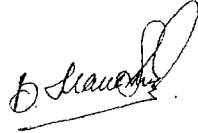


621.928 (043)
М 15

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

Макарчук Віктор Григорович



УДК 621.928.9 + 628.514

М 15

УДОСКОНАЛЕННЯ ГАЗООЧИСНОГО УСТАТКУВАННЯ
ДЛЯ ЗМЕНШЕННЯ ЗАБРУДНЕННЯ ДОВКІЛЛЯ НЕОРГАНІЧНИМ
ПИЛОМ

21.06.01 – Екологічна безпека

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Івано-Франківськ – 2013

Дисертацією є рукопис.

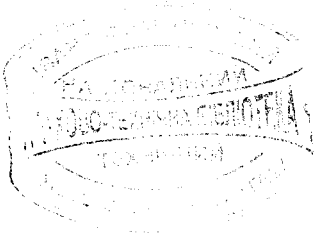
Робота виконана на кафедрі охорони праці Національного університету «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник:

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

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Фінкельштейн Зельман Лазаревич,
Донбаський державний технічний університет,
завідувач кафедри прикладної гідромеханіки;



доктор технічних наук, професор
Шостак Володимир Васильович,
Національний лісотехнічний університет України,
професор кафедри деревообробного обладнання та
інструментів.

Захист відбудеться » 31 » жовтня 2013 р. о 14.30 годині 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 бібліотеці Івано-Франківського національного технічного університету нафти і газу за адресою: 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15.

Автореферат розісланий » 30 » вересня 2013 р.

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради

В.Р.Хомин



ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Надзвичайно важливим чинником, що істотно впливає на територіальну організацію усього соціально-економічного життя і ефективність виробництва, є екологічна обстановка, яка в останні десятиліття в Україні істотно погіршилася через розвиток промисловості при застарілих технологіях і пов'язаною з цим надмірною урбанізацією багатьох районів. Основоволожні постулати концепції сталого розвитку людства ґрунтуються на розумінні тісного взаємозв'язку екологічних, економічних і соціальних проблем, що, в свою чергу, змушує до об'єднання наукових доробок провідних фахівців, зокрема, проблем ринку та економіко-екологічних досліджень.

Єдиним шляхом покращення стану техногенної та екологічної безпеки вбачається тотальна екологізація суспільства та удосконалення алгоритмів дій з ліквідації надзвичайних ситуацій з використанням міжнародних стандартів зі сфери управління, в першу чергу стандартів ISO 14001 та ISO 9000.

Займаючи лише 2,7 % території колишнього СРСР, на якій проживало 18 % населення, Україна виробляла понад 17 % промислової та близько 22 % сільськогосподарської продукції, що зумовило, в свою чергу, велику концентрацію техногенно-небезпечних підприємств різноманітних напрямків господарської діяльності на одиницю площі території. В цій низці питань вагомий внесок вносять підприємства, які викидають у навколишнє середовище колосальну кількість неорганічного пилу, тому питання очистки повітря займає одне з головних завдань екологів всього світу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась згідно з планом науково-дослідницької роботи кафедри "Охорона праці" Національного університету "Львівська політехніка" з проблеми "Нові методи очистки повітря від пилу". Основні положення дисертаційної роботи виконувались згідно з науково-технічною програмою Міністерства освіти і науки, молоді та спорту України "Нові напрямки очистки повітря від пилу (ДР № 0107U010240).

Мета і завдання дослідження – покращення екологічного стану атмосфери шляхом удосконалення пилоочисного устаткування для зменшення забруднення довкілля неорганічним пилом за рахунок підвищення ефективності і зменшення енерго- і металоємкості пиловловлювачів з урахуванням математичної моделі і аналізу пилоповітряних потоків у них.

Для досягнення поставленої мети вирішувалися наступні завдання:

– проведені аналіз сучасного стану екологічної безпеки при забрудненні атмосфери неорганічним пилом, проаналізований стан досліджень аеродинаміки закрученого двофазного потоку всередині відцентрових апаратів, які застосовуються для локалізації цих забруднень та обґрунтований обраний напрямок роботи;

– вивчити і встановити закономірності руху частинок в робочому об'ємі розробленого апарата, під дією сил різної природи з наступним визначенням

умов розділення гетерогенних систем і оцінкою сил опору в різних зонах переміщення пилоповітряної суміші;

- розроблено математичну модель системи «пилловловлювач – пилоповітряна суміш», яка дозволяє встановити аналітичні залежності для оцінки опору пилоповітряної суміші на всіх ділянках їх руху;

- систематизовано та розроблено конструктивні схеми принципово нових пилловловлювачів з багатоступеневою системою очистки, здатних високоефективно вловлювати дрібнодисперсні фракції неорганічного пилу при зменшених енерго- і метало витратах;

- виявлені закономірності руху твердих зважених частинок у робочому об'ємі сконструйованих апаратів під дією сил різної природи з наступним визначенням умов розділення гетерогенних систем і оцінкою сил опору в різних зонах переміщення пилоповітряної суміші;

- проведені випробування розроблених пилловловлювачів на дослідному експериментальному стенді та у конкретних умовах виробництва з метою оцінки ефективності їх роботи, визначено основні характеристики процесу та співставлено теоретичні і експериментальні результати, а також проведено порівняльні дослідження цих результатів з характеристиками пилловловлюючого апарату, вибраного в якості еталону;

- оцінено екологічну та економічну ефективність впроваджених у виробництво апаратів.

Об'єкт дослідження: процес виділення дрібнодисперсних частинок аерозоллю неорганічного пилу із пилоповітряного потоку.

Предмет дослідження: відцентрово-інерційне газоочисне устаткування.

Методи дослідження ґрунтуються на системному науково обґрунтованому аналізі теоретичних досліджень, моделюванні та прогнозуванні. При вирішенні поставлених задач використовувалася аналіз науково-технічної інформації, методи статистичного аналізу, математичного та чисельного моделювання та експериментальний метод. Для вирішення поставлених завдань використовувались наступні методи: гідродинамічний – для визначення швидкостей, витрат повітря та втрат тиску; ваговий – для визначення ефективності очистки; седиментаційний – для визначення складу пилу.

Достовірність і обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів підтверджена коректним використанням сучасних методів математичної фізики, теорії ймовірності, значним об'ємом експериментальних досліджень, застосуванням сучасних засобів вимірювань і методів експериментальних досліджень; експериментальним підтвердженням моделей і методик розрахунків.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у створенні наукових основ проєктування пилловловлювачів для дрібнодисперсних частинок неорганічного пилу, які базуються на вивченні закономірностей руху пилоповітряної суміші в закручених потоках, що мають місце в елементах конструкцій апаратів з урахуванням математичних моделей процесу руйнування великомасштабних турбулентних вихорів.

Основні наукові результати роботи полягають у наступному:

- вперше отримані основні залежності для оцінки гідравлічного опору пиловловлювачів в прямолінійних, криволінійних потоках, плоскому вихорі та у вихоростопі, що дало можливість визначити зони ефективного розділення і механізм регулювання цих потоків, а також дозволило сконструювати принципово нові їх типи;

- удосконалена математична модель процесу руху частинок пилу в корпусі апарата та при проходженні через жалюзі відокремлювача; яка, на відміну від існуючих моделей, дозволяє отримати розрахунки їх сепараційної здатності, які, на відміну від інших, враховують геометричні параметри жалюзійного відокремлювача та розташування жалюзі в ньому;

- удосконалено теоретичне обґрунтування доцільності поєднання відцентрового та інерційного способів уловлювання пилу в одному апараті, яке базується на розрахунково-експериментальних даних, що дозволяє розробку нових технічних рішень;

- отримало подальший розвиток теоретичне пояснення залежності траєкторії руху пилоповітряної суміші від вхідних параметрів потоку і геометричних розмірів як самого пиловловлювача, так і жалюзійного відокремлювача з певним розташуванням жалюзі, що дозволяє прогнозувати технологічні параметри апаратів з урахуванням характеристик пилу та його впливу на довкілля.

Практичне значення отриманих результатів для екологічної безпеки полягає в тому, що теоретичні положення, викладені в дисертації, доведені до рівня конкретних практичних рішень та дозволяють зменшити навантаження неорганічного пилу на навколишнє середовище, а відтак реально підвищити рівень екологічної безпеки техногенно навантажених урбанізованих екосистем, а саме:

- сконструйовані, досліджені і впроваджені у виробництво принципово нові конструкції жалюзійних відокремлювачів пилоочисного устаткування, новизна яких підтверджена патентами України;

- визначені основні геометричні розміри апаратів, конструктивні розміри жалюзійного відокремлювача, його положення в корпусі і схема розташування жалюзі в ньому;

- отримані методики розрахунку і проведена оцінка ефективності систем пиловловлення, режимів роботи і критеріїв оптимального їх вибору, які дозволяють враховувати при розрахунку особливості виробництва і тип пилу, який при цьому виділяється, з метою прогнозу екологічної ситуації у даному регіоні;

- розроблені та впроваджені у виробництво установки для очистки повітря від пилу, який утворюється в цеху ВАТ «Львівський локомотивний завод» (підтверджено актами випробування та впровадження), що дозволило значно знизити запиленість довкілля та покращити санітарно-гігієнічні умови праці.

Особистий внесок автора. Положення і результати, що виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані здобувачем особисто. Особистий внесок здобувача у роботах, опублікованих у співавторстві, полягає у наступному: проведений аналіз джерел викидів пилу та його негативний вплив на

навколишнє середовище і населення [2,7,19,20,27,30], спроектований експериментальний стенд і проведені експериментальні дослідження [1,3,5,6,8,10,11,12], проведена обробка і аналіз експериментальних даних, визначені морфометричні, фізико-хімічні і дисперсні характеристики пилу [5,27], прийняв участь у теоретичному аналізі класичних рівнянь і створенні математичної моделі процесу руху частинок в апараті [9,15,16,17,31], необхідної для розв'язку і конструювання відцентрово-інерційних пиловловлювачів; створив дослідні моделі апаратів [24,25,26], проведено комп'ютерне моделювання процесів, які досліджувалися [4,13], впровадив результати роботи у виробництво [6,8,14], в постановці завдання досліджень [18,21,22,28], аналізі і обговоренні отриманих результатів [4,20,23,29], формуванні мети та завдань дисертаційної роботи та безпосередній участі на всіх етапах її виконання від збору інформації до її опрацювання і застосування в проведених дослідженнях здобувач приймав участь спільно з науковим керівником.

У співавторських публікаціях особистий внесок автора дисертації є основним. У патентах на винаходи автору належить розробка загальних ідей і участь у формулюванні різноманітних ознак.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації обговорювалися на наступних міжнародних та українських конференціях: Міжнародна науково-методична конференція «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика» (Миколаїв, 2008 р.); IX міжнародна конференція АС ПГЧ «Промислова гідравліка і пневматика» (Кременчук, 2008 р.), Міжнародна наукова конференція «Охорона праці та соціальний захист працівників» (Київ, 2008 р.); Международная научно-техническая студенческая конференция (Донецк: ДонНТУ, 2008); 5 з'їзд радіобіологічного товариства України (Ужгород, 2009 р.), The Problem of Highly Effective Cleaning of air from dust / Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power in Agriculture 11/2009 (Lublin, 2009 р.); XI міжнародна науково-практична конференція з проблем видавничо-поліграфічної галузі (Київ, 2010 р.); XI міжнародна науково-методична конференція «Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика» (Львів, 2010 р.); Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture 12/2010 (Lublin, 2010 р.); Міжнародний науково-методичний семінар (Італія, 2011 р.); XIII наукова конференція «Львівські хімічні читання» (Львів, 2011 р.); Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture 13 D (Lublin, 2011 р.); 3-й Всеукраїнський з'їзд екологів з міжнародною участю (ECOLOGY-2011, Вінниця, 2011 р.); Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture 13 C (Lublin, 2011 р.); III Міжнародна науково-практична конференція «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті» (Херсон, 2011 р.); XVII Міжнародна науково-технічна конференція «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (Черкаси, 2012 р.).

Публікації. За темою дисертаційної роботи надруковано 31 наукова праця, з них 23 статті у наукових фахових виданнях, 5 тез доповідей на міжнародних науково-практичних конференціях та 2 патенти України.

Обсяг і структура дисертації. Дисертація складається з вступу, п'яти розділів, висновків, додатків та списку використаних джерел. Загальний обсяг роботи складає 191 сторінку, з них 72 рисунків по тексту, 13 рисунків на 5 окремих сторінках, 20 таблиць по тексту, 4 додатки на 26 сторінках, списку використаних джерел з 190 найменувань на 19 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність дисертаційної роботи, поставлена мета та окреслені шляхи її досягнення, сформульовано наукову новизну і практичну значимість роботи. Наведено інформацію про апробацію роботи, наведено особистий внесок здобувача, публікації, відображено основні результати і положення, що виносяться на захист.

У першому розділі наведений аналіз стану довкілля в Україні і у Львівській області, який підтвердив думку про те, що викиди неорганічного пилу значно погіршують екологічну ситуацію у регіоні, викликають передчасне зношення промислового обладнання та об'єктів житлово-комунального господарства, наносять шкоду здоров'ю людей. Аналітичний огляд відомих конструкцій механічних пиловловлювачів та чинників, які впливають на роботу таких апаратів, визначив переваги циклонів перед іншими пиловловлювачами та обґрунтував необхідність створення на їх основі нових конструкцій апаратів, в яких би поєднувалися різні принципи пиловловлення. Наведені в дисертації дані доводять, що на сьогоднішній день не існує пиловловлювача, здатного високоефективно вловлювати дрібнодисперсні фракції пилу, тому для більш ефективного знепилювання повітря в обробній промисловості технологічно та економічно доцільно використовувати принципово нові конструкції пиловловлювачів, які поєднують в одному корпусі декілька ступенів очищення. Окреслені основні напрямки теоретичних та експериментальних досліджень.

У другому розділі наведені програма та методика експериментальних і дослідно-промислових досліджень, метою яких є визначення продуктивності установки, ефективності та гідравлічного опору апарату, дисперсного складу, фізико-хімічних, морфометричних властивостей пилу; залежності ефективності пиловловлювання від: дисперсного складу пилу, конструктивних розмірів пиловловлювачів і жалюзійних відокремлювачів; гідравлічного опору пиловловлювача від загальних витрат повітря.

У результаті експериментальних досліджень було виявлено, що експериментальний пил – кварцовий пісок має дисперсний склад $50 \cdot 10^{-6}$ м, а його тривалість помолу на вібротліні типу М-10 при вазі матеріалу 5 кг, сталених куль – 15 кг становить: для одержання частинок: з медіанним діаметром $50 \cdot 10^{-6}$ м - становить 30 хвилин, $32 \cdot 10^{-6}$ м – 1 годину 10 хвилин, $8 \cdot 10^{-6}$ м – 4 години 25 хвилин. Проба з питомою поверхнею $280 \text{ м}^2/\text{кг}$ (30 хвилин помолу) була використана для ситового аналізу (прилад 028М, два сита

з розмірами комірок $0,063 \cdot 10^{-3}$ м та $0,05 \cdot 10^{-3}$ м). Відокремлену фракцію з розмірами частинок у межах $0,063 \cdot 10^{-3}$ м та $0,05 \cdot 10^{-3}$ м досліджували методом седиментації у гравітаційному полі. Проби з питомою поверхнею $330 \text{ м}^2/\text{кг}$ (1 година 10 хвилин помолу) також використовували для ситового аналізу (сито з розмірами комірок $0,05 \cdot 10^{-3}$ м), відокремлюючи фракції з більшими частинками. Для відокремлення фракцій з дрібними частинками і з питомою поверхнею $680 \text{ м}^2/\text{кг}$ (4 години 25 хвилин помолу) використовували метод відмучування. За результатами аналізу побудували графіки розподілу пилу за розмірами, тобто дисперсний склад експериментального пилу (рис. 1).

Для вивчення процесів, які протікають у пиловловлювачах, створений лабораторний стандартний експериментальний стенд, який відповідає всім вимогам, прийнятим для таких випробувань „Єдиною методикою”, у Національному університеті “Львівська політехніка” (рис. 2). Ефективність пиловловлювачів визначається, виходячи з ваги пилу, вловленого в бункері пиловловлювача ($G_{\text{вл}}$), до ваги пилу, який входить в апарат ($G_{\text{п}}$), за період досліді (τ).

Визначили фракційну ефективність, тобто ступінь уловлення пилу для кожної окремої фракції, тому дисперсну сполуку пилу (або, як її ще називають, granulометрична сполука) виражали у відсотках маси кожної фракції.

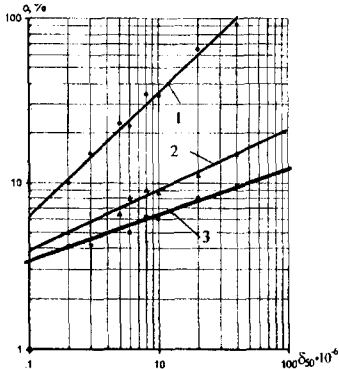


Рис. 1. Дисперсний склад експериментального пилу:

- 1 – $\delta_{50} = 8 \cdot 10^{-6}$ м;
- 2 – $\delta_{50} = 32 \cdot 10^{-6}$ м;
- 3 – $\delta_{50} = 50 \cdot 10^{-6}$ м

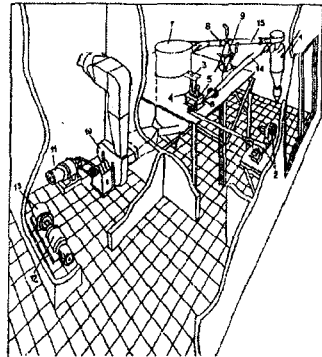


Рис. 2. Загальний вигляд експериментального стенду:

- 1 – пиловловлювач; 2, 10 – вентилятори; 3 – пилоподавач;
- 4 – змішувач; 5 – ежектор; 6 – колектор; 7 – рукавний фільтр; 8 – шайба; 9 – прилад зовнішньої фільтрації; 11, 13 – двигуни; 12 – генератор; 14, 15 – шибери

Гідравлічний опір відцентрово-інерційних пиловловлювачів визначається за перепадом повних тисків у перетині перед пиловловлювачем і за ним.

У третьому розділі доведено, що процес пилоочищення відноситься до класу задач аеродинамічної класифікації, фізичними основами якої є принципи розділення потоків, які здійснюються в газодисперсному потоці, а застосовуються при методах механічного розділення зваженого матеріалу. Для здійснення технічного розподілу потоків з більшою точністю, коли кожна частинка знаходиться дуже короткий час в зоні розподілу і для неї повинні переважати однакові умови розподілу, тобто параметри, що діють на межі розподілу, мають бути незмінними. У практиці математичного моделювання процесів аеродинамічної класифікації найбільш широке розповсюдження отримали так звані детерміновані та стохастичні моделі. Для забезпечення адекватності математичних моделей, що описують роботу обладнання, класифікації матеріалів, враховували вплив вихрових структур в потоках транспортуючого середовища на цей процес.

Аналіз динаміки частинок у пристінній області стаціонарного турбулентного потоку довів, що при великих числах Рейнольдса в пристінній області можуть бути виділені дві зони, які кардинально відрізняються своїми характеристиками: в'язкий підшар і рівноважний логарифмічний шар. Визначальними параметрами у в'язкому підшарі є коефіцієнт кінематичної в'язкості рідини і динамічна швидкість (швидкість тертя). Поза областю в'язкого підшару внесок в'язких напружень в повні напруги суцільного середовища, навпаки, незначний.

У якості найпростішої апроксимації пульсаційної структури несучого потоку в пристінній області прийємо двозонну модель, яка складається з в'язкого підшару з нульовою інтенсивністю пульсацій і турбулентної зони з постійною інтенсивністю пульсацій

$$\langle u'_i u'_j \rangle = A_{ij} u_*^2 H(y - \delta), \quad (1)$$

де y – відстань від стінки, A_{ij} – постійні коефіцієнти.

Передбачається також, що тимчасовий масштаб турбулентності Лагранжа поблизу стінки має постійне значення, середнє ковзання частинок щодо несучого потоку є відносно невеликим (можна знехтувати впливом ефекту перетину траєкторій на час взаємодії частинок з турбулентними вихорами), також не враховуємо зворотний вплив на несучий потік і зіткнення частинок. Для гідродинамічного розвитку течії, властивості якої змінюються тільки в нормальному до стінки напрямку, при відсутності осадження частинок складені такі рівняння для визначення Φ і (v_y^2) :

$$\Phi \frac{d(v_y^2)}{dy} + \left((v_y^2) + g_u A_{yy} u_*^2 H(y - \delta) \right) \frac{d\Phi}{dy} = 0, \quad (2)$$

$$\tau_r^2 \frac{d}{dy} \left[\Phi \left((v_y^2) + g_u A_{yy} u_*^2 H(y - \delta) \right) \frac{d(v_y^2)}{dy} \right] + 2\Phi f_r A_{yy} u_*^2 H(y - \delta) - (v_y^2) = 0 \quad (3)$$

У відповідності з експериментальними даними, приводячи їх до нових змінних, задаючись граничними умовами при відсутності осадження частинок на стінці, побудуємо рішення рівняння (1) в областях $0 < \lambda < 1$ і $1 < \lambda < \infty$, а потім «зшиємо» ці рішення.

Умови зшивання рішень у в'язкому і турбулентній зонах мають вигляд

$$\langle v_{y+}^2 \rangle (1) \left(\frac{d \langle v_{y+}^2 \rangle}{d\lambda} \right)_{1-0} = \left(\langle v_{y+}^2 \rangle (1) + g_u \right) \left(\frac{d \langle v_{y+}^2 \rangle}{d\lambda} \right)_{1+0}. \quad (4)$$

Після ряду перетворень отримуємо вираз для знаходження для знаходження $[(v_{y+}^2 + 1)]$

$$\begin{aligned} (f_v - \langle v_{y+}^2 \rangle) (\langle v_{y+}^2 \rangle + g_u)^{1/2} &= \langle v_{y+}^2 \rangle \left[\frac{2^{1/2}}{\tau_*} + \frac{2(1-e_f^2)}{\pi^{1/2}(1+e_f^2)} \langle v_{y+}^2 \rangle^{1/2} \right], \\ \langle v_{y+}^2 \rangle^{1/2} &= -\frac{1-e_f^2}{\tau_*(1+e_f^2)} \left(\frac{2}{\pi} \right)^{1/2} + \left[\frac{2(1-e_f^2)^2}{\pi(1+e_f^2)^2 \tau_*^2} + \langle v_{y+}^2 \rangle - \frac{1}{\tau_*^2} \right]^{1/2}. \end{aligned} \quad (5)$$

Критичний параметр інерційності визначається зі співвідношення $\tau_{cr}^2 [(v_{y+}^2 + 1)] = 1$ і не залежить від коефіцієнта відновлення імпульсу e_f і дорівнює 2,81.

Розподіл концентрації частинок, який задовольняє умові $\Phi(\infty) = 1$, визначається інтегралом рівняння (5) і описується виразом:

$$\Phi = \begin{cases} \langle v_{y+}^2 \rangle (1) \left[\tau_* (\langle v_{y+}^2 \rangle (1) + g_u) \langle v_{y+}^2 \rangle \right]^{-1} & \text{при } \lambda < 1, \\ \left[\tau_* (\langle v_{y+}^2 \rangle + g_u) \right]^{-1} & \text{при } \lambda > 1. \end{cases} \quad (6)$$

На рисунку 3 показаний розподіл пульсацій поперечної швидкості (v_{y+}) і концентрації частинок при пружному зіткненні зі стінкою ($e_f = 1$).

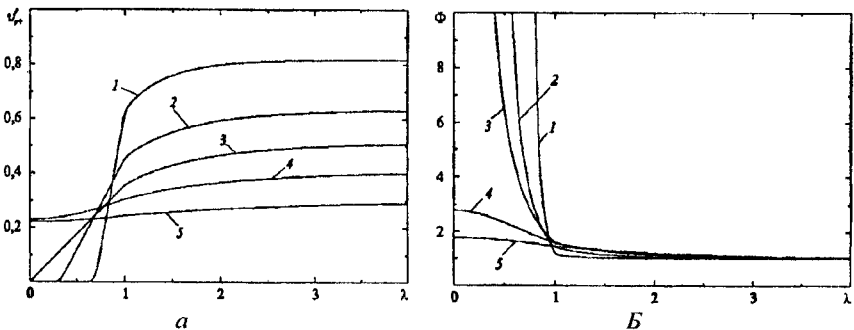


Рис. 3. Розподіл пульсацій поперечної швидкості (а) та концентрації (б) частинок у пристінній області

З рисунка 3,а видно, що зі збільшенням інерційності частинок інтенсивність пульсацій їх швидкості все більше відхиляється від інтенсивності пульсацій у суцільному середовищі і наближається до однорідного розподілу. Концентрація частинок поблизу стінки різко зростає, тобто спостерігається їх акумулювання у зоні в'язкого підшару. Явище акумулювання частинок у неоднорідних турбулентних потоках пояснюється їх турбулентною міграцією (турбофорезом) з області з високою інтенсивністю турбулентних пульсацій швидкості в зону з низьким ступенем турбулентності (зокрема, на в'язкий підшар на обтікаючій поверхні).

Рисунок 4 демонструє вплив інерційності частинок на значення інтенсивності пульсацій швидкості і концентрації частинок на стінці.

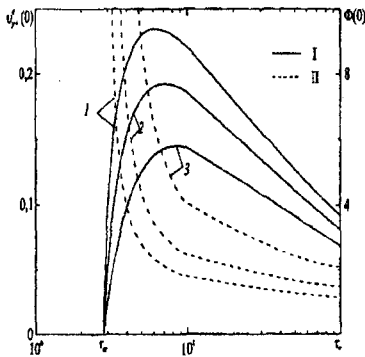


Рис. 4. Залежності інтенсивності пульсацій швидкості (I) і концентрації (II) частинок на стінці

від параметра інерційності:
 1 - $e_y = 0,5$; 2 - $e_y = 0,8$; 3 - $e_y = 1,0$

Зі зменшенням коефіцієнта відновлення імпульсу e_y інтенсивність пульсацій падає, а ефект акумулювання частинок у в'язкому підшарі дещо зростає.

Аналіз інтенсивності пульсацій швидкості та концентрації частинок на стінці при різних значеннях параметра інерційності (розміру частинок) дозволяє запропонувати нову конструкцію відцентрово-інерційного пиловловлювача зі зміною кута атаки жалюзі.

Концентрація частинок поблизу стінки визначає кількість зіткнень і ступінь зменшення швидкості частинок при цьому з поверхнею і між собою. Виходячи з того, що встановлення жалюзійного відокремлювача зумовлює зменшення критичного діаметра частинки пилу, яка буде вловлена в циклоні, з

Як видно, пульсаційна енергія малоінерційних частинок на стінці дорівнює нулю, а інтенсивність пульсацій інерційних частинок відмінна від нуля. Ефект ненульових пульсацій швидкості у в'язкому підшарі і на самій стінці обумовлений дифузійним механізмом перенесення пульсацій інерційними частинками з турбулентної області потоку. Звертає на себе увагу наявність максимуму в залежності $U'_{y+}(0)$ від τ , що пояснюється збільшенням дифузійного перенесення пульсації з турбулентної області в зону

в'язкого підшару. Зниження $U'_{y+}(0)$ з ростом τ після досягнення максимуму пов'язано зі зниженням інтенсивності пульсацій швидкості дисперсної фази через те, що більш інерційні частинки гірше залучаються до турбулентного руху суцільного середовища

(6,5 до 3,2)·10⁻⁶ м, вважали теоретично обґрунтованим факт доцільності встановлення жалюзійного відокремлювача на осі корпусу пиловловлювача.

Наведені вище залежності дають змогу більш детально вивчити рух повітряних потоків у циклоні та на етапі розроблення нової конструкції пиловловлювача відкинути завідомо невдалі конструкції.

Моделювання проводимо з використанням програмного пакету FlowVision компанії «ТЕСИС». Для дослідження було розроблено твердотільну модель конструкції. Розглядали три варіанти виконання пиловловлювача. Перший – з трьохкаскадним жалюзійним відокремлювачем зі змінним кутом атаки жалюзі. Такий жалюзійний відокремлювач є закритим з нижнього краю. Другий – з тим же жалюзійним відокремлювачем, але відкритим з нижнього краю. Для порівняння з традиційними апаратами – третю модель виконано з класичною вихлопною трубою. Проведений аналіз траєкторій руху частинок в апараті дає змогу чіткіше описати аеродинаміку процесу розділення потоку у новому апараті. Повітряний потік потрапляє у пиловловлювач через тангенціальний вхідний патрубков. Швидкість повітряного потоку складає 18 м/с, що є рекомендованим значенням для апаратів такого класу. Далі потік починає обертатися у просторі між вихлопною трубою або жалюзійним відокремлювачем і зовнішньою стінкою апарата, рухаючись донизу. В кінчній частині апарата потік здійснює поворот на 180°, підіймається і, продовжуючи обертатися, виходить у атмосферу.

Негативною особливістю циклона з традиційною вихлопною трубою є те, що поблизу нижнього краю вихлопного патрубка спостерігаються повітряні потоки з високими швидкостями. Дрібні малоінерційні частинки пилу будуть захоплені цими потоками і через вихлопну трубу потраплять у атмосферу. При використанні ступеневого жалюзійного відокремлювача повітряний потік більш рівномірно заповнює циліндричну частину апарата. Аналіз розподілу статичного та динамічного тисків усередині корпусу апарата доводить, що у пристінній зоні циклона з жалюзійними відокремлювачами значення швидкості потоку повітря більш рівномірне. Наявність традиційної вихлопної труби спричиняє чисельні зміни значення швидкості.

Особливо слід відмітити швидкості потоку у кінчній частині. Використання ступеневого жалюзійного відокремлювача, розробленої конструкції, дає змогу значно знизити значення швидкості потоку у конусній частині пиловловлювача і позитивно впливає на процес його очищення. Пилоповітряний потік потрапляє у відокремлювач по всій його висоті, а тому не створюється ділянок з високою швидкістю повітря. Завдяки зміні кута атаки жалюзі по всій висоті жалюзійного відокремлювача є рівномірні значення швидкості повітряного потоку, які дорівнюють близько 3 м/с, що усуває можливість захоплення частинок пилу вхідними повітряними потоками і дає змогу підвищити ефективність процесу очищення повітря.

Використання жалюзійного відокремлювача запропонованої конструкції знижує перепад тиску в апараті, що сприяє зменшенню кількості повітря, яке задіяне у вторинних потоках і створює передумови до підвищення ефективності пиловловлювача.

У четвертому розділі, базуючись на створеній нами математичній моделі, розроблені 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, причому, жалюзійний відокремлювач складається з декількох секцій.

Форма корпусу циліндрично-конічна, довжина корпусу для пилу з медіанним діаметром: $8 \cdot 10^{-6}$ м – $925 \cdot 10^{-3}$ м; $32 \cdot 10^{-6}$ м – $825 \cdot 10^{-3}$ м; $502 \cdot 10^{-6}$ м – $725 \cdot 10^{-3}$ м, а кут при вершині конуса дорівнює 15° .

Дослідження прозорої моделі конструкції відцентрово-інерційного пиловловлювача в аеродинамічній трубі довели, що значного підвищення ефективності їх роботи вдається отримати при дотриманні умови постійності швидкості руху пилогазової суміші, як в корпусі апарату, так і при проходженні через щілини між жалюзі відокремлювача, що і було нами використано при конструюванні апаратів.

Запропоновані чотири конструкції пиловловлювачів з оптимальним співвідношенням діаметрів секцій відокремлювача, в яких залишаючи незмінною відстань між жалюзі в кожній секції відокремлювача, досягаємо постійної швидкості руху пилоповітряної суміші через отвори між жалюзі відокремлювача зменшенням в тому ж напрямку діаметрів секцій відокремлювача. Відношення діаметра корпусу до діаметра бункера (рис. 5), яке дорівнює 0,45-0,55, а відношення висот корпусу і бункера, яке дорівнює 0,8-0,9, дозволяють отримати максимальну ефективність очистки повітря від пилу, що пояснюється вибором оптимальної швидкості руху потоку в апараті і бункері з мінімальною турбулізацією потоку. Визначені оптимальні конструктивні розміри бункера дозволили не тільки збільшити ефективність роботи апарату, але і знизити гідравлічний опір його в 1,2 рази. Це пояснюється тим, що тільки залишаючи незмінною відстань між жалюзі в кожній секції відокремлювача, досягаємо постійної швидкості руху пилоповітряної суміші через отвори між жалюзі відокремлювача, зменшуючи в тому ж напрямку діаметри секцій відокремлювача. Всі виділені з такого потоку великодисперсні частинки пилу опускаються донизу вздовж циліндричної, а потім вздовж конічної частини корпусу апарата в бункер, а дрібніші частинки пилу, які відбиті жалюзі відокремлювача також опускаються донизу, але вздовж жалюзі відокремлювача також у бункер.

Проведені порівняльні дослідження на стандартному експериментальному стенді чотирьох типів запропонованих автором відцентрово-інерційних пиловловлювачів у порівнянні з циклоном ЦН-11 та еталоном при витратах повітря $3000 \text{ м}^3/\text{год}$ на кварцовому піску з медіанним діаметром δ_{50} (8, 16, 32 і 50) 10^{-6} м встановили, що в кожній конструкції апарата зберігається загальна тенденція: значне підвищення ефективності пиловловлення зі збільшенням медіанного діаметра пилу; витрат повітря з наявністю суцільного дна у жалюзійного відокремлювача; з переходом від еталону до циклона ЦН-11, далі до

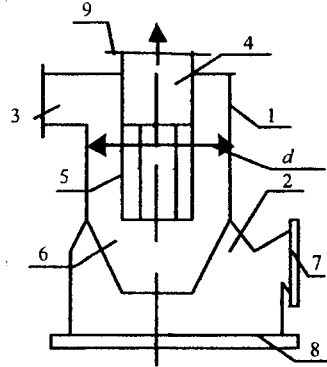
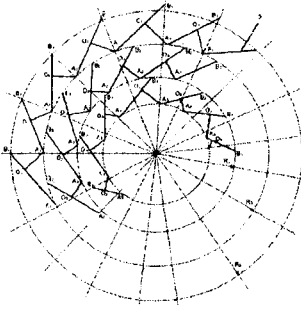


Рис. 5. Пиловловлювач із ступеним відокремлювачем і бункером:

1 – корпус; 2 – бункер; 3 – вхідний патрубок; 4 – патрубок для виходу очищеного повітря; 5 – жалюзійний відокремлювач; 6 – конус; 7 – люк; 8 – плита; 9 – фланець.

еталона зі змінною кількістю жалюзі, до апарата зі зміною кута атаки жалюзі, до апарата з бункером і до апарата із ступеним відокремлювачем і бункером; зменшення гідравлічного опору зі збільшенням витрат повітря в стенді (рисунки 6–11).

Порівняльні дослідження залежності ефективності η від медіанного діаметру δ наведені на рис. 6 і 7.

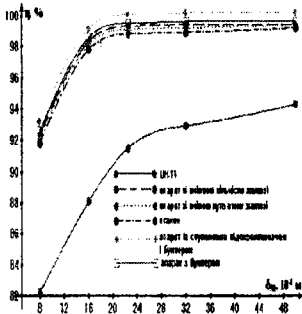


Рис. 6. Запропонованих апаратів з дном

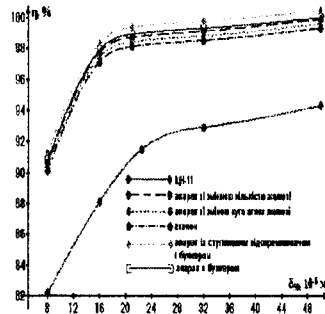


Рис. 7. Запропонованих апаратів без дна

Порівняльні дослідження залежності ефективності η від витрат повітря Q наведені на рис. 8 і 9.

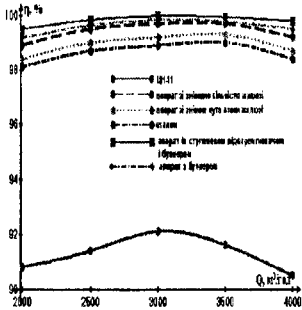


Рис. 8. Запропонованих апаратів з дном

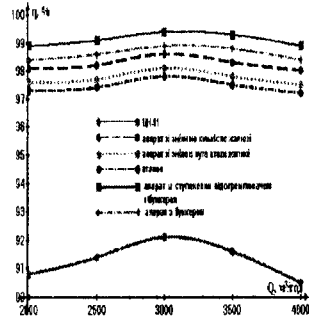


Рис. 9. Запропонованих апаратів без дна

Порівняльні дослідження залежності гідравлічного опору ΔP від витрат повітря Q наведені на рис. 10 і 11.

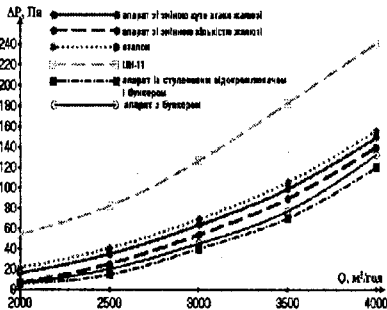


Рис. 10. Запропонованих апаратів з дном

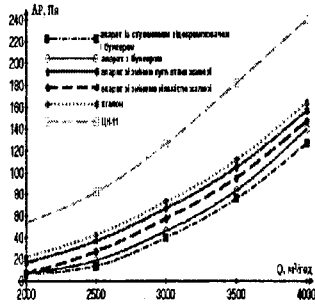


Рис. 11. Запропонованих апаратів без дна

Все це можна пояснити наступним чином. Інженерна думка прямувала по шляху удосконалення конструкції найкращого з існуючих у даний час апаратів сухого обезпилювання повітря циклона ЦН-11.

У результаті детального аналізу недоліків його роботи була запропонована конструкція апарата в подальшому звана – еталон, яка відрізняється наявністю в корпусі апарата коаксіально йому встановленого жалюзійного відокремлювача, тобто додається друга ступінь очищення.

Неможливість забезпечити вимоги ГДК для дрібнодисперсного пилу привела до думки вдосконалення конструкції жалюзійного відокремлювача таким чином, щоб забезпечити швидкість проходження потоку через жалюзі його постійною, тому і була запропонована конструкція апарата зі змінною кількістю жалюзі, дослідження якої довели переваги її перед циклоном ЦН-11 і еталоном, але цього виявилось недостатньо для досягнення вимог ГДК для

дрібнодисперсного пилю знов через неможливість забезпечити постійність швидкості руху пилоповітряного потоку не тільки через отвори між жалюзі відокремлювача, а і в корпусі апарата. Нами була запропонована конструкція апарата зі зміною кута атаки жалюзі, яка дозволила забезпечити постійні швидкості руху пилоповітряного потоку, як в корпусі апарата, так і при проходженні через жалюзійний відокремлювач, і ця конструкція показала кращі показники ніж попередня конструкція. При дослідженні цієї конструкції пиловловлювача, нам вдалося довести, що провівши вдосконалення в бункері апарата, ми зможемо ще підняти параметри роботи апарата, тому нами була розроблена конструкція апарата з бункером, дослідження якої довели її переваги перед попередніми пиловловлювачами, що значно розширило перспективи її впровадження в різних галузях виробництва. Об'єднавши конструкцію апарата з бункером із апаратами зі змінною кількістю жалюзі та зі зміною кута атаки жалюзі в одному корпусі нам нарешті вдалося значно підвищити ефективність уловлення дрібнодисперсного пилю, знизивши при цьому енерго- та металоємності.

При порівнянні одержаних експериментальних даних з результатами теоретичних досліджень спостерігається відхилення, що не перевищує 5–15%, яке пояснено проведеною оцінкою погрешностей. Проведене статистичне моделювання аналітичної залежності ефективності пиловловлення від конструктивних розмірів і режимів роботи пиловловлювача дозволило отримати рівняння регресії, за якими визначені значення ефективності пиловловлювання для кожного пиловловлювача при відповідній зміні конструктивних розмірів і режимів їх роботи.

У п'ятому розділі надано практичне застосування результатів досліджень. Охарактеризований стан питання уловлювання пилю в обробній промисловості, експериментально визначені інтенсивності пиловидалення при роботі дробометного та піскоструйного обладнання, дисперсний склад пилю, який при цьому утворюється, і його фізико-хімічні та механічні якості. Представлена схема обезпилювання з використанням запропонованого пиловловлювача четвертої конструкції при роботі аспіраційних установок для цехів обробки матеріалів, яка дозволила підвищити на 8–10% ефективність уловлення дрібнодисперсного пилю, знизивши тим самим викиди шкідливих речовин у довкілля і досягти нормативних значень гранично допустимих норм (ГДК і ГДВ), і зменшивши при цьому енерго- та металоємність в 1,2 рази, а це відкриває широкі перспективи для її впровадження в аналогічних виробництвах. Вже намічені шляхи їх впровадження в процеси видобування сланцевих газів і утилізації відходів сміттєзвалищ.

Для існуючого виробництва, оснащеного циклоном ЦН-11, та того ж виробництва, оснащеного пиловловлювачем четвертого типу, запропонованого нами, побудовані карти розсіювання пилю, аналіз яких показав, що для всіх джерел викиду, які обладнані пиловловлювачами ЦН-11, виявлено перевищення ГДК для пилю, при цьому максимальні концентрації в частках ГДК дорівнюють – 2,549. У випадку джерел викиду, що обладнані розробленими пиловловлювачами, перевищень ГДК не спостерігається в жодному місці населеного пункту.

У цьому ж розділі наведено економічне обґрунтування впровадження запропонованих автором пиловловлювачів на обробних підприємствах і розрахований сумарний економічний ефект, який складає 196198,77 грн. на рік.

ВИСНОВКИ

На основі проведених теоретичних та експериментальних досліджень у дисертації вирішене важливе наукове завдання удосконалення пилоочисного устаткування для зменшення забруднення довкілля неорганічним пилом шляхом розроблення ефективних пиловловлювачів зі ступеневим жалюзійним відокремлювачем з покращеними аеродинамічними характеристиками та зниженим рівнем енергоспоживання.

1. На основі проведеного аналізу сучасного стану проблеми з екологічної безпеки при забрудненні атмосфери неорганічним пилом в промисловості доведено необхідність проведення досліджень (теоретичних та експериментальних) процесів очищення аспіраційного повітря від неорганічного пилу шляхом створення нових конструкцій пиловловлюючого обладнання. Перспективним напрямком вдосконалення існуючих конструкцій пиловловлювачів є поєднання в корпусі одного апарата двох ступенів очищення: відцентрового та інерційного.

2. Встановлена взаємозалежність технологічних і геометричних параметрів пиловловлювачів від величини сил, які діють в апараті і на їх основі визначені його конструктивні параметри, що визначають ефективність роботи та гідравлічний опір на стадії інженерного проектування.

3. Створена математична модель процесу руху частинки в системі «пиловловлювач – пилоповітряна суміш». Застосовуючи лінійні спрощення до рівнянь руху пилоповітряної суміші, отримана можливість реалізувати їх чисельними методами для конкретних значень вихідних параметрів та початкових (граничних) умов, тобто умов однозначності.

4. Розроблені інженерні методи розрахунку і створені принципово нові конструкції пиловловлювачів з багатоступеневою системою очистки, експериментальні дослідження яких довели, що з переходом від апаратів першого типу до апаратів четвертого типу ефективність роботи підвищується завдяки використанню теоретичного і експериментально дослідженого механізму підвищення ефективності в кожній наступній групі, з аналізом їх недоліків. Підтверджено експериментальним шляхом підвищення ефективності роботи апаратів відцентрово-інерційних у порівнянні з циклоном ЦН-11і еталоном, причому, ефективність найгіршого із запропонованих апаратів (першого типу) перевищує ефективність роботи найкращого з існуючих – еталона – циклона ЦН-11, а гідравлічний опір апаратів падає у протилежному напрямку. За допомогою одержаних рівнянь регресії визначені значення ефективності роботи для всіх апаратів, що досліджувалися, при відповідній зміні конструктивних розмірів та режимів роботи. Відхилення розрахункових та експериментальних даних не перевищує 5-15%.

5. Дослідженнями впливу жалюзійного відокремлювача на характеристики циклонного апарата встановлено, що перепад статичного тиску в сепараційній

зоні пиловловлювача з жалюзійним відокремлювачем в 4-12 разів менший у порівнянні з еталоном і циклоном. На основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень експлуатаційних і технологічних характеристик циклонів обґрунтовано доцільність встановлення ступеневого жалюзійного відокремлювача, наявність якого підвищує ефективність роботи пиловловлювача на 1,5 – 1,7 % при зниженні швидкості руху потоку повітря у вхідному патрубку з 18-20 м/с до 11-16 м/с, а гідравлічний опір апарата при цьому знижується порівняно з еталоном у 1,7 – 2,4 рази.

6. Проведені дослідження запропонованих конструкцій пиловловлювачів на експериментальному та дослідно-промисловому стендах довели їх переваги перед найкращими з існуючих апаратів, що дозволило збільшити ефективність уловлення дрібнодисперсного пилу на 1,5 – 1,7 %, знизивши при цьому енерго- і металоемність. Створено чотири конструкції пиловловлювачів, у кращого з яких гідравлічний опір становить 865 Па, а ефективність досягає 99,2%. Економічний ефект від впровадження складає **196198,77 грн.** на рік.

7. Сформульовано рекомендації щодо подальших вдосконалень конструкцій пиловловлювачів і намічені шляхи їх впровадження у процеси видобування сланцевих газів і утилізації відходів сміттєзвалищ.

СПИСОК ОПУБЛКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Батлук В.А. Принципиально новая конструкция пылеуловителя / В.А. Батлук, В.В. Батлук, **В.Г. Макарчук** // Науково-технічний збірник “Поліграфія і видавнича справа”. – Львів: Українська академія друкарства. – 2007. – Вип. №2(46). – С. 221–223. *Здобувач брав участь у конструюванні апарату і проведенні експериментальних досліджень.*

2. Батлук В.А. Водные ресурсы и пути решения проблемы чистой воды / В.А. Батлук, **В.Г. Макарчук**, Е.В. Романцов, І.В. Проскуріна // Науково-технічний збірник “Наукові записки”. – Львів: Українська академія друкарства. – 2008. – №1 (13). – С. 231–238. *Здобувач сформулював сучасні екологічні проблеми.*

3. Батлук В.А. Вплив бункера на ефективність уловлення пилу / В.А. Батлук, В.В. Батлук, **В.Г. Макарчук**, І.В. Проскуріна // Науково-технічний збірник «Поліграфія і видавнича справа». – Львів: Українська академія друкарства. – 2008. – №2 (48). – С. 132–141. *Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень.*

4. Проскуріна І.В. Принципово нові перспективні методи очистки повітря від дрібнодисперсного пилу / І.В. Проскуріна, Н.В. Ступницька, Я.В. Мота, Е.В. Романцов, **В.Г. Макарчук** // Наукові вісті. – Івано-Франківськ: Інститут менеджменту та економіки «Галицька академія». – 2008. – № 13 (1). – С. 115–124. *Здобувач провів аналіз існуючих апаратів для очистки пилу.*

5. Батлук В.А. Високоэффективное вловливание полидисперсного пилу / В.А. Батлук, **В.Г. Макарчук**, Е.В. Романцов, Р.С. Стець // Науково-технічний збірник “Наукові записки”. – Львів: Українська академія друкарства. – 2009. – №1 (15). – С. 139–145. *Здобувач брав участь у постановці проблеми та проведенні експериментальних досліджень.*

6. Батлук В.А. Залежність ефективності пиловловлення відцентрово-інерційних апаратів від конструкції бункера / В.А. Батлук, М.В. Басов, В.Г. Макарчук, Р.Ю. Сукач // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2009. – № 3 (25). – С. 40–44. *Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень запропонованих апаратів.*

7. Батлук В.А. Рівень забруднення атмосферного повітря та його вплив на стан здоров'я населення України / В.А. Батлук, Н.М. Параняк, В.Г. Макарчук // Збірник наукових праць «Строительство, материаловедение, машиностроение». Серія «Безопасность жизнедеятельности». – Дніпропетровськ. – 2010. – № 52. – С. 205–210. *Здобувач проаналізував стан забруднення атмосферного повітря.*

8. Батлук В.А. The Problem of Highly Effective Cleaning of air from dust / В.А. Батлук, В.В. Батлук, В.Г. Макарчук // Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power in Agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2009. – Vol. 11B. – P. 26–31. *Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень.*

9. Батлук В.А. A mathematical model of vacuum cleaners, taking into account the motion of particles near the wall part of the dust collector / В.А. Батлук, В.В. Батлук, В.Г. Макарчук // Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin. – 2010. – Vol. 12C. – P. 97–105. *Здобувач брав участь у створенні математичної моделі.*

10. Макарчук В.Г. Зниження концентрації дрібнодисперсного пилу, як метод усунення якостей пилу / В.Г. Макарчук, Р.Ю. Сукач, І.В. Проскуріна // Науково-технічний збірник "Наукові записки". – Львів: Українська академія друкарства. – 2010. – №2 (52). – С. 164–172. *Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень з метою зниження межі пожежо-вибухонебезпеки.*

11. Макарчук В.Г. Очистка повітря від пилу при роботі гірничих комбайнів і комплексів / В.Г. Макарчук, Р.Ю. Сукач // Промислова гідраліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2010. – № 4 (30). – С. 39–46. *Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень при роботі гірничих комбайнів і комплексів.*

12. Батлук В.А. Зниження концентрації дрібнодисперсного пилу, як метод усунення пожежо-вибухонебезпечних якостей пилу / В.А. Батлук, В.Г. Макарчук, Р.Ю. Сукач, І.В. Проскуріна // Науково-технічний збірник "Наукові записки". – Львів: Українська академія друкарства. – 2010. – №2 (52). – С. 164–172. *Здобувач брав участь у проведенні експериментальних досліджень з метою зниження пожежо-вибухонебезпеки.*

13. Макарчук В.Г. Автоматичний вибір системи зменшення концентрації пилу / В.Г. Макарчук, М.В. Басов // Наукове видання «Наука та освіта». Збірник праць Міжнародного науково-методичного семінару. – Рим (Італія). – 2011. – С. 81–82. *Здобувач брав участь у створенні системи автоматичного вибору пиловловлювачів.*

14. Макарчук В.Г. Розробка вискоефективних апаратів для очистки повітря від пилу / В.Г. Макарчук, Н.М. Параняк // Motrol motoryzacja I energetyka rolnictwa motorization and power industry in Agriculture: Polish

Academy of sciences. – Lublin. – 2011. – Vol. 13C. – P. 32–42. *Здобувач брав участь у розробці вискоєфективних апаратів для очистки повітря від пилу.*

15. **Макарчук В.Г.** Математична модель пилоочистки з врахуванням руху частинок у пристінковому шарі пиловловлювача / **В.Г. Макарчук**, 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. *Здобувач брав участь у створенні математичної моделі пилоочистки.*

16. **Макарчук В.Г.** Динаміка руху частинок у пристінній області стаціонарного турбулентного потоку / **В.Г. Макарчук**, В.В. Батлук // Вісник національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія Машинобудування. – К.: НТУУ "КПІ". – 2011. – №63. – С. 175–180. *Здобувач брав участь у математичному дослідженні динаміки руху частинок у пристінній області.*

17. **Макарчук В.Г.** Створення математичної моделі руху частинок в криволінійному каналі в осесиметричному потоці / **В.Г. Макарчук** // Збірник наукових статей 3-го Всеукраїнського з'їзду екологів із міжнародною участю (ECOLOGU–2011). – Вінниця. – 2011. – Том 1. – С. 158–160.

18. **Макарчук В.Г.** Динаміка руху частинок у внутрішній області стаціонарного турбулентного потоку в циклоні / **В.Г. Макарчук**, Е.В. Романцов // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця: ВДАУ. – 2012. – № 2 (36). – С. 38–45. *Здобувачеві належить постановка завдань та розробка програми методики досліджень.*

19. Батлук В.А. Основи безпеки життя та діяльності людини / В.А. Батлук, О.В. Мельников, А.В. Ляшеник, Е.В. Романцов, **В.Г. Макарчук** // Матеріали доповідей на VII міжнародній науково-методичній конференції «Безпека життєдіяльності людини – освіта, наука, практика». – Миколаїв: НУК. – 2008. – С. 33–37. *Здобувачеві належить методологія забезпечення екологічної безпеки.*

20. Батлук В.А. Принципово новий метод очищення повітря від пилу, який утворюється при спалюванні твердих побутових відходів / В.А. Батлук, Я.В. Мота, С.В. Шибанов, **В.Г. Макарчук**, Е.В. Романцов // Збірник матеріалів міжнародної наукової конференції «Охорона праці та соціальний захист працівників». – К. – 2008. – С. 22–24. *Здобувачеві належить узагальнення результатів експериментальних досліджень.*

21. Батлук В.А. Некоторые аспекты решение вопроса пылесостки в горной промышленности / В.А. Батлук, І.В. Проскура, І.М. Козира, **В.Г. Макарчук** // Матеріали VII міжнародної науково-технічної студентської конференції. – Донецьк: ДонНТУ. – 2008. – С. 228–233. *Здобувачеві належить постановка завдань, методологія та інтерпретація результатів досліджень.*

22. **Макарчук В.Г.** Місце радіоекології при підготовці спеціалістів у вищих навчальних закладах / **В.Г. Макарчук** // Матеріали 5-го з'їзду радіобіологічного товариства України. – Ужгород. – 2009. – С. 176–179.

23. **Макарчук В.Г.** Створення санітарно-гігієнічних умов праці в коксохімічному виробництві / **В.Г. Макарчук**, І.В. Проскура // Матеріали III міжнародної науково-практичної конференції «Сучасні інформаційні та інноваційні технології на транспорті». – Херсон: Херсонський державний

морський інститут. – 2011. – Том 2. – С. 222–227. *Здобувачеві належить узагальнення результатів експериментальних досліджень.*

24. Пылеуловитель / В.А. Батлук, А.П. Кулик, **В.Г. Макарчук** // А.с. 1233913 СССР, МКИ В01Д 45/00, (SU). – № 3846016/ 23–26; Заявлено 1.02.86; Опубл. 30.05.86, Бюл. № 20. – 3 с. *Здобувач є автором ідеї винаходу.*

25. Пат. 42581 Україна. Пиловловлювач із ступеневим відокремлювачем з бункером / Батлук В.А., **Макарчук В.Г.** – № 4258а200901592; заявл. 24.02.09; опубл. 10.12.2009, Бюл. № 23. *Здобувач є автором ідеї винаходу.*

26. Пат. 50404 Україна. Секційний пиловловлювач / Батлук В.А., **Макарчук В.Г.** – № 200912036, В01Д45/00, заявл. 23.11.09; опубл. 10.06.10, Бюл. № 11. *Здобувач є автором ідеї винаходу.*

27. **Макарчук В.Г.** Нові методи зменшення забруднення навколишнього середовища / **В.Г. Макарчук**, Р.С. Стець // Збірник наукових праць «Львівські хімічні читання»: XIII наукова конференція, 28 трав. – 1 черв. 2011 р.: тези доп. – Львів: Видавничий центр Львівського національного університету ім. Івана Франка, 2011. – С. 13. *Здобувачеві належить методологія забезпечення екологічної безпеки.*

28. Батлук В.А. Визначення оптимальних конструктивних розмірів відцентрово-інерційних пиловловлювачів / В.А. Батлук, В.В. Батлук, Ю.С. Шелюх, **В.Г. Макарчук**, Е.В. Романцов // Промислова гідравліка і пневматика: IX міжнар. наук.-техніч. конф. АС ПГП, 22 – 23 квіт., 2008 р.: тези доп. – Кременчук, 2008. – С. 44 – 45. *Здобувач брав участь у постановці завдань, методології та інтерпретації результатів досліджень.*

29. Батлук В.А. Дослідження апаратів для вловлення дрібнодисперсного пилу / В.А. Батлук, **В.Г. Макарчук** // Матеріали XI міжнародної науково-практичної конференції з проблем видавничо-поліграфічної галузі: тези доп. – К. – 2010, С. 16 – 17. *Здобувачеві належить узагальнення результатів експериментальних досліджень.*

30. Батлук В.А. Основи безпеки життя та діяльності людини / В.А. Батлук, Е.В. Романцов, **В.Г. Макарчук** // Безпека життя і діяльності людини – освіта, наука, практика: XI міжнар. наук.-метод. конфер.: тези доп. – Львів. – 2010. – С. 246 – 247. *Здобувачеві належить методологія забезпечення екологічної безпеки.*

31. Батлук В.А. Динаміка руху частинок у внутрішній області стаціонарного турбулентного потоку в циклоні / В.А. Батлук, **В.Г. Макарчук**, Е.В. Романцов // Гідроаеромеханіка в інженерній практиці: XVII міжнар. наук.-техн. конфер., – 17 – 20 квітня 2012 р.: тези доп. – Черкаси: АПБ ім. Героїв Чорнобиля. – 2012. – С. 44. *Здобувач брав участь у створенні математичної моделі.*

АНОТАЦІЯ

Макарчук В.Г. Удосконалення газоочисного устаткування для зменшення забруднення довкілля неорганічним пилом. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.01 – екологічна безпека. – Івано-Франківський технічний університет нафти і газу, м. Івано-Франківськ, 2013.

У дисертації досліджено процеси пилоочищення в апаратах для очистки від неорганічного пилу та обґрунтовано доцільність застосування ступеневого жалюзійного відокремлювача з певним розташуванням жалюзі для підвищення ефективності. Уперше побудовано нову математичну модель руху частинки пилу при її русі в пиловловлювачі зі ступеневим жалюзійним відокремлювачем. Уперше побудована тривимірна модель циклонного апарата з жалюзійним відокремлювачем та проведено її числовий аналіз. Досліджено гідравлічний опір, ефективність роботи, розподіл статичного тиску в сепараційній зоні пиловловлювача експериментальним шляхом та за допомогою комп'ютерного моделювання. Розроблено чотири конструкції пиловловлювачів із секційним жалюзійним відокремлювачем та описано рекомендовані співвідношення їх геометричних розмірів, розміщення жалюзі у відокремлювачі і технологічні параметри процесу очищення повітря. Результати дисертаційної роботи впроваджено на підприємствах обробної галузі. Матеріали дисертації викладені в тридцяти чотирьох наукових публікаціях.

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

АННОТАЦІЯ

Макарчук В. Г. Усовершенствование газоочистительного оборудования для уменьшения загрязнения окружающей среды неорганической пылью. – Рукопись.

Диссертация на получение научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.01 – экологическая безопасность. – Ивано-Франковский технический университет нефти и газа, г. Ивано-Франковск, 2013.

В диссертации исследованы процессы пылеочистки в циклонах и обосновано целесообразность применения секционного жалюзийного отделителя для повышения эффективности улавливания пыли. Построена новая математическая модель движения частицы пыли в пылеуловителе с жалюзийным отделителем, посредством реализации которой построены траектории их движения в нем в зависимости от их медианного диаметра. Установлено, что критический диаметр улавливаемых пылевых частиц снижается с 6,5 до 3,2 микронметра. Исследовано гидравлическое сопротивление, эффективность очистки воздуха от пыли, распределение статического давления в сепарационной зоне исследуемого пылеуловителя экспериментальным путем и с помощью компьютерного моделирования. Проведен сравнительный анализ искомых параметров с аппаратом-прототипом, обоснованы преимущества использования секционного жалюзийного отделителя с точки зрения аэродинамических особенностей такой конструкции. Впервые построена трехмерная модель циклонного аппарата с жалюзийным отделителем и проведен ее числовой анализ с помощью уравнений Навье-Стокса и методов конечных элементов. Установлено, что в результате монтирования ступенчатого жалюзийного пылеотделителя коаксиально корпусу аппарата скорость воздушного потока во входу в аппарат и в центре вихря значительно снижается, что приводит к б

НТБ
ІФНТУНГ



избегания излишней турбулизации потока. Результаты математического моделирования, задействованные при компьютерном анализе трехмерной модели, продублированы на стандартном экспериментальном стенде для сравнительных испытаний пылеуловителей в соответствии с «Единой методикой сравнительных испытаний пылеуловителей». Установлено, что использование жалюзийного пылеотделителя не снижает перепада статического давления между осью и периферией аппарата, но влияет на его распределение в сепарационном пространстве, снижая перепад давления между стенкой аппарата и жалюзийным пылеотделителем, что позитивно влияет на процесс сепарации. Проведены сравнительные испытания полупромышленного образца пылеуловителя на дробебетном и пескоструйном оборудовании. Установлены высокие показатели эффективности и невысокое гидравлическое сопротивление при использовании пылеуловителя с жалюзийным отделителем для очистки воздуха от пыли на небольших скоростях подачи пылевоздушной смеси.

Разработаны конструкции передвижных пылеуловителей со ступенчатым жалюзийным отделителем, описаны рекомендуемые соотношения их геометрических размеров и технологические параметры процесса очистки потока воздуха. Результаты диссертационной работы внедрены на предприятиях обрабатывающей отрасли.

Ключевые слова: эффективность пылеочистки, обрабатывающее предприятие, жалюзийный отделитель, гидравлическое сопротивление

**М
reducti**

**Г
enginee
Frankiv**

**И
cleanin
applica
efficien**

**Л
with th
the cyc
analysis
the dus
investi**

**Л
and the
inside
present**

used at the wood processing enterprises or the processing branches.

Keywords: efficiency of dust collectors, manufacturing enterprises, cyclone, jalousie separator, hydrolic resistance.

**ment for the
Manuscript.**

didate of the
it the Ivano-

yclones for
pedience of
st collection

lust collector
nal model of
its numerical
leaning from
collector arc

re developed
jalousie
t cleaning are
ations and are