

**Издател и учредител на списанието – Международна асоциация „Устойчиво развитие“ (МАУР)**

**Партньори на списанието:**

**Технически университет - Варна (България), Национален университет по водно стопанство и природоползване – Ровно (Украйна), Институт по география НАН – Украйна, Асоциация «Научни и приложни изследвания», Асоциация «Екология, земеделие, образование, наука и сигурност», Дружество «Евро-експерт».**

**Списанието е създадено през 2011 г. Периодичност – 3 броя за година.**

---

**Отговорен редактор:** Доцент, доктор инж. Христо Крачунов, България

**Заместник отговорен редактор:** Професор доктор инж. Николай Ников, България

**Редакционен съвет:**

Почетен председател на редакционния съвет, проф. дн инж. Росен Василев, ректор на Технически университет-Варна, България

Председател - доктор, доцент Христо Крачунов, България

Заместник председател – доктор на техническите науки Проф. д.т.н. Леонид Кожушко, Украйна

1. Проф. д.т.н. Живко Жеков, България
2. Проф. д.т.н. Леонид Кожушко, Украйна
3. Проф. д.э.н. Ольга Прокопенко, Украйна
4. Проф. д.т.н. Мирослав Малеванный, Украйна
5. Проф. д.г.н. Леонид Руденко, Украйна
6. Проф. д.т.н. Ян Хубка, Полша
7. Проф. д.э.н. Сергей Илляшенко, Украйна
8. Проф. д.т.н. Василий Арсирий, Украйна
9. Проф. д.э.н. Ханя Кадырова, Русия
10. Проф. д.т.н. Валерий Ситников, Украйна
11. Проф. д.т.н. Олег Клюс, Полша
12. Проф. д.э.н. Майа Дубовик, Русия
13. Проф. д.т.н. Сергей Лисовский, Украйна
14. Проф. д.и.н. Тодорка Костадинова, България
15. Проф. д.г.н. Евгения Маруняк, Украйна
16. Проф. д.г.н. Галина Ивус, Украйна
17. Проф. д.э.н. Януш С. Клисиньски, Польша
18. Проф. д.э.н. Деян Милетич, Сърбия
19. Проф. д-р Маринела Панайотова, България
20. Проф. д-р Мирослав Бобрек, Босна и Херцеговина
21. Проф. д-р Наталия Николовска, Македония,
22. Проф. д-р Милена Филипова, България
23. Проф. д-р. Диана Исмаилова, Казахстан
24. Проф. д-р Роман Мамуладзе, Грузия
25. Доц. д-р Елена Сулоева, Латвия
26. доц. д-р Анна Сомеонова, България
27. Доц. д-р Снежанка Овчарова, България
28. Доц. д-р Кирил Георгиев, България
29. Доц. д-р Юрий Гаврилов, Русия
30. Доц. д-р Пенчо Стойчев, България
31. Доц. д-р Татьяна Кузнецова, Украйна

**Издатель и учредитель журнала – Международная ассоциация устойчивого развития (МАУР) - <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org>**

**The publisher and the founder of journal - International Association of a Sustainable Development (IASD) - <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org>**

**Международный журнал Устойчивое развитие – <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org>**

**The international journal Sustainable development – <https://maurorg77.wixsite.com/maur-org>**

## СЪДЪРЖАНИЕ / CONTENTS / ОГЛАВЛЕНИЕ

1. MARINELA PANAYOTOVA, PANAYOTOV VLADKO, COPPER RECOVERY FROM E-WASTE BY LEACHING WITH AMMONIA-BASED SOLUTIONS.....3
2. АРСИРИЙ ЕЛЕНА, ВАСЮТИНСКАЯ ЕКАТЕРИНА, ИВАНОВ АЛЕКСЕЙ, МОНИТОРИНГ ДАННЫХ О ТЕХНОГЕННОЙ ОБСТАНОВКЕ УРБАНИЗИРОВАННЫХ ТЕРРИТОРИЙ ДЛЯ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИХ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.....12
3. РУДЕНКО ЛЕОНИД, ЛИСОВСКИЙ СЕРГЕЙ., МАРУНЯК ЕВГЕНИЯ, ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ СЕТЬ В УКРАИНЕ: СОСТОЯНИЕ И РАЗВИТИЕ.....18
4. ЕСЕМБАЕВА ЖАНАР, НЕЗАВИСИМОСТЬ СУДЕБНОЙ ВЛАСТИ КАК ГАРАНТ ВЕРХОВЕНСТВА ПРАВА В КАЗАХСТАНЕ И ЗА РУБЕЖОМ.....27
5. НОВИКОВ НИКОЛАЙ, ПЕРСПЕКТИВЫ И ПРОБЛЕМЫ ИННОВАЦИОННОГО СОТРУДНИЧЕСТВА В УСЛОВИЯХ НОВЫХ РЕАЛИЙ.....35
6. АРСИРИЙ ВАСИЛИЙ, КАРАМУШКО АНЖЕЛИКА, КРАВЧЕНКО ОЛЕГ, ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ – ВАЖНОЕ УСЛОВИЕ УСТОЙЧИВОГО РАЗВИТИЯ.....41
7. БЕЛИКОВ ВЛАДИМИР, КОНЦЕПЦИЯ ИНДИВИДУАЛЬНЫХ ПРОГРАММ ЭКОЛОГИЧЕСКОЙ ПРОФИЛАКТИКИ, АДАПТАЦИИ И РЕАБИЛИТАЦИИ.....46
8. КОНДЕВ ГЕОРГИ, ИЛИЕВА НИНА, АНАЛИЗ НА ПОЛЗИТЕ ОТ ИЗГРАЖДАНЕТО НА ЕФЕКТИВНА „ЗЕЛЕНА“ СНАБДИТЕЛНА ВЕРИГА.....50
9. БЕЛИКОВ ВЛАДИМИР, ЗЕЛЁНЫЕ, ЭНЕРГОСБЕРЕГАЮЩИЕ ТЕХНОЛОГИИ. ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ КАВИТАЦИОННЫХ ТЕПЛОГЕНЕРАТОРОВ.....58
10. КАРАПЕНЕВ ИВО, КРАЛЕВ ПЕТЪР, АНАЛИЗА НА ЖИЗНЕНИЯ ЦИКЪЛ (LCA) ПРИ ПЛАНИРАНЕ И ОРГАНИЗИРАНЕ УПРАВЛЕНИЕТО НА БИТОВИТЕ ОТПАДЪЦИ ОТ ГРАДСКА СРЕДА .....62
11. КАРАМУШКО АНЖЕЛИКА, ОЧИСТКА ГАЗОВОГО ПОТОКА ОТ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В АППРАТЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ.....68

## ОЧИСТКА ГАЗОВОГО ПОТОКА ОТ ПОЛИДИСПЕРСНОЙ ПЫЛИ В АППРАТЕ ДИНАМИЧЕСКОГО ДЕЙСТВИЯ

### CLEANING OF GAS FLOW FROM POLYDISPERSE DUST IN DEVICE OF DYNAMIC ACTION

*Анжелика КАРАМУШКО*

*Одесский национальный политехнический университет, кафедра прикладной экологии и гидрогазодинамики, 65044, Украина, г. Одесса, проспект Шевченко, 1  
e-mail: karamushko@opi.ua*

**Резюме.** Перспективным способом повышения эффективности очистки газового потока от полидисперсной пыли является изменение ее фракционного состава. Сочетание функции центробежной сепарации и гравитационного осаждения в пылеулавливающем аппарате динамического действия – один из путей реализации такого метода. Вентилятор в таком пылеуловителе выполняет функции нагнетания и сепарации пыли. Отсепарированная пыль отводится в бункер, где оседает под воздействием гравитационных сил. Бункер является неотъемлемой частью пылеуловителя, которая влияет на общую эффективность его работы. В ходе исследования был определен коэффициент улавливания пыли в таком аппарате. Подтверждена способность вентилятора к концентрации и коагуляции пылевых частиц.

**Ключевые слова:** полидисперсная пыль, пылеуловитель динамического действия, бункер, коэффициент пылеулавливания.

**Abstract.** A promising way to improve the efficiency of cleaning the gas stream from polydisperse dust is to change its fractional composition. Combining the function of centrifugal separation and gravity deposition in a dust-collecting dynamic action machine – is one of the ways to implement such method. In this dust collector fan performs functions of dust injection and separation. Separated dust is discharging to the bunker, where it settles down under the gravitational forces influence. The bunker is an integral part of the dust collector, that affects the overall work efficiency. During the research, the dust capture coefficient in such machine was investigated. Fan ability to concentrate and coagulate dust particles has been confirmed.

**Key words:** polydisperse dust, dynamic dust collector, bunker, coefficient of dust trapping.

### 1. Введение

В процессе добычи, производства, транспортировки многих видов сырья, материалов, готовой продукции (уголь, руда, цемент и т. п.) часть этих веществ переходит в пылевидное состояние и теряется, загрязняя при этом окружающую среду. Взвешенные в воздухе твердые частицы накапливаются в окружающей среде и перемещаются на большие расстояния. Адсорбируя на своей поверхности газовые или жидкие загрязняющие вещества, они являются серьезной угрозой для здоровья человека. Особую опасность несут мелкодисперсные твердые частицы (PM), которые способны проникать глубоко в легкие и оседать там. По

оценкам ВООЗ на счет воздействия PM относят приблизительно 3 % случаев смерти от кардиопульмонарной патологии и 5 % случаев смерти от рака легкого.

Среди семнадцати целей, которые были озвучены в Национальном докладе «Цели Устойчивого Развития: Украина» учтена необходимость существенного сокращения к 2030 году количества случаев смерти и заболеваний в результате загрязнения воздуха.

Таким образом, контроль за содержанием твердых частиц в атмосферном воздухе в местах проживания людей, а также необходимость внедрения мероприятий по

уменьшению выбросов пыли является актуальной научно-практической задачей.

## 2. Основная часть

### 2.1 Анализ литературных данных и постановка проблемы

Запыленные промышленные газы в зависимости от технологии производства имеют различные технологические параметры и разный физико-химический состав. Обеспечить высокую эффективность, надежность и рентабельность очистки газов в таких условиях можно только тогда, когда каждый пылеуловитель будет работать в оптимальном технологическом режиме, на который он рассчитан. Именно влиянием на эффективность процесса пылеулавливания большого количества факторов [1–3] обусловлено большое разнообразие сухих инерционных пылеуловителей [4–7]. Одним из путей повышения степени улавливания таких аппаратов есть предварительная обработка пылегазового потока.

Подготовка газов, требующих очистки от взвешенных частиц, путем их предварительной обработки может быть направлена на изменение фракционного состава полидисперсного потока. Например, такая возможность реализуется в комбинированной системе очистки [8–9]. Увеличение размеров пылевых частиц можно достичь с помощью различных механизмов коагуляции (турбулизации, ионизации или акустической обработки пылегазового потока [10–13]). Существует возможность использования магнитных сил для повышения эффективности сепарации в циклонах с предыдущим добавлением к очищаемому газу порошка железа [14]. В качестве предварительной обработки используют охлаждение и увлажнение [15] запыленных газов.

Другим способом борьбы с загрязнением атмосферы является проектирование циркулирующих систем очистки газов от промышленной пыли [16–17] – это один из вариантов создания малоотходных технологий. Использование циркулирующей схемы позволяет исключить потери готовой продукции и загрязнения ею окружающей среды.

Основными элементами пылеулавливающей системы является нагнетатель, пылеуловитель, контейнер для уловленной пыли. Для уменьшения габаритов и металлоемкости пылеулавливающих системы и повышения ее эффективности возможно совмещение функций пылеулавливания и нагнетания в одном аппарате – пылеуловителе динамического действия. Большое разнообразие конструкций таких пылеуловителей обеспечивает разную эффективность их работы с пылью менее 10 мкм, которая является наиболее опасной для здоровья человека.

Таким образом, на сегодня не существует универсальных пылеуловителей способных с одинаково высокой эффективностью улавливать все виды пыли в любых условиях. Поэтому необходимо разработать технологическое решение, которое позволит изменить начальный фракционный состав пыли (в сторону увеличения массы крупных фракций) и будет способствовать повышению степени улавливания мелкодисперсной пыли.

Целью работы является исследование возможности использования вентилятора для концентрации и коагуляции полидисперсной пыли.

### 2.2 Материалы и методы исследования

Основные результаты исследования получены методом физического моделирования процесса очистки воздушного потока от полидисперсной пыли в пылеулавливающем аппарате динамического действия, конструкция которого была получена путем внесения изменений в схему дымососа-пылеуловителя [18]. Из схемы был исключен циклон, а вентилятор был объединен с пылесборным контейнером – бункером. Центробежный вентилятор в такой схеме выполняет двойное действие: нагнетание пылегазового потока и сепарации пыли.

Для достижения цели исследования был смонтирован экспериментальный стенд, схема которого приведена на рис. 1.

Стенд работает следующим образом. Пылегазовая смесь через входной патрубок 1

направляется в рабочее колесо вентилятора 2 и приобретает криволинейную траекторию движения. Под действием центробежных сил частицы пыли концентрируются на периферии корпуса вентилятора 7 и вместе с небольшим количеством газов (10–15 %) отводятся через щель 3 в бункер пылеуловителя 4, другая часть газа через выходной патрубок 6 выводится из нагнетателя пылеуловителя. В бункере частицы пыли под действием сил тяжести оседают, а очищенный воздух возвращается в проточную часть вентилятора через щель 5.

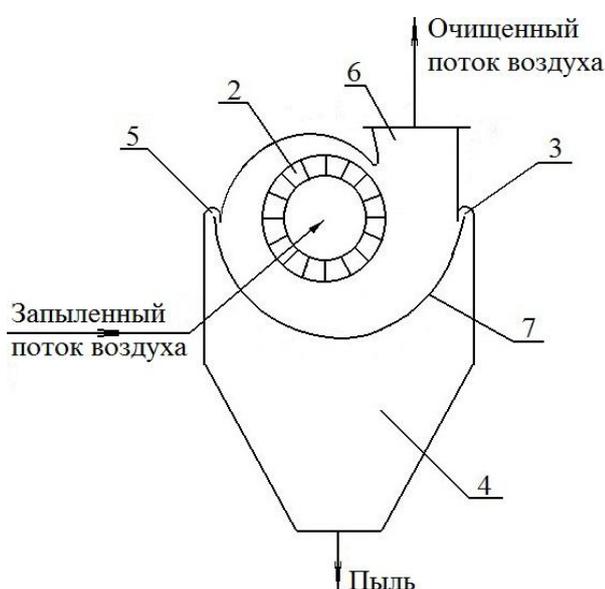


Рис. 1. Экспериментальный стенд:

1 – входной патрубок; 2 – рабочее колесо вентилятора; 3 – щель для отвода запыленного газового потока; 4 – бункер пылеуловителя; 5 – щель для отвода очищенного от пыли газового потока; 6 – выходной патрубок; 7 – корпус вентилятору.

Экспериментальный стенд может работать как по прямоточной схеме, когда очищенный воздух через выходной патрубок выбрасывается в атмосферу, так и по циркулирующей схеме, когда очищенный воздух снова подается во входной патрубок.

Для определения коэффициента улавливания пыли использовали три пробы пыли, дисперсный состав которой приведен в табл. 1:

- угольная зола с насыпной плотностью 990 кг/м<sup>3</sup> и медианным размером частиц 85 мкм, отобранная из зольника твердотопливного котла;

- картофельный крахмал с насыпной плотностью 560 кг/м<sup>3</sup> и медианным размером частиц 45 мкм;

- шлифовальная пыль с насыпной плотностью 210 кг/м<sup>3</sup> и медианным размером частиц 50 мкм, отобранная из пылесборника ленточной шлифовальной машины.

Табл. 1. Дисперсный состав экспериментальной пыли

Размер отверстий в сите, мкм	% частиц в составе пыли		
	зола	крахмал	шлифовальная пил
>100	56,5	0	18
100–63	30	7	26
63–50	8,5	1	13
50–40	3,5	71	7
< 40	1,5	21	36

### 2.3 Исследование эффективности пылеулавливания в бункере пылеулавливающего аппарата

Для определения значения коэффициента улавливания пыли опытным путем экспериментальный стенд работал по прямоточной схеме. Коэффициент улавливания пыли определяли по формуле

$$\eta = \frac{m_{ул}}{m_{вх}},$$

де  $m_{ул}$  – масса пыли, осевшей в бункере, кг;

$m_{вх}$  – масса пыли на входе в пылеуловитель, кг.

Результаты определения коэффициента улавливания шлифовальной пыли приведены в табл. 2. Анализ результатов показал, что снижение расхода воздуха и увеличение расхода пыли приводит к снижению коэффициента

уноса пыли, что является типичным для классических инерционных пылеуловителей.

ментальных исследований для этих же материалов.

Табл. 2. Значения коэффициентов улавливания шлифовальной пыли, полученные экспериментальным путем

Расход воздуха · 10 <sup>-3</sup> , м <sup>3</sup> /час	Эффективность улавливания пыли, %					
	Размер частиц пыли, мкм					
	< 40		40–50		63–100	
	Расход пыли на входе в пылеуловитель, г/с					
	0,092	0,167	0,092	0,167	0,092	0,167
5,535	45,5	60	55,5	60	63,6	70
9,374	27,3	30	28,2	30	27,3	40

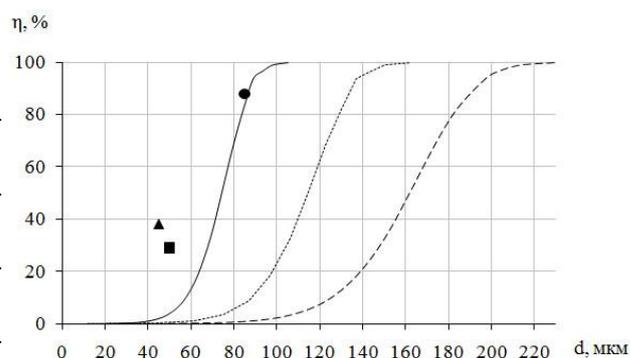


Рис. 3. Эффективность осаждения пыли η в зависимости от размера пылевых частиц d, определенная расчетным (—, ···, - - -) и экспериментальным путем:

Значения коэффициентов улавливания полидисперсной пыли в бункере пылеуловителя, определенные экспериментальным путем, составили для золы – 88 %, крахмала – 38 %, шлифовальной пыли – 29 %. Достаточно высокий, как для инерционного осаждения, коэффициент улавливания золы обусловлен высокой плотностью и крупностью частиц пыли.

Для определения значения коэффициента улавливания пыли расчетным путем использовалась методика расчета гравитационных камер [18]. Выбор методики обусловлен общими признаками бункера исследуемого пылеулавливающего аппарата и гравитационной камеры: присутствие входа и выхода газового потока, область осаждения, свободная поверхность осадка, сквозной поток. Кроме того всегда существует такой размер частиц, вероятность попадания которых в осадок равен 0,5.

На рис. 3 изображены парциальные кривые коэффициентов улавливания для пыли с плотностью 210 кг/м<sup>3</sup>, 560 кг/м<sup>3</sup> и 990 кг/м<sup>3</sup>, полученные по методу расчета гравитационной камеры. Там же нанесены результаты экспери-

При сравнении результатов эксперимента с результатами расчетов привлекает внимание то, что в каждом из трех случаев, приведенном на рис. 3, экспериментальная точка не налагается на соответствующую кривую, а находится выше ожидаемого результата. Так, для золы при размере частиц 85 мкм расчетное значение коэффициента улавливания составляет 83 %, а экспериментальное – 88 %. Для крахмала при размере частиц 45 мкм расчетное значение коэффициента улавливания составляет менее 3 %, экспериментальное – 38 %. Для шлифовальной пыли при размере частиц 50 мкм расчетное значение коэффициента улавливания составляет менее 3 %, экспериментальное – 29 %. Большую разницу между ожидаемыми и полученными результатами можно объяснить двумя причинами. Во-первых, благодаря концентрирующему действию рабочего колеса в бункер были отсепарированы частицы пыли крупного

размера, хорошо оседающие в инерционных пылеуловителях. Во-вторых, благодаря коагулирующему эффекту рабочего колеса было уменьшено количество мелкодисперсных частиц пыли и увеличено количество и размеры крупнодисперсных частиц пыли. То есть был изменен первоначальный дисперсный состав пыли в сторону увеличения массы крупных фракций. При этом наибольшему изменению первоначального дисперсного состава подвергся образец шлифовальной пыли, а наименьшему – образец золы. Это можно объяснить степенью их полидисперсности. В образцах золы и крахмала подавляющее большинство частиц (почти 90 %) имела размеры более 50 мкм и до 50 мкм соответственно. Распределение по фракциям частиц шлифовальной пыли почти равномерное, то есть скорости, которые получают частицы, имеют наибольшее отличие. Благодаря этому различию в скоростях движения частиц и происходит их встреча, которая сопровождается коагуляцией. Таким образом целесообразно сочетание центробежной сепарации и гравитационного осаждения в одном пылеуловителе для очистки воздуха от пыли мелких фракций.

### 3. Заключение

Перспективным способом повышения эффективности очистки газового потока от полидисперсной пыли является изменение его фракционного состава в сторону увеличения относительной массы крупных фракций.

Один из путей реализации такого способа – это сочетание функции центробежной сепарации и гравитационного осаждения, который достигается при объединении вентилятора и бункера в пылеулавливающий аппарат динамического действия. При этом существование циркулирующего контура, как и в дымососах-пылеуловителях, может повысить суммарную производительность вентилятора до 20 %.

Сравнение экспериментальных данных с результатами расчета показало, что эффективность осаждения пыли в бункере может быть существенно увеличена за счет изменения фракционного состава пылевой массы в центробежном вентиляторе двойного действия. По результатам исследования эффективность улавливания шлифовальной пыли и крахмала была увеличена почти в 10 раз. Наибольшему изменению первоначального дисперсного состава подвергся образец шлифовальной пыли, а наименьшему – образец золы, что объясняется степенью полидисперсности экспериментальной пыли.

Пылеулавливающий аппарат динамического действия может быть использован как самостоятельный пылеуловитель в циркулирующих системах аспирации небольших производств, или как дополнительный элемент в существующих системах обеспыливания промышленных газов для их доочистки. Внедрение пылеулавливающего аппарата не требует значительных капиталовложений, а его эксплуатация и обслуживание не выдвигает особых требований к квалификации персонала.

### Литература

1. Карамушко А. В., Гамолич В. Я., Буров А. А. Сравнительная оценка результатов промышленных испытаний циклонов «СИОТ» и многоканальных пылеуловителей «БУРАН» // Праці Одеського політехнічного університету. 2012. №1 (38). С. 271–275.
2. Dominic Barone, Eric Loth, Philip Snyder. Influence of particle size on inertial particle separator efficiency // Powder Technology. 2017. Vol. 318. P. 177–185. doi: 10.1016/j.powtec.2017.04.044
3. Michail Vasilevsky, Aleksandr Razva, Alissa Pleschko, Ivan Kadurkin. The Calculated Ratio of the Gas Flow in a Countercurrent Cyclone Dust Concentrator // EPJ Web of Conferences. Thermophysical Basis of Energy Technologies 2015. 2016. Vol. 110. P. 4. doi: 10.1051/epjconf/201611001065
4. Pranas Baltrėnas, Diana Platova. Experimental analysis of the six-channel cyclone with spiral shell // Environmental Technology. 2016. Vol. 37. Issue 6. P. 652–661. doi: 10.1080/09593330.2015.1077271

5. Pranas Baltėrnas, Petras Vaitiekūnas, Inga Jakštonienė, Simona Konoverskytė. Study of Gas–Solid Flow in a Multichannel Cyclone // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2012. Vol. 20. Issue 2. P. 129–137. doi: 10.3846/16486897.2011.645825
6. Žilvinas Venckus, Albertas Venslovas, Mantas Pranskevičius. Experimental research into aerodynamic parameters of a cylindrical one-level 8-channel cyclone // *Journal of Environmental Engineering and Landscape Management*. 2014. Vol. 22. Issue 4. P. 284–291. doi: 10.3846/16486897.2014.973415
7. Baltrėnas P., Chlebnikovas A. Investigation into the Aerodynamic Parameters of the Recently Designed Two-Level Cylindrical Multi-Channel Cyclone-Separator // *Separation Science and Technology*. 2015. Vol. 50. Issue 8. P. 1257–1269. doi: 10.1080/01496395.2014.967774
8. Бутенко А. Г., Смык С. Ю. Технология комбинированной очистки полидисперсного воздушного потока // *Экология промышленного производства*. 2014. № 4. С. 37–41.
9. Butenko O. G., Smyk S. Y. Assessment of cleaning efficiency of the polydisperse gas flow in double-flow dedusting system // *Odes'kyi Politechnichnyi Universytet. Pratsi*. 2016. Issue 1 (48). P. 49–53. doi: 10.15276/opu.1.48.2016.09
10. Jinpei Yan, Liqi Chen, Linjun Yang. Combined effect of acoustic agglomeration and vapor condensation on fine particles removal // *Chemical Engineering Journal*. 2016. Vol. 290. P. 319–327. doi: 10.1016/j.cej.2016.01.075
11. Deshuai Sun, Xiaodong Zhang, Long Fang. Coupling effect of gas jet and acoustic wave on inhalable particle agglomeration // *Journal of Aerosol Science*. 2013. Vol. 66. P. 12–23. doi: 10.1016/j.jaerosci.2013.08.008
12. Markauskas D., Kačianauskas R., Maknickas A. Numerical particle-based analysis of the effects responsible for acoustic particle agglomeration // *Advanced Powder Technology*. 2015. Vol. 26. Issue 3. P. 698–704. doi: 10.1016/j.apt.2014.12.008
13. Dong Zhou, Zhongyang Luo, Jianping Jiang, Hao Chen, Mengshi Lu, Mengxiang Fang. Experimental study on improving the efficiency of dust removers by using acoustic agglomeration as pretreatment // *Powder Technology*. 2016. Vol. 289. P. 52–59. doi: 10.1016/j.powtec.2015.11.009
14. Mazyan W. I., Ahmadi A., Jesus R. D., Ahmed H., Hoorfar M. Use of ferrous powder for increasing the efficiency of solid particle filtration in natural gas cyclones // *Separation Science and Technology*. 2016. Vol. 51. Issue 12. P. 2098–2104. doi : 10.1080/01496395.2016.1200085
15. Thomas Lamingerb, Wilhelm Höflingerb. Experimental study on particle removal with gas-liquid cross-flow array system // *Separation and Purification Technology*. 2017. Vol. 174. P. 194–202. doi: 10.1016/j.seppur.2016.10.021
16. Буров А. А., Буров А. И., Карамушко А. В., Максимовская К. С., Цабиев О. Н. Сепарация и фильтрация газовых выбросов в атмосферу // *Современная наука: идеи, исследования, результаты, технологии*. 2013. № 2. С. 12–17. doi:10.23877/MS.TS.15.002
17. Буров О. О., Буров О. И., Винограденко Л. В. Знепилювання газових викидів сушильної установки // *Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки*. 2014. № 74. С. 140–143.
18. Справочник по пыле- и золоулавливанию / Под общ. ред. Русанова А. А. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Энергоатомиздат, 1983. 312 с.