

**М.А. Кашцев<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц., e-mail: pmz@pmz.dp.ua

**В.О. Владі<sup>2</sup>**, науковий керівник, e-mail: pmz@pmz.dp.ua

**М.Р. Руденко<sup>1</sup>**, канд. техн. наук, доц., e-mail: 18rudenko@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-8016-5221>

<sup>1</sup>Дніпровський державний технічний університет (Кам'янське, Україна)

<sup>2</sup>ТОВ «Конструкторське бюро «ВВВ» (Кам'янське, Україна)

## Підвищення ефективності роботи газоочистного обладнання в агломераційному виробництві

*Проведено аналіз останніх досліджень і публікацій з використання обладнання для очищення агломераційних газів такого як батарейні мультициклони і електроциклони, рукавні фільтри, електрофільтри. Встановлено, що при використанні таких апаратів для очищення агломераційних газів, виникають суттєві проблеми і недоліки, пов'язані з очищенням великої кількості високозапилених газів. Це низький коефіцієнт корисної дії (ККД) за рахунок накопичення пилу на елементах обладнання, великі габарити фільтрів, швидкий знос елементів застосовуваних апаратів, великий аеродинамічний опір, підвищені експлуатаційні витрати і т. п.*

*Виходячи з проведеного аналізу недоліків роботи існуючого обладнання, авторами статті виконано комп'ютерне моделювання руху потоків запиленого газу через систему пилеосадження і встановлено залежність швидкості, напрямку руху газового потоку, крупності пилу і ККД інерційного апарату в залежності від його опору. Розроблено та випробувано на агломашині № 12 агломераційного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат» апарат інерційного осадження «VAV-250-АФК» для попереднього очищення газів. За результатами замірів, проведених екологічною службою комбінату, запиленість газів на виході з апарату становить 0,92 г/нм<sup>3</sup> при вхідній запиленості 3 г/нм<sup>3</sup>. Ефективність очищення становить близько 70 %. Запропоновано проектно-технічне рішення заміни батарейних циклонів на апарат тонкої очистки газів «VAV-400/50D», що дозволить досягти європейських норм викидів пилу в атмосферу до 40–50 мг/нм<sup>3</sup>. Можливе технічне рішення для зниження запиленості газів при впровадженні розробок авторів статті для різних умов розташування обладнання. Запропоновано 3 варіанти модернізації існуючого очисного обладнання з метою підвищення ефективності його роботи.*

*При впровадженні запропонованих технічних рішень можливо отримати стійке зниження вмісту пилу і шкідливих газів в аглогазах, що відходять, до встановлених норм і вирішити проблему запиленості промислових міст з працюючим агломераційним виробництвом, що є основним джерелом викиду пилу і шкідливих газів металургійного підприємства.*

**Ключові слова:** агломераційна машина, пил, інерційний апарат, електрофільтр, колектор, попереднє очищення, тонке очищення.

**Вступ.** При виробництві агломерату утворюється велика кількість запилених газів. Вихід технологічних газів на 1 т агломерату становить в середньому 2,5 тис. м<sup>3</sup>/год., а кількість газів, що відсмоктуються від однієї агломашини, – від 300 тис. до 2 млн м<sup>3</sup>/год. Технологічні гази містять від 4,0 до 8,0 г/м<sup>3</sup> пилу [1, 2].

Очищення агломераційних газів викликано як технологічною потребою – необхідністю збільшення терміну служби ексгаустерів, який зараз становить від 1,5 до 10 місяців, так і необхідністю зниження викидів в атмосферу.

Для контролю екологічної обстановки місць проживання людей поблизу аглофабрик у світі встанов-

лено норму викидів пилу з технологічними газами [3, 4], що закріплено законодавчими актами. Виробники зобов'язані виконувати відповідні закони. Тому очищення промислових газів від пилу, шкідливих домішок є актуальним питанням.

**Постановка задачі.** В даний час у світовому агломераційному виробництві застосовують різні типи і конструкції апаратів для очищення технологічних газів від пилу. Це батарейні мультициклони і електроциклони, рукавні фільтри, а також електрофільтри різних конструкцій.

Особливістю агломераційного виробництва є виділення великої кількості (понад 400 тис. м<sup>3</sup>/год.)

забруднених (більше 6 г/нм<sup>3</sup> твердих пилоподібних часток) газів, що відходять. Причому тенденція до погіршення стану продовжується, у зв'язку зі збільшенням частки тонкоподрібнених концентратів у складі агломераційної шихти. Тому при використанні даного обладнання виникають серйозні недоліки, що тягне за собою перевищення норм викидів, а також погіршення роботи агломашин [10–14]. Тому модернізація існуючого обладнання з метою підвищення ефективності його роботи є вельми актуальною задачею.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Найбільш поширені апарати для очищення газів в агломераційному виробництві – це батарейні мультициклони [15–17] і електроциклони [18–23]. Більшість циклонів працюють неефективно, зі зниженням ККД за рахунок накопичення пилу на їх елементах, не забезпечують ефективного пиловловлення. Крім того, ці апарати практично не вловлюють дрібнодисперсний пил (менше 20 мкм), що не дає можливості виконати необхідні норми щодо викидів.

Рукавні фільтри – широко поширені і ефективні апарати пиловловлення [24–29]. Їх застосовують для відокремлення пилу від газів і повітря в різних галузях чорної і кольорової металургії, хімічної і нафтової промисловості, для виробництва будівельних матеріалів, текстильної та харчової промисловості і т. д.

Найбільш поширені рукавні фільтри з гнучкими пористими перегородками. Для рукавів використовуються як натуральні (бавовна, вовна), так і синтетичні тканини. Воліють використовувати синтетику: оскільки фільтри з бавовни застосовні при температурі від 0 до 100 °С, а синтетику легше обслуговувати, ремонтувати і т. п. Скловолокно використовують при температурах від 0 до 250 °С. Недолік таких фільтрів – це їх крихкість.

До переваг рукавних фільтрів можна віднести наступне:

- 1) високий ступінь очистки газів від пилу (ефективність до 99 %);
- 2) невелику чутливість фільтрів до фракційного складу пилу.

Достатній ступінь очищення промислових газів у світовій практиці досягається в даний час в фільтрах з склотканевими рукавами. У цій області досягнуті певні успіхи, але і тканинні рукавні фільтри мають серйозні недоліки, які різко посилюються при використанні їх в агломераційному виробництві, де необхідне очищення великої кількості (понад 400000 м<sup>3</sup>/год.) газів, що відходять:

1. Низька швидкість очищення тягне за собою необхідність мати великі габарити фільтрів, що зумовлює окремі будівлі і споруди для встановлення рукавних фільтрів.

2. Швидкий знос матеріалів рукавів (що може викликати надійність роботи фільтрів). Пошкодження рукавів при експлуатації спостерігається 1 раз на 1,5–2 місяці. При пошкодженні 1 рукава вміст пилу у викидах зростає з 5 мг/нм<sup>3</sup> до 20 мг/нм<sup>3</sup>. Довжина рукава більше 4 метрів, його натягують на металевий каркас. Пошкоджуються рукави, як правило, в місцях зіткнення з металевим каркасом при імпульсному

очищенні рукава. Імпульсне очищення проводиться через кожні 90 секунд. Коли рукав протирається, він заповнюється пилом знизу до пошкодженого місця, а якщо воно знаходиться у верхній частині рукава, то із-за важкості його неможливо витягти вручну, тому доводиться налаштувати пиლოსосну установку для евакуації пилу з рукава, що вимагає часу. В рукавних фільтрах на агломашинах кількість рукавів становить 1200 штук, пошук пошкоджених рукавів займає значний час, оскільки виявити пошкоджений рукав можна візуальним оглядом, а це вимагає розтину секцій і почергової виїмки всіх рукавів. Монтаж нових комплектів і демонтаж зношених рукавів виконується вручну (операції піддаються механізації).

3. Необхідність обігріву системи фільтра. Для попередження конденсації на тканини парів води необхідно встановлювати фільтри в опалювальних приміщеннях і ізолювати їх разом з трубопроводом. У зимові місяці слід продувати камери фільтра підігрітим повітрям. При очищенні вологих газів на фільтрувальній тканині відбувається конденсація парів води, при цьому тканина забруднюється і втрачає свої фільтруючі властивості.

4. При струшуванні з фільтра видаляється не весь пил, внаслідок чого рукава необхідно додатково очистити в середньому через кожні 3 місяці.

5. Великий аеродинамічний опір рукавних фільтрів (до 2000 Па), що в 4–5 разів перевищує такий показник у електрофільтрів, вимагає створення великого розширення для роботи фільтрів, при цьому необхідно збільшувати потужність димососів, що призводить до збільшення витрати електроенергії.

6. Обмеження по температурі від 130 до 140 °С, оскільки можливе займання рукавів при попаданні на них іскор.

Враховуючи наведені вище недоліки, необхідно провести модернізацію системи очищення газів від агломераційних установок з використанням (встановлених на діючих виробництвах) рукавних фільтрів.

Підприємства також використовують для тонкого очищення газів електрофільтри різних конструкцій [26, 28, 30, 31], які мають безперечні переваги:

- 1) високий ступінь очистки газів;
- 2) зниження експлуатаційних витрат порівняно з рукавними фільтрами;
- 3) зниження аеродинамічного опору.

Але при використанні існуючих електрофільтрів в агломераційному виробництві, де необхідно очищати значну кількість високозапилених газів, що відходять, виникає ряд недоліків:

1. Великі габарити фільтрів, що тягне за собою великі втрати електроенергії та необхідність будівництва додаткових корпусів для їх розміщення.

2. Підвищені неактивні обсяги між робочими полями, що зумовлює підвищені габарити фільтрів.

3. Вібраційні механізми розташовані в активному обсязі апарату, що прискорює їх знос за рахунок абразивного впливу пилу.

Проаналізувавши наведені недоліки, автори даної статті пропонують провести модернізацію існуючих електрофільтрів шляхом заміни механічного обладнання.

**Метою даної роботи** є модернізація існуючого газоочисного обладнання шляхом установки нових апаратів грубої і тонкої очистки, запропонованих авторами, для досягнення максимального ККД очищення з мінімальним опором газового тракту.

**Основний зміст роботи.** Виходячи з аналізу роботи існуючого обладнання, авторами статті було розроблено та запропоновано для встановлення на діючих агломашинах нові апарати.

Це апарат інерційного осадження VAV, що дозволяє проводити попередню очистку агломераційних газів, і апарат тонкого очищення газів VAV-400/500 D.

Апарат інерційного осадження VAV призначено для уловлювання з промислових або аспіраційних газів дисперсних суспензій мінерального або органічного походження.

Розрахункова ефективність уловлювання частинок:

- з медіанним діаметром до 10 мкм до 50 %;
- з медіанним діаметром до 20 мкм до 70 %.

Конструктивно можливе виготовлення апаратів продуктивністю від 500 м<sup>3</sup>/год. Відсутність вихрових потоків, великих швидкостей руху дисперсної маси в робочій зоні апарата (швидкість руху газового потоку в апараті знижується в 10 разів), істотно знижує абразивний знос металоконструкцій, збільшуючи термін служби і експлуатаційні показники.

У порівнянні з застарілими моделями циклофільтрів, термін служби інерційного апарата VAV в 2–3 рази довше.

Малий опір апарата (до 500 Па) дозволяє його застосування в будь-якому технологічному циклі виробництва, знижуючи витрати на енергоносії за рахунок зниження потужності ексгаустерів.

Апарат інерційного осадження VAV має пилову камеру з розміщеним всередині газопроникливим осаджувачем, виконаним з профільних елементів. Конфігурація і взаємне розташування елементів направляє потік по складній траєкторії між елементами осаджувача (рис. 1).

В результаті в процесі осадження беруть участь

механізми гравітаційного осадження, посилені аеродинамічною складовою комбінованого ходу газів. Час перебування дрібнодисперсних частинок і реальний шлях руху значно збільшуються, що призводить до збільшення ефективності процесу осадження.

Евакуація вловленої дисперсної маси проводиться сухим способом через бункера, які знаходяться під колектором. Відсутність вихрових потоків на внутрішній поверхні конструкції, схильної до посиленого абразивного зносу, збільшує експлуатаційні показники. Конструкція кріплення елементів осаджувача дозволяє при необхідності проводити швидко заміну без складних і дорогих пристосувань. Апарат може бути встановлено в металевому корпусі на постаменті з колонами або безпосередньо в колекторі агломашини.

Виготовлення апарата проводиться відповідно до вимог для постачання в повній готовності до монтажу та експлуатації. Монтаж, пуск і накладка, здача в експлуатацію проводиться в повному обсязі відповідно до діючих норм. Виробник гарантує нормальну експлуатацію апарата в гарантійний термін.

Такий апарат було спроектовано і виготовлено для ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат». У грудні 2015 року інерційний апарат «VAV-250-АФК» був встановлений і випробуваний в корпусі газового колектора агломераційної машини № 12 ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (рис. 2).

За результатами спільних вимірів ефективність попереднього очищення апарата становить 50–70 %. В даний час апарат працює в колекторі агломашини № 12.

Переваги використання апарата попереднього очищення газів:

1. Скорочення виносу пилу з газового колектора на 50–70 % за рахунок осадження крупнозернистої фракції до 20 мкм.
2. Збільшення частки крупнозернистої фракції в загальній масі уловленої пилу для повернення у виробництво.
3. Зниження пилового навантаження на дуттьове обладнання і існуюче обладнання для очищення газів (рукавні фільтри, електрофільтри і т. п.).

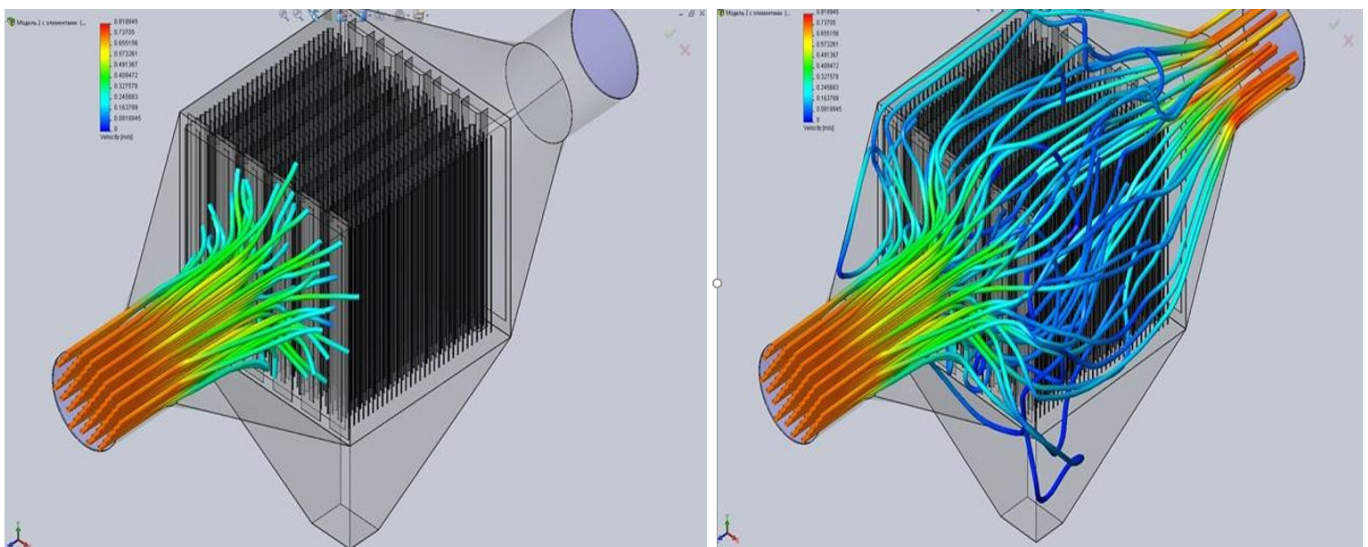


Рис. 1. Моделювання траєкторій запилених газових потоків в системі пилоосадження інерційного апарата





Рис. 2. Інерційний апарат VAV-250-АФК в колекторі агломації № 12 ПАТ «Дніпровський меткомбінат», м. Кам'янське

В результаті дослідження розробленого авторами статті обладнання визначено, що запиленість газів на виході з інерційного апарата становить близько  $1 \text{ г/м}^3$  при вимозі європейських норм  $30\text{--}50 \text{ мг/м}^3$ . У зв'язку з цим авторами пропонується апарат тонкого очищення газів VAV (рис. 3).

Сутність електронно-іонної технології, що використовується в апаратах тонкого очищення VAV, полягає в інтенсивній турбулізації викидів, що очищуються, в зоні з максимальними величинами напруженості електричного поля і щільності електричного вітру. При цьому забезпечується максимальний рівень зарядки зважених часток, особливо їх високодисперсних фракцій. Аеродинамічні сили газового потоку транспортують всю сукупність зарядженого середовища в осередки, що уловлюються, між осаджувальними елементами, де і відбувається електростатичне осадження зважених часток в ламінарних підшарах.

В активному обсязі апарата VAV монтується тільки лабіринтові системи осадкових електродів з вузлами підвісу і аеродинамічними перегородками, а також системи коронуючих електродів з вузлами підвісу і високовольтної ізоляції від заземлених частин. Механізми віброрегенерації осаджувальних і коронуючих електродів розташовуються, відповідно, на кришці корпусу та ізоляторній коробці.

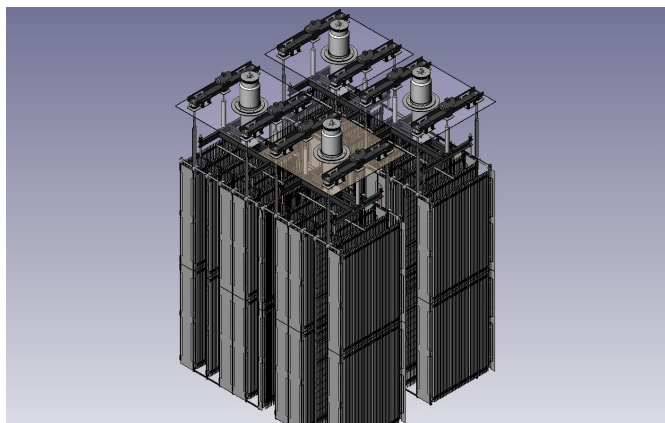


Рис. 3. Електродна система апарата VAV

При цьому частка пасивних обсягів між робочими полями становить мінімальну величину  $29\%$ , а гідравлічний опір – не більше  $500 \text{ Па}$ .

У такому виконанні ефективність очищення димових газів від дисперсних частинок становить  $99,9\%$ .

При використуваному в апаратах VAV плазмовімічному способі очищення забруднений газ проходить через газорозрядний реактор газоочисника (блок обробки газоподібних), в якому проходить процес руйнування (трансформація) шкідливих речовин під дією низькотемпературної плазми. У нашому випадку при обробці сірковміщуючого газу плазмокато-літичним методом з використанням коронного розряду відбуваються такі основні реакції:  $\text{SO}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{SO}_3$ ,  $\text{O}_2 + 1/2\text{O}_2 = \text{O}_3$ ,  $\text{SO}_2 + 1/3\text{O}_3 = \text{SO}_3$ ,  $\text{CO} + 1/3\text{O}_3 = \text{CO}_2$ ,  $\text{CaO} + \text{SO}_3 = \text{CaSO}_4$ .

Основною перевагою розробленого авторами статті обладнання, в порівнянні з традиційними електрофільтрами, є те, що при аналогічних габаритах продуктивність електрофільтру VAV в  $2\text{--}3$  рази вища, а експлуатаційні витрати значно менші.

Конструктивно можливе виготовлення апаратів продуктивністю від  $500 \text{ м}^3/\text{год}$ .

Також, в порівнянні з традиційними апаратами газоочистки, наш електрофільтр має такі переваги:

1. Електрофільтр VAV може використовуватися як з попереднім (першим) щаблем очищення, так і без нього.

2. У робочій зоні апарата розташовуються дві різні зони:

– нульове поле інерційного осадження, що використовує можливості каскадних переходів енергії аеродинамічної складової газового потоку;

– розташованих за ним електричних полів з примусовою зміною напрямку потоку, що реалізує електроочищення газів.

3. Механічне обладнання, деталі осаджувальних і коронуючих електродів, системи пасивного газорозподілу легко збираються вручну, а усунення відмов не вимагає застосування спеціальної техніки, займає мінімальний час. Повна заміна поля становить  $48$  годин.

4. Застосовані вібраційні механізми регенерації поверхні активних частин осаджувальних і коронуючих електродів, розташовані поза активного об'єму апарата, що запобігає вторинному винесенню конгломератів уловлених дисперсних суспензій.

Розташування механізму регенерації (струшування) поза робочої зони апарата, на відміну від традиційного розташування молоткового механізму (струшування) всередині апарата, дозволяє:

1. Скоротити до мінімуму неактивні обсяги між робочими полями.

2. В існуючих корпусах оптимально розмістити механічне обладнання.

3. У нових корпусах різко скоротити габарити установки газоочислення (в  $2$  рази).

4. Проводити ремонт, профілактику механізму регенерації без зупинки електрофільтру, збільшуючи при цьому його експлуатаційні показники.

Такий фільтр було встановлено у  $2007$  р. на ПАТ «Запоріжвогнетрив», Україна.

## Висновки

Виконано комп'ютерне моделювання руху потоків запиленого газу через систему пилоосадження і встановлено залежність швидкості, напрямку руху газового потоку, крупності пилу і ККД інерційного апарата в залежності від його опору. Розроблено і випробувано на агломашині № 12 агломераційного цеху ПАТ «Дніпровський меткомбінат» апарат інерційного осадження «VAV-250-АФК» для попереднього очищення газів. За результатами вимірів, проведених екологічною службою комбінату, запиленість газів на виході з апарата складає 0,92 г/нм<sup>3</sup> при вхідній запиленості 3 г/нм<sup>3</sup>. Ефективність очищення склала близько 70 %. Запропоновано проектно-технічне рішення заміни батарейних циклонів на апарат тонкого очищення газів «VAV-400/50D», що дозволить досягти європейських норм викидів пилу в атмосферу до 40–50 мг/нм<sup>3</sup>. Можливе технічне рішення зниження запиленості газів при впровадженні розробок авторів статті для різних умов розташування обладнання. Запропоновано три варіанти модернізації очищення агломераційних газів.

1. У разі використання мультіциклонів і електроциклонів:

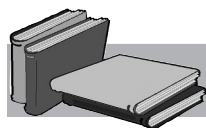
Провести повну заміну обладнання та газоочищення шляхом установки в колекторах агломашин інерційних апаратів VAV, а в існуючих габаритах циклонів-фільтрів тонкого очищення VAV, або в окремих будівлях встановлювати фільтри тонкого очищення VAV на 2–3 агломашини.

2. У разі використання рукавних фільтрів:

Встановлення в колекторі агломашини інерційного апарата VAV, що дозволить істотно знизити пилове навантаження на рукавний фільтр і значно збільшити ефективність його роботи.

3. У разі використання електрофільтрів:

Встановлення в колекторі агломашини інерційного апарата VAV, що дозволить знизити пилове навантаження на електрофільтр. Провести модернізацію електрофільтру шляхом заміни його механічного обладнання, зберігши при цьому силове обладнання, що дасть можливість отримати якісно новий електрофільтр з найменшими витратами, крім того з'являється можливість застосування електрофільтру для 2–3 агломашин, крім того застосування розробленого апарата дозволяє знизити вміст газоподібних шкідливих речовин (CO, SO<sub>2</sub>).

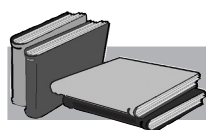


## ЛІТЕРАТУРА

1. Савинов В.М., Дробный О.Ф., Садыков Н.Х. Аспирация хвостовых частей агломашин. *Сталь*. 2007. № 2. С. 143.
2. Берштейн П.С. и др. Совершенствование технологии спекания агломерата. Днепропетровск: Промінь, 1975. 11 с.
3. Clench-Aas, J. and Krzyzanowski, M. (Eds.). Quantification of health effects related to SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and particulate matter exposure. Report from the Nordic Expert Meeting Oslo, 15–17 October, 1995. NILU, Norwegian Institute for Air Research, report 63/96, Oslo, 1996. 142 p.
4. Silva R.A. et al. Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*. 2013. Vol. 8. № 3. 11 p. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034005
5. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13–15 January 2003, 94 p.
6. Air quality guidelines. Global update 2005. URL: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoor air](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoor_air)
7. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>
8. The Clean Air Act, 1990. URL: <http://www.epa.gov/air/caa/index.html>
9. Національна доповідь про стан навколишнього природного середовища в Україні у 2013 році. К.: МЕНР України, 2015. 416 с. URL: <http://www.menr.gov.ua/index.php/dopovidi/infooglyad>
10. Крижевський А.З. Совершенствование технологии агломерационного производства. Киев: Техника, 1989. 77 с.
11. Колесанов Ф.Ф. и др. Совершенствование агломерационного процесса. Киев: Техника, 1983. 110 с.
12. Величко А.Г., Бобылев В.П., Турищев В.В. и др. Эколого-технологические аспекты расширения ресурсосберегающих функций агломерационного производства. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2012. № 2. С. 107–109.
13. Очистка отходящих газов агломерационных машин. М.: ин-т «Черметинформация». ЦИИНЧМ, 1970: 14-е (ЭИ. Сер. 22. Защита от загрязнений воздушного и водного бассейнов: Информация 6).
14. Пицьк Ю.В., Шишацкий А.Г., Агапова В.Г. Пути повышения экологической безопасности в зоне влияния агломерационного производства. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2010. № 5. С. 97–99.
15. Мищенко И.М., Егоров Н.Т. Возможности кардинального сокращения пылевых и газовых выбросов в агломерационном производстве. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. № 4. С. 113–116.
16. Гурьев В.С., Корецкая Н.И. Очистка газов в агломерационном производстве США., ин-т «Черметинформация», 1978. 20 с.

17. Агломерационные установки большой мощности по переработке железных руд. Материалы симпозиума с участием фирмы «Лурги», ФРГ, Кривой Рог, 1974 г.
18. *Chen C.L., Cheng M.T.* Grade efficiency of electrocyclone for fly ash particulates. *Fuel and Energy Abstracts*. 1998. № 40. P. 27–34.
19. *Петров В.А., Инюшкин Н.В., Ермаков А.А.* Электроциклон – эффективный аппарат для очистки промышленных газов от твердых частиц. *ЭКиП: Экология и промышленность России*. 2010. № 5. С. 7–10.
20. *Степанов Г.Ю., Зицер И.М.* Инерционные воздухоочистители. М.: Машиностроение, 1986. 184 с.
21. *Рудаков Д.В., Ляховко А.Д.* Обоснование применения электроциклона для очистки пылевых выбросов металлургических предприятий. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2013. № 4. С. 128–131.
22. *Рудаков Д.В., Ляховко А.Д.* Исследования эффективности пылеулавливания опытной установки «ЭЛЕКТРОЦИКЛОН». Форум гірників – 2014: матеріали міжнар. конф., 1–4 жовтня 2014 р. Д.: Лізунов Прес, 2014. С. 185–190.
23. *Ляховко А.Д.* Оценка эффективности применения Электроциклона для снижения экологической опасности пылевых выбросов агломерационных фабрик. I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів». 14–17 квітня 2015 р. Рубіжне: IXT CHU ім. В. Даля, 2015. С. 149–153.
24. *Ермаков И.В.* Удаление пыли в различных технологических системах GORCOSA (Испания). *Межотраслевой научно-практический журнал «Пылегазоочистка»*. 2017. № 14. С. 8–11.
25. *Риетич И.* Реконструкция системы пылеулавливания станции для десульфурации жидкого чугуна с целью увеличения производительности и стабильности работы (IRMA project system d.o.o серия). *Межотраслевой научно-практический журнал «Пылегазоочистка»*. 2016. № 11. С. 16–19.
26. *Александров М.* Оборудование REDECAM для систем пылеудаления и газоочистки (REDECAM Group S.r.l Италия). *Межотраслевой научно-технический журнал «Пылегазоочистка»*. 2014. № 7. С. 13–19.
27. *Маграф Р.* Практические примеры эффективного улавливания пылевидных и газообразных частиц при помощи плоскорукавного фильтра и метода рециркуляции с паровым ротором (LUHR FILTER GmbH CO KG Германия).
28. *Мысливец Д.К.* Использование высокоэффективного газоочистного оборудования производства фирмы INTENSIV INFESTA CIPRES FILLTR (Швеция) в металлургической промышленности при новом строительстве и реконструкции (ЗАО «СовПлим»). *Межотраслевой научно-технический журнал «Пылегазоочистка»*. 2013. № 5. С. 10–12.
29. *Кащеев М.А. Влади В.А., Манзенко С.В., Кащеев Е.М.* Преимущества и недостатки применения рукавных фильтров в агломерационном производстве и технические решения по повышению эффективности газоочистки. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2017. № 5. С. 96–100.
30. *Cao R.J., Tan H.Z., Xiong Y.Y., Mikulčić H., Vujanović M., Wang X.* et al. Improving the removal of particles and trace elements from coal-fired power plants by combining a wet phase transition agglomerator with wet electrostatic precipitator. *Journal of Cleaner Production*. 2017. Vol. 161. P. 1459–1465. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.009>
31. *Yang Z., Zheng C., Chang Q., Wan Y., Wang Y., Gao X.* et al. Fine particle migration and collection in a wet electrostatic precipitator. *Journal of the Air and Waste Management Association*. 2017. Vol. 67. Iss. 4. P. 498–506. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1260074>

Надійшла 28.01.2020



## REFERENCES

1. *Savinov, V.M., Drobnyi, O.F., Sadykov, N.Kh.* (2007). Aspiration of tail parts of sinter machines. *Steel*, no. 2, p. 143 [in Russian].
2. *Bershtein, R.S.* et al. (1975). Improving the technology of sintering sinter. Dnepropetrovsk: Promin', 11 p. [in Russian].
3. *Clench-Aas, J. and Krzyzanowski, M.* (Eds.) (1996). Quantification of health effects related to SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and particulate matter exposure. Report from the Nordic Expert Meeting Oslo, 15–17 October, 1995. NILU, Norwegian Institute for Air Research, report 63/96, Oslo, 1996. 142 p.
4. *Silva R.A.* et al. (2013). Global premature mortality due to anthropogenic outdoor air pollution and the contribution of past climate change. *Environmental Research Letters*, vol. 8, no. 3, 11 p. doi: 10.1088/1748-9326/8/3/034005
5. Health Aspects of Air Pollution with Particulate Matter, Ozone and Nitrogen Dioxide. Report on a WHO Working Group. Bonn, Germany 13–15 January 2003, 94 p.
6. Air quality guidelines. Global update 2005. URL: [http://www.who.int/phe/health\\_topics/outdoorair](http://www.who.int/phe/health_topics/outdoorair)
7. Directive 2008/50/EC of the European Parliament and of Council of 21 May 2008 on ambient air quality and cleaner air for Europe. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/en/ALL/?uri=CELEX%3A32008L0050>
8. The Clean Air Act, 1990. URL: <http://www.epa.gov/air/caa/index.html>
9. National report on the state of the environment in Ukraine in 2013. Kyiv: MESR of Ukraine, 2015, 416 p. URL: <http://www.menr.gov.ua/index.php/dopovidi/infooglyad> [in Ukrainian].
10. *Krizhewski, A.Z.* (1989). Improvement of the technology of sintering. Kyiv: Tekhnika, 77 p. [in Russian].
11. *Kolesanov, F.F.* et al. (1983). Improvement in sintering process. Kyiv: Tekhnika, 110 p. [in Russian].



12. Velichko, A.G., Bobilev, V.P., Turishev, V.V. et al. (2012). Ecological and technological aspects of the resource saving functions of the sintering. *Metallurgical and mining industry*, no. 2, pp. 107–109 [in Russian].
13. The flue gas cleaning of sinter machines (1970). Moscow: in-t "Chermetinformatsiya", TSIINCHM: 14-e (EQ. ser. 22. Protection from pollution of air and water basins: 6) [in Russian].
14. Pitsik, Yu.V., Shishatskiy, A.G., Agapova, V.G. (2010). The ways of improving environmental safety in the area of influence of the sintering. *Metallurgical and mining industry*, no. 5, pp. 97–99 [in Russian].
15. Mishchenko, I.M., Egorov, N.T. (2005). The possibility of a radical reduction of dust and gas emissions in the sintering production. *Metallurgical and mining industry*, no. 4, pp. 113–116 [in Russian].
16. Gur'ev, V.S., Koretskaya, N.I. (1978). Gas cleaning in the sinter production of the United States, in-t "Chermetinformatsiya", 20 p. [in Russian].
17. Highly powerful sintering machines for treatment of iron ore. Proceedings of symposium assisted by company "Lurgi", FRG, Kryvoy Rog, 1974 [in Russian].
18. Chen, C.L., Cheng, M.T. (1998). Grade efficiency of electrocyclone for fly ash particulates. *Fuel and Energy Abstracts*, no. 40, pp. 27–34.
19. Petrov, V.A., Inyushkin, N.V., Ermakov, A.A. (2010). The flux vortex – effective apparatus for cleaning industrial gases from solid particles. *EKIP: Ecology and industry of Russia*, no. 5, pp. 7–10 [in Russian].
20. Stepanov, G.Yu., Zitser, I.M. (1986). Inertial air cleaners. Moscow: Mashinostroenie, 184 p. [in Russian].
21. Rudakov, D.V., Liakhovko, A.D. (2013). Substantiation of application of the flux vortex for cleaning the dust emissions of metallurgical enterprises. *Metallurgical and mining industry*, no. 4, pp. 128–131 [in Russian].
22. Rudakov, D.V., Liakhovko, A.D. (2014). Study of the effectiveness of the dust of the experimental installation "flux vortex". Forum girnikiv – 2014: materials Minar. Conf. 1–4 October 2014. D.: Lisunov Press, pp. 185–190 [in Russian].
23. Liakhovko, A.D. (2015). Evaluation of the effectiveness of the flux vortex to reduce the environmental hazards of dust emissions from sinter plants. Vseukrains'ka Naukovo-technichna konferentsiya "Aktual'ni problemy naukovo-promyslovogo kompleksu regioniv". 14–17 kvitnia, 2015. Rubizhne: IKHT SNU im V. Dalia, pp. 149–153 [in Russian].
24. Ermakov, I.V. (2017). Dust removal in various technological systems GORCOSA (Spain). *Interdisciplinary scientific and practical magazine "Dust and gas cleaning"*, no. 14, pp. 8–11 [in Russian].
25. Rietich, I. (2016). Reconstruction of the dust collection system of a plant for desulfurization of molten iron in order to increase productivity and stability (IRMA project system d.o.o series). *Interdisciplinary scientific and practical journal "Dust and gas cleaning"*, no. 11, pp. 16–19 [in Russian].
26. Aleksandrov, M. (2014). REDECAM equipment for dust removal and gas purification systems (REDECAM Group S.r.s Italy). *Interdisciplinary scientific and technical journal "Dust and gas purification"*, no. 7, pp. 13–19 [in Russian].
27. Magraf, R. Practical examples of the efficient capture of pulverized and gaseous particles using a flat-sleeve filter and a steam rotor recirculation method (LUHR FILTER GmbH CO KG Germany) [in Russian].
28. Myslivets, D.K. (2013). Use of highly efficient gas-purification equipment manufactured by INTENSIV INFESTA CIPRES FILLTR (Sweden) in the metallurgical industry during new construction and reconstruction (SovPlim CJSC). *Interdisciplinary scientific and technical journal "Dust and gas purification"*, no. 5, pp. 10–12 [in Russian].
29. Kashcheev, M.A., Vladi, V.A., Manzenko, S.V., Kashcheev, E.M. (2017). Advantages and disadvantages of the use of bag filters in sinter production and technical solutions to improve the efficiency of gas cleaning. *Metallurgy and mining industry*, no. 5, pp. 96–100 [in Russian].
30. Cao R.J., Tan H.Z., Xiong Y.Y., Mikulčić H., Vujanović M., Wang X. et al. (2017). Improving the removal of particles and trace elements from coal-fired power plants by combining a wet phase transition agglomerator with wet electrostatic precipitator. *Journal of Cleaner Production*, vol. 161, pp. 1459–1465. <https://doi.org/10.1016/j.eng.2018.05.009>
31. Yang Z., Zheng C., Chang Q., Wan Y., Wang Y., Gao X. et al. (2017). Fine particle migration and collection in a wet electrostatic precipitator. *Journal of the Air and Waste Management Association*, vol. 67, iss. 4, pp. 498–506. <https://doi.org/10.1080/10962247.2016.1260074>

Received 28.01.2020

**Summary**

**M.A. Kasheev**<sup>1</sup>, PhD (Engin.), Associate Professor, e-mail: pmz@pmz.dp.ua

**V.A. Vladi**<sup>2</sup>, Scientific advisor, e-mail: pmz@pmz.dp.ua

**N.R. Rudenko**<sup>1</sup>, PhD (Engin.), Associate Professor, e-mail: 18rudenko@gmail.com,  
<https://orcid.org/0000-0002-8016-5221>

<sup>1</sup>*Dnieper State Technical University (Kamenskoye, Ukraine)*

<sup>2</sup>*LLC "Design Bureau "VAV" (Kamenskoye, Ukraine)*

**Improving the effectiveness of the gas-purification equipment in agglomerative production**

*The analysis of recent studies and publications on the use of equipment for cleaning of sinter gases is carried out; these are battery multicyclones and electrocyclones, bag filters, electrostatic precipitators. It is established that when using such devices for cleaning of sinter gases, there are significant problems and shortcomings associated with the treatment of a large number of highly dusty gases. These are low efficiency due to the accumulation of dust in the equipment elements, the large size of the filters, rapid wear of the elements of the used devices, high aerodynamic resistance, increased operating costs, etc. Based on the analysis of shortcomings of existing equipment, the authors of the article performed computer simulation of the movement of dusty gas flows through a dust deposition and established the dependence of the speed, direction of gas flow, size of dust and the efficiency of the inertial device, depending on its resistance. The VAV-250-AFK inertial deposition apparatus for preliminary gas purification was developed and tested on sinter machine No. 12 of the sinter plant of PJSC "Dnieper metallurgical plant". According to the results of measurements conducted by the environmental service of the plant, the dust content of gases at the outlet of the apparatus is 0.92 g/nm<sup>3</sup> when the incoming dust is 3 g/nm<sup>3</sup>. Cleaning efficiency was about 70 %. A design and technical solution is proposed for replacing battery cyclones with the device of thin gas purification "VAV-400/50D", that will allow us to achieve European standards on dust emission in the atmosphere up to 40–50 mg/nm<sup>3</sup>. A technical solution to reduce gas dust during the implementation of our developments for various conditions of equipment location is possible. Three options are proposed for the modernization of existing treatment equipment in order to increase its efficiency. When introducing the proposed technical solutions, it is possible to obtain a steady reduction in the content of dust and harmful gases in the outgoing sintering gases to established standards and to solve the dust problem of industrial cities with a working sintering industry, which are the main sources of dust and harmful gas emissions from the metallurgical enterprise.*

**Keywords**

*Agglomeration machine, dust, inertial apparatus, electrostatic precipitator, collector, preliminary cleaning, fine cleaning.*