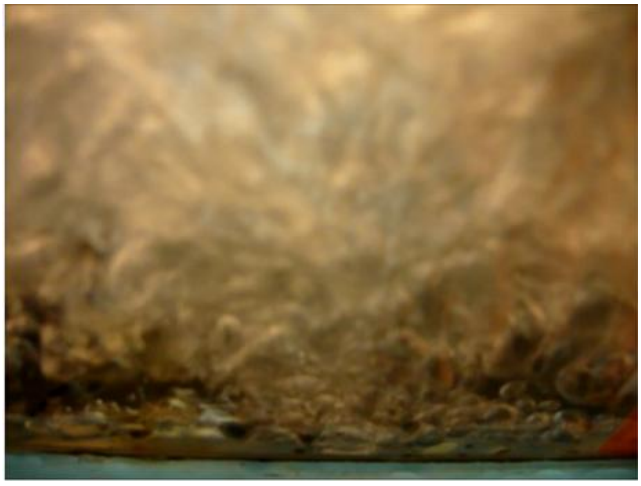

Рис. 2. Пенный режим (вся область между колпаками заполнена воздушными пузырьками).

Барботажный механизм улавливания частиц пыли переходит в более интенсивный турбулентно-инерционный механизм, благодаря которому возможно эффективное улавливание пыли, в том числе наночастиц размерами до 0,1 мкм. При дроблении пузырьков происходит увеличение поверхности контакта фаз и улучшаются условия для улавливания пыли. Таким образом, пенный режим в струйном барботере может быть получен без применения ПАВ. Кроме того по наблюдениям пена практически однородна по высоте жидкости, и процесс пылеулавливания будет

одинаковым по всей высоте пены.

В экспериментах было отмечено, что за колпаками образовались зоны с мелкими пузырьками $\varnothing 0,5-1,0$ мм, заполняющие объем жидкости в корпусе установки, исключая область между колпаками. Мелкие пузырьки выталкиваются из зоны взаимодействия струй в объем барботажного слоя за колпаками. В этих пузырьках происходит дополнительное эффективное улавливание мелкой пыли с быстрым ее прилипанием к поверхности пузырьков. В Таблице 1 приведены экспериментальные данные, при которых был получен пенный режим.

Таблица 1. Параметры экспериментов, при которых возникал пенный режим барботажа

№	Входной патрубок вентилятора	h_b, мм	ϑ, мм	h_f, мм	Q_t, м^3/с
1.	Открытый	75	4	95-105	0,0049
2.	Закрыт на 50%	70		85-95	0,0047
3.	Закрыт на 75 %	65		80-90	0,0045
4.	Закрыт на 95 %	45		55-65	0,0033
5.	Открытый	70	3	90-100	0,0049
6.	Закрыт на 50%	65		80-90	0,0047
7.	Закрыт на 75 %	60		10-20	0,0045
8.	Закрыт на 95 %	45		50-60	0,0037
9.	Открытый	65	2	80-90	0,0047
10.	Закрыт на 50%	60		70-80	0,0045
11.	Закрыт на 75 %	55		65-75	0,0042
12.	Закрыт на 95 %	40		45-55	0,0037

Из анализа данных Таблицы 1 следует, что с уменьшением ширины прорезей колпаков ϑ уменьшается высота h_b, но уменьшается и расход воздуха в подающей трубе Q_t. Поэтому для проектируемого аппарата для получения его максимальной производительности были приняты значения $\vartheta = 4$ мм и $h_b = 75$ мм.

4. Заключение

Показано, что в предложенной конструкции струйного барботера за счет соударения газожидкостных струй может быть получен пенный режим барботажа без применения поверхносно-активных веществ. Данный режим является наиболее эффективным для процесса пылеулавливания, особенно для наночастиц, не улавливаемых рукавными фильтрами. Определены конструктивные и технологические параметры аппарата для получения пенного режима. В экспериментах было отмечено увеличение первоначального объема жидкости при образовании слоя высокотурбулизированной пены. Кроме того, на поверхности пенного слоя наблюдалось образование волн высотой $10-15$ мм. С учетом этого высота

пенного слоя h_f увеличивается по сравнению с начальной высотой жидкости h_b на $20 \div 40\%$.

Работа выполнена с использованием аппаратуры ЦКП СКГМИ (ГТУ).

Библиографический список:

1. Пылеулавливание в металлургии: справочник / сост. Л.С. Левиным, А.А. Гурвицем, А.А. Меттусом и др.; под ред. А.А. Гурвица. – М.: Металлургия, 1984. – 335 с.
2. **Страус, В.** Промышленная очистка газов / В. Страус; Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
3. **Тимонин, А.С.** Инженерно-экологический справочник: в 3 т. / А.С. Тимонин. – Калуга: Изд-во Н. Бочкаревой, 2003. – Т. 1. – 917 с.
4. **Алиев, Г.М.-А.** Техника пылеулавливания и очистки промышленных газов / Г.М.-А. Алиев. – М.: Металлургия, 1986, – 544 с.
5. **Швыдкий, В.С.** Очистка газов: Справочное издание / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.
6. **Гордон, Г.М.** Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии / Г.М. Гордон, Н.Л. Пейсахов. – М.: Металлургия, 1972. – 456 с.
7. Пенный режим и пенные аппараты / под редакцией И.П. Мухленова, Э.Я. Тарата. – Л.: Химия, 1977. – 304 с.
8. Установки и фильтры для очистки газов. Газоочистное оборудование. Рукавный фильтр. Режим доступа: www.url: http://www.oil-filters.ru/machines_and_filters_for_gas_cleaning.php#baghouse. – 15.11.2017.
9. **Вальдберг, А.Ю.** Мокрые пылеуловители ударно-инерционного и форсунечного действия / А.Ю. Вальдберг, Ю.В. Ковалевский, Г.К. Лебедюк. – М.: ЦИНТИ химнефтемаш, 1981. – 38 с.
10. **Рамм, В.М.** Абсорбция газов / В.М. Рамм. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
11. Mc Cann, D.J. Regimes of bubbling at a submerged orifice / D.J. Mc Cann, R.G.H. Prince // Chemical Engineering Science. – 1971. – V. 26. – I. 10. – P. 1505-1512.
12. **Пат. 2303479 Российская Федерация, МПК[7] B01D47/02, B01D3/20.** Распределительная тарелка массообменного аппарата для мокрой очистки газа / Свердлик Г.И., Выскребенец А.С., Атаева А.Ю.; заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет) (СКГМИ (ГТУ). – № 2006103168/15; заявл. 03.02.06; опубл. 27.07.07, Бюл. № 21. – 7 с.
13. Новый справочник химика и технолога. Процессы и аппараты химических технологий: в 2 частях. / под ред. Г.М. Островского. – СПб.: АНО НПО «Профессионал», 2001. – Ч. 1. – 846 с.
14. **Атаева, А.Ю.** Разработка экспериментальной установки для исследования процессов очистки пылегазовых выбросов предприятий предгорной зоны / А.Ю. Атаева, Г.И. Свердлик // Устойчивое развитие горных территорий. – 2017. – Т. 9. – № 1(31). – С. 92-96.
15. Химическая энциклопедия. Барботирование. Режим доступа: www.url: https://dic.academic.ru/dic.nsf/enc_chemistry/494. – 15.11.2017.