Министерство науки и высшего образования
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 10

ТВЕРЬ 2018

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 основании Положения о 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, 2018. – Вып. 10. – 708 с.

ISBN 978-5-7609-1395-1

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 978-5-7609-1395-1

ISSN 2226-4442

© Коллектив авторов, 2018

© Тверской государственной
университет, 2018

УДК 66.074.5:502.3:550.4

РАЗРАБОТКА КЛАССИФИКАЦИИ БАРБОТАЖНЫХ АППАРАТОВ И ИХ ВЫБОР ДЛЯ УЛАВЛИВАНИЯ НАНОЧАСТИЦ ПЫЛИ

Г.И. Сverdлик, А.Ю. Атаева, Д.А. Камболов, А.Р. Атаев
ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт
(государственный технологический университет)»
362021, РСО-Алания, Владикавказ, ул. Николаева, 44
angelaak@mail.ru

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.566

Аннотация: На основании литературного анализа и патентного поиска разработана классификация барботеров по конструктивному признаку. Выполнено сравнение различных типов барботеров по их возможности эффективного улавливания мелкой пыли, включая наночастицы. Показано, что для этой цели рекомендуется использовать разработанный в ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)» на базе запатентованной распределительной колпачковой тарелки струйный барботер.

Ключевые слова: газовые выбросы, наночастицы, классификация барботеров, струйный барботер, пенный режим, экспериментальная установка.

1. Введение

Основная масса газовых выбросов промышленных предприятий, загрязняющих окружающую биосферу, обусловлена нарушением технологии и отсутствием эффективных средств очистки газов перед выбросом в атмосферу.

Количество мелких частиц (наночастиц) может достигать в отходящем воздухе и газах существенных значений. Так в доломитовой муке содержание фракции с крупностью частиц менее 1 мкм достигает 25 %, а в пылевидных возгонах вельц-печей цинкового производства – 10 % [1]. При неполном сгорании органического топлива (мазута, природного газа) отходящие от технологического оборудования газы содержат частицы сажи и золы крупностью порядка 1 мкм и менее. При повышении влажности загружаемого в барабанную сушилку материала свыше 8–10 % снижается температура в зоне загрузки материала в барабан, что увеличивает выход частиц несгоревшего топлива [2]. Кроме того технологические газовые выбросы часто содержат ценные компоненты сырья, которые могут быть направлены на дальнейшую переработку с целью получения дополнительной продукции.

В схемах очистки газов на последней стадии в металлургической, строительной и других отраслях промышленности установлены рукавные фильтры, в которых частицы меньше среднего диаметра пор фильтровальной ткани (менее 1 мкм) не улавливаются [3]. Поэтому для улавливания наночастиц пыли необходимо применять принципиально другие схемы очистки газов, в частности, основанные на мокром способе очистки с применением барботажных аппаратов. Однако не все

конструкции барботеров применимы для реализации этой цели, и выбор наиболее эффективного аппарата возможен путем анализа существующих конструкций барботеров. Чтобы анализ был системным, появилась необходимость разработки, по возможности, наиболее полной классификации барботеров.

2. Методика разработки классификации барботеров

Барботажный способ улавливания пыли из газов был выбран вследствие его следующих достоинств. В основе процессов адсорбционно-пузырькового разделения (частным случаем которого является процесс улавливания пыли при барботаже) лежат явления физического взаимодействия газовой фазы с извлекаемой пылью.

При барботажном способе очищаемые газы проходят через слой жидкости в виде отдельных пузырьков. При хорошем диспергировании газов, вследствие увеличения поверхности соприкосновения газов с жидкостью и повышения скорости массопередачи, улучшается процесс очистки газов от взвешенных частиц, а также происходит абсорбция газообразных примесей.

Вопросы конструирования барботажных аппаратов подробно изучены в литературных источниках [4-12].

Кроме того были рассмотрены разработки ведущих отечественных организаций, занимающихся проектированием мокрых пылеулавливающих аппаратов: ОАО «НИИОГАЗ» и его филиалов, АО «Институт «ГИНЦВЕТМЕТ», ООО «СИОТ ПРО», АО «Гипрогазоочистка», ОАО «ВТИ», а также ряда зарубежных фирм American Air Filter Company, Chemical Construction, Kraft, Research Cottrell, Keller и др.) [9, 12, 13]. При анализе конструкций барботеров был выполнен патентный поиск с ретроспективой в 40 лет.

На основании анализа многочисленных вариантов конструкций барботажных аппаратов была составлена классификация барботеров по конструктивным признакам (см. рис. 1).

Барботажные аппараты по конструктивным признакам делятся на следующие группы:

- аппараты со сплошным барботажным слоем,
- аппараты с тарелками,
- аппараты с плавающей насадкой,
- аппараты с механическим перемешиванием.

Рассмотрим эти типы барботеров с точки зрения возможности эффективного улавливания мелкой пыли, включая наночастицы.

Рис. 1. Классификация барботажных аппаратов.

1. Аппараты со сплошным барботажным слоем

Решетки и решетчатые тарелки в этих аппаратах могут быть двух типов: провальные и переливные [4]. В обоих случаях запыленные газы подаются через решетку с отверстиями. Одна из конструкций аппарата с переливной решеткой приведена на рис. 2. Дырчатые решетки 2 обычно имеют отверстия с диаметром $3 \div 8$ мм. Поскольку в барботажном слое образуются пузырьки большего размера, чем размер отверстий, и в них могут проскакивать крупные частицы пыли, то чаще данный аппарат применяется как пенный [10] с использованием ПАВ (поверхностно-активных веществ).

Рис. 2. Пылеуловитель с переливной решеткой: 1 – корпус, 2 – решетка, 3 – приемная коробка, 4 – порог, 5 – сливная коробка.

2. Аппараты с тарелками

Распределительные тарелки в барботажных аппаратах могут быть различных типов (см. рис. 1). Из них наиболее распространенными являются колпачковые. Колпачковые тарелки отличаются, главным образом, конструкцией колпачков. Колпачки можно подразделить на следующие группы [7]:

1. По форме: круглые, прямоугольные (туннельные);
2. По конструкции нижнего края: с гладким краем, с вертикальными прорезями, с зубчатым краем.

Наиболее распространенными являются тарелки с колпачками небольшого диаметра – $80 \div 150$ мм, при загрязненных жидкостях – до $200 \div 300$ мм.

Примером колпачковой тарелки с колпачками с вертикальными прорезями является тарелка [13]), показанная на рис. 3. На горизонтальном основании 1 рядами расположены патрубки 2, над которыми закреплены круглые колпачки 3 с вертикальными прямоугольными прорезями 4. Недостатком данной конструкции являются то, что из прорезей выходят пузырьки с размерами большими, чем ширина прорезей, и мелкие частицы пыли улавливаться не будут.

Рис. 3. Колпачковая тарелка с колпачками с вертикальными прорезями [13]: 1 – основание, 2 – патрубок, 3 – колпачок, 4 – прорези, 5 – цилиндрическое кольцо, 6 – пластины, 7 – корпус аппарата.

3. Аппараты с плавающей насадкой

В аппаратах с плавающей насадкой (подвижной насадкой) [10] насадочные тела из легких материалов: полиэтилена, полипропилена, пенополистирола и других пластмасс поддерживаются над решеткой током

газа, подающимся снизу, и находятся во взвешенном (псевдоожигенном) состоянии. Строго говоря, они не относятся к барботерам и далее не рассматриваются.

4. Аппараты с механическим перемешиванием

Барботеры с механическим перемешиванием жидкости представляют собой емкости с мешалками, в которых газ барботирует через слой перемешиваемой жидкости. Они могут отличаться по способу подачи газа. Кроме того различные отечественные [10] и зарубежные [14] разработки отличаются по конструкции ротора и статора. Примером барботажного аппарата с механическим перемешиванием с наличием статора и подачей газа через центральную трубу может служить барботер [15], показанный на рис. 4.

Рис. 4. Аппарат с механическим перемешиванием [15]: 1 – корпус, 2 – труба, 3 – вал, 4 – ротор, 5 – фланец, 6 – статор, 7 – электродвигатель, 8 – фланец, 9 – патрубков, 10 – патрубков, 11 – крышка, 12 – патрубков, 13 – патрубков.

Газ подается в корпус 1 по патрубку 9 за счет разрежения, создаваемого при вращении ротора 4. Очищенный в процессе барботаж через слой жидкости газ удаляется через патрубок 10. Патрубки 12 и 13 служат для подвода и слива очищающей жидкости.

К недостаткам рассмотренного барботера относятся:

- его невысокая производительность вследствие подачи газа только за счет разрежения;
- сложность диспергирования пузырьков газа до размеров необходимых для улавливания мелких частиц пыли, включая наночастицы.

В СКГМИ (ГТУ) на базе запатентованной конструкции колпачковой распределительной тарелки [16] разработан струйный барботер [1], в котором пенный режим создается за счет соударения газожидкостных струй без применения ПАВ.

3. Результаты и выводы

При сравнительном анализе различных типов барботажных аппаратов показано, что для повышения эффективности их использования, например, для аппаратов со сплошным барботажным слоем используется пенный режим. Для получения этого режима необходимо добавлять в процесс ПАВ. По сравнению с пенным режимом, получаемым за счет соударения газожидкостных струй, он обладает следующими недостатками:

- пена образуется только на поверхности барботажного слоя, а в струйном барботере пенный режим создается по всей высоте жидкости между колпачками [1], что повышает эффективность пылеулавливания;
- необходим расход ПАВ.

Исследования [17], проведенные на экспериментальной лабораторной установке, представляющей фрагмент пылегазоуловителя с промышленными размерами колпачков [1], показали, что разработанный струйный барботер может быть использован для эффективного улавливания мелкой пыли, включая наночастицы. Поэтому струйный тип барботажного аппарата может быть рекомендован для использования в вышеуказанных целях в различных отраслях промышленности.

Работа выполнена с привлечением аппаратуры ЦКП СКГМИ (ГТУ).

Библиографический список:

1. **Свердлик, Г.И.** Исследование параметров для получения пенного режима в струйном барботере / Г.И. Свердлик, А.С. Выскребенец, Р.Н. Максимов, А.Ю. Атаева // Физико-химические аспекты изучения кластеров, наноструктур и наноматериалов. – 2017. – Вып. 9. – С. 430-434.
2. **Атаева, А.Ю.** Исследование характеристик пыли и анализ методов пылеулавливания

- / А.Ю. Атаева, Г.И. Свердлик, З.М. Дреев // Труды СКГМИ (ГТУ). – 2016. – Вып. № 23. – С. 142-147.
3. **Гордон, Г.М.** Пылеулавливание и очистка газов в цветной металлургии / Г.М. Гордон, Н.Л. Пейсахов. – М.: Металлургия, 1972. – 456 с.
4. **Ужов, В.Н.** Подготовка промышленных газов к очистке / В.Н. Ужов, А.Ю. Вальдберг. – М.: Химия, 1975. – 216 с.
5. 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.
6. **Пирумов, А.И.** Обеспыливание воздуха / А.И. Пирумов. – М.: Стройиздат, 1981. – 296 с.
7. **Рамм, В.М.** Абсорбция газов / В.М. Рамм. – 2-е изд., переработ. и доп. – М.: Химия, 1976. – 656 с.
8. **Позин, М.Е.** Пенный способ обработки газов и жидкостей / М.Е. Позин, И.П. Мухленов, Е.С. Тумаркина, Э.Я. Тарат. – Л., Госхимиздат, 1955. – 248 с.
9. **Алиев, Г.М.-А.** Устройство и обслуживание газоочистных и пылегазоулавливающих установок. – М.: Металлургия, 1988. – 368 с.
10. **Шиляев, М.И.** Методы расчета пылеулавливающих систем / М.И. Шиляев. – М. Форум, 2014. – 320 с.
11. **Швыдкий, В.С.** Очистка газов: Справочное издание / В.С. Швыдкий, М.Г. Ладыгичев. – М.: Теплоэнергетик, 2002. – 640 с.
12. **Страус, В.** Промышленная очистка газов / В. Страус; Пер. с англ. – М.: Химия, 1981. – 616 с.
13. **А.с. 971385 СССР, МПК B01D 3/20.** Колпачковая тарелка / П.П. Любченков, Н.П. Рябченко; Краснодарский ордена Трудового Красного Знамени политехнический институт. – № 3273275/23-26; заявл. 10.04.1981; опубл. 07.11.1982, Бюл. № 41. – 5 с.
14. **United States Patent 3791104, Current International Class: B01D 53/18, B01F 3/04, C02F 1/20, C02F 3/20, B01d 047/02.** High energy gas-liquid contacting process / J.B. Clitheroe; Mineral & Chemical Resource Company. – Appl. No.: 05/266333; filed 26.06.1972; published 12.02.1974. United States Patent and Trademark Office <https://www.uspto.gov>.
15. **Germany Patent № 3008240, Cooperative Patent Classification: B01D 50/0046 B01D 47/02.** Zentrifugal-Saugwascher / A. Langer; C. Gerhardt Fabrik und Lager chemischer Apparate GmbH & Co KG. – № 000003008240; filed 04.03.1980; published 10.09.1981. – Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=DE102247542>. – 28.09.2018.
16. **Пат. 2303479 Российская Федерация, МПК⁷ 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.
17. **Свердлик, Г.И.** Экспериментальные исследования улавливания высокодисперсной пыли в струйном барботере / Г.И. Свердлик, А.Ю. Атаева, Д.А. Камболов, А.Р. Атаев // Седьмой Международный междисциплинарный симпозиум «Физика поверхностных явлений, межфазных границ и фазовые переходы» (ФПЯ и ФП), Нальчик – Ростов-на-Дону – Грозный – пос. Южный, 16-21 сентября 2017: труды симпозиума. – Ростов-на-Дону: Фонд науки и образования, 2017. – Т. 1. – Вып. 7. – С. 9-13.

References:

1. **Sverdlik, G.I.** Issledovanie parametrov dlya polucheniya pennogo rezhima v strujnom barbotere / G.I. Sverdlik, A.S. Vyskrebenev, R.N. Maksimov, A.Yu. Ataeva // Fiziko-himicheskie aspekty izucheniya klasterov, nanostruktur i nanomaterialov. – 2017. – I. 9. – P. 430-434.
2. **Ataeva, A.Yu.** Issledovanie harakteristik pyli i analiz metodov pileulavlivaniya / A.Yu. Ataeva, G.I. Sverdlik, Z.M. Dreev // Trudy SKGMI (GTU). – 2016. – I. no. 23. – P. 142-147.
3. **Gordon, G.M.** Pyleulavlivanie i ochistka gazov v cvetnoj metallurgii / G.M. Gordon, N.L. Peysahov. – M.: Metallurgiya, 1972. – 456 p.
4. **Uzhov, V.N.** Podgotovka promyshlennyh gazov k ochistke / V.N. Uzhov, A.Yu. Val'dberg. – M.: Himiya, 1975. – 216 p.
5. Pyleulavlivanie v metallurgii: spravochnik / sost. L.S. Levinym, A.A. Gurvicem, A.A. Mettusom i dr.; pod red. A.A. Gurvica. – M.: Metallurgiya, 1984. – 335 p.
6. **Pirumov, A.I.** Obespylivanie vozduha / A.I. Pirumov. – M.: Strojizdat, 1981. – 296 p.
7. **Ramm, V.M.** Absorbciya gazov / V.M. Ramm. – 2-e izd., pererabot. i dop. – M.: Himiya, 1976. – 656 p.
8. **Pozin, M.E.** Pennyj sposob obrabotki gazov i zhidkostej / M.E. Pozin, I.P. Muhlenov, E.S. Tumarkina, E.Ya. Tarat. – L., Goskhimizdat, 1955. – 248 p.
9. **Aliev, G.M.-A.** Ustrojstvo i obsluzhivanie gazoochistnyh i pylegazoulavlivayushchih ustanovok. – M.: Metallurgiya, 1988. – 368 p.
10. **Shilyaev, M.I.** Metody rascheta pileulavlivayushchih sistem / M.I. Shilyaev. – M. Forum, 2014. – 320 p.
11. **Shvydkiy, V.S.** Ochistka gazov: Spravochnoe izdanie / V.S. Shvydkiy, M.G. Ladygichev. – M.: Teploenergetik, 2002. – 640 p.
12. **Straus, V.** Promyshlennaya ochistka gazov / V. Straus; Per. s angl. – M.: Himiya, 1981. – 616 p.
13. **A.s. 971385 SSSR, MPK B01D 3/20.** Kolpachkovaya tarelka / P.P. Lyubchenkov, N.P. Ryabchenko; Krasnodarskij ordena Trudovogo Krasnogo Znameni politekhnicheskij institut. – № 3273275/23-26; zayavl. 10.04.1981; opubl. 07.11.1982, Byul. no. 41. – 5 p.
14. **United States Patent 3791104, Current International Class: B01D 53/18, B01F 3/04, C02F 1/20, C02F 3/20, B01d 047/02.** High energy gas-liquid contacting process / J.B. Clitheroe; Mineral & Chemical Resource Company. – Appl. No.: 05/266333; filed 26.06.1972; published 12.02.1974. United States Patent and Trademark Office <https://www.uspto.gov>.
15. **Germany Patent № 3008240, Cooperative Patent Classification: B01D 50/0046 B01D 47/02.** Zentrifugal-Saugwascher / A. Langer; C. Gerhardt Fabrik und Lager chemischer Apparate GmbH & Co KG. – № 000003008240; filed 04.03.1980; published 10.09.1981. – Режим доступа: <https://patentscope.wipo.int/search/ru/detail.jsf?docId=DE102247542>. – 28.09.2018.
16. **Pat. 2303479 Rossijskaya Federaciya, MPK7 B01D47/02, B01D3/20.** Raspredelitel'naya tarelka massoobmennogo apparata dlya mokroj ochistki gaza / Sverdlik G.I., Vyskrebenev A.S., Ataeva A.YU.; zayavitel' i patentoobladatel' Gosudarstvennoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovaniya Severo-Kavkazskij gorno-metallurgicheskij institut (gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet) (SKGMI (GTU). – no. 2006103168/15; zayavl. 03.02.06; opubl. 27.07.07, Byul. no. 21. – 7 p.

17. Sverdlik, G.I. Eksperimental'nye issledovaniya ulavlivaniya vysokodispersnoj pyli v strujnom barbotere / G.I. Sverdlik, A.Yu. Ataeva, D.A. Kambolov, A.R. Ataev // Sed'moj Mezhdunarodnyj mezhdisciplinarnyj simpozium «Fizika poverhnostnyh yavlenij, mezhfaznyh granic i fazovye perekhody» (FPYA i FP), Nal'chik – Rostov-na-Donu – Groznyj – pos. Yuzhnyj, 16-21 sentyabrya 2017: trudy simpoziuma. – Rostov-na-Donu: Fond nauki i obrazovaniya, 2017. – V. 1. – I. 7. – P. 9-13.

CLASSIFICATION AND SELECTION OF BARBAGE EQUIPMENT FOR COLLECTING DUST NANOPARTICLES

G.I. Sverdlik, A.Y. Ataeva, D.A. Kambolov, A.R. Ataev

North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

DOI: 10.26456/pcascnn/2018.10.566

Abstract: A classification of bubblers according to a constructive feature has been developed on the basis of literature analysis and patent search. A comparison of different types of bubblers has been performed according their ability to effectively capture small particles, including nanoparticles. For this purpose it is recommended to use a jet bubbler developed in the North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University) on the basis of the patented distribution cup cap plate.

Keywords: *gas emissions, nanoparticles, bubbler classification, jet bubbler, foam regime, experimental installation.*

Свердлик Григорий Иосифович – д.т.н., профессор кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Атаева Анжела Юрьевна – инженер-исследователь Центра коллективного пользования, ассистент кафедры «Технологические машины и оборудование», ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Камболов Дзамболат Аркадьевич – к.т.н., директор Центра коллективного пользования, доцент кафедры «Физико-математических дисциплин», ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Атаев Амонд Рафаэлович – студент ФГБОУ ВО «Северо-Кавказский горно-металлургический институт (государственный технологический университет)»

Grigorii I. Sverdlik – Dr. Sc., Professor of the Department «Technological Machines and Equipment», North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Angela Yu. Ataeva – Engineer Researcher of the Center of Collective Use, Assistant of the Department «Technological Machines and Equipment», North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Dzambolat A. Kambolov – Ph. D., Director of Center of Collective Use, Docent of the Department «Physico-mathematical disciplines», North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)

Amond R. Ataev – student of the Faculty of Architecture and Civil Engineering, North Caucasian Institute of Mining and Metallurgy (State Technological University)