

621.928  
П18

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ІВАНО-ФРАНКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ  
УНІВЕРСИТЕТ НАФТИ І ГАЗУ

**Параняк Надія Михайлівна**



УДК 621.928.9 +  
П18 628.511  
1093

**УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДІВ ЗНИЖЕННЯ ТЕХНОГЕННОГО  
НАВАНТАЖЕННЯ НА ДОВКІЛЛЯ ПИЛОВИХ ВИКИДІВ  
ЦЕМЕНТНОГО ВИРОБНИЦТВА**

Спеціальність 21.06.01 – Екологічна безпека

Автореферат  
дисертації на здобуття наукового ступеня  
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2014

**Дисертацією є рукопис.**

Робота виконана на кафедрі охорони праці Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.



Науковий керівник:

доктор технічних наук, професор  
**Батлук Вікторія Арсеніївна**,  
Національний університет  
«Львівська політехніка»,  
професор кафедри охорони праці.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор  
**Пляцук Леонід Дмитрович**,  
Сумський державний університет,  
завідувач кафедри прикладної екології;

кандидат технічних наук  
**Пукіш Арсен Володимирович**,  
Науково-дослідний і проектний інститут ПАТ  
«Укрнафта», НАК «Нафтогаз України»  
Міністерства палива та енергетики України,  
начальник лабораторії моніторингу вод та ґрунтів –  
заступник начальника відділу екології.

Захист відбудеться ” 17 ” грудня 2014 р. о 10 год. 30 хв. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 20.052.05 в Івано-Франківському національному технічному університеті нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

З дисертацією можна ознайомитися у науково-технічній бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий ”14” листопада 2014 р.

Учений секретар  
спеціалізованої вченої ради,

д.геол.н.

Хомир В.Р.



## ГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

an2496

**теми.** Будівельна індустрія, а саме виробництво цементу, є одним з основних джерел емісії техногенних домішок нелокалізованого неорганічного пилу, що зумовлює актуальність дослідження впливу цих викидів як на стан здоров'я людей, так і на стан навколишнього природного середовища. Пил цементних заводів є основним чинником екологічної небезпеки і складає 8,3 % сумарних викидів в атмосферу та містить від 15 до 99 % дрібних фракцій, що є причиною його перенесення на відстані до 25 км від джерела забруднення, а на території їх впливу формуються біогеохімічні аномалії, які спричинені техногенною концентрацією в ґрунтах та довкіллі. Це актуалізує розроблення пилоочисного обладнання для уловлення дрібних фракцій пилу. Аналіз відомих методів пиловловлення довів, що незважаючи на ефективне уловлення грубодисперсних фракцій пилу, вони не можуть забезпечити очищення від фракцій пилу менших за  $1 \cdot 10^{-5}$  м більше ніж на 85 %, а спроби підвищення ефективності їх роботи призводять до значного ускладнення схем пилоочиснення.

Проблема забруднення навколишнього середовища пилом відображена у працях відомих вчених і практиків України та країн СНД: Балацького О.Ф., Бурдіяна Б.Г., Глухова В.В., Грабинського І.М., Данилишина Б.М., Данилка В.К., Думнова А.Д., Казанської Є.В., Коржаневської Є.І., Лісочкіної Т.В., Міщенко В.С., Пінігіна М.А., Прокопова Є.В., Сахаєва В.Г., Трудової М.Т. та інших. Дослідження яких показують, що кількість пилу, який утворюється в промисловості, збільшується щорічно на 4 %, тому щоб зменшити зростання забруднення атмосфери необхідно підвищити ефективність очищення усіх викидів щонайменше до 98 %. Щороку за даними ООН в Україні у навколишнє середовище викидається понад 2,5 млн. тонн пилу.

Екологічна безпека оцінюється впливом окремих чинників забруднення на довкілля за різними показниками без урахування техногенних забруднень від промислових об'єктів. Тільки поблизу цементних підприємств, а їх в Україні 15 потужністю 24 млн. тонн цементу в рік, забрудненість повітря клінкерним і цементним пилом в радіусі одного кілометра може перевищувати допустимі концентрації в 4–5 разів, а в радіусі двох кілометрів у 2–3 рази. Отже, зменшення кількості забруднень, що надходять у навколишнє природне середовище з промислових об'єктів, та встановлення гранично-допустимого рівня їх впливу на довкілля є актуальною проблемою сьогодення, яка потребує вирішення та має екологічне і соціальне значення. Розроблення та впровадження нових безвідходних технологій виробництв, створення нових ефективних методів і апаратів очистки, вдосконалення діючої газоочисної апаратури дозволять нарощувати обсяги виробництв та сприятимуть зменшенню кількості техногенних забруднень, підвищенню рівня екологічної безпеки об'єктів, регіону та держави.

**Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.** Робота виконана згідно з стандартами Законів України «Про охорону навколишнього природного середовища» від 25.06.91 р. № 126-ХІІ, Постанови ВР України «Про основні напрямки державної політики України у Галузі охорони довкілля,

an 2495 - an 2496

використання природних ресурсів та забезпечення екологічної безпеки» № 118/98-ВР від 5.03.1998 р., Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Концепції національної екологічної політики України на період до 2002 р.» від 17.10.2007 р. № 880-р. Напрямок роботи пов'язаний із планом науково-дослідницької роботи кафедри «Охорона праці» Національного університету «Львівська політехніка» з проблеми «Наукові основи створення високоєфективного пиловловлюючого обладнання». Основні положення дисертаційної роботи виконані згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки України (№ держресстрації 0112U007670).

**Мета і завдання дослідження.** Метою роботи є вирішення науково-прикладної проблеми зниження техногенного навантаження на довкілля підприємствами цементної промисловості шляхом удосконалення системи пилоочищення з застосуванням розроблених пиловловлюючих апаратів.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно було вирішити наступні завдання:

- визначити основні джерела забруднення довкілля в процесах виробництва цементу;

- дослідити характеристики пилу як чинника формування екологічної небезпеки цементного виробництва в умовах конкретного об'єкту ПАТ «Івано-Франківськцемент»;

- провести математичне моделювання процесів очищення пилогазової суміші цементних виробництв;

- створити та експериментально дослідити принципово нові конструкції апаратів для очистки повітря від пилу;

- провести випробування розроблених конструкцій пиловловлювачів на дослідно-промислових установках, перевірити оптимальність встановлених параметрів запропонованих процесів та оцінити їх екологічну та економічну ефективність.

*Об'єкт дослідження* – процес забруднення довкілля пиловими викидами цементного виробництва.

*Предмет дослідження* – зниження техногенного навантаження на довкілля пиловими викидами.

**Методи досліджень** базуються на використанні методів математичного аналізу та моделювання, а також основних положень аеродинаміки та теоретичної механіки. Для визначення морфометричних та фізико-хімічних властивостей аерозолів застосовуються наступні методи: гідродинамічні (для визначення витрат повітря, швидкостей, зміни тиску), ваговий (для визначення ступеня очистки), седиментаційний (для визначення дисперсного складу пилу), а також методики для визначення щільності, в'язкості та питомої поверхні аерозолів. Теоретичні розрахунки та обробку експериментальних даних виконували із застосуванням комп'ютерних програм Microsoft Excel, EOL 2Q00; SolidWorks; FlowVision.

Для обробки результатів експериментальних досліджень використані основні методи математичної статистики, а також математичні розрахунки похибок відхилень показів.

**Наукова новизна отриманих результатів.** З метою підвищення рівня екологічної безпеки на основі проведених теоретичних досліджень та експериментальних даних отримано наступні наукові результати:

- дістав подальший розвиток системний аналіз для створення моделі факторів ефективності роботи конструкції пиловловлювача, що є найбільш послідовним підходом у вирішенні технічних проблем;

- розроблено 3D модель циклонного апарата з жалюзійним відокремлювачем аналіз якої, на основі методів скінчених об'ємів та рівнянь Нав'є-Стокса, дав змогу розкрити фізичну суть руху повітряних потоків у новій конструкції пиловловлювача, оптимізувавши кількість експериментальних досліджень;

- вперше при математичному моделюванні руху повітряних потоків у пиловловлювачах нового типу за допомогою програмного пакету FlowVision обґрунтовано доцільність охолодження повітряного потоку перед його потраплянням у пиловловлювач нового типу, що має позитивний вплив на швидкість руху частинок пилу до зовнішньої стінки апарата і, як наслідок, підвищення ефективності їх уловлення;

- вперше експериментально встановлено закономірності впливу витрат повітря, медіанного діаметру пилу на ефективність пиловловлення в запропонованих автором апаратах різної конструкції;

- удосконалено розроблену конструкцію експериментального стенду для проведення досліджень процесу очищення аспіраційного повітря в пиловловлювачах, який повністю відповідає вимогам, що ставляться до таких випробувань «Єдиною методикою порівняльних досліджень пиловловлювачів».

**Практичне значення отриманих результатів** для екологічної безпеки полягає в:

- зниженні техногенного навантаження на навколишнє середовище та створенні комфортних умов праці в цементному виробництві шляхом розроблення принципово нових конструкцій відцентрово-інерційних пиловловлювачів сухого типу для уловлення дрібнодисперсних фракцій пилу (патенти на корисну модель №20786, № 50126, №50128);

- розробленні методики розрахунку основних конструктивних параметрів відцентрово-інерційного пиловловлювача, що знайшла застосування на виробництві та в навчальному процесі відповідних розділів «Екологічна безпека» та «Охорона праці», в дипломному проектуванні;

- аналізі та дослідженні властивостей цементного пилу як негативного чинника у формуванні екологічної безпеки в умовах багатоосередкового пилоутворення цементної промисловості.

За результатами проведених промислових досліджень запропоновано установки для очистки повітря від пилу, на яких провели випробування, для впровадження на ПАТ «Івано-Франківськцемент» (договір про наукову співпрацю № 3/13-17), ефективність роботи яких складає 98,5 %, що дозволило значно знизити вміст пилу у викидах газоповітряної суміші в довкілля і поліпшити санітарно-гігієнічні умови праці.

Достовірність наукових положень, висновків і отриманих результатів забезпечується загальноприйнятим положенням класичної теорії механічних систем і суцільних середовищ, значним обсягом експериментальних досліджень, які виконані із застосуванням сучасного лабораторного обладнання, їх узгодження з загальноприйнятими уявленнями про природу процесів, що відбуваються у відцентрово-інерційних апаратах.

**Особистий внесок автора.** Дисертаційна робота представлена на основі самостійних досліджень автора в галузі екологічної безпеки. Постановка завдання, формулювання мети та висновків виконувались під керівництвом наукового керівника. Основні наукові положення та практичні результати роботи, теоретичні розробки, математичне і комп'ютерне моделювання експериментів дослідження, що виносяться на захист, отримані особисто здобувачем. Внесок здобувача в роботах, опублікованих у співавторстві, наведено у списку праць за темою дисертації.

**Апробація результатів дисертації.** Основні положення і результати дисертації доповідались й обговорювались на: Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні інформаційні інноваційні технології на транспорті» (м. Херсон, 2010 р., 2012 р.); V Міжнародній науково-практичній конференції «Сучасні проблеми збалансованого природокористування» (м. Кам'янець-Подільський, 2010 р.); Міжнародному науково-методичному семінарі «Наука и образование» (м. Хмельницький, 2011 р.); Всеукраїнському з'їзді екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology–2011) (м. Вінниця, 2013 р.); Міжнародній науковій конференції «Новаци XXI века: технология, экономика, творчество» (м. Тамбов, Росія, 2013 р.); Міжнародній науково-технічній конференції «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Черкаси, 2012 р., м. Київ, 2013 р.); 2-му Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергозаощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 2012 р.). У повному об'ємі дисертаційна робота доповідалась на пленарному засіданні Міжнародної науково-технічної конференції Асоціації фахівців промислової гідравліки і пневматики (м. Одеса, 2013 р.).

**Публікації.** За темою дисертаційної роботи надруковано 25 наукових праць, з них 7 публікацій у фахових виданнях України та 6 статей у наукових періодичних виданнях інших держав і публікацій у виданнях України, які внесені до міжнародних науково-метричних баз даних, 9 публікацій у збірниках тез та матеріалах конференцій, отримано 3 патенти України на корисну модель.

**Структура і обсяг дисертації.** Дисертація складається зі вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел інформації та додатків. Загальний обсяг роботи складає 188 сторінок, з них 53 рисунки по тексту, 14 рисунків на 5 окремих сторінках, 16 таблиць по тексту, 20 таблиць на 11 окремих сторінках, 2 додатки на 21 сторінці, списку використаних джерел інформації з 131 найменувань на 14 сторінках.

У додатках наведено копії деклараційних патентів на винаходи, табличні дані експериментальних досліджень пиловловлювачів, акти впровадження розроблених конструкцій апаратів.

## ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність дисертаційної роботи, сформульовано мету та окреслені шляхи її досягнення, показано наукову новизну, практичну значимість роботи, а також особистий внесок здобувача.

У першому розділі наведено аналіз стану довкілля в Україні та у Івано-Франківській області, який підтвердив думку про те, що викиди цементного пилу значно погіршують екологічну ситуацію у регіоні, наносять шкоду здоров'ю не тільки людей, але й усьому довкіллю.

У розділі наведено коротку фізико-географічну характеристику ПАТ «Івано-Франківськцемент» як джерела забруднення довкілля, зокрема технологію виготовлення цементу, джерела та параметри пиловиділення, характеристику та ефективність роботи газоочисного устаткування. Проведено аналіз та стан досліджень зниження запиленості в будівельній галузі. Аналітичний огляд досліджень зниження запиленості повітря при виробництві цементу визначив переваги циклонів перед іншими пиловловлювачами та довів, що на сьогоднішній день не існує пиловловлювача, здатного високоефективно вловлювати дрібнодисперсні фракції пилу, який завдяки малій густині розсіюється та пересувається на великі відстані потоками атмосферного повітря. Для більш ефективного знепилення повітря в цих виробництвах технологічно та економічно доцільно використовувати принципово нові конструкції пиловловлювачів, які поєднують в одному корпусі декілька ступенів очищення.

Протягом останніх років значний внесок у дослідження проблем впливу пилу на навколишнє середовище, а також створення нових конструкцій пиловловлюючих апаратів, зроблений такими провідними фахівцями як: Биченок М.М., Пляцюк Л.Д., Шмандій В.М., Батлук В.А., Білявський Г.А., Трофімчук А.М., Дубінін А.І., Якуба О.Р., Куц В.П., Козориз Г.Ф., Озарків І.М., Коузов П.А. та інші. Питанням аеродинаміки аерозолей присвячені праці: Алієва Г.М.–А., Афанасьева І.І., Бурчакова А.С., Кіріна Б.Ф., Коузова П.А., Москаленка Е.М., Мухутдінова Р.Х., Приумова А.В., Яновського С.С. та ін., які довели, що закони руху пилового аерозолю в промислових приміщеннях аналогічні законам руху газів, а це, в свою чергу, дає можливість розроблення високоефективних засобів пиловловлювання.

У другому розділі наведено методики проведення експериментів, визначено хімічний і дисперсний склад експериментального пилу кварцового піску та промислових пилових джерел цементної промисловості, які найбільше забруднюють атмосферу. Визначено запиленість повітря, форму частинок і концентрацію пилу, швидкості його осадження, адгезійні властивості та гігроскопічність. Розроблено методики досліджень технологічних та експлуатаційних характеристик апаратів для очистки повітря від пилу, визначення ефективності та гідравлічного опору пиловловлювача. Ефективність пиловловлювачів визначалась відношенням ваги пилу, вловленого в бункері пиловловлювача, до ваги пилу, який входить в апарат, за період досліду. Гідравлічний опір пиловловлювачів визначався за перепадом повних тисків у

перетині перед пиловловлювачем і за ним. Для дослідження пиловловлювачів у Національному університеті «Львівська політехніка» було вдосконалено розроблену конструкцію експериментального стенду, який відповідає всім вимогам, прийнятим для таких випробувань «Єдиною методикою порівняльних досліджень пиловловлювачів».

У **третьому розділі** розроблено ієрархічні моделі факторів, що впливають на ефективність роботи пиловловлювача нової конструкції. Застосовано методи попереднього визначення впливу множини обраних факторів на ефективність роботи пиловловлювача.

У результаті ієрархічної структуризації зроблено висновок про те, що медіанний діаметр пилу; діаметр вхідного патрубку; кут нахилу вхідного патрубка відіграють вирішальну роль у визначенні факторів ефективності роботи пиловловлювача. Пріоритетність дії фактора на ефективність роботи пиловловлювача нової конструкції є величиною відносною і може бути зміненою залежно від експертної оцінки міри впливу фактора на досліджуваний процес. У результаті проведеного дослідження створено ймовірнісну модель ієрархії факторів, що визначають ефективність роботи розробленого апарата. Отримані результати можуть піддаватися корегуванню в процесі подальших досліджень.

У даному розділі також представлено створення математичної моделі апарата засобами системи автоматизованого проектування Solid Works при малих числах Рейнольдса  $Re < 2300$ , яка потім імпортована у програмний комплекс для дослідження аеродинаміки процесу повітроочищення. У результаті проведення комп'ютерного моделювання руху пилоповітряних потоків у пиловловлювачі та експериментальних досліджень апарата побудована тривимірна модель циклонного апарата з жалюзійним відокремлювачем. Аналіз такої моделі на основі методів скінчених об'ємів та рівнянь Нав'є-Стокса дав змогу розкрити фізичну суть руху повітряних потоків у новій конструкції пиловловлювача, значно знизити кількість експериментальних досліджень та провести їх більш цілеспрямовано; підтверджено доцільність застосування програмного пакету Flow Vision для моделювання руху повітряних потоків у апаратах нового типу; встановлено, що температура потоку має вплив на рух частинок пилу до стінки апарата: при температурі потоку 473 К частинки пилу, еквівалентний діаметр яких становить  $8 \cdot 10^{-6}$  м, досягають зовнішньої стінки апарата за півоберта навколо осі, тоді, як при підвищенні температури до 1173 К їх рух до периферії зупиняється; обґрунтовано доцільність охолодження повітряного потоку перед його потраплянням у пиловловлювач, що має позитивний вплив на сепарацію частинок пилу до зовнішньої стінки апарата і, як наслідок, підвищення ефективності їх уловлення.

Спільним недоліком багатьох відомих конструкцій пиловловлювачів є значне зниження ефективності їх роботи через необхідність частої заміни пиловловлювача, який виходить з ладу через високу температуру пилогазового потоку, що в нього подається, а також погіршенням аеродинамічних характеристик потоку через високу температуру пилогазового потоку, який у ньому рухається. Тому перед подачею у відцентрово-інерційний апарат повітряний потік необхідно



охолодити. З цією метою було запропоновано пиловловлюючу конструкцію з пилоосаджувальною камерою з зигзагоподібними гофрами (рис. 1).

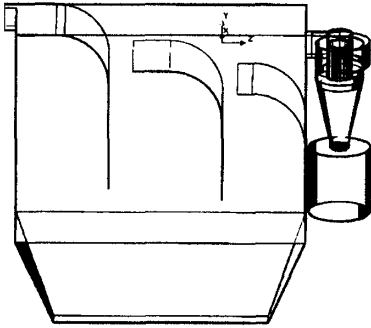


Рис. 1. Модель пиловловлюючої конструкції

Окрім зниження температури це дозволить знизити абразивність потоку за рахунок того, що в камері будуть вловлені грубодисперсні частинки. Охолоджений повітряний потік, з якого видалені найбільші частинки, буде подаватися у відцентрово-інерційний пиловловлювач. Процес сепарації буде проходити при кращих умовах, що дозволить підвищити його ефективність, одночасно знизивши гідравлічний опір апарата. На рис. 2 представлено рух повітряних потоків в апараті, який складається з пилоосаджувальної камери, яка під'єднана до відцентрово-інерційного пиловловлювача.

Колір траєкторії відображає температуру повітряного потоку. Температура на вході в камеру складає 1173 К. На вході в циклон – близько 473 К. Різниця температур складає 700 К. На рис. 3 показано розподіл температури потоку в пиловловлювальній установці.

Застосування пилоосаджувальної камери для зниження температури потоку має кілька переваг у порівнянні з охолоджувачем. По-перше гідравлічний опір пилоосаджувальної камери є незначним. По-друге за рахунок великої площі поверхні процес тепловіддачі буде проходити доволі швидко.

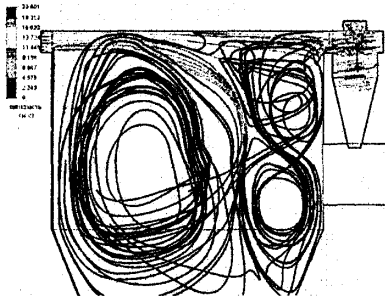


Рис. 2. Траєкторії руху пилоповітряних потоків у пиловловлювальній установці

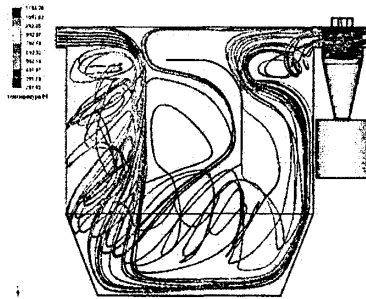


Рис. 3. Розподіл температури потоку в пиловловлювальній установці

У четвертому розділі, базуючись на створеній нами математичній моделі, розроблено принципово нові конструкції пиловловлювачів, які суміщають в одному корпусі два ступеня очищення: перший – циклонний – на половині оберту потоку після входу в апарат під дією відцентрової сили та другий – інерційний – при проходженні потоку через щілини між жалюзі відокремлювача, який встановлений коаксіально корпусу.

У основу роботи пиловловлювача із горизонтальним відокремлювачем, який представлено на рис. 4, закладено нове виконання та взаємне розташування

конструктивних елементів, що дозволило забезпечити незмінний осьовий напрямок пилогазового потоку, уникнути явища радіального стоку і турбулізації потоку на виході з апарата, внаслідок чого ступінь очищення зростає, а гідравлічний опір циклона при цьому зменшується. Запилений газ поступає через тангенціальний патрубок 4 в простір між корпусом апарата 1 і жалюзійним відокремлювачем 2 і закручується. Під дією відцентрових сил, які виникають при обертанні потоку, частинки пилу відкидаються до внутрішньої частини стінки корпусу 1 і по ній опускаються вниз під дією ваги.

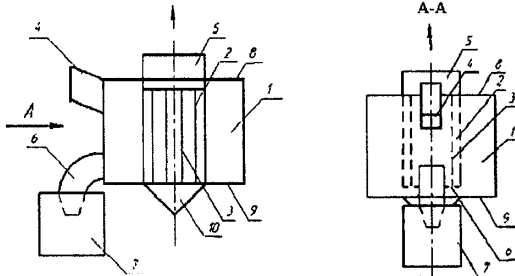


Рис. 4. Пиловлівлювач із горизонтальним відокремлювачем:

1 – корпус; 2 – жалюзійний відокремлювач; 3 – жалюзії; 4 – вхідний патрубок; 5 – патрубок виходу очищеного повітря; 6 – патрубок виходу пилу; 7 – бункер; 8 – кришка; 9 – днище корпусу; 10 – малий бункер

Випробування проводили на експериментальному стенді НУ «Львівська політехніка» з використанням експериментального (рис. 5 а, б) і цементного пилу (рис. 6, 7).

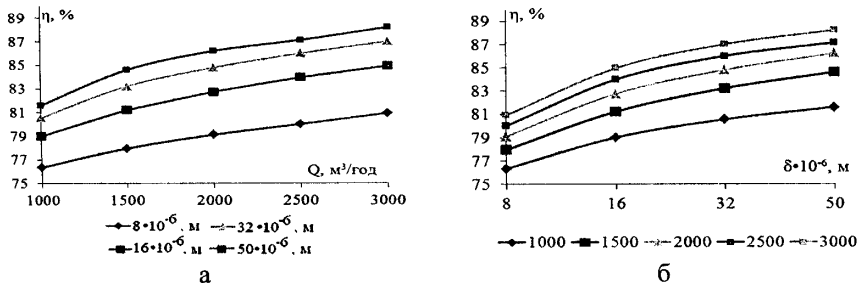


Рис. 5. Залежність ефективності роботи горизонтального пиловловлювача від:  
а – витрат повітря; б – медіанного діаметру пилу

Проведені експериментальні дослідження на стенді, згідно Єдиної методики проведення аналогічних досліджень доводять, що нам вдалося підвищити ефективність роботи пиловловлювача на 1,7 % (ефективність уловлення пилу розміром в межах 16–50 мкм на експериментальному пилу в середньому становить 86,7 %) в порівнянні з базовим апаратом (при тих самих умовах ефективність уловлення становить 85 %), знизивши при цьому гідравлічний опір апарата з 810 Па до 773 Па (на експериментальному пилу).

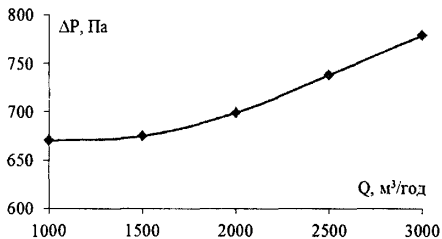


Рис. 6. Залежність гідравлічного опору горизонтального пиловловлювача від витрат повітря

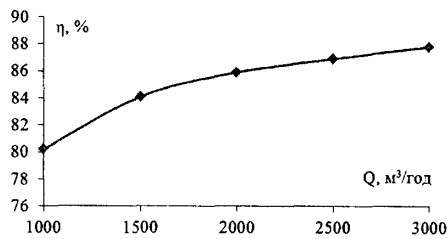


Рис. 7. Залежність ефективності роботи горизонтального пиловловлювача від витрат повітря

Дослідження на тому ж стенді горизонтального апарата проведені на цементному пилу довели доцільність його впровадження в процес виробництва цементу, проте необхідного високого ступеня очистки ми не досягнули, ефективність роботи даного апарата складає 87,8 % (для частинок більше 20 мкм), проте ефективність роботи в тих же умовах циклона ЦН-11 – 86,5 %.

Підвищення ефективності уловлення було досягнуто завдяки створенню апарата із попередньою очисткою (рис. 8), в якому відбувається додаткове попереднє очищення повітря від грубодисперсного пилу.

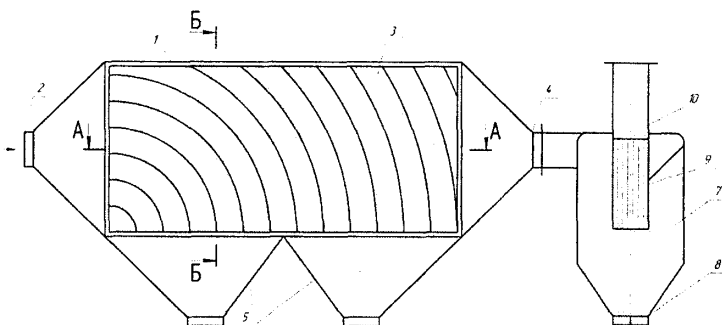


Рис. 8. Пиловловлювач із попередньою очисткою:

- 1 – циліндрично-конічний корпус попередньої очистки; 2 – вхідний патрубок; 3 – пакет пластин; 4 – вихлопний патрубок корпуса; 5 – приймальні воронки; 6 – зигзагоподібні канали; 7 – корпус пиловловлювача; 8 – патрубок виходу пилу; 9 – жалюзійний відокремлювач; 10 – патрубок виходу очищеного повітря

Пиловловлювач працює наступним чином. Запилене повітря через вхідний патрубок 2 попадає всередину корпуса 1, де при переході з меншого перерізу в більший втрачає швидкість. При цьому в будь-якому напрямку руху газ попадає в зигзагоподібні канали 6. Завислі частинки пилу під дією інерційних і гравітаційних сил рухаються по параболічних траєкторіях в напрямку приймальних воронок 5 і при зіткненні з гофрами в зигзагоподібних каналах 6 втрачають енергію і осідають у приймальних воронках 5. Очищений у першому апараті газ виводиться із корпуса 1 в корпус апарата 7 через патрубок 4, який є для другого пиловловлювача

тангенційним вхідним патрубком, через який він і вводиться в корпус 7 тангенційно. Проведені порівняльні дослідження запропонованого пиловловлювача із попередньою очисткою, де гофри на пластинах 3 пакету, параболічної форми і утворюють між собою зигзагоподібні канали 6 у всіх напрямках можливого руху потоку газу, з апаратом, всередині якого поперек потоку встановлений пакет пластин із прямими гофрами, на стандартному експериментальному пилю – кварцовому піску і на цементному пилю довели значні переваги першої конструкції апарата через виключення попадання грубодисперсного пилю всередину другого ступеня очистки запропонованого пиловловлювача, що важливо також для запобігання швидкості зносу його корпуса через значне зменшення концентрації та фракційного складу пилю.

Нааявність зигзагоподібних каналів 6 у всіх можливих напрямках руху газу запобігає створенню зон збільшеного тиску, а це, в свою чергу, призводить до збільшення ефективності роботи цього ступеня очистки і зниження гідралічного опору.

Порівнюючи одержані залежності з результатами дослідження горизонтального апарата встановлено, що застосування запропонованої конструкції пиловловлювача з зигзагоподібними гофрами дозволило підвищити ефективність уловлення пилю на 10,6 %, причому, доведено більш ефективну очистку повітря для експериментального (рис.9) та цементного пилю (рис. 10, 11) (ефективність уловлення становить 98,5 %), що пояснюється дисперсним складом цих пилових частинок для доведення викидів дрібнодисперсних фракцій до норм ГДК.

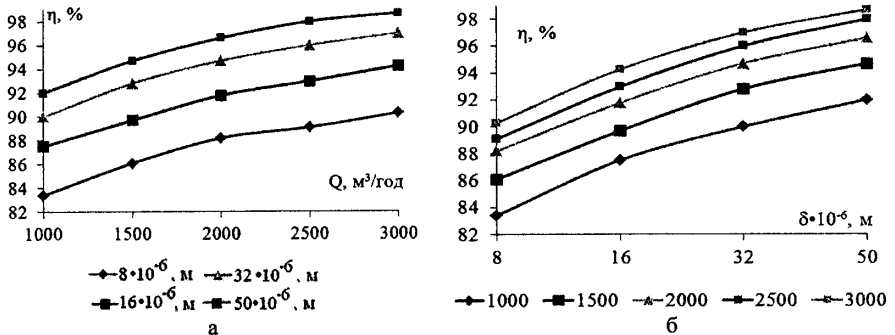


Рис. 9. Залежність ефективності роботи пиловловлювача із попередньою очисткою від: а – витрат повітря; б – медіанного діаметру пилю

Висока ефективність пилоочищення даного апарату досягається тим, що запилене повітря з високою температурою охолоджується в пилоосаджувальній камері (на 700 К). Для пересвідчення у ефективності охолодження запиленого потоку зроблено порівняння отриманих результатів із даними, одержаними при використанні теплообмінника.

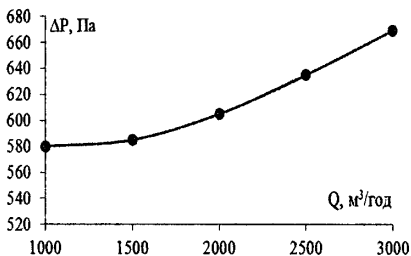


Рис. 10. Залежність гідравлічного опору пиловловлювача з попередньою очисткою від витрат повітря

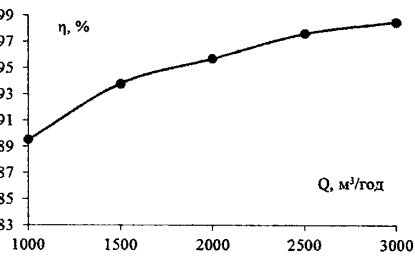


Рис. 11. Залежність ефективності роботи пиловловлювача з попередньою очисткою від витрат повітря

У апараті з теплообмінником охолодження пилоповітряної суміші відбувається в трубопроводі довжиною, що дорівнює трьом діаметрам апарата, виконаному у вигляді «труба в трубі», який охоплює змійовик (рис. 12).

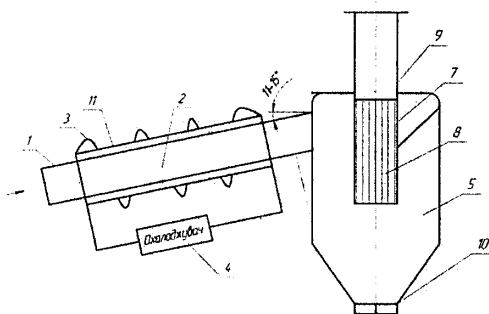


Рис. 12. Пиловловлювач із теплообмінником і змійовиком

- 1 – внутрішня труба теплообмінника;
- 2 – теплообмінник;
- 3 – змійовик;
- 4 – охолоджувач;
- 5 – зовнішня труба теплообмінника;
- 6 – тангенційний вхідний патрубок;
- 7 – циліндрично-конічний корпус попередньої очистки;
- 8 – зигзагоподібні канали;
- 9 – приймальні воронки;
- 10 – пиловипускний патрубок;
- 11 – вхідний патрубок циліндрично-конічного корпуса пиловловлювача;
- 12 – корпус пиловловлювача;
- 13 – жалюзійний відокремлювач;
- 14 – жалюзі;
- 15 – вихлопний патрубок.

Теплообмінник і тангенційний вхідний патрубок мають кут нахилу 10–15 градусів до корпусу пиловловлювача за напрямком руху потоку, що веде до збільшення закручення пилоповітряного потоку, а звідси і до збільшення відцентрової сили всередині корпусу апарата, за рахунок чого підвищується ефективність пиловловлення до 94,9 %. На експериментальному стенді НУ „Львівська політехніка” проведені порівняльні дослідження запропонованого пиловловлювача з використанням експериментального (рис. 13) та цементної пилу (рис. 14, 15) при витратах повітря 3000 м<sup>3</sup>/год.

Отже, пиловловлювач з теплообмінником має ступінь уловлення 94,9 % і гідравлічний опір – 656 Па, та 93,4% при дослідженні цементного пилу, гідравлічний опір 689 Па. Проте недоліком є те, що даний апарат недостатньо

охолоджує запилене повітря, всього на 473 К. Натомість пиловловлювач із попередньою очисткою у камері задовольняє наші вимоги та охолоджує запилене повітря на 700 К, ефективність уловлення становить 98,7 % та гідравлічний опір – 657 Па, при дослідженні на цементному пилу ефективність – 98,5%, а гідравлічний опір 669 Па.

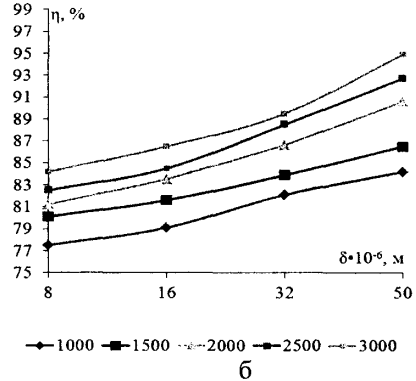
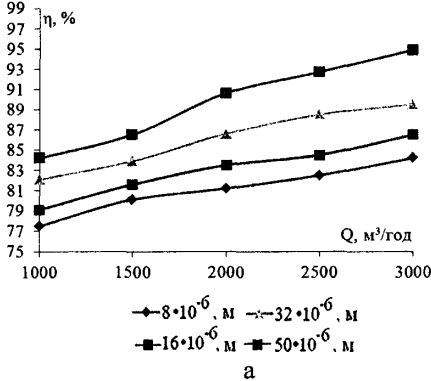


Рис. 13. Залежність ефективності роботи пиловловлювача з теплообмінником від: а – витрат повітря; б – медіанного діаметру пилу

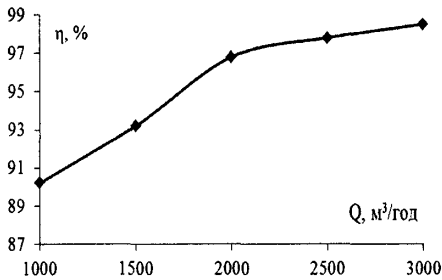


Рис. 14. Залежність ефективності роботи пиловловлювача з теплообмінником від витрат повітря на цементному пилу

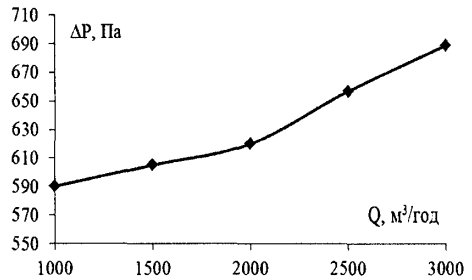
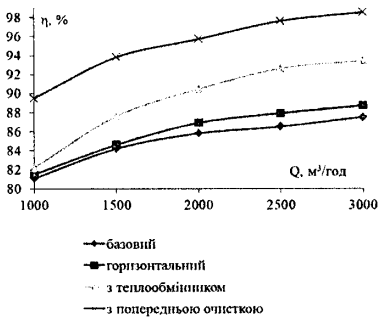


Рис. 15. Залежність гідравлічного опору пиловловлювача з теплообмінником від витрат повітря на цементному пилу

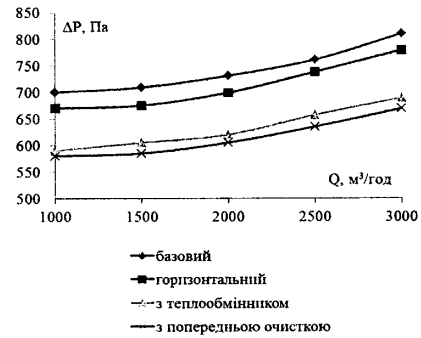
Оскільки завданням було створити пиловловлювач для очистки повітря від цементного пилу тому була вибрана конструкція апарату, який включає в себе найкращі характеристики запропонованих та описаних вище апаратів, а саме пиловловлювач із попередньою очисткою у камері (рис. 8).

Результати порівняльних досліджень всіх запропонованих апаратів на цементному пилу при витратах повітря 3000 м<sup>3</sup>/год. представлені на рис. 16 а, б.

Порівняльні дослідження запропонованих конструкцій пиловловлювачів із базовим (ЦН-11) довели переваги кожного з них і дозволили констатувати факт можливості зниження викидів пилу до норм ГДК, тобто значно поліпшити екологічну обстановку.



а



б

Рис. 16. Порівняльні залежності досліджень запропонованих апаратів на цементному пилу від витрат повітря: а – залежності ефективності уловлення; б – залежності гідравлічного опору запиленого потоку

У п'ятому розділі представлено практичне застосування результатів досліджень. Охарактеризовано ефективність уловлення пилу в цементній промисловості, експериментально визначені інтенсивності пиловидалення при виробництві цементу, дисперсний склад пилу, який при цьому утворюється, і його фізико-хімічні та механічні властивості. Запропонована схема знепилення з використанням пиловловлювача для цементного виробництва на ПАТ «Івано-Франківськцемент», дозволила підвищити на 12% ефективність уловлення дрібнодисперсного пилу, знизивши тим самим викиди шкідливих речовин у довкілля і досягти нормативних значень ГДК.

Для оцінки зниження техногенного навантаження на довкілля побудовано карти розсіювання пилу, до та після впровадження запропонованої нами конструкції пиловловлювача (рис. 17,18).

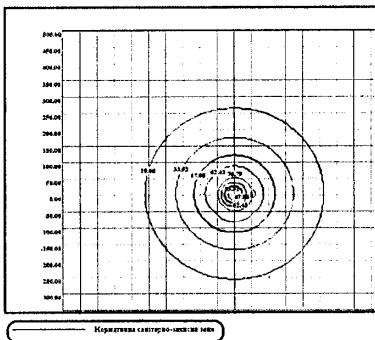


Рис. 17. Карта розсіювання цементного пилу на ПАТ «Івано-Франківськцемент», обладнаних циклоном ЦН-11

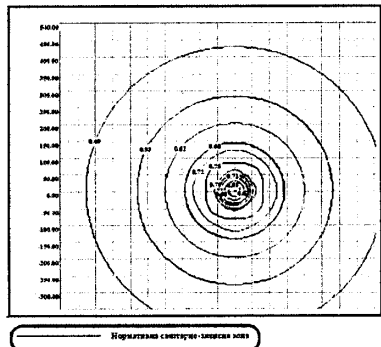


Рис. 18. Карта розсіювання цементного пилу на ПАТ «Івано-Франківськцемент» після впровадження запропонованої конструкції пиловловлювача

Результати розрахунку і аналіз карт розсіювання шкідливих речовин в приземному шарі атмосферного повітря показали, що для всіх джерел викиду, які обладнані пиловловлювачами ЦН-11, виявлено перевищення ГДК для цементного пилу, при цьому максимальні концентрації в частках ГДК дорівнюють для п'яти пиловловлювачів – 2,1493. У випадку джерел викиду, що обладнані розробленими пиловловлювачами, перевищень ГДК не спостерігається.

У цьому ж розділі наведено економічне обґрунтування впровадження запропонованих автором пиловловлювачів на цементному підприємстві і розрахований економічний ефект, який складає 78351 грн. на рік.

## ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі вирішена актуальна науково-прикладна проблема щодо зниження техногенного навантаження на довкілля підприємствами цементної промисловості шляхом удосконалення системи пилоочищення з застосуванням розроблених пиловловлюючих апаратів. Основні наукові та практичні результати і висновки роботи полягають у наступному:

1. На основі проведеного моніторингу техногенного впливу підприємств цементної промисловості на довкілля, обґрунтована необхідність удосконалення пиловловлюючого обладнання для зменшення негативного впливу на навколишнє середовище. Альтернативою на сьогодні є вдосконалення пиловловлюючих існуючих конструкцій шляхом поєднання кількох ступеней очистки, здатних високоефективно вловлювати дрібнодисперсні фракції пилу з метою досягнення вимог ГДК.

2. Досліджено характеристики пилу як чинника формування екологічної небезпеки цементного виробництва в умовах конкретного об'єкту ПАТ «Івано-Франківськцемент». Визначено запиленість повітря, форму частинок і концентрацію пилу, швидкості його осадження, адгезійні властивості та гігроскопічність. Вибір оптимального методу вимірювань для конкретного випадку контролю можливий тільки при визначенні властивостей пилу у викидах, основних закономірностей їх зміни, супроводжуваних факторів, які негативно впливають на процес вимірювань, при урахуванні всіх позитивних і негативних характеристик методу. Вдосконалено розроблену конструкцію експериментального стенду для проведення експериментальних досліджень процесу очищення аспіраційного повітря в пиловловлювачах, який повністю відповідає вимогам, які ставляться до таких випробувань «Єдиною методикою порівняльних досліджень пиловловлювачів».

3. Проведено математичне моделювання процесів очищення пилогазової суміші цементних виробництв, а саме проведено моделювання траєкторій руху частинок пилу, їх швидкостей, статичного та динамічного тисків у різних перерізах створених конструкцій пиловловлювачів і обґрунтована правильність їхнього вибору. Підтверджено доцільність застосування програмного пакету FlowVision, за допомогою якого обґрунтовано доцільність охолодження повітряного потоку перед його потраплянням у пиловловлювач, що має



позитивний вплив на швидкість руху частинок пилу до зовнішньої стінки апарата і, як наслідок, підвищення ефективності їх уловлення.

4. Проведено експериментальні дослідження розроблених нових конструкцій пиловловлювачів: пиловловлювач із горизонтальним відокремлювачем, пиловловлювач із попередньою очисткою в камері, пиловловлювач із теплообмінником. Порівняльні дослідження довели переваги запропонованих пиловловлювачів перед циклоном ЦН-11. Конструкція апарата з попередньою очисткою за рахунок розміщення пилоосаджувальної камери перед пиловловлювачем, яка є найкращою із запропонованих, дозволила на 12% підвищити ефективність уловлення пилу, знизивши температуру на 700 К, зменшивши гідравлічний опір на 141 Па, що відповідно дозволить зменшити кількість викидів пилу у довкілля.

5. Показано еколого-економічну доцільність реорганізації традиційних схем пилоочищення (на прикладі ПАТ «Івано-Франківськцемент») із заміною існуючих циклонів ЦН-11 на розроблені пиловловлювачі нової конструкції. Економічний ефект від впровадження складає 78351 грн. на рік. Економічна оцінка збитків, що спричиняють викиди цементного пилу в повітря робочої зони, показує, що використання розробленого пиловловлювача в установці для очистки повітря від пилу зменшує збитки у 9 разів. Перспектива впровадження таких пиловловлюючих конструкцій в аналогічні підприємства дасть змогу знизити викиди дрібнодисперсного пилу в довкілля, що призведе до покращення екологічної ситуації в районах розміщення даних виробництв.

## СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Дослідження траєкторій руху зважених частинок у закручених потоках / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Е.В. Романцов // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – Донецьк: ДНТУ. – 2010. – Вип. 18 (172). – С. 25–36. *Здобувачем проведено математичне моделювання траєкторій руху частинок пилу у різних перерізах створених конструкцій пиловловлювачів, а також обґрунтовано правильність їхнього вибору.*

2. Фізична суть процесів, що протікають в пиловловлюючому апараті, який застосовується в технологіях машинобудування / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Е.В. Романцов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія машинобудування. – К.: НТУУ «КПІ». – 2010. – №62. – С. 6–10. *Здобувачем досліджено процеси розділення гетерогенних систем, які протікають у пиловловлюючому апараті.*

3. Модель впливу інерційних сил і сил опору на рух частинки у відцентрово-інерційних пиловловлювачах / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Е.В. Романцов // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут. – К. : НТУУ «КПІ». – 2011. – №63. – С. 180–184. *Здобувачем досліджено процес сепарації пилових частинок, описано рух двохфазного потоку в пиловловлювачі нової конструкції.*

4. Результати дослідження принципово нової конструкції пиловловлювача / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Е.В. Романцов // Збірник наукових праць

Подільського аграрно-технічного університету «Сучасні проблеми збалансованого природокористування». – Кам'янець-Подільський. 2011. – С. 192–195. *Здобувачем запропоновано результати досліджень ефективності уловлення дрібнодисперсного пилу нової конструкцію пиловловлювача, сформульовано сучасні екологічні проблеми забруднення атмосферного повітря.*

5. Математична модель руху зважених частинок у закручених потоках / В.А. Батлук, М.В. Басов, **Н.М. Параняк** // Науково-технічний журнал «Екологічна безпека та збалансоване ресурсокористування». – Івано-Франківськ. – 2012. – № 2 (6). – С. 96–101. *Здобувачем проведено математичне моделювання швидкостей, статичного та динамічного тисків у різних перерізах створених конструкцій пиловловлювачів, а також обґрунтовано доцільність їхнього вибору.*

6. Один із шляхів вирішення екологічних проблем у галузі охорони атмосферного повітря / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Р.Ю. Сукач // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка і пневматика». – Вінниця. – Вип. (3) 37 – 2012. – С. 3–7. *Здобувачем проведено аналіз стану забруднення атмосфери при виробництві цементу та оцінку ефективності існуючих апаратів для очистки запиленого повітря, запропоновано нову конструкцію пиловловлювача.*

7. Наукові основи створення відцентрово-інерційних пиловловлювачів із жалюзійним відокремлювачем / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк** // Всеукраїнський науково-технічний журнал «Промислова гідраліка і пневматика». – Вінниця. – Вип. (2) 40 – 2013. – С. 31–36. *Здобувач брав участь у дослідженні фізичних процесів турбулентного потоку, які відбуваються в відцентрово-інерційних пиловловлювачах.*

8. Один из путей снижения экологических последствий чрезвычайных ситуаций / В.А. Батлук, В.В. Батлук, **Н.М. Параняк** // Science and Education. Сборник трудов «Наука и образование». – Рим (Італія). – 2011. – С. 82–85. *Здобувачем проведено детальний огляд найкращих з існуючих пиловловлювачів, а також обґрунтована необхідність удосконалення пиловловлюючого обладнання.*

9. Математична модель пилоочистки з врахуванням руху частинок у пристінковому шарі пиловловлювача / В.Г. Макаруч, **Н.М. Параняк** // Motrol motoryzacja i energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2011. – Vol. 13D. – P. 122–129. *Здобувачем проведено дослідження фізичної суті явищ, які протікають в пиловловлювачах, а також визначення розподілу тисків і швидкостей руху частинок в них.*

10. The problem of highly effective cleaning of air from dust / V. Batluk, E. Romanzov, **N. Paranyak** // Econtechmod an international quarterly journal on economics of technology and modelling processes. – Lublin–Lviv–Cracow. – 2012. – Vol. 1. – № 1. – P. 9–12. *Здобувачем проведено детальний огляд найкращих з існуючих пиловловлювачів, а також обґрунтована необхідність удосконалення пиловловлюючого обладнання.*

11. Building a performance factors model for a new design dust collector / V. Batluk, **N. Paranyak** // Econtechmod an international quarterly journal on

economics of technology and modelling processes. – Lublin–Lviv–Cracow. – 2012. – Vol. 1. – № 3. – P. 3–8. *Здобувачем наведений принцип побудови моделі факторів ефективності роботи новоствореного пиловловлювача з метою визначення пріоритетності впливу основних з них на ефективність його роботи.*

12. Один із путей рішення проблеми усунення промислової небезпеки створюваної мелкодисперсною пилюю / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Р.Ю. Сукач // Журнал наука в центральній Росії. – Тамбов – 2013. – № 2. – С. 61–67. *Здобувачем розроблено математичну модель процесу пиловловлення створених апаратів.*

13. Mathematical model of dust cleaning process in centrifugal-inertial dust collector/ V. Batluk, **N. Paranyak** V. Makarchuk // Econtechmod an international quarterly journal on economics of technology and modelling processes. – Lublin–Lviv–Cracow. – 2013. – Vol. 2. – № 2. – P. 9–16. *Здобувачем підтверджено доцільність застосування програмного пакету Flow Vision для моделювання руху повітряних потоків у пиловловлювачах нового типу.*

14. Пат. 20786 Україна. Циклон із горизонтальним віддільником / Батлук В.А., **Параняк Н.М.** – заявка 2006 08582 В01 Д45/00 від 31.07.06; опубл. 15.02.2007, Бюл. №2. – 6 с. *Здобувач є автором ідеї винаходу, а конкретно – горизонтального віддільника.*

15. Пат. 50126 Україна. Пиловловлювач із попередньою очисткою / Батлук В.А., **Параняк Н.М.** – заявка 2009 12660 В01 Д45/00 від 07.12.09; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10. – 8 с. *Здобувач є автором камери попередньої очистки.*

16. Пат. 50128 Україна. Пиловловлювач із теплообмінником і змійовиком / Батлук В.А., **Параняк Н.М.** – заявка 2009 12666 В01 Д45/00 від 07.12.09; опубл. 25.05.2010, Бюл. № 10. – 8 с. *Здобувач є автором теплообмінника та змійовика.*

17. Високоєфективне пиловловлююче обладнання – невід’ємна частина енергозберігаючих технологій та охорони довкілля / В.А. Батлук, О.О. Хомик, **Н.М. Параняк** // VII Всеукраїнська наукова конференція студентів, магістрів та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології», 24 – 26 бер., 2010 р.: тези доп. – Житомир, 2010. Том 1. – С. 21–22. *Здобувачем проаналізовані та створені дослідні моделі апаратів, описано процес проведення комп’ютерного моделювання процесів, які в них відбуваються.*

18. Новий метод пиловловлення в технологіях виготовлення машин і обладнання / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, О.В. Мельников // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції. «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». (MINTT) Херсон: Херсонський державний морський інститут. – 2010. – С. 176–179. *Здобувачем досліджено процеси, які протікають у відцентрово-інерційних апаратах, створення на їх основі принципово нових пиловловлювачів з підвищеною ефективністю роботи і зменшеними енерго- та металоемностями.*

19. Один із шляхів зниження концентрації пилу / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк** // Збірник наукових праць. Спеціальний випуск до V науково-практичної конференції «Сучасні проблеми збалансованого

природокористування». – Кам'янець-Подільський: Подільський державний аграрно-технічний університет. – 2010. – С. 167–169. *Здобувачем наведені результати експериментальних досліджень новоствореної конструкції пиловловлювача з попереднім охолодження пилогазового потоку.*

20. Наукові основи створення апаратів для очистки повітря від дрібнодисперсного типу принципово нового типу / В.А. Батлук, О.І. Дмитренко, **Н.М. Параняк** // Матеріали VIII міжнародної наукової конференції студентів, магістрів, та аспірантів «Сучасні проблеми екології та геотехнології», 23 - 25 берез., 2011 р.: тези доп. – Житомир. – 2011. – С. 42. *Здобувачем запропоновано технічні рішення, що дозволяють знизити техногенний вплив дрібнодисперсного пилу на довкілля.*

21. Очистка повітря від пилу в цементній промисловості / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Е.Д. Бочкало // Захист навколишнього середовища. Енергозощадність. Збалансоване природокористування: 2-й міжнародний конгрес, 19 – 22 верес., 2012 р. : тези доп. – Львів: НУ «Львівська політехніка», – 2012. – С. 165 *Здобувачем проведено моніторинг основних джерел забруднення в цементній промисловості, та доцільність необхідності створення ефективних пиловловлювачів, наведені результати проведених експериментальних досліджень новостворених апаратів на цементному пилу.*

22. Побудова моделі факторів ефективності роботи теплообмінника пиловловлювача нової конструкції / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, О.В. Мельников // Матеріали VI міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» MINTT – 2012. – Херсон. – Т. 2. – 2012. – С. 137–143. *Здобувачем наведено принцип побудови моделі факторів ефективності роботи новоствореного пиловловлювача з метою визначення пріоритетності впливу основних з них на ефективність його роботи.*

23. Економічна ефективність впровадження відцентрово-інерційних пиловловлювачів при виробництві цементу / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Н.П. Олексів // Промислова гідраліка і пневматика: XIII міжнар. наук.-техніч. конф., 19 – 20 верес., 2012 р. : тези доп. – Чернігів: АС ПГП, 2012. – С. 111–112. *Здобувачем наведено економічне обґрунтування впровадження запропонованих автором пиловловлювачів на цементному підприємстві.*

24. Експериментальні дослідження відцентрово-інерційних пиловловлювачів для уловлення цементного пилу/ В.А. Батлук, **Н.М. Параняк**, Р.Є. Стець // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XVIII міжнар. наук.-техніч. конф., 21 – 24 верес., 2013 р. : тези доп. – Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 145 с. *Здобувачем наведені результати дослідно-промислових досліджень роботи запропонованих пиловловлювачів.*

25. Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилу / В.А. Батлук, **Н.М. Параняк** // IV-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (Екологія / Ecology–2013). – Вінниця. – 2013. – С. 72–75. *Здобувачем розглянуто перспективні методи забезпечення екологічної безпеки довкілля.*

## АНОТАЦІЯ

**Параняк Н.М. Удосконалення методів зниження техногенного навантаження на довкілля пилових викидів цементного виробництва. – Рукопис.**

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу, Івано-Франківськ, 2014.

У дисертації досліджено процеси пилоочищення в апаратах для очистки повітря від цементного пилу. Побудовано моделі факторів ефективності роботи новоствореного пиловловлювача з метою визначення пріоритетності впливу основних із них на ефективність його роботи. Проведено математичне моделювання траєкторій руху частинок пилу, їхніх швидкостей, статичного та динамічного тисків у різних перерізах створених конструкцій пиловловлювачів і обґрунтована правильність їхнього вибору. Обґрунтовано доцільність охолодження повітряного потоку перед його потраплянням у пиловловлювач, що має позитивний вплив на сепарацію частинок пилу до зовнішньої стінки апарата і, як наслідок, підвищення ефективності їхнього уловлення. Досліджено гідравлічний опір, ефективність роботи, розподіл статичного тиску в сепараційній зоні пиловловлювача експериментальним шляхом та за допомогою комп'ютерного моделювання. Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах цементної галузі.

**Ключові слова:** ефективність пиловловлення, виробництво цементу циклон, жалюзійний відокремлювач, гідравлічний опір.

## АННОТАЦИЯ

**Параняк Н.М. Усовершенствование методов снижения техногенной нагрузки на окружающую среду пылевых выбросов цементного производства. – Рукопись.**

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Ивано-Франковский национальный технический университет нефти и газа, Ивано-Франковск, 2014.

В диссертации исследованы процессы очистки воздуха в пылеулавливающих аппаратах от цементной пыли и обоснованно целесообразность применения пылеуловителей с горизонтальным расположением жалюзийного отделителя, с предварительной очисткой, с теплообменником и змеевиком и комбинированного для повышения эффективности очистки воздуха от мелкодисперсных фракций пыли. Построены модели факторов эффективности работы вновь созданного пылеуловителя с целью определения приоритетности влияния основных из них на эффективность его работы. Построена трехмерная модель центробежно-инерционного аппарата, анализ которой на основе методов законченных объемов и уравнений Навье-Стокса дал возможность раскрыть физическую суть движения воздушных потоков в новой конструкции пылеуловителя, значительно снизить количество экспериментальных исследований и провести их более целенаправленно. Проведено математическое моделирование траекторий движения частиц пыли, их скоростей, статического и динамического давлений в разных сечениях созданных конструкций пылеуловителей и обоснована правильность их

выбора. Обоснованно целесообразность охлаждения воздушного потока перед его попаданием в пылеуловитель, которое имеет позитивное влияние на сепарацию частиц пыли к внешней стенке аппарата и, как следствие, повышение эффективности их улавливания. Исследовано гидравлическое сопротивление, эффективность работы, распределение статического давления в сепарационной зоне пылеуловителя экспериментальным путем и с помощью компьютерного моделирования. Разработаны три конструкции пылеуловителей и описаны оптимальные соотношения их геометрических размеров, размещение жалюзи в отделителе и технологические параметры процесса очистки воздуха. Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях цементной отрасли. Результаты расчета и анализ карт рассеивания вредных веществ в приземном слое атмосферного воздуха показали, что для всех источников выбросов, которые оборудованы пылеуловителями ЦН-11, обнаружено превышение ПДК для цементной пыли, при этом максимальные концентрации в частицах ПДК равняются для пяти пылеуловителей – 2,549 ПДК. В случае источников выбросов, которые оборудованы разработанными пылеуловителями, превышений ПДК не наблюдается ни в одном населенном пункте. Внедрение пылеуловителей нашей конструкции для очистки выбросов цементного и известкового производств позволило только путем замены существующих аппаратов пылеочистки (циклонов ЦН-11) увеличить эффективность улавливания пыли, уменьшив при этом гидравлическое сопротивление и габаритные размеры установки и довести концентрацию их до норм предельно допустимых концентраций.

**Ключевые слова:** эффективность пылеочистки, цементное производство, циклон, жалюзионный отделитель, гидравлическое сопротивление.

### ABSTRACT

**Paranyak N.M. Improvement of methods to reduce the technogenic impact on the environment of dust emissions in cement production. – Manuscript.**

Dissertation on the receipt of scientific degree of candidate of engineering sciences after speciality 21.06.01 – ecological safety – ecological safety is the Ivano-Frankivsk national technical university of oil and gas, Ivano-Frankivsk, 2014.

The dissertation investigates dust collection processes in machines for air cleaning of cement dust. Models of effectiveness factors of the newly created dust collector have been developed to determine the priority of the influence of the main factors on its efficiency. Mathematical modelling of movement trajectories of dust particles, their velocities, static and dynamic pressures in different sections of the constructed dust collectors has been carried out and accuracy of the choice has been justified. Expediency of airflow cooling before entering the dust collector has been proved. It has a positive impact on the separation of the dust particles at the outer wall of the device and, consequently, the efficiency of dust collection increases. Calculations of hydraulic resistance, effectiveness, static pressure distribution in the separation zone of the dust collector are done both experimentally and with the help of computer modelling. The results of the dissertation have been implemented at the enterprises of the cement industry.

**Keywords:** dust collection, efficiency, cement production, cyclone, jalousie separators, hydraulic resist

