

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД  
«НАЦІОНАЛЬНИЙ ГІРНИЧИЙ УНІВЕРСИТЕТ»



**ЛЯХОВКО ОЛЕКСІЙ ДМИТРОВИЧ**

УДК 66.022.63:502.36

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ  
АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Дніпро – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі екології Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України (м. Дніпро).

**Науковий керівник** – доктор технічних наук, професор  
**РУДАКОВ Дмитро Вікторович**,  
завідувач кафедри гідрогеології та інженерної геології  
Державного вищого навчального закладу «Національний  
гірничий університет» Міністерства освіти і науки  
України (м. Дніпро).

**Офіційні опоненти** – доктор технічних наук, професор  
**АДАМЕНКО Микола Ігоревич**,  
завідувач кафедри охорони праці та безпеки  
життєдіяльності Харківського національного  
університету імені В.Н. Каразіна Міністерства освіти і  
науки України;

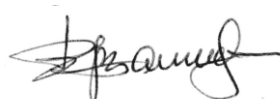
– кандидат технічних наук, доцент  
**БАХАРЄВ Володимир Сергійович**,  
декан факультету природничих наук Кременчуцького  
національного університету імені Михайла  
Остроградського Міністерства освіти і науки України

Захист дисертації відбудеться «28» жовтня 2016 р. о 14 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 08.080.02 із захисту дисертацій при Державному вищому навчальному закладі «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Державного вищого навчального закладу «Національний гірничий університет» Міністерства освіти і науки України за адресою: 49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.

Автореферат розісланий «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2016 р.

Вчений секретар спеціалізованої  
вченої ради Д 08.080.02,  
к.т.н., доцент



В.В. Панченко

## ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

**Актуальність теми.** Забруднення атмосферного повітря в промислових регіонах України становить серйозну небезпеку для навколишнього середовища і здоров'я населення. Основним джерелом викидів шкідливих речовин у атмосферу є промисловість: у 2013 р. в Україні із загальної кількості газоподібних викидів 6719,8 тис. т. від стаціонарних джерел надійшло 4295,1 тис. т. (63,9%). На Дніпропетровську область припадає близько 21,9% загального обсягу викидів від стаціонарних джерел по країні.

З усієї номенклатури шкідливих речовин, що надходять до атмосфери, одним з найбільш істотних факторів є пил, який викидається підприємствами металургійної та інших галузей важкої промисловості. Найбільш небезпечним для людини є дрібний (респірабельний) пил з розміром частинок до 10 мкм, який недостатньо ефективно вловлюється існуючими апаратами очистки і поширюється в атмосфері на значні відстані.

Основним способом підвищення екологічної безпеки атмосфери в даний час є скорочення викидів за допомогою удосконалення пиловловлюючих пристроїв. Проте пиловловлююче обладнання більшості підприємств металургійної галузі в Україні морально і фізично застаріло, що не дозволяє забезпечити необхідну ступінь очищення викидів. Ефективна модернізація систем пиловловлення стримується як високою вартістю нових апаратів, так і відсутністю науково обґрунтованої оцінки довготривалого екологічного ефекту застосування нового обладнання.

Зниження екологічної небезпеки пилових викидів металургійних та інших промислових підприємств в атмосферу за рахунок зменшення їх обсягів, насамперед, найнебезпечніших дрібних фракцій, дозволить знизити техногенне навантаження на навколишнє середовище та покращити умови проживання людей на прилеглих територіях. Таким чином, в дисертаційній роботі вирішується актуальна науково-практична задача обґрунтування способу зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів в атмосферу шляхом модернізації засобів уловлювання пилу, а також оцінки довготривалого еколого-економічного ефекту їх застосування.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Науковий напрямок дисертаційної роботи відповідає «Основним напрямкам державної політики України в області охорони навколишнього середовища, використання природних ресурсів і забезпечення екологічної безпеки», затвердженим Верховною Радою України 05.03.1998 р., № 188/98-ВР. Базовою для підготовки дисертаційної роботи стала науково-дослідна робота ГФ-186 «Розробка заходів з підвищення рівнів екологічної безпеки об'єктів паливно-енергетичного комплексу 2012-2015 р.» (№ держреєстрації 0112U004203, 2011-2015 р.), виконана в рамках досліджень кафедри екології Державного ВНЗ «Національний гірничий університет», у якій автор брав участь як виконавець.

**Мета дисертаційної роботи** полягає в науковому обґрунтуванні способу зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики металургійного комбінату за рахунок застосування нового апарату відцентрово-

електричного пиловловлення, а також оцінки довгострокового екологічного та економічного ефекту модернізації пиловловлюючого обладнання.

**Завдання дослідження**, вирішені у дисертаційній роботі, полягають у такому.

1. Проаналізувати ступінь екологічної небезпеки пилового забруднення атмосфери металургійними підприємствами і ефективність існуючих засобів очищення газоподібних викидів від пилу.

2. Дослідити стан атмосферного повітря промислового міста в зоні впливу аглофабрики на основі показників рівня екологічної безпеки, даних моніторингу.

3. Уточнити математичну модель розсіювання пилових викидів для достовірної оцінки екологічного ефекту модернізації засобів пиловловлення.

4. Обґрунтувати нове технічне рішення в установці відцентрово-електричного очищення пилових викидів – електроциклон з використанням ефекту електроосадження пилу на основі застосовуваних на аглофабриках циклонів.

5. Виконати оцінку ефективності пиловловлення розробленого електроциклона як розрахунковим шляхом, так і за результатами дослідно-лабораторних випробувань.

6. Оцінити підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери, а також екологічний та економічний ефект застосування розробленого засобу пиловловлення за фактором зниження пилових викидів аглофабрики з урахуванням властивостей агломераційного пилу.

**Об'єкт дослідження** – пилові викиди в атмосферу агломераційного виробництва.

**Предмет дослідження** – процеси розсіювання агломераційного пилу в атмосфері промислового міста до і після модернізації апаратів пиловловлювання.

**Методи дослідження.** У дисертаційній роботі був використаний комплекс наукових методів, який включає: аналіз при визначенні рівня екологічної небезпеки пилових викидів агломераційної фабрики; математичне моделювання розсіювання пилу в атмосфері для отримання достовірної оцінки довготривалого екологічного ефекту засобів уловлювання агломераційного пилу; теоретичні розрахунки і дослідно-лабораторні випробування при дослідженні ефективності пиловловлювання розробленого електроциклона.

### **Наукові положення:**

1. Інструментом оцінки рівня екологічної безпеки атмосферного повітря є уточнена математична модель розсіювання агломераційного пилу, яка враховує безперервні зміни розподілених параметрів швидкості, напряму та повторюваності вітру протягом тривалого періоду, що дозволяє достовірно прогнозувати довгостроковий екологічний ефект модернізації засобів пиловловлювання у вигляді зниження концентрації пилу в зоні впливу викидів аглофабрики металургійного комбінату.

2. Зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики забезпечується за допомогою нового технічного рішення що реалізується у

розробленому апараті відцентрово-електричного пиловловлення – електроциклон, в якому використовується ефект електроосадження пилу за рахунок додавання в конструкцію існуючого циклону високовольтних коронуючих електродів, внаслідок чого ефективність пиловловлювання найнебезпечніших дрібних фракцій пилу 4-10 мкм підвищується на 8,9-11,3%, а концентрація пилу в зоні розсіювання знижується з 4 до 0,66 часток ГДК.

#### **Наукова новизна одержаних результатів:**

1. Вперше, на основі статистичного аналізу даних моніторингу, встановлено закономірності зміни середньомісячних концентрацій пилу в атмосфері залежно від напрямку і швидкості вітру, положення контрольних точок відносно місця викиду з урахуванням масштабу часового осереднення результатів спостережень, що дозволило прогнозувати розсіювання пилу на великих територіях протягом тривалих проміжків часу.

2. Уточнено математичну модель розсіювання домішок в атмосфері з розподіленими параметрами, яка відрізняється від відомих моделей інтегральним урахуванням безперервної зміни напрямку й швидкості вітру протягом тривалого періоду, що дозволило підвищити достовірність оцінки довготривалого екологічного ефекту модернізації засобів пиловловлення.

3. Вперше встановлено раціональні діапазони швидкостей газового потоку і напруги, що подається на коронуючі електроди розробленої установки відцентрово-електричного очищення пилових викидів – електроциклон, при яких досягається максимальний ефект пиловловлення.

4. Вперше обґрунтовано залежність рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики металургійного комбінату від кількості та дисперсного складу пилу, що викидається, і варіації метеорологічних параметрів атмосфери промислового регіону протягом тривалого періоду часу, що дозволило запропонувати новий спосіб очищення пилових викидів і оцінити його екологічний і економічний ефект.

**Наукове значення роботи** полягає у встановленні закономірності зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики металургійного комбінату шляхом обґрунтування раціональних параметрів установки відцентрово-електричного пиловловлення – електроциклон та оцінки її екологічного та економічного ефекту.

#### **Практична цінність роботи.**

1. Розроблено спосіб зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів агломераційного виробництва, що дозволяє підвищити ефективність уловлювання пилу на 12,9% за рахунок модернізації системи очистки викидів аглофабрики від пилу.

2. Розроблена методика оцінки довготривалого екологічного ефекту модернізації пиловловлюючого обладнання, яка заснована на моделюванні розсіювання пилу в атмосфері і адаптована до часового масштабу моніторингу атмосферного повітря.

3. Розроблено технічне рішення (установка відцентрово-електричного пиловловлювання – електроциклон), що забезпечує зниження рівня небезпеки пилових викидів аглофабрики.

**Обґрунтованість і достовірність** наукових положень, висновків і рекомендацій дисертаційної роботи підтверджується: використанням надійної інформації, зокрема показників забруднення атмосфери та кількості викидів пилу, отриманої у відповідних установах (лабораторія спостереження забруднення атмосфери м. Дніпродзержинськ (далі – ЛСЗА), служба охорони навколишнього середовища ПАТ «Дніпровський металургійний комбінат» (далі – ДМК); використанням методик та показників, що застосовуються до розрахунку екологічного ефекту електроциклону; високою збіжністю результатів теоретичних та експериментальних досліджень пиловловлювання (похибка не перевищує 5% для загальної маси пилу і 10% – по фракціям); узгодженістю результатів моделювання розсіювання пилу з даними моніторингу, успішними дослідно-промисловими випробуваннями ефективності запропонованого електроциклону в умовах аглофабрики ДМК.

**Реалізація результатів досліджень.** Розроблений спосіб зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики металургійного комбінату і запропонована методика оцінки довготривалого екологічного ефекту використані як методична основа при розробці «Рекомендацій з застосування дослідної установки електроциклон для очищення газопилових викидів агломераційного виробництва ПАТ ДМК».

Результати дисертаційної роботи використовуються у навчальному процесі кафедри екології ДВНЗ «НГУ» при викладанні дисциплін: «Методи вимірювання параметрів навколишнього середовища», «Моніторинг навколишнього середовища», «Екологічна безпека», а також при виконанні курсових і кваліфікаційних робіт спеціалістів та магістрів.

**Особистий внесок здобувача** полягає у формулюванні мети і завдань дослідження; оцінці негативного впливу пилових викидів металургійних комбінатів на атмосферу промислового міста; удосконаленні математичної моделі розсіювання домішок в атмосфері з розподіленими метеопараметрами та дисперсним складом викидів; розробці установки відцентрово-електричного пиловловлення – електроциклон; виконанні теоретичних та експериментальних досліджень ефективності пиловловлювання запропонованого електроциклону; кількісній оцінці підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери м. Дніпродзержинськ за пиловим фактором в зоні впливу ДМК; оцінці еколого-економічного ефекту модернізації системи пилоочистки аглофабрики ДМК із застосуванням електроциклону.

**Апробація результатів досліджень.** Основні результати дисертаційних досліджень доповідалися і обговорювалися на: IV Всеукраїнській науково-методичній конференції з міжнародною участю «Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технологій» (Дніпродзержинськ, 2006 р.), Міжнародній науковій конференції «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу» (Дніпропетровськ, 2010), VI Міжнародній науково-практичній конференції «Теорія і практика вирішення екологічних проблем металургійної та гірничо-видобувної промисловості» (Дніпропетровськ, 2013 р.), Міжнародній науково-технічній конференції «Геоінформаційні системи і комп'ютерні технології еколого-економічного

моніторингу» (Дніпропетровськ, 2013 р.), Міжнародній конференції «Розвиток інформаційно-ресурсного забезпечення освіти і науки в гірничо-металургійній галузі та на транспорті 2014» (Дніпропетровськ, 2014 р.), Міжнародній науково-практичній конференції «Форум гірників 2014» (Дніпропетровськ, 2014 р.), Науковому симпозиумі «Тиждень еколога–2015» (Дніпродзержинськ, 2015 р.), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів» (Рубіжне, 2015).

**Публікації.** Результати дисертаційних досліджень викладені у 17 публікаціях, з них 6 статей у фахових виданнях, 2 з яких у журналах, індексованих у наукометричній базі даних Scopus; 8 – у працях науково-практичних конференцій; отримано 1 патент України на винахід та 2 патенти на корисну модель.

**Структура й обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел зі 153 найменувань і 3 додатків. Дисертація містить 143 сторінки тексту, 37 рисунків, 39 таблиць. Загальний обсяг роботи – 180 сторінок.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми, сформульована мета, завдання, предмет і об'єкт дослідження, подана наукова новизна отриманих результатів та їх практичне значення, представлені наукові положення, що виносяться на захист, а також інформація про апробацію результатів та публікації за темою дисертації.

В **першому розділі** досліджено вплив пилових викидів металургійних підприємств на атмосферне повітря та здоров'я населення промислових регіонів і ефективність існуючих засобів очищення газоподібних викидів від пилу. Серед основних видів металургійних виробництв одними з найбільших забруднювачів атмосфери залишаються аглофабрики. Їх пилові викиди містять велику кількість частинок розміром до 10 мкм, які є особливо небезпечними для людини.

Аналіз ефективності основних пиловловлюючих пристроїв, що застосовуються для очищення газоподібних викидів металургійного виробництва в атмосферу і зниження рівня їх екологічної небезпеки, свідчить про недостатній рівень очищення. Якщо циклони недостатньо ефективно вловлюють дрібний (респірабельний) пил, мають великі габарити та металоємність, то фільтри та електрофільтри при складній конструкції мають високу вартість очистки, при цьому їх ефективність залежить від фізико-хімічних властивостей пилу.

Проведено аналіз наукових праць, патентної інформації та літературних джерел стосовно екологічної небезпеки поширення пилових викидів в атмосфері. Питанням розробки та удосконалення моделей розсіювання пилу в атмосфері присвячено роботи Берлянда М.Є., Беляєва М.М., Бруяцького Є.В., Марчука Г.І., Рудакова Д.В., Хруща В.К. та інших. Загальні та спеціальні питання екологічного впливу викидів в атмосферу небезпечних речовин на навколишнє середовище досліджувалися в роботах Адаменка М.І., Батлук В.А., Бахарєва В.С.,

Зберовського О.В., Поліщука С.З., Шапара А.Г., Шмандія В.М., та ін. Проблеми очищення газових викидів промислових підприємств, розробки й модернізації засобів очистки від пилу розглядалися у роботах Ужова В.Н., Алієва Г.М., Коузова П.А., Колесника В.Е., Голінька В.І. та ін. Інтенсифікація процесів відцентрового пилоуловлення досліджувалась у роботах Степанова Е.А., Тітова А.Г., Петрова В.А., Інюшкіна М.В., Кущева Л.А.

Проте на сьогодні відсутня єдина методика комплексної оцінки екологічної ефективності впровадження технічних заходів пилоуловлення на промислових підприємствах у довготривалій перспективі, що не дозволяє адекватно оцінити рівень зниження екологічної небезпеки викидів промислових підприємств в атмосферу.

Таким чином, обґрунтування способу зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів в атмосферу шляхом модернізації засобів уловлювання пилу, а також оцінки довготривалого еколого-економічного ефекту їх застосування є актуальною науково-практичною задачею.

Виходячи з цієї задачі сформульовано мету й завдання досліджень, розроблено блок-схему структури дослідження.

У **другому розділі** досліджено стан атмосферного повітря м. Дніпродзержинськ в зоні впливу аглофабрики на основі даних моніторингу і вибраних показників рівня екологічної безпеки: середньорічних та середньомісячних концентрацій пилу у атмосферному повітрі; індексу забруднення атмосфери (ІЗА); коефіцієнту небезпеки для здоров'я населення; економічного ефекту; екологічного ефекту, зміни рівня екологічної безпеки атмосферного повітря (територія міста з перевищенням середньодобового ГДК з пилу).

Дослідження проводилося на основі аналізу даних моніторингу атмосфери, що здійснюється ЛСЗА. Чотири стаціонарних поста ЛСЗА розташовані в різних частинах міста на відстані 1,6–7,7 км від основного джерела викидів пилу – аглофабрики ДМК. В результаті статистичного аналізу даних моніторингу за 2008-2012 рр. встановлено підвищення концентрацій пилу в атмосфері при зниженні кількості викидів основним джерелом на 13,3%.

Статистичним аналізом варіацій метеопараметрів та осередненої концентрації пилу встановлено відсутність кореляційного зв'язку між напрямком вітру від джерела викиду і значенням середньої концентрацій пилу на посту при часовому осередненні в один місяць з рівнем значущості 0,05. Вплив інших джерел пилу, розташованих як на території міста (промислові підприємства та автотранспорт), так і за його межами, згідно проведеного кількісного аналізу, виявився незначним і не перевищує 5–7% величини стандартного відхилення концентрації пилу на пунктах спостереження.

Встановлена відсутність зв'язку між напрямком вітру і концентрацією пилу в середньомісячному масштабі осереднення часу вказує на необхідність застосування моделей розсіювання домішок в атмосфері з розподіленими метеопараметрами.

Оцінювання рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики ДМК, проведене за методикою ОНД-86 у програмі УПРЗА Еко-Центр 1.6.4 з



верифікацією результатів у пунктах спостережень показало, що розраховані значення концентрацій виходять за межі інтервалу стандартного відхилення середньорічної концентрації за даними моніторингу, при цьому відносні відхилення становлять 34-71%. Отримані результати свідчать, що методика ОНД-86 не враховує повною мірою розу вітрів і локальні особливості територій при розрахунку розсіювання шкідливих речовин в атмосфері; недостатньо враховується розподіл пилу за фракціями; використовується 20-30 хвилинний інтервал осереднення за часом, який не є репрезентативним для тривалих періодів. Крім того, детермінована модель з усталеною швидкістю вітру, що використовується у методиці, не дозволяє оцінювати екологічну небезпеку викидів у атмосферу протягом тривалих періодів часу.

Для отримання достовірної оцінки середньомовірної концентрації, необхідної для оцінювання довготривалого екологічного ефекту модернізації пиловловлюючого обладнання, було удосконалено математичну модель розсіювання домішок в атмосфері. Модель на основі аналітичного розв'язку тривимірного рівняння стаціонарної турбулентної дифузії від точкового джерела викиду узагальнено інтегральним врахуванням розподілених параметрів швидкості та частоти повторюваності напрямків вітру, які визначаються шляхом статистичного усереднення протягом тривалого періоду (року). На поверхні землі задаються умови часткового поглинання пилу.

Середньомовірну концентрацію пилу  $\bar{\varphi}$  залежно від швидкості осадження  $w$  для кожної фракції визначено інтегруванням за неперервним розподілом швидкості вітру відносно напрямку  $\theta$  та частоти повторюваності:

$$\bar{\varphi}(x, y, z, w) = \int_0^{v_{\max}} \int_0^{2\pi} \varphi(\xi(x, y, \theta), \eta(x, y, \theta), z, h, w) \cdot \omega(\theta) \cdot f(v, \theta) d\theta dv, \quad (1)$$

де  $\varphi(\xi(x, y, \theta), \eta(x, y, \theta), z, w)$  – розподіл концентрації пилу для усталеного напрямку вітру під кутом  $\theta$ , що вимірюється від східного напрямку;  $\omega(\theta)$ ,  $f(v, \theta)$  – щільності розподілу частоти, напрямку і швидкості вітру протягом тривалого інтервалу часу  $T$  (місяць, рік);  $\xi$ ,  $\eta$  – функції перетворення координат шляхом обертання осей  $Ox$  і  $Oy$  на кут  $\theta$ ;  $z$  – висота над поверхнею землі;  $h$  – ефективна висота викиду з урахуванням початкової швидкості та температури викидів;  $v$  – швидкість вітру в діапазоні від нуля до максимального значення  $v_{\max}$ ,  $w$  – швидкість осадження частинок пилу, яка розраховується за масою частинок відповідно до їх розміру.

Сумарна концентрація пилу всіх фракцій визначається підсумовуванням їх концентрації з урахуванням частки кожної фракції  $p_i$  у суміші пилу:

$$\varphi_{\Sigma}(x, y, z) = \sum_{i=1}^n p_i \varphi(x, y, z, w_i). \quad (2)$$

де  $w_i$  – швидкість осідання частинок  $i$ -ї фракції, що визначається залежно від їх розміру та щільності.

Розраховану таким чином концентрацію слід розглядати як математичне сподівання середньомовірної концентрації пилу протягом тривалого періоду,

на основі якої можлива достовірна оцінка екологічного ефекту модернізації пиловловлювального обладнання.

Для перевірки адекватності удосконаленої моделі була виконана її верифікація за даними моніторингу за 2008-2012 рр. з використанням метеопараметрів м. Дніпродзержинськ та фракційного складу пилу аглофабрики ДМК. Результати моделювання в цілому збігається з даними ЛСЗА, причому всі розраховані значення у пунктах спостереження знаходяться у межах довірчого інтервалу і не перевищують значення варіації середньомісячної концентрації, а відносні відхилення становлять 16-33%. Таким чином, уточнена математична модель розсіювання пилових викидів з розподіленими метеопараметрами може бути використана для оцінки тривалого екологічного ефекту модернізації засобів пиловловлення.

**В третьому розділі** обґрунтовано нове технічне рішення відцентрово-електричного очищення пилових викидів – електроциклон, а також виконані теоретичні і експериментальні дослідження ефективності його пиловловлення.

За основу було взято найбільш поширений у промисловості стандартний циклон типу ЦН, до якого додано елементи конструкції електрофільтра. Розроблений електроциклон (рис. 1) поєднує механізми очищення двох видів: відцентрової (циклон) і електричної (електрофільтр).

Використана методика розрахунку ефективності запропонованого електроциклона на основі методики НДІОГАЗа заснована на принципі максимуму показників ефективності очищення, яке виконується відцентровим і електричним способом. Розрахунок ефективності пиловловлення проводився незалежно для режиму циклону (без додавання електричного поля) та в режимі електроциклона, а результуюча ефективність визначалася як максимум, що досягається одним із способів. Загальний коефіцієнт очищення розраховувався шляхом підсумовування фракційних коефіцієнтів з урахуванням вмісту кожної фракції.

В результаті теоретичних та експериментальних досліджень пиловловлення електроциклоном пилу агломераційного виробництва (зона спікання агломашини), з визначеними фізико-хімічними властивостями і фракційним складом було встановлено, що максимальні показники ефективності досягаються при подачі напруги 55 кВ.

Додавання електричного поля такою напругою підвищує загальний коефіцієнт ефективності очищення до 6% залежно від типу пилу, при цьому ступінь очищення дрібних фракцій пилу розміром до 10 мкм збільшується на 10-20% (рис. 2).

Відмінності між розрахованими та експериментально встановленими показниками ефективності пиловловлення електроциклона як в режимі циклону, так і при подачі напруги 55 кВ складають: 5% для загальної ефективності, 10% – для дрібних фракцій, 2-3% – для фракцій з частинками крупніше 10 мкм. Це свідчить про достатню узгодженість теоретичних та експериментальних результатів. Таким чином, шляхом теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано ефективність запропонованого способу відцентрово-електричного очищення пилових викидів в розробленому електроциклоні.

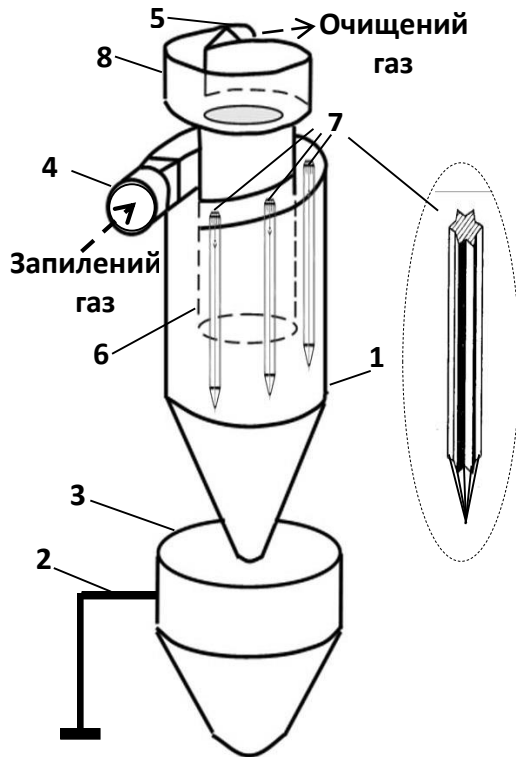


Рис. 1. Запропонована конструкція електроциклону:  
 1 – корпус; 2 – бункер;  
 3 – заземлення; 4 – вхідний патрубок для введення газового потоку; 5 – вихідний патрубок для виходу очищеного газу; 6 – вихлопна труба; 7 – коронуючі електроди; 8 – равлик.

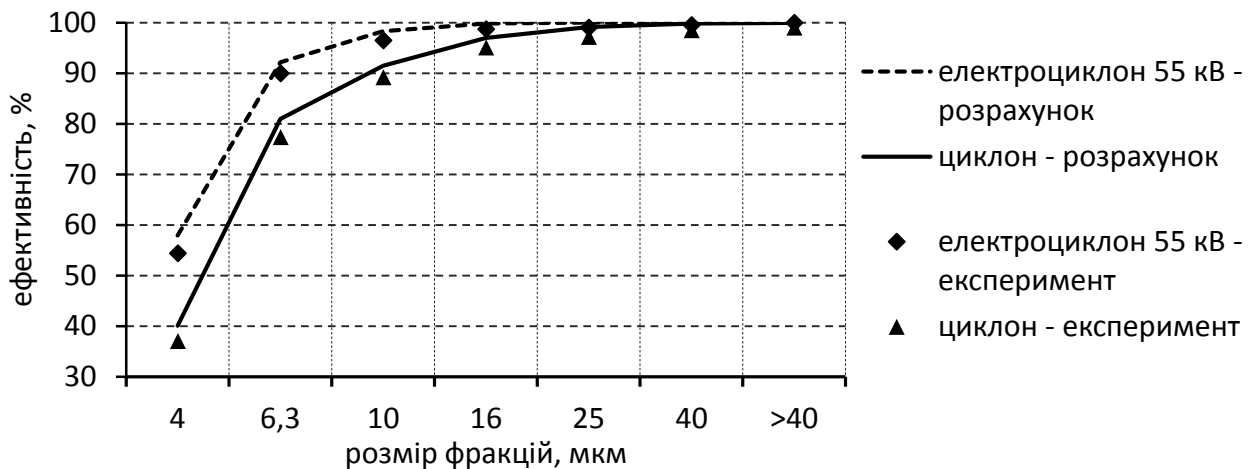


Рис. 2. Фракційна ефективність дослідної установки електроциклон

У **четвертому розділі** виконано аналіз ефективності пиловловлення розробленого електроциклону за результатами дослідно-лабораторних випробувань на базі агломераційного цеху ДМК, прогноз підвищення рівня екологічної безпеки атмосфери м. Дніпродзержинськ за пиловим фактором а також оцінку еколого-економічного ефекту застосування електроциклону.

Дослідна установка електроциклон була змонтована для очищення відхідних газів пластинчастого транспортеру агломераційної машини. Очищення технологічних викидів агломераційного цеху в даний час здійснюється за допомогою батарейних циклонів БЦ 254 6×90. В результаті досліджень встановлено, що фракційна ефективність пиловловлення електроциклоном фракцій пилу розміром 4-10 мкм перевищує на 8,9-11,3%, а

загальна на 12,9% аналогічні показники батарейного циклону.

Оцінка зміни рівня екологічної безпеки атмосферного повітря м. Дніпродзержинськ за пиловим фактором в результаті модернізації системи пилоочистки аглофабрики ДМК проводилася за умови повної модернізації пиловловлюючого обладнання аглофабрики з показниками ефективності електроциклона на основі удосконаленої математичної моделі розсіювання пилових викидів в атмосфері, з використанням обраних показників екологічної безпеки атмосферного повітря.

За результатами прогнозу середньомісної концентрації пилу в атмосфері міста (рис. 3) виконано оцінку зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики ДМК в пунктах спостережень. У разі застосування електроциклона зниження складе 0,94-3,27 часток ГДК у цих пунктах, що розташовані у різних районах міста. При модернізації пиловловлювального обладнання зросте ефективність уловлювання більш дрібних часток пилу. Найбільш важкі частки осідають поблизу заводу; більш легкі частинки пилу формують зони підвищеної концентрації на відстані понад 3 км від місця викиду. Зменшення кількості дрібних фракцій у викидах дозволить знизити концентрації пилу в повітрі на площі міста близько 100 км<sup>2</sup>, де рівень забруднення атмосфери знизиться до безпечного.

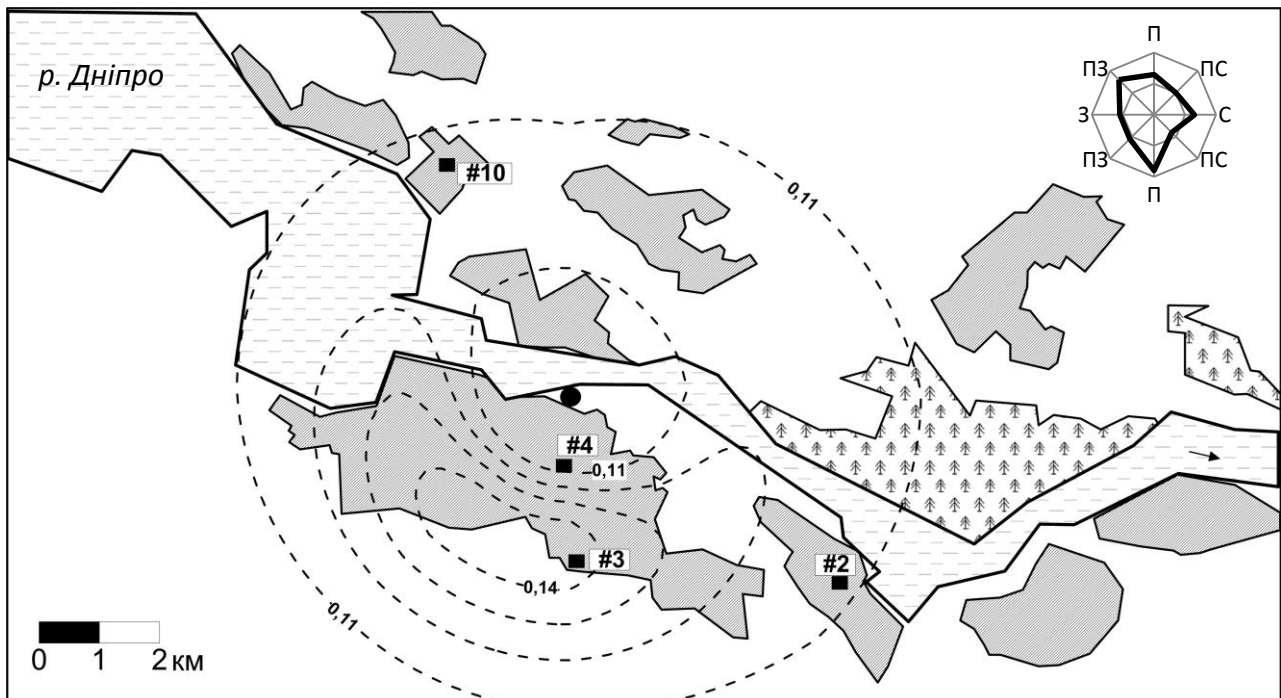


Рис. 3. Прогнозований розподіл середньорічної концентрації пилу в м. Дніпродзержинськ після модернізації системи очистки пилових викидів аглофабрики ДМК

Згідно прогнозованої оцінки зміни вибраних показників екологічної безпеки (ГДК, індексу забруднення атмосфери ІЗА та коефіцієнту небезпеки здоров'я населення  $HQ$ ) пропонується модернізація системи пиловловлювання з використанням розробленого електроциклона дозволить знизити рівень екологічної небезпеки пилових викидів агломераційної фабрики на 52-82%

(табл. 1).

Таблиця 1

## Оцінка прогнозованого зниження рівня екологічної небезпеки пилового забруднення атмосфери

Показники	Пост №2	Пост №3	Пост №4	Пост №10
Поточне значення концентрації пилу у частках ГДК	2,13	1,93	4	1,6
- ступінь небезпечності	Помірно небезпечний	Слабко небезпечний	Помірно небезпечний	Слабко небезпечний
Пил ГДК (прогноз)	0,66	0,93	0,73	0,66
- ступінь небезпечності	Безпечний			
ІЗА (поточний)	2,13	1,93	4	1,6
ІЗА (прогноз)	0,66	0,93	0,73	0,66
HQ (поточний)	2,13	1,93	4	1,6
- характеристика ризику	Імовірність розвитку шкідливих ефектів			
HQ (прогноз)	0,66	0,93	0,73	0,66
- характеристика ризику	Ризик виникнення шкідливих ефектів зневажливо малий			

Оцінка екологічного та економічного ефекту застосування електроциклона на аглофабриці ДМК проводилася на основі показників ефективності його пилоуловлення в порівнянні з аналогічними показниками циклонів БЦ 254 6×90. Загальне зниження викидів пилу аглофабрики ДМК у разі застосування електроциклона складе 7852 т/рік відносно сучасного рівня 10500 т/рік, при цьому суттєвим буде зменшення викидів всіх фракцій пилу з розміром менше 40 мкм (рис. 4), а викиди найнебезпечніших дрібних фракцій до 10 мкм знизяться на 2420 т/рік.

Економічний ефект застосування електроциклона в порівнянні з циклоном БЦ 254 6×90 забезпечується скороченням платежів за викиди пилу в атмосферу і поверненням вловленого пилу в виробництво (враховується при розрахунку вартості очищення). Внаслідок зниження обсягу викидів сума платежів за забруднення пилом атмосферного повітря знизиться майже в 4 рази до 155 тис. грн./рік, при цьому економія складе 460 тис. грн./рік. Вартість пилу повернутого у виробництво (фактично готової продукції) складе 2,133 млн. грн./рік. Таким чином, сумарний ефект застосування електроциклона складе 2,593 млн. грн./рік. Збиток навколишньому середовищу від аглофабрики ДМК за викиди пилу зараз складає 915 тис. грн./рік. Застосування електроциклона дозволить зменшити екологічну шкоду на 647 тис. грн./рік за рахунок зменшення обсягів викидів.

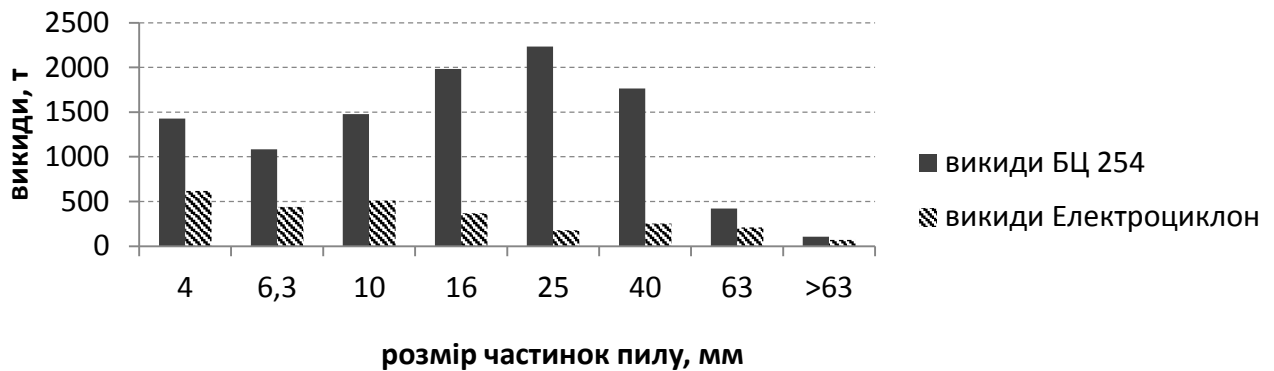


Рис. 4. Зниження пилових викидів аглофабрики після очищення електроциклоном

Запропонована схема модернізації системи пилогазоочищення аглофабрики передбачає заміну батарейних циклонів БЦ 254 6×90 на електроциклон з використанням існуючого допоміжного обладнання (димососи, колектори, екстаустери), що спрощує і здешевлює модернізацію системи газоочистки аглофабрики. Конструкція електроциклона передбачає як одиночне, так і групове компонування для збільшення продуктивності апарату.

Таким чином, проведеними у четвертому розділі дослідженнями визначено закономірність зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики ДМК при застосуванні розробленого засобу пиловловлювання – електроциклон.

## ВИСНОВКИ

Дисертаційна робота є завершеною науково-дослідною роботою, в якій вирішена актуальна науково-практична задача обґрунтування способу зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів в атмосферу шляхом модернізації існуючих засобів пиловловлювання з використанням ефекту електроосадження, а також оцінки довготривалого еколого-економічного ефекту їх застосування на основі нормативних показників екобезпеки та прогнозної моделі розсіювання домішок з належним урахуванням розподілених метеопараметрів.

Основні наукові і практичні результати, висновки та рекомендації дисертаційної роботи полягають у такому:

1. Статистичним аналізом даних моніторингу атмосфери м. Дніпро-дзержинськ за період 2008-2012 рр. встановлено відсутність кореляційного зв'язку між напрямком вітру від джерела викиду і значенням середньої концентрацій пилу на постах спостережень при часовому осередненні в один місяць з рівнем значущості 0,05, що визначає необхідність застосування моделей розсіювання домішок в атмосфері з розподіленими метеопараметрами для достовірної оцінки тривалого екологічного ефекту модернізації засобів пиловловлювання.

2. Математичну модель розсіювання домішок в атмосфері на основі аналітичного розв'язку тривимірного рівняння стаціонарної турбулентної дифузії від точкового джерела викиду узагальнено інтегральним врахуванням

розподілених параметрів швидкості та частоти повторюваності напрямків вітру, що визначаються шляхом статистичного усереднення протягом тривалого періоду, з належним урахуванням дисперсного складу пилу. З використанням моделі, верифікованої за даними моніторингу, виконано оцінку рівня екологічної безпеки атмосфери промислового міста і встановлено перевищення граничних значень показників екобезпеки для більшої частини території міста.

3. На основі циклонів типу ЦН, що застосовуються на аглофабриках, розроблено конструкцію та створено установку відцентрово-електричного очищення пилових викидів – електроциклон з використанням ефекту електроосадження пилу. Теоретичними та експериментальними дослідженнями загальної та фракційної ефективності пиловловлювання встановлено, що при значенні напруги електричного поля електроциклону в 55 кВ відбувається підвищення загальної ефективності очищення на 2-6% і уловлювання екологічно найнебезпечніших дрібних частинок розміром до 10 мкм на 10-20%, залежно від типу пилу.

4. В результаті дослідно-промислових випробувань ефективності розробленої установки електроциклон, проведених на базі агломераційного цеху ДМК встановлено, що фракційна ефективність електроциклону перевищує аналогічний показник батарейного циклону на 8,9-11,3% для екологічно найнебезпечніших частинок розміром до 10 мкм, при цьому загальна ефективність пиловловлювання електроциклону у порівнянні з батарейним циклоном є вищою на 12,9%.

5. За допомогою уточненої математичної моделі розсіювання пилу в атмосфері виконано оцінку зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики ДМК за умови модернізації пиловловлювального обладнання з використанням розробленої установки електроциклон. Зменшення загального обсягу пилових викидів на 7852 т/рік за рахунок застосування електроциклону дозволить знизити концентрації пилу в повітрі на площі близько 100 км<sup>2</sup>, причому зниження ГДК з пилу складе 0,94-3,27 в різних частинах міста.

6. Модернізація системи пиловловлювання аглофабрики ДМК з використанням електроциклону дозволить знизити збиток навколишньому середовищу від пилових викидів в атмосферу на 647 тис. грн./рік. Очікуваний економічний ефект від застосування електроциклону у 2,593 млн. грн./рік забезпечується за рахунок зниження плати за викиди пилу в атмосферне повітря, а також повернення уловленого продукту в агломераційне виробництво.

7. На основі прогнозних показників ГДК, індексу забруднення атмосфери ІЗА та коефіцієнту небезпеки здоров'я населення HQ визначено зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів аглофабрики на 52-82% за умови модернізації існуючих засобів пиловловлювання з використанням розробленого електроциклону.

**Основні положення та результати дисертації опубліковані в роботах:  
В фахових виданнях:**

1. Ляховко А.Д. К вопросу о способах термического обезвреживания промышленных выбросов. / Маховский В.А., Ляховко А.Д. // Сборник научных

трудоу. Вестник Нац. техн. ун-та ХПИ №38, 2004. – X.: – 2004. – С.48-52. (*фахове видання*)

2. Ляховко А.Д. К вопросу загрязнения атмосферы и анализ источников выбросов промышленных предприятий / Маховский В.А., Ляховко А.Д. // Сборник научных трудов ДГТУ (Технические науки), Вып. 8 – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2007. – С. 193-197. (*фахове видання*)

3. Ляховко А.Д. Обоснование применения электроциклона для очистки пылевых выбросов металлургических предприятий / Рудаков Д.В., Ляховко А.Д. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2013. – №4. – С. 128-131. (*наукометрична база Scopus*)

4. Lyakhovko A. Statistical analysis and numerical modelling of dust pollution. Case study the city Dniprodzerzhynsk. / Rudakov D., Lyakhovko A. // Progressive Technologies of Coal, Coalbed Methane, and Ores Mining. The Netherlands: CRC Press / Balkema, 2014. Pp. 379–385. (*фахове видання за кордоном*)

5. Ляховко А.Д. Перспективы применения электроциклона для снижения объемов пылевых выбросов металлургических предприятий (на примере г. Днепродзержинска) / Рудаков Д.В., Ляховко А.Д. // Збірник наук. праць НГУ, №41. Д: НГУ. – 2013. – С. 134-139. (*фахове видання*)

6. Ляховко А.Д. Прогнозирование экологического эффекта модернизации газоочистного оборудования промышленных предприятий / Д.В. Рудаков, А.Д. Ляховко. // Науковий вісник НГУ, №3. Д: НГУ. – 2014. – С. 111–117. (*наукометрична база Scopus*)

#### **Патенти:**

7. Ляховко О.Д., Рудаков Д.В.; Власник ДВНЗ Національний гірничий університет. Пат. 105682 Україна, МПК В03 С 3/15 Электроциклон. №a201208511; заявл. 10.07.2012; опубл. 10.06.2014, Бюл. №11/2014.

8. Ляховко О.Д., Рудаков Д.В.; Власник ДВНЗ Національний гірничий університет. Пат. на кор. модель 77681 Україна, МПК В03 С 3/15 Электроциклон. № u201209233; заявл. 27.07.2012; опубл. 25.02.2013, Бюл. №4/2013.

9. Ляховко О.Д., Коробочка О.М.; Власник Дніпродзержинський державний технічний університет. Пат. на кор. модель 39680 Україна, МПК В03 С 3/00 Электроциклон. № u200810969; заявл. 08.09.2008; опубл. 10.03.2009, Бюл. №5/2009.

#### **У збірниках конференцій:**

10. Ляховко А.Д. Анализ и прогноз ущерба, наносимого основным производственным фондам атмосферными загрязнениями. / Ляховко А.Д., Маховский В.А., Маховский Д.В. // IV Всеукраїнська науково-методична конференція з міжнародною участю «Екологія та інженерія. Стан, наслідки, шляхи створення екологічно чистих технологій». – Днепродзержинск: ДГТУ. – 2006. С. 71-77.

11. Ляховко О.Д. Шляхи зниження екологічної небезпеки газопилових викидів металургійних комбінатів / Рудаков Д.В., Ляховко О.Д., Павличенко А.В. // Збірник статей VI Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія та



практика вирішення екологічних проблем в металургійній та гірничо-видобувній промисловості». – Дніпропетровськ: НМА. – 2013. – С. 79-81.

12. Ляховко О.Д. Исследование закономерностей пылевого загрязнения атмосферы в г. Днепропетровск по данным экологического мониторинга / Ляховко А.Д., Рудаков Д.В. // Геоинформационные системы и компьютерные технологии эколого-экономического мониторинга – 2014 [Электронный ресурс]; (сборник докладов международной научно-технической конференции, 9-11.04/2014) / под ред. Л.В. Сарычевой. – Электрон. данные. – Д.: ГВУЗ НГУ, 2014.

13. Ляховко А.Д. Моделирование процесса распространения загрязнений от аглофабрики ДМК. / Ляховко А.Д., Рудаков Д.В. // III міжнародна наукова конференція «Прикладні проблеми аерогідромеханіки та тепломасопереносу». 4-6 листопада 2010 р. – Д.: ДНУ, 2010 – С. 56-68.

14. Ляховко А.Д. Исследования эффективности пылеулавливания опытной установки «Электроциклон» / Рудаков Д. В., Ляховко А. Д. // Форум гірників - 2014 : матеріали міжнар. конф., 1-4 жовтня 2014 р. – Д.: ЛізуновПрес, 2014. – С. 185-190.

15. Ляховко А.Д. Повышение экологической безопасности пылевых выбросов аглофабрики ПАО «ДМКД». / Д.В. Рудаков, Ляховко А.Д., Павличенко А.В. // Международный научный симпозиум «Неделя эколога–2015». 13-16 апреля 2015 г. – Днепропетровск: ДГТУ. – 2015 – С. 72-74.

16. Ляховко А.Д. Оценка эффективности применения Электроциклона для снижения экологической опасности пылевых выбросов агломерационных фабрик. / Ляховко А.Д. // I Всеукраїнська науково-технічна конференція «Актуальні проблеми науково-промислового комплексу регіонів». 14-17 квітня 2015 р. – Рубіжне: ІХТ СНУ ім. В.Даля. – 2015. – С. 149-153.

17. Ляховко А.Д. Эколого-экономический эффект применения электроциклонов для очистки пылевых выбросов агломерационного производства / Д.В. Рудаков, А.Д. Ляховко // Развитие информационно-ресурсного обеспечения образования и науки в горно-металлургической отрасли и на транспорте 2014: Сборник научных трудов международной конференции. – Д.: НГУ, – 2014. – С. 212-220.

### **Особистий внесок автора в роботи, опубліковані в співавторстві:**

аналіз способів знешкодження промислових викидів в атмосферу [1]; аналіз забруднення атмосфери підприємствами металургійного комплексу України [2]; обробка даних стану забруднення атмосфери м. Дніпропетровська в 2008-2012 рр. [4, 12]; створення дослідної установки «Електроциклон», проведення досліджень ефективності її пиловловлення [3, 5, 14]; оцінка еколого-економічного ефекту електроциклона [5, 6, 10, 17]; аналіз шляхів зниження екологічної небезпеки пилових викидів [11]; розробка математичної моделі розповсюдження пилових викидів в атмосфері [13]; дослідження зниження екологічної небезпеки пилових викидів агломераційної фабрики ПАТ ДМК в

результаті застосування електроциклона [15,16]; розробка схеми модернізації існуючого пиловловлюючого обладнання аглофабрики ПАТ ДМК [17].

## АНОТАЦІЯ

**Ляховко О.Д. «Зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів агломераційної фабрики металургійного комбінату». – На правах рукопису.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – «Екологічна безпека». – Державний ВНЗ «Національний гірничий університет», Дніпро, 2016.

Дисертація присвячена обґрунтуванню способу зниження рівня екологічної небезпеки пилових викидів в атмосферу шляхом модернізації засобів уловлювання пилу, а також оцінки довготривалого еколого-економічного ефекту їх застосування.

Виконаний аналіз впливу пилових викидів ДМК на стан атмосферного повітря м. Дніпродзержинська. Розроблено установку відцентрово-електричного пиловловлення – електроциклон, конструкція якої дозволяє модернізувати існуючі циклони типу ЦН шляхом додавання конструктивних елементів електрофільтрів. За результатом теоретичних та експериментальних досліджень встановлено що фракційна ефективність електроциклона перевищує показники батарейного циклону БЦ 254 6×90 на 8,9-11,3% по фракціях розміром частинок 4-10 мкм, при цьому загальна ефективність вище на 12,9%. Сумарний економічний ефект електроциклона для очищення технологічних викидів від пилу аглофабрики складе 2,593 млн. грн./рік.

За допомогою уточненої моделі розсіювання пилу, а також вибраних показників виконана оцінка ступеня підвищення рівня екологічної безпеки атмосферного повітря м. Дніпродзержинська у разі застосування електроциклона, яка складе 0,94-3,27 часток ГДК за пилом в різних районах міста.

*Ключові слова:* Рівень екологічної небезпеки, електроциклон, атмосферне повітря, пил, модель розсіювання пилових викидів, показники екологічної безпеки.

## АННОТАЦИЯ

**Ляховко А.Д. «Снижение уровня экологической опасности пылевых выбросов агломерационной фабрики металлургического комбината». – На правах рукописи.**

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – «Экологическая безопасность». – Государственный ВУЗ «Национальный горный университет», Днепр, 2016.

В диссертационной работе решена актуальная научно-практическая задача обоснования способа снижения уровня экологической опасности пылевых выбросов в атмосферу путем модернизации средств улавливания пыли, а также оценки долговременного эколого-экономического эффекта их применения.

Выполнен статистический анализ данных мониторинга атмосферы за период 2008-2012 г. Установлено повышение концентраций пыли в атмосфере до  $0,35 \text{ мг/м}^3$ , несмотря на снижение количества пылевых выбросов основным источником на 13,3%. Уточнена модель рассеивания выбросов в атмосфере с распределенными параметрами, статистически усредненными в течении длительного времени.

Разработана установка центробежно-электрического пылеулавливания – электроциклон, выполнены теоретические исследования и опытные испытания эффективности ее пылеулавливания. В результате установлено, что добавление электрического поля напряжением 55 кВ повышает степень очистки мелких фракций пыли размером до 10 мкм на 10-20%, при этом общий коэффициент эффективности очистки увеличивается на 2-6%.

Проведены опытно-промышленные испытания эффективности пылеулавливания установки электроциклон на базе агломерационного цеха ПАО ДМК. В результате установлено, что фракционная эффективность электроциклона превышает показатели применяемого циклона БЦ 254 на 8,9-11,3% по фракциям 4-10 мкм, при этом общая эффективность выше на 12,9%.

С помощью разработанной модели рассеивания и выбранных показателей выполнена оценка повышения уровня экологической безопасности атмосферного воздуха г. Днепропетровск в случае применения электроциклона. Снижение долей ПДК, значений ИЗА и НQ составит 0,94-3,27 в различных частях города. Прогнозируется уменьшение концентрации пыли в воздухе на площади около  $100 \text{ км}^2$ .

Применение электроциклона предлагаемой конструкции позволит снизить количество пыли на 7852 тонн, причем количество выбросов пыли самых мелких фракций (до 10 мкм) составит 2420 т. Стоимость ущерба окружающей среде уменьшится на 647 тыс. грн./год. Суммарный экономический эффект применения электроциклона составит 2,593 млн. грн./год.

Предложены рекомендации по модернизации системы газоочистки аглофабрики ПАО ДМК с применением электроциклона.

*Ключевые слова:* Уровень экологической опасности, электроциклон, атмосферный воздух, пыль, модель рассеивания пылевых выбросов, показатели экологической безопасности.

## ABSTRACT

**Lyakhovko O.D. "Reducing the environmental hazard level of dust emissions from the sinter factory of the metallurgical plant". – Manuscript.**

The thesis for a degree of Candidate of Technical Sciences, speciality 21.06.01 – "Environmental safety". – State Higher Educational Institution "National Mining University", Dnipro, 2016.

The thesis deals with substantiation of the method of reducing the environmental hazard of dust emissions to the atmosphere by upgrading dust cleaners, and the assessment of long-term environmental and economic benefits of their use.

The thesis analyses the impact of dust emitted by the private company “Dniprodzerzhinsk metallurgical plant” on air quality in the city of Dneprodzerzhinsk. A unit combining electric and centrifugal cleaning of dust—electrical cyclon—has been developed; its design allows upgrading the existing CN-type cyclones by adding the elements of electrical dust filters. The results of theoretical and experimental studies demonstrated that fractional efficiency of the electrical cyclone exceeds the same index of the battery cyclone BC 254 6 × 90 by 8,9 – 11,3% for particulate fractions of 4-10 micron size, with the overall efficiency increase over 12.9%. The total economic impact of the electric cyclone for cleaning dust emissions from sinter plant makes 2,593 million UAH.

With the modified model of dust dispersion and selected indicators the environmental safety improvement of air in the city of Dniprodzerzhinsk has been assessed in the case of electric cyclon application; this will reduce dust concentrations in different parts of the city by 0,94 – 3,27 of the sanitary limit value.

*Keywords:* the environmental hazard level, electrical cyclone, atmospheric air, dust, dust emission dispersion model, environmental safety indicators.

**ЛЯХОВКО Олексій Дмитрович**

**ЗНИЖЕННЯ РІВНЯ ЕКОЛОГІЧНОЇ НЕБЕЗПЕКИ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ  
АГЛОМЕРАЦІЙНОЇ ФАБРИКИ МЕТАЛУРГІЙНОГО КОМБІНАТУ**

(Автореферат)

Підписано до друку 15.09.2016. Формат 60x90/16.  
Папір офсет. Ризографія. Ум. друк. арк. 0,9.  
Обл.-вид. арк. 0,9. Тираж 100 прим. Зам. №481

Державний вищий навчальний заклад  
„Національний гірничий університет”  
49005, м. Дніпро, просп. Д. Яворницького, 19.