

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»**

КУЦ Віктор Петрович



УДК 628. 511

**НАУКОВО-ПРАКТИЧНІ ОСНОВИ СТВОРЕННЯ
ВИСОКОЕФЕКТИВНОГО ПИЛООЧИСНОГО
ОБЛАДНАННЯ КОМБІНОВАНОЇ ДІЇ**

05.17.08 Процеси та обладнання хімічної технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
доктора технічних наук

Дисертацією є рукопис.

Роботу виконано в Тернопільському національному технічному університеті імені Івана Пулюя Міністерства освіти і науки України на кафедрі обладнання харчових технологій.

Науковий консультант

доктор технічних наук, професор
ГУМНИЦЬКИЙ Ярослав Михайлович,
Національний університет «Львівська політехніка», професор кафедри екології та збалансованого природокористування.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
СКЛАБІНСЬКИЙ Всеволод Іванович,
Сумський державний університет,
завідувач кафедри процесів та обладнання хімічних і нафтопереробних виробництв;

доктор технічних наук, професор
УЛЬЄВ Леонід Михайлович,
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», професор кафедри інтегрованих технологій, процесів і апаратів;

доктор технічних наук, професор,
заслужений діяч науки і техніки України
БІЛЕЙ Петро Васильович,
Національний лісотехнічний університет України,
завідувач кафедри технологій сушіння та захисту деревини.

Захист відбудеться 29 грудня 2015 року о 12 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.09 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: м. Львів – 13, вул. Ст. Бандери, 12, головний корпус, аудиторія 226.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Національного університету «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів – 13, вул. Професорська, 1.

Автореферат розіслано «___» листопада 2015 р.

В. о. вченого секретаря
спеціалізованої вченої ради
доктор технічних наук, доцент



Якимечко Я.Б.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Переважна більшість процесів хімічної, металургійної, гірничорудної промисловості, промисловості будівельних матеріалів супроводжуються утворенням значних обсягів неоднорідних систем, які із-за недосконалості ряду технологій, недостатньої ефективності обладнання для їх розділення найчастіше у вигляді відходів виробництв потрапляють в навколишнє середовище, забруднюючи воду і повітря.

Захист повітряного басейну від забруднення промисловими і вентиляційними викидами є однією із найважливіших проблем сучасності, що охоплює практично всі країни світу, незалежно від рівня їх промислового розвитку, вона не визнає територіальних меж. На вирішення цієї проблеми в промислово розвинених країнах виділяються значні кошти, адже об'єми викидів в атмосферу обмежуються міжнародними конвенціями, тому лише впровадження нових безвідходних технологій виробництва, створення нових ефективних методів і апаратів очищення, вдосконалення діючої газоочисної апаратури є єдиним шляхом для розширення обсягів виробництва.

Постійне підвищення вимог до очисного обладнання, розширення сфер його застосування привело до створення апаратів одного призначення, але різному оформлених конструкційно. Ускладнились і схеми пилоочисних установок, значно зросла їх вартість. Часто питання покращення ефективності обладнання відсувало на задній план вимоги до його енерго- і металоємності.

В повній мірі використати потенційні можливості сучасних пилоочисних апаратів і схем пилоочищення, спростити проблеми в реалізації цих можливостей, тобто, створення високоефективного пилоочисного обладнання з незначними енерго- і металозатратами є актуальною проблемою сучасності, на вирішення деяких нових шляхів якої направлена дана дисертаційна робота.

Серед можливих шляхів вдосконалення обладнання для очищення газів від пилу як один із найперспективніших варто відмітити створення пиловловлювачів, в яких поєднані принципи дії декількох апаратів. При цьому вдається не лише підвищити ступінь очищення, але і зменшити виробничі площі, що займає очисне обладнання, скоротити енергетичні затрати на процес очищення і таким чином знизити вартість очищення в порівнянні з використанням декількох окремих апаратів, принципи дії яких поєднані в цьому обладнанні.

Для апаратів сухого пилоочищення вдалим технічним рішенням є створення пиловловлювачів, в яких поєднані принципи дії найпоширеніших апаратів відцентрового очищення – циклонів – і жалюзійних пиловловлювачів.

Результати теоретичних і експериментальних досліджень одного з перших такого виду апарата, дані його експлуатації на ряді підприємств різних галузей переконливо довели доцільність і перспективність такого шляху вдосконалення пилоочисного обладнання.

Однак для подальшого вдосконалення, усунення виявлених в процесі випробувань і експлуатації недоліків, для використання одержаних переваг при вдосконаленні і створенні апаратів інших типів необхідно розробити наукові основи створення цих апаратів, розробити методи їх експериментальних

досліджень і обробки отриманих результатів, методики розрахунку конструкцій, намітити і обґрунтувати сферу раціонального використання, тобто, вирішити науково-практичну проблему розробки високоефективного пилоочисного обладнання такого типу і його успішної експлуатації.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Тема дисертаційної роботи відповідає науковому напряму кафедри обладнання харчових технологій Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Дисертація виконана в межах науково-дослідної роботи «Екологічно чиста енергетика та ресурсозберігаючі технології», що відповідає науково-технічній програмі Міністерства освіти і науки України (№ держреєстрації 0194U029586).

Мета і завдання дослідження. Мета роботи полягає в розробці теоретичних і практичних основ створення високоефективних апаратів, в яких поєднані принципи відцентрового і жалюзійного розділення запиленних потоків, виборі і обґрунтуванні оптимальних режимів їх роботи, методики розрахунку конструкцій і основних показників роботи.

Для досягнення мети необхідно вирішити такі основні задачі:

- розробити і обґрунтувати єдиний підхід до можливостей підвищення ефективності пиловловлювання за рахунок поєднання принципів дії відцентрових і жалюзійних апаратів;
- обґрунтувати доцільність створення нових конструкцій відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря;
- провести і узагальнити експериментальні дослідження створених пиловловлювачів за рекомендованою для такого виду обладнання методикою з метою визначення їх технічних характеристик;
- на основі аналізу методів і математичних моделей розрахунку гідравлічного опору і ефективності пиловловлювання існуючого обладнання розробити методи і математичні моделі, придатні для запропонованих апаратів;
- провести порівняння результатів теоретичних розрахунків з експериментальними даними і оцінити достовірність запропонованих методів розрахунку основних показників роботи;
- розробити методику розрахунку конструкцій досліджених апаратів;
- обґрунтувати роль і місце створених пиловловлювачів в сучасних системах пилоочищення;
- розробити схеми систем пилоочищення з використанням цих та інших розроблених автором пиловловлювачів (мокрих, магнітного);
- намітити заходи для прискорення практичного використання пиловловлювачів і систем пилоочищення у виробничих умовах, оцінити їх економічну доцільність, розробити рекомендації щодо їх практичного застосування і техніко-економічної оптимізації.

Загальна методика вирішення проблеми складається з таких етапів: перший – створення наукових основ розділення запиленних потоків у відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря;

другий – створення теоретичних основ єдиного підходу до оцінки процесів розділення запиленних потоків у вказаних апаратах шляхом фізичної і математичної постановки задачі і її вирішення для визначення технологічних і конструкційних параметрів цих апаратів; третій – експериментальна перевірка достовірності теоретичних викладок і припущень шляхом випробувань за стандартною для такого класу очисного обладнання методикою з врахуванням особливостей створених апаратів; четвертий – створення універсальної методики розрахунку конструкцій пиловловлювачів з врахуванням характеру пилу і технологічних режимів виробництва; п'ятий – практична реалізація отриманих результатів, включаючи використання вловлених твердих продуктів.

Об'єкт дослідження – процес очищення запиленних потоків у створених відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря.

Предмет дослідження – вплив режимних і конструкційних параметрів апаратів на гідравлічний опір і ефективність очищення пилогазових потоків.

Методи дослідження – гідродинамічний (для визначення швидкостей і витрат потоків, втрат тиску); ваговий (для визначення ступеня очищення і пилових фракцій); методи визначення дисперсного складу пилу (з використанням пристроїв, рекомендованих стандартною методикою, та пристроїв, запропонованих автором). В теоретичних розрахунках використані основні рівняння інерційної сепарації в криволінійних каналах; для обробки результатів експериментальних досліджень застосовані методи математичної статистики.

Наукова новизна отриманих результатів:

Дисертаційна робота є узагальненням досліджень і розробок автора і спрямована на вирішення науково-прикладної проблеми, що має важливе народногосподарське значення для технологічних процесів розділення неоднорідних систем і зменшення шкідливих викидів у навколишнє середовище шляхом створення високоефективного обладнання для очищення промислових і вентиляційних газів від пилу.

Основні наукові результати роботи:

1. Теоретично обґрунтована можливість підвищення ефективності пиловловлювання шляхом створення апаратів, в яких поєднані принципи дії відцентрових і жалюзійних пиловловлювачів.

2. Встановлені аналітичні залежності для розрахунку гідравлічного опору створених пиловловлювачів від режимних і конструкційних параметрів, визначені коефіцієнти опору.

3. Отримані аналітичні залежності для розрахунку ефективності пиловловлювання згідно математичної моделі процесу сепарації в них.

4. Вперше запропоновані аналітичні залежності для визначення ефективності пиловловлювання від основних визначальних критеріїв.

5. Вперше на основі математичних моделей процесу сепарації запиленних потоків в трьох різних за конструкцією відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря запропоновані методики розрахунку ефективності пиловловлювання в них.

6. На основі здійснених технічних рішень і проведених досліджень розроблені науково-практичні основи створення серії пиловловлювачів, в яких поєднані принципи дії відцентрових і жалюзійних апаратів.

7. Розроблені рекомендації щодо раціонального використання пиловловлювачів в конкретних умовах виробництв і адаптований до цих умов метод техніко-економічної оптимізації очисних систем з використанням створених апаратів.

Практичне значення результатів полягає в:

- теоретичному обґрунтуванні, конструюванні, дослідженні і впровадженні у виробництво нових конструкцій пиловловлювачів. Новизна конструкцій підтверджена патентами України на винаходи;
- підвищенні ефективності пиловловлювання в створених апаратах в порівнянні з існуючими апаратами такого ж класу;
- отриманні загальних розрахункових залежностей, інженерних методик розрахунку і оцінки ефективності пиловловлювання, режимів роботи і критеріїв їх оптимального вибору;
- зниженні гідравлічного опору систем пилоочищення за рахунок застосування створених пиловловлювачів в порівнянні з використанням окремих апаратів, принципи дії яких поєднані в створених апаратах;
- зменшенні виробничих площ, що займаються системами пилоочищення з використанням запропонованих апаратів;
- підвищенні ефективності пиловловлювання в системах пилоочищення, в яких застосовані створені апарати;
- оптимізації роботи цих систем;
- можливості вибору необхідної системи очищення, виходячи із вимог конкретного виробництва.

Інженерно-конструкторські розробки автора передані для впровадження шістьом підприємствам, що підтверджено відповідними документами.

Результати дисертаційної роботи впроваджені в навчальний процес Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя, зокрема, при вивченні навчальної дисципліни «Процеси і апарати харчових виробництв». Будова, принципи дії і основи розрахунку запропонованих пиловловлювачів викладаються в лекційному матеріалі, основні показники роботи визначаються в процесі виконання лабораторних робіт, розробки конструкцій окремих апаратів і систем пилоочищення з їх використанням виконуються в курсовому і дипломному проектуванні.

Особистий внесок автора полягає в обґрунтуванні доцільності і створенні всіх конструкцій пиловловлювачів, що досліджувались в даній роботі, розробці математичних моделей процесів, які протікають в них, участі в експериментальних дослідженнях, обробці отриманих результатів. Автор дисертації брав безпосередню участь у конструюванні і впровадженні створених апаратів на промислових підприємствах. Висловлюю подяку за плідотворну співпрацю своїм аспірантам В.Б. Каспруку, Я.Д. Ярошу, О.М. Марціяшу, д.т.н., проф. С.М. Слободяну, науковому консультанту д.т.н., проф. Я.М. Гумницькому.

Апробація роботи. Основні положення дисертаційної роботи, включаючи питання їх наукової і практичної доцільності, доповідались і одержали позитивну оцінку на конференції «Екологія-95» (м. Дніпропетровськ, 1995), IX Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та апаратів харчових та нафтохімічних виробництв» (м. Одеса, 1996), X Міжнародній конференції «Вдосконалення процесів та апаратів хімічних та харчових виробництв» (ICSE-99), (м. Львів, 1999), V, VI, VII, VIII Міжнародних конференціях «Гідроаеромеханіка в інженерній практиці» (м. Київ, 2000, м. Харків, 2001, м. Київ, 2002, м. Київ-Черкаси, 2003), Міжнародній науково-практичній конференції «Міжрегіональні проблеми екологічної безпеки» (м. Суми, Україна, м. Санкт-Петербург, Росія, 2002), II Міжнародній науково-практичній конференції «Екологія: освіта, наука, промисловість і здоров'я» (м. Белгород, 2004), XI Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових і хімічних виробництв» (м. Одеса, 2006), XII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів і обладнання харчових і хімічних виробництв» (м. Одеса, 2008), I Міжнародному конгресі «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування» (м. Львів, 2009), II Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні технології в АПК та лісовому комплексі» (м. Луцьк-Ковель, 2009), Міжнародній науково-практичній конференції і школі-семінарі «Проблеми енергетичної ефективності харчових і хімічних виробництв» (м. Одеса, 2009), XIII Міжнародній науковій конференції «Удосконалення процесів та обладнання харчових та хімічних виробництв» (м. Одеса, 2010), Міжнародній науково-технічній конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій» (м. Тернопіль, 2010), Міжнародній науково-практичній конференції «Інноваційні енерготехнології» (м. Одеса, 2011), Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні технології та обладнання харчових виробництв» (м. Тернопіль, 2011), Всеукраїнській науково-технічній конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості» (м. Тернопіль 2013), науково-технічних конференціях Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя (1992 – 2015).

Публікації результатів роботи. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 68 наукових працях, в тому числі: 34 статтях у наукових фахових виданнях України, 8 у зарубіжних періодичних фахових виданнях, 10 патентах України на винаходи і корисні моделі, 16 матеріалах і тезах доповідей конференцій.

Структура і об'єм дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, шести розділів, основних висновків, списку використаних джерел, який включає 299 найменувань, додатків. Робота викладена на 311 сторінках основного тексту, містить 89 рисунків, 24 таблиці та додатки на 32 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність проблеми, яка вирішується, сформульовано мету і завдання досліджень, охарактеризовано наукову новизну і практичне значення отриманих результатів, наведено відомості щодо їх апробації.

У першому розділі розглянуті основи інерційного розділення неоднорідних систем у найпоширеніших пиловловлюючих апаратах – відцентрових (циклонах), жалюзійних, апаратах із зустрічними закрученими потоками (ЗЗП) і проведений критичний аналіз джерел літератури, в яких вирішуються питання пошуку можливих шляхів вдосконалення їх з метою покращення основних показників роботи – підвищення ефективності пиловловлювання і зниження гідравлічного опору.

З проведеного аналізу можна зробити висновок, що можливості покращення цих показників у вказаних пиловловлювачах лише внесенням змін в конструкцію їх окремих елементів практично вичерпані. Для досягнення відчутного покращення цих показників, а також зменшення енерго- і металоємності потрібно шукати інші рішення.

Одним із таких рішень є створення пиловловлювачів, в яких були б поєднані принципи дії декількох апаратів, зокрема, відцентрових і жалюзійних, що і вирішується в даній роботі.

Для досягнення поставленої мети вибрані і обґрунтовані напрями необхідних розробок і досліджень.

У другому розділі розкривається фізична суть процесів, які повинні протікати в кожному із трьох створених пиловловлювачів, показано, на усунення яких недоліків базових апаратів направлені прийняті конструкційні рішення, і в якій мірі вони зможуть покращити показники роботи нових апаратів. Обґрунтування можливості і доцільності поєднання в одному апараті принципів дії декількох апаратів проведене на основі аналізу конструкцій і роботи апаратів, принципи дії яких поєднуються. Створення декількох конструкцій продиктоване прагненням усунути певні недоліки кожного із базових апаратів і покращити показники роботи – збільшити ефективність пиловловлювання і зменшити гідравлічний опір – в нових апаратах комбінованої дії.

Представлений на рис. 1 пиловловлювач, названий жалюзійно-вихровим (ЖВП), поєднує принципи дії апаратів із зустрічними закрученими потоками (ЗЗП), або як їх ще називають, вихрових (ВП), і жалюзійних апаратів.

Аналіз роботи цих пиловловлювачів показав, що в них, незалежно від їх конструкцій, перш за все, від типу завихрювача, утворюється так званий «осьовий джгут», зумовлений тим, що в безпосередній близькості від осі апарата відцентрова сила, що діє на частинки пилу при обертанні пилоповітряного потоку, незначна і недостатня для відкидання цих частинок до периферії пиловловлювача, де вторинним потоком газу, що опускається зверху вниз, відкинуті частинки транспортуються в бункер. Тому частинки, які знаходяться в цьому «осьовому джгуті», безперешкодно виносяться потоком очищеного газу, який піднімається знизу вгору. Внаслідок цього знижується ефективність.

Встановлення всередині ЖВП концентричного до його корпусу циліндричної жалюзійної решітки, аналогічної тим, які використовуються в створених раніше пиловловлювачах, створює в ньому і умови для реалізації, крім відцентрового, розділення пилогазової суміші при проходженні через решітку.

Таке рішення виявилось найефективнішим способом усунення в апараті «осьового джгута», тобто підвищення ефективності такого пиловловлювача досягається впливом двох факторів – створенням умов для жалюзійного розділення і зменшенням негативного впливу завихрень.

Жалюзійна решітка 2 є циліндричним барабаном, бокова поверхня якого виконана із випуклих пластин (лопатей) 12. Для дослідження впливу її конструкції на показники роботи апарата були виготовлені три решітки з коефіцієнтами живого перерізу $k_p = 0,4; 0,3$ і $0,2$. Конструкція апарата дозволяє проводити заміну решіток і інших елементів, вплив яких на показники роботи досліджувався. В апараті передбачене можливе обертання жалюзійної решітки.

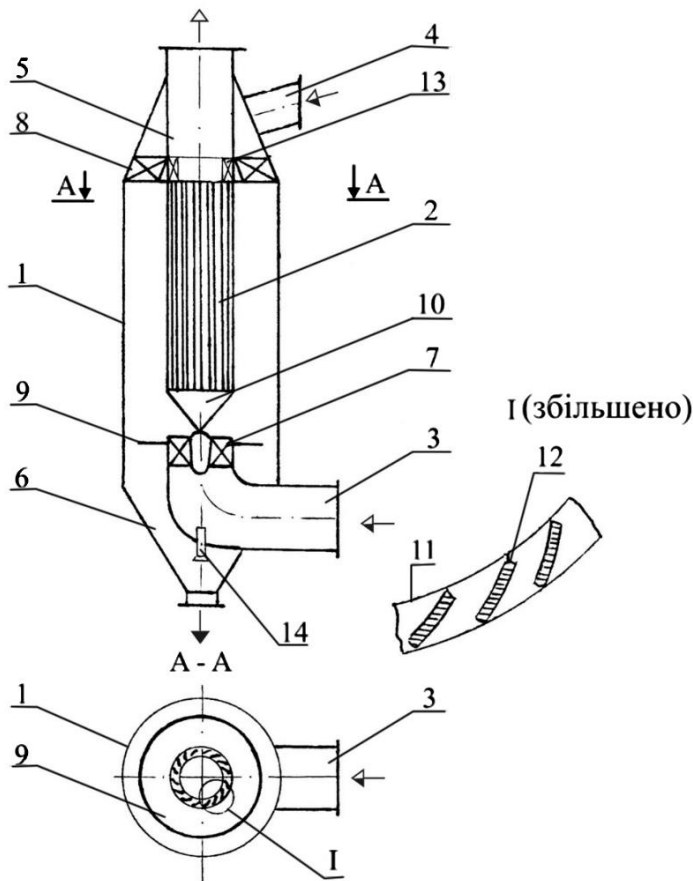


Рис. 1. Жалюзійно-вихровий пиловловлювач (ЖВП): 1 – корпус; 2 – решітка; 3 – патрубок вводу первинного потоку; 4 – патрубок вводу вторинного потоку; 5 – патрубок виходу очищеного повітря; 6 – бункер пилозбірний; 7 – завихрювач первинного потоку; 8 – завихрювач вторинного потоку; 9 – шайба відбійна; 10 – днище решітки; 11 – основа решітки; 12 – пластина (лопатець) решітки; 13 – підшипник; 14 – трубка зрівнювальна

Для досліджень були виготовлені три апарати з різним діаметром корпусу. Крім того, була передбачена можливість досліджувати ці апарати без решіток. Корпуси апаратів були виготовлені із скла, що давало можливість візуально спостерігати за процесом, що протікає в них.

Хоч у відцентрово-інерційних пиловловлювачах з жалюзійним відводом повітря, в тому числі і в ЖВП, вдалось в значній мірі усунути найхарактерніший недолік циклонів – підсмоктування і винесення частинок пилу потоком очищеного повітря, який піднімається і виходить через вихідну трубу, але їх ефективність, як і ефективність циклонів, зменшується із збільшенням діаметра апарата, тобто, зі збільшенням його продуктивності.

Створення батарейного циклона, в якому замість звичайних циклонних елементів використовуються елементи з жалюзійними решітками, аналогічними тим, що використовуються в пиловловлювачах з

жалюзійним відводом повітря, продиктоване, в першу чергу, прагненням усунути основний недолік цих апаратів – зменшення ефективності пиловловлювання із збільшенням діаметра. З іншого боку, таке рішення повинно усунути і основний недолік циклонних елементів – турбулізацію повітряного потоку при зміні напрямку його руху і винесення ним частини вже виділеного пилу. Батарейний циклон з жалюзійними елементами (БЦЖЕ), створений з врахуванням викладених вище передбачень, представлений на рис. 2.

Корпус апарата 6 виконаний прямокутним. В ньому розміщені 8 циклонних елементів 3 у два ряди по чотири в кожному. Діаметр циклонних елементів 0,1 м, вони розраховані на оптимальну продуктивність 0,035 м³/с (125 м³/год.)

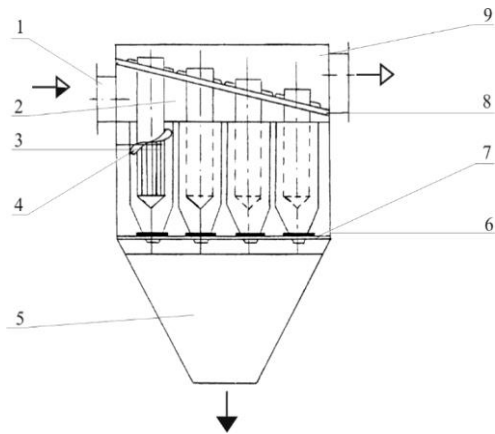


Рис. 2. Батарейний циклон з жалюзійними елементами (БЦЖЕ): 1 – патрубок вхідний; 2 – камера розподільча; 3 – елемент циклонний; 4 – апарат направляючий; 5 – бункер; 6 – корпус; 7 – перегородка опорна нижня; 8 – перегородка верхня; 9 – камера очищеного газу

кожний. Загальна продуктивність батарейного циклона 0,28 м³/с (1000 м³/год.). Інші елементи конструкції, крім вихідної труби, яка виконана у нижній частині у вигляді жалюзійної решітки, виконані у відповідності з рекомендаціями для батарейних циклонів НДІОГаз.

Для закручування пилогазового потоку, який поступає в циклонні елементи, використані направляючі (закручуючі) апарати типу «гвинт» і «розетка». Корпус одного із елементів виготовлений зі скла, а проти нього в корпусі апарата є оглядове вікно для спостереження за процесом, який протікає в ньому.

Аналіз відомих і приведених вище конструкцій пиловловлювачів із

жалюзійним відводом повітря свідчить, що, створивши в цих апаратах умови для рівномірного відводу очищеного повітря через бокову поверхню жалюзійної решітки за всією її висотою, умов для покращення відводу частинок пилу, що виділились із потоку, не створено. Так же, як і в циклонах, частинки пилу, відкинуті відцентровою силою до циліндричного корпусу, повертаються в зворотньому напрямі в конічній частині, з якої потрапляють у пилозбірний бункер. Іншим фактором, що негативно впливає на ефективність, є те, що по мірі зменшення діаметра конічної частини зменшується віддаль між шаром пилу, що рухається біля корпусу апарата вниз в бункер, і потоком очищеного газу, який піднімається, обертаючись, із бункера в горловину вихлопної труби по центру апарата. Ймовірність захоплення цим потоком газу і винос частинок пилу дуже велика, що також зменшує ефективність очищення в них.

На основі аналізу можливих варіантів усунення вказаних недоліків створений новий апарат – циклон зі ступеневим відведенням пилу (ЦВП), показаний на рис. 3. Особливостями його конструкції є наявність кільцевих зазорів за висотою корпусу і більша глибина занурення конічної частини у пилозбірний бункер, який за об'ємом такий же, як і в циклонах ЦН того ж діаметра, хоч діаметр його менший, ніж в циклонах, однак більша висота.

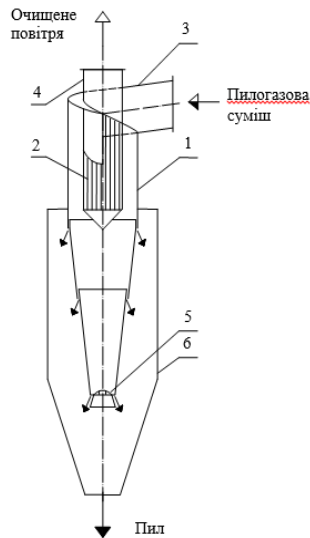


Рис. 3. Циклон зі ступеневим відведенням пилу (ЦВП): 1 – корпус; 2 – решітка жалюзійна; 3 – патрубок вхідний; 4 – патрубок виходу очищеного газу; 5 – клапан випускний; 6 – бункер

Для спостереження за процесом, що протікає в апараті, в бункері вирізаний отвір розміром 150x400 мм, щільно закритий склом. Для досліджень виготовлені два апарати: діаметром 0,4 м із металу і діаметром 0,1 м із скла (з металу виготовлена лише решітка).

У третьому розділі обґрунтований вибір методики експериментальних досліджень створених пиловловлювачів та приведені основні її положення і вимоги. Ця методика передбачає проведення експериментальних досліджень пиловловлювачів у два етапи: спочатку на незапиленому повітрі визначається гідравлічний опір і досліджується вплив на його величину режимних і конструкційних

параметрів, а після цього визначається ефективність пиловловлювання і досліджується вплив на її величину тих же параметрів.

Методика регламентує вимоги як до обладнання стендів, на яких досліджуються пиловловлювачі, так і до експериментального пилу, який використовується для штучного запилення повітряного потоку із заданою концентрацією.

Основним обладнанням стендів є вентилятор з електродвигуном постійного струму, який дозволяє регулювати витрати повітря в системі шляхом зміни частоти обертання колеса, пиловловлювач, що досліджується, пилоподавач, контрольно-вимірні прилади (трубки Піто-Прандтля, дифманометри). Схема одного із стендів зображена на рис. 4. Стенди для досліджень двох інших апаратів відрізняються лише іншим компонуванням в них пиловловлювача.

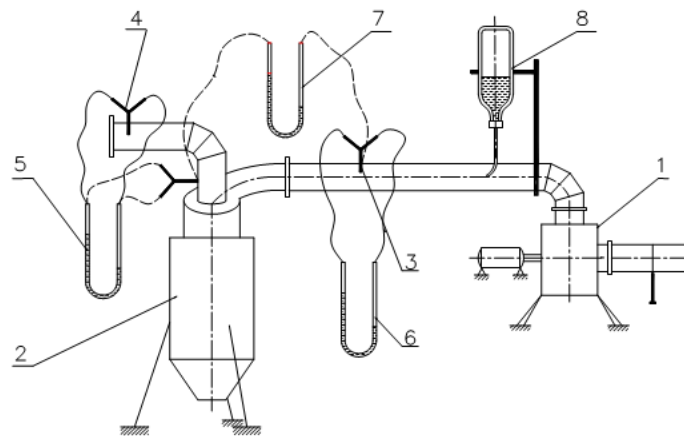


Рис. 4. Схема експериментального стенда для дослідження ЦВП: 1 – вентилятор; 2 – пиловловлювач; 3, 4 – трубки пневмометричні; 5, 6, 7 – дифманометри; 8 – пилоподавач

Визначення дисперсного складу експериментального пилю, як початкового, так і вловленого в апаратах, є важливим етапом при визначенні ефективності вловлювання в них як з точки зору достовірності результатів, так і тривалості виконання. Рекомендований застосованою методикою метод визначення дисперсного складу в седиментометрі з підйомною піпеткою хоч і забезпечує необхідну точність результатів, однак доволі тривалий в реалізації. Так, лише для відбору проб для аналізу в підситовій області необхідно не менше 6 годин.

Запропоновані автором два нові пристрої дозволяють значно скоротити цей час, а, отже, і загальну тривалість досліджень. Схеми їх зображені на рис. 5 і 6. В першому дисперсний склад визначається за швидкістю осадження частинок в рідині, в другому – за швидкістю витання частинок в повітрі.

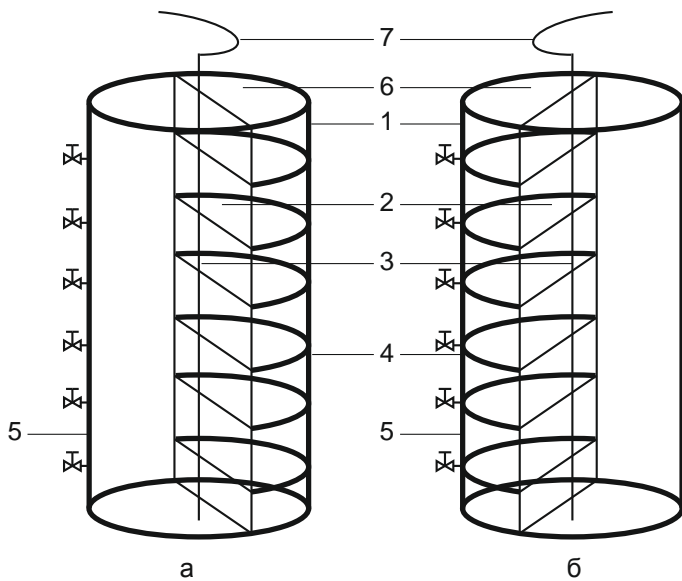


Рис. 5. Седиментометр: а – в неробочому положенні; б – в робочому положенні:
1 – циліндр; 2 – перегородка; 3 вісь; 4 – шибери;
5 – пластина вставна із зливними патрубками;
6 – кришка; 7 – ручка

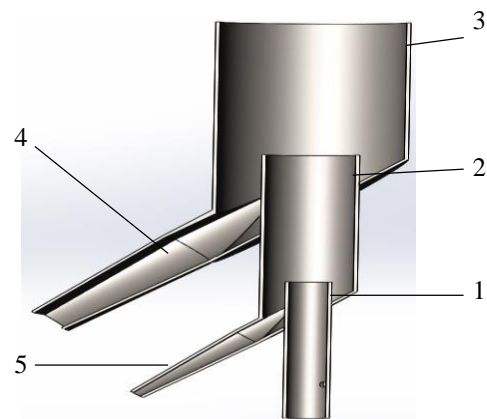


Рис 6. Сепаратор повітряний:
1, 2, 3 – трубки;
4, 5 – відвід фракцій пилю

Як експериментальний використовувався кварцовий пил густиною $\rho=2650$ кг/м³ з медіанним діаметром $\delta_{50}=(8\pm 0.5)$ мм. Регламентована величина початкової концентрації пилю $C_p=3$ г/м³.

В четвертому розділі приведені результати експериментальних досліджень основних показників роботи створених пиловловлювачів.

Основними залежностями при визначенні гідравлічного опору є залежності втрат тиску від швидкості газового потоку в апараті, а при визначенні ефективності пиловловлювання – її залежності від швидкості пилогазового потоку. Це може бути швидкість у поперечному перерізі (плані) апарата, так звана фіктивна або середньовитратна швидкість, чи швидкість у вхідному патрубку.

На рис. 7 приведені залежності втрат тиску в ЖВП з різними жалюзійними решітками (і без решітки) від фіктивної швидкості повітря, а в табл. 1 – коефіцієнти опору, визначені із цих залежностей.

В процесі випробувань ЖВП на величину гідравлічного опору і ефективності пиловловлювання досліджувався вплив співвідношення між первинним і вторинним потоками; можливого обертання жалюзійної решітки і швидкості обертання; кількості лопатей завихрювачів первинного потоків; рівномірність відводу очищеного повітря за висотою жалюзійної решітки. За результатами зроблені висновки щодо доцільності тих чи інших рішень в його конструкції і режимах експлуатації.

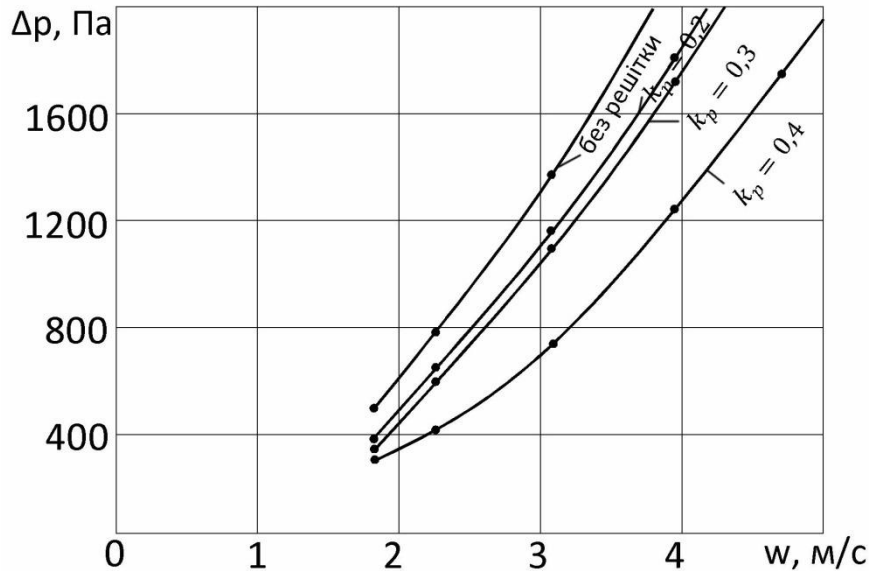


Рис. 7. Залежність гідравлічного опору ЖВП від фіктивної швидкості повітряного потоку (діаметр апарата $D = 0,14$ м; решітка нерухома)

Таблиця 1.
Значення коефіцієнтів гідравлічного опору ЖВП

Тип апарата	Діаметр апарата $D, мм$	Середня швидкість $w, м / с$	Коефіцієнт опору ξ
ЖВП ($k_p = 0,4$)	160	3,7	132
ЖВП ($k_p = 0,3$)	160	3,7	205
ЖВП ($k_p = 0,2$)	160	3,7	207
ВП	160	3,7	252

Визначений певний діапазон (1,5 – 2) співвідношення вторинного і первинного потоків повітря в апараті, при якому втрати тиску мінімальні. Оскільки витрата вторинного потоку доволі значна, то для роботи пиловловлювача з повним навантаженням цей потік доцільно подавати теж запиленим. Це дозволяє використовувати один вентилятор, а, отже, проводити процес очищення з меншими енергетичними затратами, що знижує його вартість.

Встановлено, що обертання жалюзійної решітки на втрати тиску в апараті практично не впливає. Отже, необхідності встановлення підшипникового вузла немає, і конструкція пиловловлювача значно спрощується.

Збільшення числа лопатей завихрювача сприяє зниженню втрат тиску, забезпечуючи плавніше введення потоку в апарат. Відчутніше це спостерігається в апараті без решітки. Оптимальними прийнято завихрювачі з 4 лопатями.

Однакові значення перепаду тиску за висотою жалюзійної решітки свідчать про рівномірний відвід повітря через бокову поверхню її, що є важливою умовою ефективної роботи пиловловлювача.

На рис. 8 представлений графік залежностей гідравлічного опору БЦЖЕ від швидкості газового потоку в плані циклонних елементів з двома типами направляючих апаратів в них.

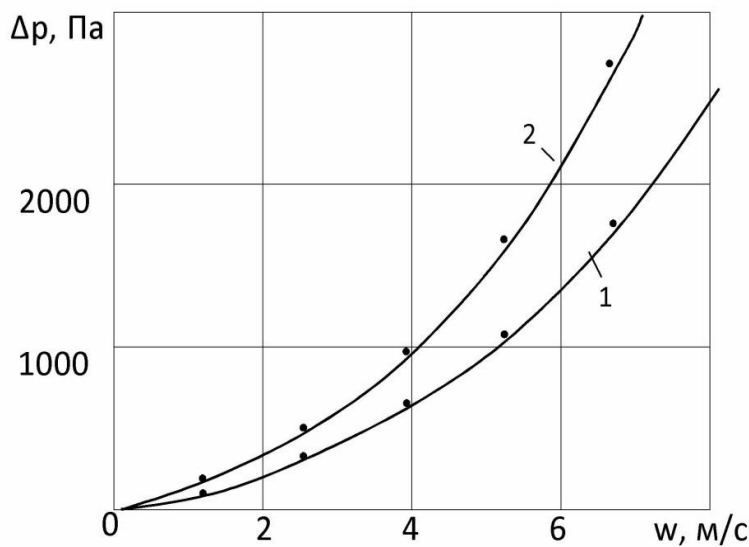


Рис. 8. Залежність гідравлічного опору БЦЖЕ від швидкості повітряного потоку в плані циклонних елементів: 1 – із закручуючим апаратом типу «гвинт», 2 – із апаратом «розетка»

Як видно із одержаних результатів, пиловловлювач з апаратами типу «розетка» має більше значення величини опору в порівнянні з пиловловлювачем з направляючими апаратами типу «гвинт». Так, при оптимальній швидкості повітряного потоку $w=3,5$ м/с коефіцієнт гідравлічного опору з апаратами типу «розетка» складає 102, а з апаратами типу «гвинт» – 68.

За результатами досліджень гідравлічного опору ЦВП побудовані графіки залежностей:

- 1) гідравлічного опору Δp від вхідної швидкості газового потоку w_{ex} пиловловлювача діаметром 0,4 м при трьох значеннях величини зазору в конічній частині корпусу ($5 \div 15$ мм) для трьох значень зазору у пиловипускному отворі ($5 \div 40$ мм);
- 2) гідравлічного опору Δp від фіктивної (в плані) швидкості газового потоку w при тих же значеннях зазорів;
- 3) гідравлічного опору Δp від швидкості проходження газу через жалюзійну решітку w_p при тих же значеннях зазорів;
- 4) гідравлічного опору Δp від швидкості газу у вихлопній трубі $w_{вих}$ при тих же значеннях зазорів;
- 5) гідравлічного опору Δp від продуктивності Q при тих же значеннях зазорів.

Такі ж залежності встановлені і побудовані і для пиловловлювача діаметром 0,1 м. Крім того, в цьому апараті були досліджені три конструкції конічного днища під жалюзійною решіткою з кутом при вершині 60° , 90° і 120° , відповідно, а також три конструкції відводу очищеного газу із апарата: вихлоп в атмосферу, відвід через коліно, відвід через дифузор. Цей апарат, як і апарат діаметром 0,4 м, досліджувався в двох режимах: під тиском і під розрідженням.

На рис. 9 і 10 представлені графіки основних залежностей, передбачені методикою: гідравлічного опору пиловловлювачів діаметром 0,4 м і 0,1 м від вхідної швидкості газового потоку w_{ex} і від фіктивної швидкості потоку w .

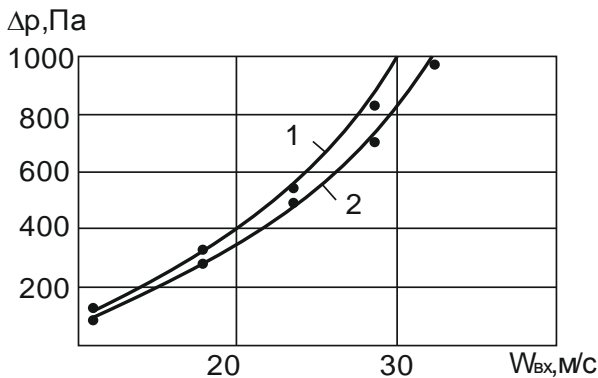


Рис. 9. Залежність гідравлічного опору ЦВП від вхідної швидкості:
1 – діаметр 0,4 м; 2 – діаметр 0,1 м

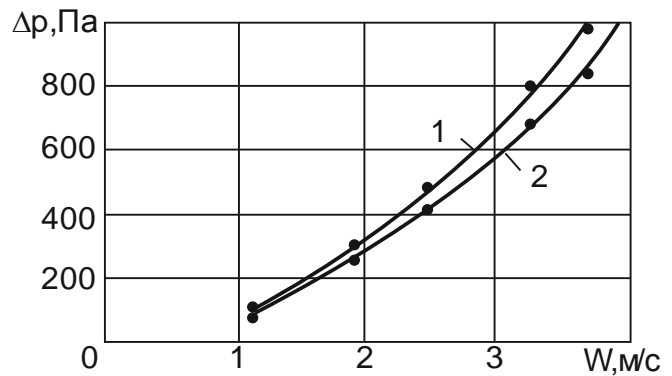


Рис. 10. Залежність гідравлічного опору ЦВП від швидкості в плані:
1 – діаметр 0,4 м; 2 – діаметр 0,1 м

Про ефективність, що досягається у пиловловлювачах в тих умовах, при яких визначався їх гідравлічний опір, можна судити за графіками рис. 11 – 14.

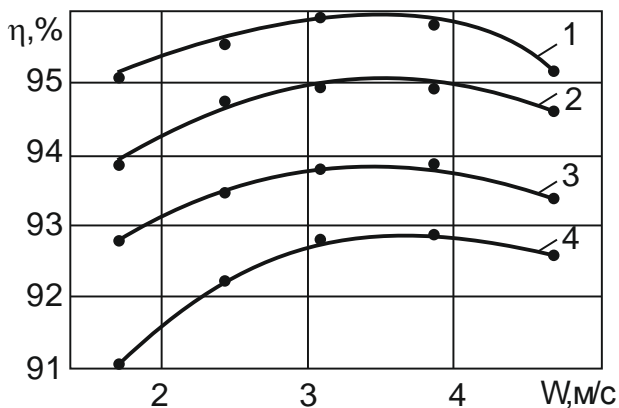


Рис.11. Залежність ефективності пиловловлювання ЖВП від швидкості в плані: ($D = 0,16$ м.; решітка нерухома):
1 – $Kp=0,4$; 2 – $Kp=0,3$; 3 – $Kp=0,2$;
4 – без решітки

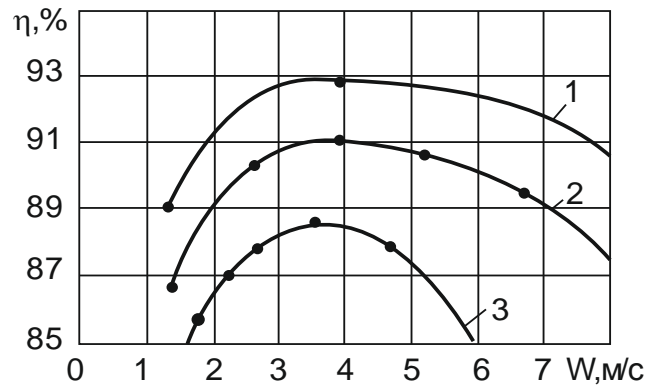


Рис. 12. Залежність ефективності БЦЖЕ від швидкості в плані: 1 – 3 направляючим апаратом «розетка»; 2 – «гвинт»; 3 – відцентрово-інерційний пиловловлювач

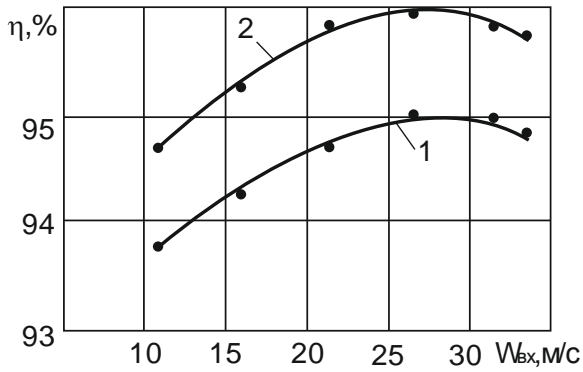


Рис. 13. Залежність ефективності ЦВП від вхідної швидкості: 1 – діаметр 0,4 м; 2 – діаметр 0,1 м

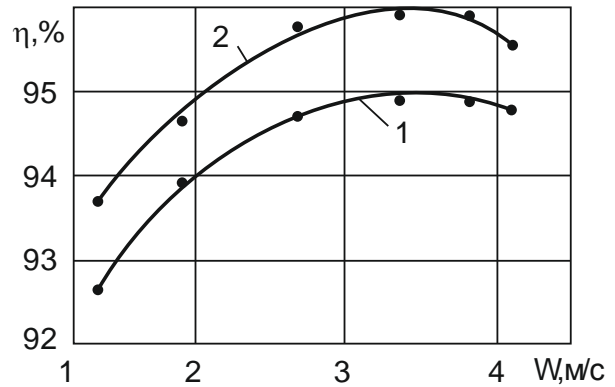


Рис.14. Залежність ефективності ЦВП від швидкості в плані: 1 – діаметр 0,4 м; 2 – діаметр 0,1 м

У п'ятому розділі розкривається суть методів теоретичного визначення основних показників роботи створених пиловловлювачів: гідравлічного опору і ефективності пиловловлювання, приводяться результати розрахунків і оцінка придатності їх порівнянням з даними експериментальних досліджень.

При визначенні гідравлічного опору в зв'язку з відсутністю єдиного підходу до методів визначення його у відцентрових апаратах, зокрема, циклонах, і наявністю через це значної кількості поглядів на вплив різних факторів, для створених пиловловлювачів було визнано доцільним розрахувати їх опір за найпоширенішими методиками, і шляхом порівняння з даними експериментальних досліджень вибрати найпридатнішу для кожного з них.

Розрахунок опору ЖВП проведений за методикою розрахунку опору апаратів із зустрічними закрученими потоками (ЗЗП). Вихідним рівнянням є рівняння енергетичного балансу потоків, які в нього поступають. Воно має вигляд:

$$\left[\left(\frac{p_1}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} \right) - \left(\frac{p_3}{\rho g} + \frac{w_3^2}{2g} \right) \right] \rho g Q_1 + \left[\left(\frac{p_2}{\rho g} + \frac{w_2^2}{2g} \right) - \frac{p_3}{\rho g} + \frac{w_1^2}{2g} \right] \rho g Q_2 = \rho g Q_3 h, \quad (1)$$

де p – тиск, Па; w_i – середня швидкість газу, м/с; ρ – густина газу, кг/м³.

Вирази в квадратних дужках є втратами напору між входом первинного потоку газу і виходом його із пиловловлювача.

Маючи на увазі, що $\rho g h_1 = \Delta p_1$, $\rho g h_2 = \Delta p_2$, $\rho g h_3 = \Delta p_3$, одержуємо

$$\Delta p = \Delta p_1 \frac{Q_1}{Q_3} + \Delta p_2 \frac{Q_2}{Q_3}, \quad (2)$$

де Δp – еквівалентні втрати тиску в апараті, Па.

Величини Δp , Δp_1 , Δp_2 можна представити через коефіцієнти гідравлічного опору апарата ξ і його каналів ξ_1 і ξ_2 залежностями

$$\Delta p = \xi \frac{\rho w^2}{2}; \Delta p_1 = \xi_1 \frac{\rho w_1^2}{2}; \Delta p_2 = \xi_2 \frac{\rho w_2^2}{2}, \quad (3)$$

в яких w , w_1 , w_2 – середні осьові швидкості газу у перерізах пиловловлювача і його каналів, м/с.

Тоді з рівняння (2) знаходимо:

$$\xi = \xi_1 \frac{w_1^2 Q_1}{w^2 Q_3} + \xi_2 \frac{w_2^2 Q_2}{w^2 Q_3}. \quad (4)$$

Розходження результатів теоретичних розрахунків втрат тиску в ЖВП за цією методикою з експериментальними даними не перевищує 10%.

При розрахунку гідравлічного опору БЦЖЕ, зокрема його циклонних елементів, враховувались відмінності конструкцій цих елементів і одиночних циклонів, а саме вхід повітряного потоку в апарат через направляючі апарати в елементах БЦЖЕ і тангенціальним патрубком в одиночних циклонах. Для проведення розрахунків циклонні елементи приймалися такими, як відповідні їм за розмірами одиночні циклони з тангенціальним патрубком.

Оцінка втрати тиску в БЦЖЕ проводилась декількома методами. Перший ґрунтується на двох факторах: на втраті тиску на вході в циклон і втраті тиску внаслідок тертя об стінки (позначені індексом i), а також на втраті тиску в центральній області і на вході у вихідну трубу (позначені індексом e).

Він передбачає визначення коефіцієнтів ξ , які виражаються через швидкість газів на вході, рівну $u_{\tau, \max}$, і задаються у вигляді функції від коефіцієнта опору ε , який визначається за формулою:

$$\xi = \frac{\varepsilon}{\left(\frac{a \cdot b}{0,785 D_e^2} \right)^2 \cdot \left(\frac{u_{\tau, \max}}{u_e} \right)^2},$$

де a – висота вхідного патрубка, м; b – його ширина, м; D_e – діаметр вихідного патрубка, м; u_e – швидкість газу на вході у вихідну трубу, м/с.

Коефіцієнт опору ε є сумою двох опорів

$$\varepsilon = \varepsilon_i + \varepsilon_e, \quad (6)$$

які знаходяться за такими виразами

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta p_i}{u_{\tau, \max}^2 (\rho + \rho'_4)} = \frac{D_e}{D} \left\{ \frac{I}{1 - \left[\frac{2u_{\tau, \max} (H - S) \mu'}{u_e D_e} \right]^2} - 1 \right\}; \quad (7)$$

$$\varepsilon_e = \frac{\Delta p_e}{u_{\tau, \max}^2 (\rho + \rho'_4) \cdot 2g} = \frac{K}{\left(\frac{u_{\tau, \max}}{u_e} \right)^{2/3}} + 1, \quad (8)$$

де D – діаметр циклона, м; H – його висота, м; S – глибина занурення вихідної труби, м; K – конструкційний коефіцієнт втрат.

Альтернативний метод розрахунку втрати тиску ґрунтується на визначенні в різних точках втрат тиску, що виражаються через швидкісний напір за формулою $\frac{u^2(\rho + \rho'_q)}{2g}$:

- 1) на вході – 1-й швидкісний напір $\frac{u_i^2(\rho + \rho'_q)}{2g}$;
- 2) на виході – 2-й швидкісний напір $\frac{u_e^2(\rho + \rho'_q)}{2g}$;
- 3) втрати всередині циклона.

Крім того, втрати, які виникають у вхідній і вихідній трубах, повинні бути розраховані за нормальними рівняннями для перепаду тиску в газоходах. При цьому вважається, що втрати всередині циклона є втратами тертя об стінку і втратами кінетичної енергії. Визначено, що втрата кінетичної енергії є подвоєна різниця між швидкісним напором на вході і на периферії внутрішньої області, тобто $\frac{(\rho + \rho'_q)(u_{\tau, \max}^2 - u_i^2)}{g}$, тоді як коефіцієнт втрат на тертя є відношенням

окружної швидкості u_i' на радіусі входу $\left(\frac{D}{2} - \frac{b}{2}\right)$ (до лінійної швидкості у

вхідному газоході u_i , тобто $\varphi = \frac{u_i'}{u_i}$

$$\varphi = \frac{\sqrt{\frac{D_e}{2(D-b)} + \frac{4GA}{ab}} - \sqrt{\frac{D_e}{2(D-b)}}}{2\frac{GA}{ab}}, \quad (9)$$

де G – постійна тертя (безрозмірна константа втрат на тертя Стентона і Панелла, рівна 0,05 для газових циклонів); A – площа поверхні циклона, яка контактує з газами, м².

Тоді повна втрата тиску розраховується із комбінації коефіцієнтів втрат:

$$\Delta p = \frac{(\rho + \rho'_q)}{2g} \left\{ u_i^2 \left[2\varphi \frac{2(D-b)}{D_e} \right] + 2u_e^2 \right\}. \quad (10)$$

Так же, як і для ЖВП, розрахунок гідравлічного опору БЦЖЕ проводився і за методикою розрахунку опору відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря, які є прообразом його циклонних елементів.

При цьому поправочні коефіцієнти на діаметр, компоновку і інші умови роботи приймалися такими, як під час розрахунку циклонів.

Для оцінки величини гідравлічного опору ЦВП використані ті ж методики, що і для двох попередніх пиловловлювачів. Результати розрахунків та експериментів представлені в табл. 2.

Таблиця 2

Продуктивність Q , м ³ /с	0,167	0,25	0,333	0,417	0,472	0,514
Швидкість в плані $w_{пл}$, м/с	1,33	1,99	2,65	3,32	3,76	4,09
Вхідна швидкість u_i , м/с	10,9	16,28	21,68	27,16	30,76	33,46
Вихідна швидкість u_e , м/с	1,74	2,6	3,47	4,34	4,92	5,35
Гідравлічний опір Δp , Па *	674,8	1505,4	2669,7	4189,9	5374,3	6359,2
Гідравлічний опір Δp , Па **	125,3	232,4	495,9	778,2	988,4	1181,0
Гідравлічний опір Δp , Па ***	108,0	243,0	431,9	677,9	869,4	1028,9
Експериментальні значення Δp , Па	126,3	282,8	501,4	795,0	1009,4	1194,4

За цими результатами можна зробити висновок про придатність деяких з цих методик для розрахунку гідравлічного опору цього пиловловлювача.

В табл. 3 представлені результати теоретичних розрахунків гідравлічного опору всіх трьох пиловловлювачів і їх порівняння з даними експериментальних досліджень. На їх основі можна зробити висновок, що методики, універсальної для всіх цих апаратів, немає, а, отже, для кожного із них необхідно використовувати найпридатнішу саме для нього.

Таблиця 3

Тип пиловловлювача	ЖВП			БЦЖЕ	ЦВП	
Діаметр апарата (елемента) D , м	0,14	0,15	0,16	8 елементів \varnothing 0,1 м	0,4	0,1
Оптимальна продуктивність Q , м ³ /с	0,056	0,065	0,07	0,28	0,44	0,02 75
Швидкість в плані w , м/с	3,7	3,7	3,7	3,5	3,5	3,5
Вхідна швидкість u_i , м/с	9,1	9,4	9,77	3,5	28,03	27,5
Вихідна швидкість u_e , м/с	6,22	6,5	5,8	12,7	9,9	10,2
Гідравлічний опір Δp , Па *	1035	1060	1092	3245	4709	3997
Гідравлічний опір Δp , Па **	1120	1150	1175	1560	874	820
Гідравлічний опір Δp , Па ***	1490	1523	1550	1020	762	711
Експериментальні значення Δp , Па	1215	1233	1250	750 (розетка) 675 (ГВИНТ)	850	790

Barth W. Brennst.- Staub, 1964. – pp. 41 – 53.

** Stairmand C.I. – Engine*erung, 168: 409 (1949: p 409 – 412).

*** За методикою автора

Різним був підхід і до питання теоретичного визначення ефективності пиловловлювання в створених апаратах. Зумовлене таке рішення як прагненням найповніше врахувати конструкційні і режимні особливості кожного з них, так і виявити найпридатнішу для практичної реалізації, і, по можливості, універсальну для апаратів цього типу.

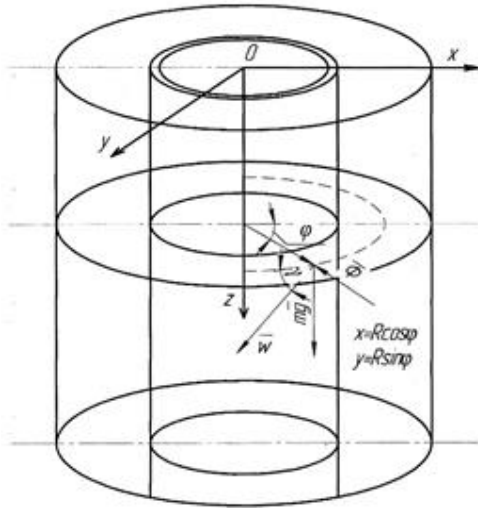


Рис. 15. Основні сили, що діють на частинку в потоці

корпуса апарата і вважатись вловленими, тобто визначити ефективність пиловловлювання, яка досягається лише за рахунок відцентрової (циклонної) сепарації, без врахування розділяючих властивостей жалюзійної решітки. Однак в цих рівняннях не враховується зміщення частинок пилу за висотою апарата, що відбувається в дійсності. Тому для опису реального руху частинок в апараті запропоновані рішення, які дозволяють отримати просторові траєкторії руху частинок, що насправді спостерігається: пилогазовий потік рухається у вигляді «джгута» зверху вниз, обертаючись у кільцевому каналі між корпусом і решіткою. Частинки пилу при цьому зміщуються або до периферії, або до осі обертання (в залежності від співвідношення діючих сил), опускаючись з потоком газу вниз, або піднімаючись знизу вверх (в первинному потоці ЖВП).

При русі твердої частинки в криволінійному повітряному потоці вважають, що на неї діє сила опору, яка пропорційна відноській швидкості частинки (відносно швидкості потоку) і яка визначається за формулою Стокса (рис. 15)

$$\overline{F}_1 = -3\pi\mu_n d \cdot \overline{v}_q, \quad (11)$$

де $\overline{v}_q = \overline{v} - \overline{w}$, \overline{v} абсолютна швидкість частинки м/с; \overline{w} абсолютна швидкість потоку м/с, μ_n в'язкість повітря, Па·с; d – діаметр частинки, м.

На рух частинки в криволінійному потоці впливає аеродинамічна сила радіального стоку, яка направлена до осі обертання і визначається за формулою

$$\overline{F}_2 = 3\pi\mu_n d \frac{\overline{\Phi}}{R}, \quad (12)$$

де $\overline{\Phi} = \frac{L}{2\pi H}$ – сток на одиниці висоти H апарата, м²/с; L – витрата, м³/с.

Для розрахунку ефективності пиловловлювання в ЖВП використаний метод, вперше розроблений автором і застосований для двох конструкцій раніше створених апаратів з жалюзійним відводом повітря.

Суть методу полягає в розрахунку за рівняннями руху твердих частинок пилогазового потоку в криволінійному каналі з обов'язковим врахуванням радіального стоку траєкторій руху частинок різних розмірів, що входять в апарат в різних точках вхідного патрубку, на різній відстані від осі. За цими траєкторіями можна визначити, частинки яких розмірів можуть досягти

Диференціальне рівняння руху частинки у векторній формі має вигляд

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = \vec{F}_1 + \vec{F}_2 + m\vec{g} \quad (13)$$

$$m \frac{d\vec{v}}{dt} = -3\pi\mu_n d(\vec{v} - \vec{w}) + 3\pi\mu_n d \frac{\vec{\Phi}}{R} + m\vec{g}$$

$$\frac{d\vec{v}}{dt} + \frac{\vec{v}}{\tau} - \frac{\vec{w}}{\tau} - \frac{\vec{\Phi}}{\tau R} - g = 0 \quad (14)$$

Потік входить в апарат під кутом γ до горизонту.

Розподіл швидкостей потоку в трансверсальному напрямку підлягає закону площ

$$w = \frac{k}{R}, \quad (15)$$

де $k = \text{const}$.

Проекції \vec{w} на координатні осі:

$$w_x = \frac{k \cos \gamma}{R} \sin \varphi = -\frac{k \cos \gamma}{R^2} y = -\frac{k \cos \gamma}{x^2 + y^2} y$$

$$w_y = \frac{k \cos \gamma}{R} \cos \varphi = -\frac{k \cos \gamma}{R^2} x = -\frac{k \cos \gamma}{x^2 + y^2} x \quad (16)$$

$$w_z = \frac{k}{R} \sin \gamma$$

Проекції сили $\vec{\Phi}$ на осі координат

$$\Phi_x = -\Phi \cos \varphi = -\Phi \frac{x}{R}$$

$$\Phi_y = -\Phi \sin \varphi = -\Phi \frac{y}{R} \quad (17)$$

$$\Phi_z = 0$$

Рівняння (14) в проекціях на осі координат запишеться:

$$\frac{d^2x}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dx}{dt} + \frac{k \cos \gamma}{\tau} \frac{y}{x^2 + y^2} + \frac{\Phi}{\tau} \frac{x}{x^2 + y^2} = 0$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dy}{dt} + \frac{k \cos \gamma}{\tau} \frac{x}{x^2 + y^2} + \frac{\Phi}{\tau} \frac{y}{x^2 + y^2} = 0 \quad (18)$$

$$\frac{d^2z}{dt^2} + \frac{1}{\tau} \frac{dz}{dt} - \frac{k \sin \gamma}{\sqrt{x^2 + y^2}} - g = 0$$

При переході до циліндричних координат R, φ, z

$$\frac{dx}{dt} = \dot{R} \cos \varphi - R \dot{\varphi} \sin \varphi \quad (19)$$

$$\frac{dy}{dt} = \dot{R} \sin \varphi + R \dot{\varphi} \cos \varphi$$

$$\frac{d^2y}{dt^2} = \ddot{R} \sin \varphi + 2\dot{R}\dot{\varphi} \cos \varphi + R\ddot{\varphi} \cos \varphi - R\dot{\varphi}^2 \sin \varphi$$

Помноживши перше рівняння (18) на $\cos \varphi$ а друге на $\sin \varphi$ і врахувавши формули (19), знаходимо

$$\ddot{R} + \frac{I}{\tau} \dot{R} - R\dot{\varphi}^2 + \frac{\Phi}{\tau R} = 0 \quad (20)$$

Аналогічно, помноживши перше рівняння на $-\sin \varphi$ а друге на $\cos \varphi$ і додавши, отримуємо

$$R^2 \ddot{\varphi} + 2R\dot{R}\dot{\varphi} + \frac{I}{\tau} R^2 \dot{\varphi} - \frac{k}{\tau} \cos \gamma = 0 \quad (21)$$

Останнє рівняння переписеться так:

$$\ddot{z} + \frac{I}{\tau} \dot{z} - \frac{k \sin \gamma}{R} - g = 0 \quad (22)$$

Приводимо систему рівнянь (20)–(22) до нормального вигляду
Позначаємо:

$$\begin{aligned} R &= U_1; \dot{R} = \dot{U}_1 = U_2; \\ \varphi &= U_3; \dot{\varphi} = \dot{U}_3 = U_{11}; \\ z &= U_5; \dot{z} = \dot{U}_5 = U_6 \end{aligned} \quad (23)$$

Тоді система запишеться так

$$\begin{aligned} \frac{dU_1}{dt} &= U_2, & \frac{dU_2}{dt} &= -\frac{U_2}{\tau} + U_1 U_4^2 - \frac{\Phi}{\tau U_1}, \\ \frac{dU_3}{dt} &= U_4, & \frac{dU_4}{dt} &= -\frac{2U_2 U_4}{U_1} - \frac{U_4}{\tau} + \frac{k \cos \gamma}{\tau U_1^2}, \\ \frac{dU_5}{dt} &= U_6, & \frac{dU_6}{dt} &= -\frac{U_6}{\tau} + \frac{k \sin \gamma}{U_1} + g \end{aligned} \quad (24)$$

Розв'язок системи цих рівнянь на ЕОМ дозволяє побудувати траєкторії руху частинок пилу в апараті, що достатньо для розрахунку ефективності відцентрової (циклонної) сепарації. Розрахункова схема представлена на рис. 16. Розраховувались траєкторії руху частинок діаметром від 1,0 до 63 мкм, які входили в пиловловлювач безпосередньо біля решітки ($R=0,048$ м), на відстані від решітки, рівній 0,25 ширини кільцевого каналу ($R=0,054$ м), на відстані 0,5 ширини каналу від решітки, тобто, в центрі його ($R=0,0636$ м), і на відстані 0,75 ширини каналу від решітки ($R=0,0718$ м).

Розрахунки проводились при середній швидкості повітря в каналі в межах від 16,0 до 30 м/с. Для кожного інтервалу часу Δt визначались координати частинок R і φ , швидкість $\frac{dR}{dt}$ і зміщення частинок за висотою апарата z .

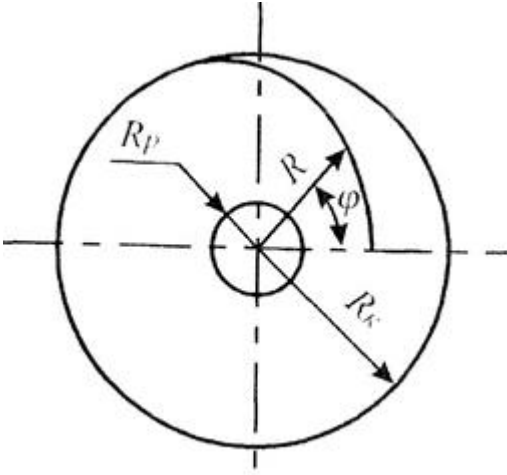


Рис. 16. Розрахункова схема для визначення траекторій руху частинок

цьому, відповідно, 0,016 м і 0,017 м (рис. 17, б).

Ефективність відцентрової (циклонної) сепарації може бути визначена як

$$\eta_s = \sum \eta_{\phi, \epsilon} \frac{f_{\epsilon x}}{100}, \quad (25)$$

де η_s – ефективність відцентрової сепарації;

$\eta_{\phi, \epsilon}$ – фракційний коефіцієнт відцентрової сепарації;

$f_{\epsilon x}$ – вміст фракцій в початковому пилу.

Фракційна ефективність визначається, виходячи із припущення, що у вхідному патрубку пиловловлювача частинки пилу різних розмірів розподілені рівномірно по всьому перерізу. З системи рівнянь (24) розраховується критичний радіус перерізу $R_{кр, \epsilon}$, при якому частинки заданого розміру за час перебування в апараті не можуть потрапити на жалюзійну решітку. Знаючи розміри пиловловлювача, фракційний коефіцієнт відцентрового очищення можна визначити за формулою

$$\eta_{\phi, \epsilon} = \frac{R_k - R_{кр, \epsilon}}{R_k - R_p}, \quad (26)$$

де R_k – радіус внутрішньої поверхні корпусу пиловловлювача, м;

R_p – радіус зовнішньої поверхні жалюзійної решітки, м.

Значення $R_{кр, \epsilon}$ знаходиться в межах $R_p \leq R_{кр, \epsilon} \leq R_k$.

На рис. 17, а показані, як приклад, траекторії руху частинок діаметром 63 мкм, які досягають корпусу пиловловлювача, не зробивши і півоберту (138° із радіуса входу 0,0554 м, 126° із радіуса входу 0,0636 м при швидкості пилоповітряного потоку 16 м/с). Зміщення за висотою при цьому становлять, відповідно, 0,040 м і 0,043 м.

При швидкості потоку 30 м/с частинки того ж розміру із тих же радіусів входу досягають корпусу апарата, і вважаються вловленими, зробивши повороти на 107° і 95° , відповідно. Зміщення по висоті при

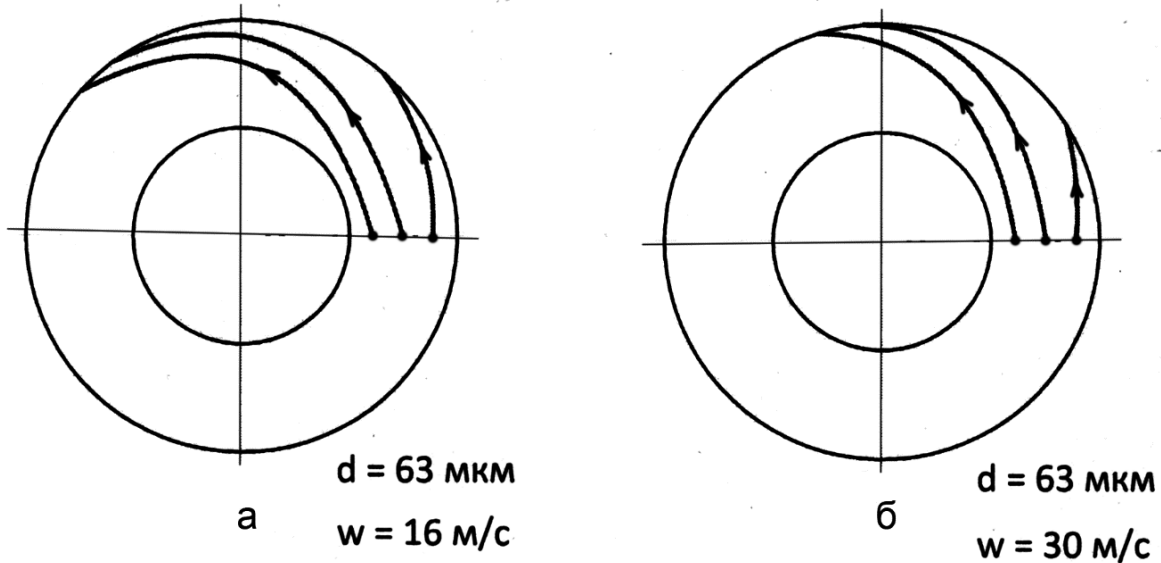


Рис. 17. Траекторії руху частинок в ЖВП

Таким чином були визначені фракційні коефіцієнти відцентрової сепарації заданого пилу для фракцій з еквівалентними діаметрами 1,0; 1,6; 2,0; 2,5; 4,0; 6,3; 8,0; 10,0; 16,0; 20,0; 25,0; 40,0; 63,0 мкм і за виразом (25) визначена загальна ефективність відцентрової сепарації, яка може бути досягнена.

Оцінка розділюючої здатності жалюзійної решітки проводилась так: в процесі експериментальних випробувань визначався загальний ступінь очищення заданого початкового пилу в тих умовах, параметри яких закладені в рівняннях (24), теоретично визначався за цими рівняннями і за рівняннями (25) і (26) ступінь вловлювання за рахунок відцентрової сепарації. Різниця між експериментально визначеною ефективністю очищення і теоретично визначеною ефективністю відцентрової сепарації може характеризувати розділюючі властивості застосованої жалюзійної решітки.

Для цього пиловловлювача, на відміну від раніше створених відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря, перевірити достовірність такого методу оцінки розділюючих властивостей жалюзійної решітки можна безпосередньо за результатами експериментальних досліджень. Адже конструкція пиловловлювача дозволяла проводити його випробування не лише з решітками з різним коефіцієнтом живого перерізу, але і випробовувати його без решітки, тобто, як звичайний вихровий пиловловлювач. Тому ефективність сепарації за рахунок додаткового очищення пилогазового потоку при проходженні через решітку можна оцінити шляхом порівняння результатів ефективності апарата з решіткою з ефективністю того ж апарата без решітки.

За результатами такого порівняння можна також судити про правомірність застосування для оцінки ефективності раніше створених і досліджених відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря методу порівняння даних експериментальних досліджень і результатів розрахунків циклонної сепарації, а їх різницю представляти як ефективність,

досягнену за рахунок застосування жалюзійних решіток для створення умов для додаткового розділення пилогазових потоків в апаратах відцентрової дії.

Найвищий показник ефективності, досягнутий в процесі експериментальних досліджень становив 96%. Він досягнутий в апараті діаметром 0,16 м з жалюзійною решіткою з коефіцієнтом живого перерізу $k_p = 0,4$.

Розраховане значення ефективності, яке досягається лише за рахунок відцентрових сил (без врахування розділяючих властивостей решітки), при тих параметрах, при яких досягнене експериментальне значення, складає 87%.

Отже, різницю в 9% можна розглядати як показник, що характеризує розділяючі властивості жалюзійної решітки.

Експериментально визначене значення ефективності пиловловлювання у вказаному пиловловлювачі без жалюзійної решітки становить 90%. Отже, за рахунок застосування решітки ефективність пиловловлювання зростає на 6%.

Саме цей показник (6%) в більшій мірі і переконливіше характеризує розділяючі властивості застосованих у вихрових пиловловлювачах жалюзійних решіток та доводить можливість і доцільність поєднання в одному апараті принципів дії відцентрових і жалюзійних апаратів.

Розрахунок ефективності пиловловлювання в БЦЖЕ, як і розрахунок його гідравлічного опору, ускладнювався тим, що відомі методи передбачать розрахунок циклонів з тангенціальним входом запиленого повітря. А, отже, циклонні елементи БЦЖЕ доводиться розглядати як відповідні їм за продуктивністю циклони з тангенціальним патрубком.

З врахуванням такого рішення розрахунок зводиться до визначення критичного діаметра частинок, які повинні вловлюватись із 100% ефективністю. За вмістом таких частинок в пилові, що вловлюється, визначається ефективність. Розрахунки за цими методиками узагальнені у вигляді рівняння

$$d_{кр} = const 10^{-6} \sqrt{\frac{1}{u_i}} \quad (29)$$

і оцінювались за величиною $const$, що входить в це рівняння. До складу $const$ входять режимні (продуктивність, швидкість потоку, в'язкість газу, густини газу і частинок) і конструкційні (діаметри циклона і вихідної труби, висоти циклона і його циліндричної частини, глибина занурення вихідної труби, діаметр пиловипускного патрубка) параметри циклона.

Хоч результати розрахунків за такого методикою засвідчили незначне розходження з експериментальними даними, все ж було вирішено розрахувати ефективність БЦЖЕ з врахуванням реального (осьового) входу запиленого потоку в циклонні елементи.

Суть запропонованого методу полягає у визначенні часу, необхідного для досягнення частинками пилу різних розмірів корпусу циклонного елемента, де вони вважаються вловленими, і порівняння його з часом перебування цих частинок в апараті. Тоді за значенням критичного розміру частинок, що вловлюються, і за вмістом таких частинок в початковому пилові визначають ефективність відцентрової сепарації.

Вихідними є відомі рівняння руху. За їх допомогою вирішується задача на розрахунки швидкості, довжини пройденого шляху і траєкторії руху

$$\frac{d\vartheta}{dt} = \frac{1}{\tau}(w - \vartheta) = -\frac{1}{\tau}\vartheta_c, \quad (30)$$

Розділяючи змінні і інтегруючи, одержують, маючи на увазі, що при $t=0$ постійна інтегрування $c = \ln w$,

$$l = \vartheta_0 \tau \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right),$$

або

$$\vartheta = \omega \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right),$$

а шлях, що проходить частинка,

$$l = \vartheta_0 \tau \left(1 - e^{-\frac{t}{\tau}}\right). \quad (31)$$

Оскільки тривалість руху t значно більша за τ , величиною $e^{-\frac{t}{\tau}}$ можна знехтувати, бо вже при $t=7\tau$ значення $e^{-\frac{t}{\tau}} \approx 0.001$. Тому в рівняннях можна знехтувати членами з цим множником, і вважати, що рух здійснюється з постійною – стаціонарною швидкістю.

Розрахунки значення τ для частинок різних розмірів, а також тривалості часу t , після завершення якого рух можна вважати практично квазістаціонарним ($t \approx 7\tau$), показали, що для частинок розміром 5 мкм і більше довжина початкової ділянки співрозмірна із загальною тривалістю шляху в елементах.

При розрахунках приймалися такі параметри: $R_{cp} = 0,04$ м;

Значення швидкостей пилогазового потоку на вході в циклонний елемент: осьова $w_{oc} = 9,18$ м/с; тангенціальна $w_m = 19,7$ м/с; сумарна $w = 21,7$ м/с.

Середній час перебування газового потоку в елементі визначається як

$$t = \frac{V}{Q}, \quad (32)$$

де V – ефективний об'єм циклонного елемента, м³;

Q – продуктивність циклонного елемента, м³/с;

$$V = \frac{\pi}{4} \left[\left(\frac{H-h}{D-B} \right) \left(\frac{D^3 - B^3}{3} \right) \right] + D^2 h \quad (33)$$

де H – висота циклонного елемента, м; D – діаметр його корпусу, м; h – висота циліндричної частини, м; B – діаметр пилівипускного отвору, м.

Цього часу цілком достатньо для досягнення частинками пилу доволі незначних розмірів корпусу циклонного елемента, тобто бути вловленими.

Критичний діаметр частинки, яка може бути вловлена в такому елементі,

$$d_{kp} = 3 \sqrt{\frac{\rho \vartheta}{\pi \rho_c n \omega \frac{R_2}{R_1}}} \quad (34)$$

де \mathcal{G} – кінематична в'язкість повітря, $\text{м}^2/\text{с}$; n – число обертів повітряного потоку в елементі; ω – середня кутова швидкість твердої фази (за умови, що швидкість повітряного потоку ω по перерізу робочої частини елемента величина постійна ($\omega = \frac{\mathcal{G}_k}{R_{cp}}$)).

Як показав розрахунок, критичний діаметр частинок $d_{kp} = 1,8 \cdot 10^{-6}$ м.

Тоді за графіком інтегральної функції розподілу початкової пилу визначається теоретично розрахована ефективність, що становить 88%. Розходження з експериментально визначеним значенням ефективності (93%) за тих умов, параметри яких закладені у використані рівняння, складає 5%.

На відміну від моделі розрахунку раніше досліджених відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря, ЖВП і БЦЖЕ, суть розрахунку ефективності пиловловлювання ЦВП полягає в перевірці другої необхідної умови сепарації частинок, а саме умови рівності відцентрової сили, що діє на частинку, яка знаходиться на границі осьової течії, зтягуючій силі радіального стоку. За цією концепцією зрівноважені таким чином частинки обертаються на стаціонарній кільцевій орбіті і мають однакову ймовірність бути знесеними у вихлопну трубу, або залишитись в циклоні і бути вловленими.

Вихідними для розрахунків є відомі рівняння руху частинок в криволінійному каналі з врахуванням радіального стоку.

Під впливом радіального стоку складова швидкості зменшується і стає рівною нулю на відстані максимального відхилення від осі обертання, рівному R_* . Якщо $R_* > R_1$, то частинка буде обертатись на стаціонарній орбіті, періодично відхиляючись від неї під впливом сил інерції до периферії; при $R_* < R_1$ частинка виноситься осьовим потоком. Для дотику частинки із стінкою необхідне дотримання умови $R_* \geq R_1$.

Величину радіуса стаціонарної обробки можна визначити із рівняння руху частинки. Так як $R_* = \text{const}$, то після досягнення стаціонарної орбіти, тобто $R = R_*$, $\frac{dR_*}{dt}$ і $\frac{d^2 R_*}{dt^2}$ рівні нулю і з цього рівняння отримують

$$\tau = \frac{\Phi}{\left(k + ce^{-\frac{1}{\tau}}\right)^2} R_*^2 \quad (35)$$

За межами початкової ділянки, тобто при $e^{-\frac{t}{\tau}} \approx 0$ відповідно

$$\tau = \frac{\Phi}{k^2} R_*^2 \quad (36)$$

Рівняння (35) і (36) встановлюють зв'язок між радіусом стаціонарної орбіти частинки і її крупністю. Підставляючи в рівняння (36) значення

$$\tau = \frac{m}{3\pi\mu_n d} = \frac{d^2}{18\mu_n} \rho_2,$$

одержують

$$d = \sqrt{\frac{18\mu\Phi}{\rho_2} \frac{R_*}{k}}. \quad (37)$$

За іншим варіантом розрахунків зводився до визначення критичного розміру частинок, які можуть досягти стінки корпусу, а отже, були вловленими. Для цього в рівняння (37) підставляють значення $R_* = R_2$. При відомому значенні критичного діаметра за графіком інтегральної функції розподілу пилу, який вловлювався, визначається ефективність пиловловлювання.

Якщо ж оцінювати ефективність пиловловлювання за стохастичною моделлю, тобто узагальнити експериментальні дані у вигляді критеріальних рівнянь, то вони мають вигляд: для ЖВП $\eta = 0,271(Stk)^{0,126}$ в межах значень $1,08 \cdot 10^{-2} < Stk < 4,12 \cdot 10^3$; для БЦЖЕ $\eta = 0,263(Stk)^{0,142}$ (із апаратом «розетка»; $\eta = 0,269(Stk)^{0,122}$ (із апаратом «гвинт»)) в межах $2,71 \cdot 10^{-3} < Stk < 2,94 \cdot 10^3$; для ЦВП: $\eta = 0,291(Stk)^{0,124}$ (діаметр 0,4 м) в межах значень $7,23 \cdot 10^{-4} < Stk < 2,87 \cdot 10^3$ і $\eta = 0,222(Stk)^{0,139}$ в межах значень $2,89 \cdot 10^{-3} < Stk < 1,15 \cdot 10^4$ (діаметр 0,1 м).

В табл. 4 приведені показники роботи всіх трьох пиловловлювачів.

Таблиця 4

Тип апарата	Діаметр апарата D, м.	Середня швидкість w, м/с	Коефіцієнт опору ξ	Гідравлічний опір Δp , Па	Ефективність пиловловлювання η , %
ЖВП ($k_p=0,4$)	0,16	3,7	132	1089	96
БЦЖЕ «розетка»	0,1 елем.	3,5	102	753	93
«ГВИНТ»			68	502	91
ЦВП	0,4	3,5	115	850	95
	0,1	3,5	107	790	96

У шостому розділі розкривається суть рішень з практичного застосування результатів розробок і досліджень.

Необхідними і обов'язковими елементами для розрахунку повного коефіцієнта пиловловлювання є фракційні (парціальні) коефіцієнти. Їх графіки для експериментального пилу, що використовувався, приведені на рис. 18 – 20.

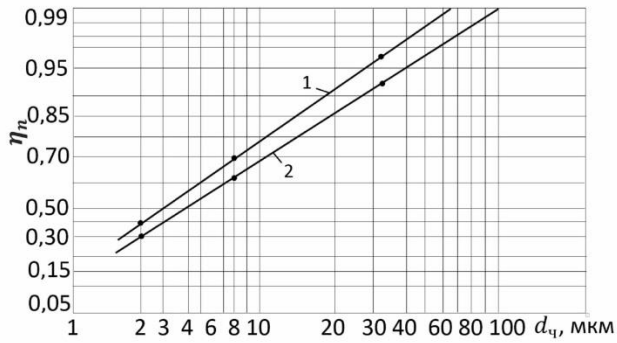


Рис. 18. Графіки парціальних коефіцієнтів очищення в ЖВП: 1 – апарат з решіткою; 2 – без решітки

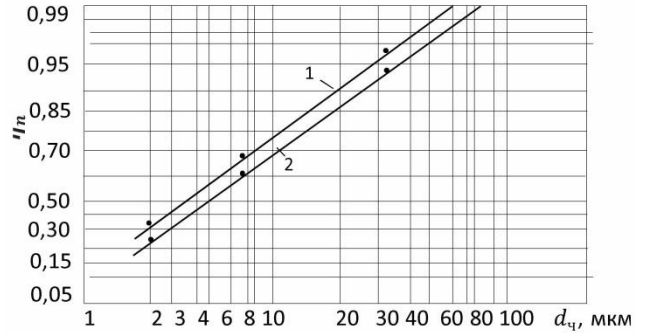


Рис. 19. Графіки парціальних коефіцієнтів очищення в БЦЖЕ: 1 – з напрямлюючим апаратом «розетка»; 2 – з апаратом «гвинт»

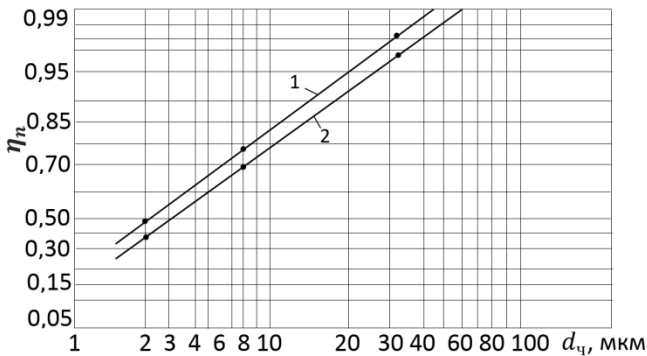


Рис. 20. Графіки парціальних коефіцієнтів очищення в ЦВП: 1 – діаметром 0,1 м; 2 – діаметром 0,4 м

Для всіх трьох створених пиловловлювачів розроблені методики розрахунку показників їх роботи і конструкційних розмірів.

Вихідними даними для розрахунків є: кількість газу (повітря), що очищається, Q , $\text{м}^3/\text{с}$; густина газу в робочих умовах ρ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$; динамічна в'язкість газу при робочій температурі μ , $\text{Па}\cdot\text{с}$; дисперсний склад пилу; запиленість газу $S_{\text{вх}}$, $\text{г}/\text{м}^3$; густина частинок $\rho_{ч}$, $\text{кг}/\text{м}^3$; необхідний ступінь очищення η , %.

Розраховані розміри пиловловлювачів і їх елементів представляються в долях внутрішнього діаметра корпуса (як для циклонів НДЮГаз).

Побудовані графіки залежностей цих розмірів від продуктивності, що в комплексі з методами розрахунку гідравлічного опору і ефективності пиловловлювання дозволяють вже на стадії проектування очисних систем оцінити придатність запропонованих пиловловлювачів як з точки зору показників роботи, так і з точки зору розмірів в місцях їх встановлення.

З метою прискорення впровадження запропонованих пиловловлювачів в конкретних умовах виробництва на заключних етапах експериментальних

досліджень на експериментальному стенді проводились дослідження по вловлюванню в них пилів, які утворюються в цих виробничих умовах.

Важливим показником при оцінці доцільності застосування пилоочисного обладнання є питомі затрати на очищення. Для запропонованих апаратів ці дані приведені на рис. 21 – 23.

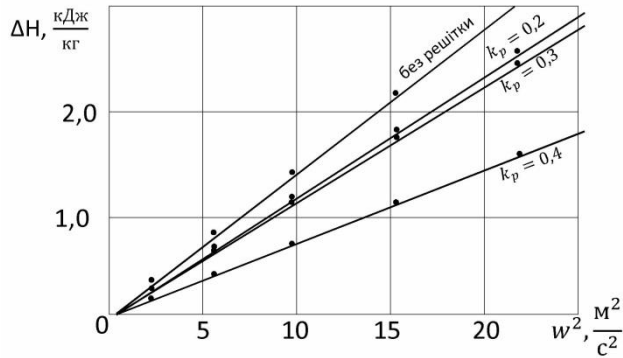


Рис. 21. Питомі затрати на очищення у ЖВП

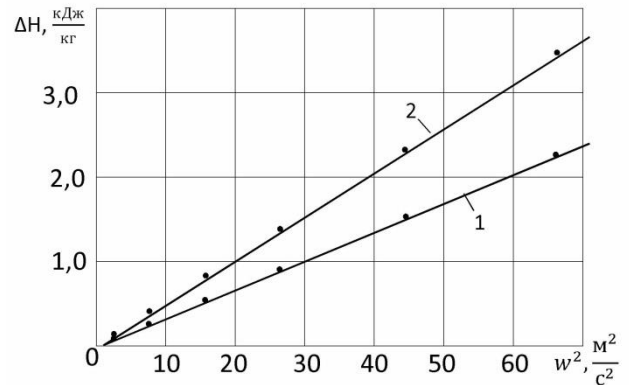


Рис. 22. Питомі затрати на очищення в БЦЖЕ:
1 – з апаратом «гвинт»;
2 – з апаратом «розетка»

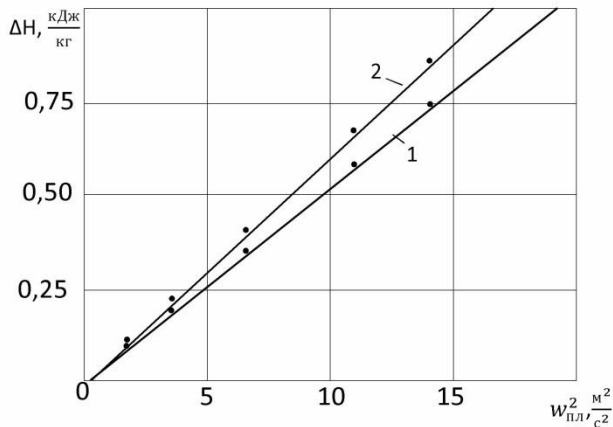


Рис. 23. Питомі затрати на очищення в ЦВП: 1 – діаметр 0,1 м;
2 – діаметр 0,4 м

Практичне застосування пиловловлювачі знайшли на шести промислових підприємствах. Сумарний економічний ефект від застосування, розрахований за методикою інституту Ленгипрогазоочистка з врахуванням особливостей виробництв і компоновок очисного обладнання, склав 1628,7 тис. грн/рік.

На основі аналізу умов раціонального використання близьких за принципами дії апаратів, в першу чергу циклонів і жалюзійних, результатів проведених досліджень і досвіду експлуатації створених раніше пиловловлювачів з жалюзійним відводом в реальних умовах виробництв розроблені рекомендації щодо їх раціонального застосування і експлуатації.

Хоч досліджені пиловловлювачі можуть використовуватись як самостійні очисні агрегати, однак в більшості випадків раціональніше використовувати їх на попередніх ступенях перед апаратами тонкого очищення: електрофільтрами, рукавними фільтрами, мокрими пиловловлювачами. Тут відчутно постає проблема оптимізації, суть якої полягає в найвигіднішому розподілі

технологічного навантаження між ступенями і забезпеченні проведення процесу з максимальною ефективністю і мінімальними затратами.

Вирішується ця проблема шляхом побудови в математичній формі техніко-економічних моделей об'єктів, які оптимізуються, тобто рівнянь, в яких були б зв'язані конструкційно-технологічні і техніко-економічні параметри.

Для всіх трьох запропонованих пиловловлювачів така оптимізація була проведена за методикою інституту Ленгипрогазоочистка.

Як апарати тонкого очищення в очисних системах після запропонованих пиловловлювачів можна використати апарати мокрогочислення чи магнітний пиловловлювач, запропоновані автором. Конструкції цих апаратів і способи очищення в них захищені патентами України на корисні моделі.

ВИСНОВКИ

На основі закономірностей інерційної сепарації твердих частинок із пилогазових потоків в криволінійних каналах і сепарації частинок при проходженні через жалюзійну решітку в дисертаційній роботі розроблені та обґрунтовані наукові положення, висновки і рекомендації, сукупність яких засвідчує нові результати в галузі процесів та обладнання хімічної та суміжних галузей технології, і які розв'язують науково-прикладну проблему створення високоефективних пилоочисних апаратів для зменшення шкідливих викидів діяльності людства на навколишнє середовище і здоров'я людини. Вирішення цієї проблеми дає змогу проводити очищення промислових і вентиляційних пилогазових потоків з вищою ефективністю і меншими енергетичними затратами.

1. На основі аналізу літературних джерел щодо принципів дії і конструкційного оформлення найпоширеніших ефективних пилоочисних апаратів, а також даних їх промислової експлуатації обґрунтовані напрямки щодо їх можливого вдосконалення з метою підвищення ефективності пиловловлювання і зниження затрат на очищення. До цих напрямків належать обґрунтування можливості, доцільності і передумов створення, теоретичні та експериментальні дослідження пиловловлюючих апаратів, в яких поєднані декілька принципів розділення пилогазових потоків, зокрема, найпоширеніших апаратів сухого пиловловлювання – циклонів і жалюзійних.

2. З врахуванням особливостей принципів дії і конструкцій відцентрових і жалюзійних пиловловлювачів, ставлячи за мету усунути в апараті, що створюється, найхарактерніші недоліки апаратів, принципи дії яких поєднуються, створені три конструкції відцентрово-інерційних пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря: жалюзійно-вихровий пиловловлювач (ЖВП), батарейний циклон з жалюзійними елементами (БЦЖЕ), циклон зі ступеневим відведенням пилу (ЦВП), захищені патентами України на винаходи.

3. За результатами комплексу порівняльних експериментальних досліджень за рекомендованою для такого класу пилоочисного обладнання методикою визначені основні технічні показники створених пиловловлювачів – гідравлічний опір і ефективність пиловловлювання – і встановлені залежності їх від режимних і конструкційних параметрів. Визначені діапазони оптимальних

значень цих параметрів, при яких досягається найвища ефективність пиловловлювання при помірному гідравлічному опорі. Коефіцієнти гідравлічного опору пиловловлювачів ξ складають: ЖВП (при швидкості в поперечному перерізі (плані) $w = 3,7$ м/с) $\xi = 132$; БЦЖЕ ($w = 3,5$ м/с) $\xi = 102$ (із закручуючими апаратами типу «розетка») і $\xi = 68$ (із закручуючими апаратами типу «гвинт»); ЦВП ($w = 3,5$ м/с): $\xi = 115$ (діаметр апарата $D = 0,4$ м) і $\xi = 107$ (діаметр апарата $D = 0,1$ м).

Ефективність пиловловлювання η на стандартному кварцовому піску густиною $\rho = 2650$ кг/м³ з медіанним діаметром $\delta_{50} = 8$ мкм відповідно складає: ЖВП (діаметр апарата $D = 0,16$ м) $\eta = 96\%$; БЦЖЕ (діаметр елемента $D = 0,1$ м) $\eta = 93\%$ (із закручуючими апаратами типу «розетка»), 91% (із закручуючими апаратами типу «гвинт»); ЦВП: $\eta = 95\%$ (діаметр апарата $D = 0,4$ м) і $\eta = 96\%$ (діаметр апарата $D = 0,1$ м).

В усіх апаратах використані жалюзійні решітки з коефіцієнтом живого перерізу $k_p = 0,4$. Швидкість проходження повітря через решітку w_p знаходиться в межах $4 - 5$ м/с, а швидкість у вихідному патрубку $w_{вих} \approx 10$ м/с.

4. З метою скорочення часу проведення одного із найважливіших етапів порівняльних експериментальних досліджень – визначення дисперсного складу пилу початкового і вловленого – запропоновані спосіб визначення дисперсного складу порошкоподібного матеріалу методом седиментометрії, захищений патентом України на винахід, і пристрій для його реалізації та пристрій для визначення дисперсного складу подрібнених матеріалів за швидкістю витання в повітряному середовищі, захищений патентом України на корисну модель. Застосування цих пристроїв скорочує час відбору проб для проведення аналізу дисперсного складу пилу в декілька разів (~ 15) в порівнянні з найпоширенішим і доволі точним способом седиментометрії на приладі з підйомною піпеткою, рекомендованим застосованою методикою.

5. На основі аналізу застосованих для розрахунку основних показників роботи – гідравлічного опору і ефективності пиловловлювання – існуючих методів і математичних моделей використані деякі з них і створені нові методи розрахунку цих показників для всіх трьох пиловловлювачів. Шляхом порівняння з експериментальними даними проведена оцінка їх достовірності. Максимальне розходження між результатами експериментальних досліджень і даними розрахунків при визначенні гідравлічного опору становить 14% , а при визначенні ефективності пиловловлювання – $7,8\%$.

6. Обґрунтовані роль і місце створених пиловловлювачів в класифікаційній схемі пилоочисного обладнання. Їх слід віднести до IV-го класу за ефективністю, а областями доцільного застосування є вловлювання пилу II-ї і III груп за дисперсністю. Доцільно застосовувати ці апарати переважно як перший ступінь очищення перед пиловловлювачами вищих класів (мокрими, тканинними, електрофільтрами).

7. За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблені методики розрахунку конструкційних розмірів створених апаратів.

8. Розроблені рекомендації щодо раціонального використання створених пиловловлювачів в реальних умовах промислових підприємств. Проведені заходи з прискорення впровадження їх у виробництво. Вони знайшли практичне застосування на підприємствах різних галузей.

9. Проведена оцінка економічної доцільності використання запропонованих апаратів. Річний економічний ефект від використання пиловловлювачів лише на шістьох підприємствах, яким протягом трьох останніх років передана технічна документація на них, становить 1628,7 тис. гривень.

10. Запропоновані технологічні схеми пилоочищення з використанням цих пиловловлювачів і інших, розроблених автором (мокрих, магнітного), конструкції яких теж захищені патентами України на корисні моделі. Проведена техніко-економічна оптимізація цих систем з метою найвигіднішого розподілу технологічного навантаження між ступенями і забезпечення проведення процесу з максимальною ефективністю і мінімальними затратами.

11. Результати виконаних розробок і досліджень свідчать, що обраний напрям вдосконалення пилоочисного обладнання шляхом поєднання принципів відцентрового і жалюзійного розділення є доцільним і економічно вигідним.

СПИСОК ОСНОВНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Куц В.П. Оцінка розділяючих властивостей відцентрових пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря / В.П. Куц // Вестник НТУУ «КПІ» Машиностроение – К, 1999 – Вып. 36. Том 2. – С. 454 – 459.

2. Куц В.П. Гідродинамічні характеристики відцентрових пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря / В.П. Куц // Вестник НТУ «ХПІ» – Технології в машиностроєнні – Харьков, 2001 – Вып. 129. Часть 1. – С. 234 – 239.

3. Куц В.П. Експериментальне визначення гідравлічного опору батареїного циклона з жалюзійними елементами / В.П. Куц, В.Б. Каспрук, Я.Д. Ярош, О.М. Марціяш // Вестник НТУУ «КПІ». – Машиностроєніє. – К.: 2002. – Вып. 42. Том 1. – С. 85 – 88. *(Постановка завдань досліджень, участь в дослідженнях та узагальнення результатів)*.

4. Куц В.П. Порівняльна оцінка методів розрахунку гідравлічного опору батареїного циклона з жалюзійними елементами / В.П. Куц, Я.Д. Ярош, О.М. Марціяш // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2003. – Т. 8, № 1. – С. 82 – 88. *(Постановка задачі та методики розрахунків)*.

5. Куц В.П. Батареїні циклони. Підвищення ефективності пиловловлювання / В.П. Куц, Я.Д. Ярош // Хімічна промисловість України. – 2004. – № 3. – С. 48 – 51. *(Обґрунтування доцільності створення і розробка конструкції, експериментальні дослідження, узагальнення отриманих результатів)*.

6. Куц В.П. Доцільність і передумови створення циклона з ступеневим відведенням твердої фази / В.П. Куц, О.М. Марціяш, Я.Д. Ярош // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2003. – Т. 8, № 4. – С. 128 – 132. *(Обґрунтування доцільності і можливості створення, розробка конструкції)*.

7. Куц В.П. Визначення гідравлічного опору циклона зі ступеневим відведенням твердої фази / В.П. Куц, О.М. Марціяш, Я.Д. Ярош // Вісник Сумського державного університету. Серія «Технічні науки». – Суми, 2003. – № 12 (58) – С. 98 – 102. (*Постановка завдань та методики досліджень, участь в дослідженнях, узагальнення результатів*).

8. Куц В.П. Методи розрахунку гідравлічного опору циклона з ступеневим відведенням пилу / В.П. Куц, О.М. Марціяш // Науковий вісник УкрДЛТУ. Збірник науково-технічних праць. – Львів, 2004. – Вип. 14.7. – С. 91 – 99. (*Постановка задачі та методики розрахунків, аналіз результатів*).

9. Куц В.П. Визначення ефективності очищення в циклоні з ступеневим відведенням пилу / В.П. Куц, О.М. Марціяш // Вісник НУ «Львівська політехніка» № 516 «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – Львів, 2004. – С. 93 – 98. (*Постановка завдань досліджень та аналіз результатів*).

10. Куц В.П. Розрахунок і області раціонального застосування циклона зі ступеневим відведенням пилу / В.П. Куц, О.М. Марціяш // Науковий вісник УкрДЛТУ. Збірник науково-технічних праць. – Львів, 2004. – Вип. 14.1 – С. 67 – 71. (*Постановка методики розрахунку*).

11. Куц В.П. Методика визначення техніко-економічних показників циклона з ступеневим відведенням пилу / В.П. Куц, О.М. Марціяш // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2004. – Т. 9, № 2. – С. 83 – 88. (*Обґрунтування вибору методики, аналіз результатів*).

12. Куц В.П. Возможные пути совершенствования центробежных пылеуловителей / В.П. Куц, М.П. Мылик, С.М. Балабан // Научное издание «Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова». – Белгород, 2004. – № 8. – С. 90 – 92. (**РИНЦ**). (*Обоснование возможностей и путей совершенствования*).

13. Куц В.П. Техніко-економічні показники батарейного циклона з жалюзійними елементами / В.П. Куц // Науковий вісник. Збірник науково-технічних праць НЛТУ України. – Львів, 2005. – Вип. 15.3. – С. 129 – 133.

14. Куц В.П. Жалюзійний відвід газу у вихрових пиловловлювачах: доцільність і перспективи / В.П. Куц // Вісник НУ «Львівська політехніка» № 529 «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – Львів, 2005. – С. 180 – 184.

15. Куц В.П. Характеристика і практичне застосування батарейного циклона з жалюзійними елементами / В.П. Куц // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2005. – № 4. – С. 206 – 212.

16. Куц В.П. Батарейний циклон з жалюзійними елементами: Результати досліджень і перспективи використання / В.П. Куц // Вісник НУ «Львівська політехніка» № 536 «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – Львів, 2005. – С. 174 – 178.

17. Куц В.П. Оцінка роздільних властивостей циклона з ступеневим відведенням пилу / В.П. Куц, О.М. Марціяш // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2006. – Вип. 16.1. – С. 173 – 181. (*Постановка задачі, узагальнення результатів*).

18. Куц В.П. Жалюзійний відвід повітря у відцентрових пиловловлювачах: результати досліджень і перспективи застосування / В.П. Куц // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2006. – Вип. 28. Т. 2. – С. 46 – 48.

19. Куц В.П. Розрахунок ефективності пиловловлювання батарейного циклона з жалюзійними елементами / В.П. Куц // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2006. – № 3. – С. 205 – 209.

20. Куц В.П. Ступеневе відведення пилу як шлях підвищення ефективності відцентрових пиловловлювачів // В.П. Куц // Вісник НУ «Львівська політехніка» № 553 «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – Львів, 2006. – С. 197 – 200.

21. Куц В.П. Розрахунок ефективності пиловловлювання в жалюзійно-вихровому апараті / В.П. Куц, В.Б. Каспрук, О.М. Марціяш // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2007. – Вип. 173. – С. 126 – 132. *(Розробка методики розрахунку, оцінка отриманих результатів)*.

22. Куц В.П. Апарат для мокрого пиловловлювання: доцільність і передумови створення / В.П. Куц, Г.П. Горішна, О.М. Марціяш // Науковий вісник НЛТУ України. – Львів, 2008. – Вип. 18.4. – С. 98 – 100. *(Обґрунтування доцільності створення і розробка конструкції)*.

23. Куц В.П. Методика розрахунку, конструювання і випробувань дослідного зразка пінного пиловловлювача / В. Куц, Г. Горішна, О. Марціяш // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2008. – № 2. – С. 190 – 196. *(Постановка задачі, розробка і розрахунок конструкції)*.

24. Куц В.П. Пристрої для визначення дисперсного складу подрібнених матеріалів / В.П. Куц // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2008. – Вип. 32. – С. 144 – 147.

25. Куц В.П. Можливі шляхи покращення роботи пінних пиловловлювачів / В.П. Куц, Г.П. Горішна, О.М. Марціяш // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2008. – Вип. 32 – С. 113 – 116. *(Аналіз та обґрунтування прийнятих рішень)*.

26. Куц В.П. Про застосування пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря / В.П. Куц // Сільськогосподарські машини. Збірник наукових статей Луцького національного технічного університету. – Луцьк, 2009. – Вип. 18. – С. 217 – 221.

27. Куц В.П. Зниження затрат на очистку запиленних потоків в апаратах комбінованої дії / В.П. Куц, О.М. Марціяш // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2009. – Вип. 35. Т. 2. – С. 50 – 52. *(Обґрунтування запропонованих рішень)*.

28. Куц В.П. Спосіб очистки газів від тонковолокнистого пилу / В.П. Куц, С.М. Балабан, В.М. Чиж, Я.М. Ханік // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2010. – Вип. 37. – С. 281 – 284. *(Виконання розрахунків та їх порівняльна оцінка)*.

29. Куц В.П. Порівняльна оцінка роботи пиловловлювачів з жалюзійним відводом повітря / В.П. Куц // Наукові праці ОНАХТ. – Одеса, 2011. – Вип. 39. Т. 2. – С. 134 – 140.

30. Куц В.П. Метод анализа дисперсного состава аэрозолей пыли и порошков / В.П. Куц, С.М. Слободян // Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул, 2014. – № 11 (81). – С. 248 – 251. **(РИНЦ)**. *(Предложен метод определения дисперсного состава пылей и порошков при осаждении их в жидкой среде)*.

31. Куц В.П. Оценка улавливания пыли составной системой / В.П. Куц, С.М. Слободян // Вестник Алтайского государственного аграрного

университета. – Барнаул, 2014. – № 3 (113). – С. 54 – 58. **(РИНЦ)**. *(Расчет трехступенчатой системы очистки с применением разработанных пылеуловителей)*.

32. Куц В.П. Методика анализа дисперсности пыли и порошков / В.П. Куц, С.М. Слободян // Вестник ТГАСУ. – Томск, 2014. – № 2 (243). – С. 103 – 109. **(РИНЦ)**. *(Разработана методика анализа дисперсного состава пилей и порошков с применением предложенного седиментометра)*.

33. Куц В.П. Метод оценки эффективности пылеуловительных систем / В.П. Куц, С.М. Слободян // Известия Томского политехнического университета, Математика, физика и механика. – Томск, 2014. – Т. 325, № 2. – С. 58 – 62. **(РИНЦ)**. *(Обоснование целесообразности создания систем пылеочистки с применением разработанных и испытанных пылеуловителей)*.

34. Каспрук В.Б. Гідродинамічні характеристики вихрового пиловловлювача з жалюзійним відводом повітря / В.Б. Каспрук, В.П. Куц, М.І. Плєсун / Вісник Тернопільського приладобудівного інституту. Тернопіль, 1996. – № 2. – С. 88 – 90. *(Постановка задачі, участь в дослідженнях, узагальнення результатів)*.

35. Каспрук В.Б. Методика експериментального визначення ефективності уловлювання вихрових пиловловлювачів з жалюзійною решіткою / В.Б. Каспрук, В.П. Куц, М.І. Плєсун // Вісник ДУ «Львівська політехніка» № 333 «Хімія, технологія речовин та їх застосування». – Львів, 1997. – С. 225 – 228. *(Обґрунтування вибору методики досліджень)*.

36. Каспрук В.Б. Експериментальне визначення ефективності жалюзійно-вихрового пиловловлювача / В.Б. Каспрук, В.П. Куц, М.І. Плєсун // Науковий вісник. Збірник науково-технічних праць УкрДЛТУ. – Львів, 1998. – Вип. № 8.1 – С. 184 – 186. *(Постановка задачі, участь в дослідженнях, аналіз результатів)*.

37. Каспрук В.Б. Підвищення ефективності очистки в жалюзійно-вихрових пиловловлювачах / В.Б. Каспрук, В.П. Куц, Я.Д. Ярош та ін. // Вестник НТУ «ХПИ». – Харьков, 2001. – Вып. 129. – С. 230 – 233. *(Постановка задачі досліджень, узагальнення результатів)*.

38. Каспрук В.Б. Оцінка економічної доцільності створення жалюзійно-вихрового пиловловлювача / В.Б. Каспрук, В.П. Куц // Промислова гідравліка і пневматика. – Вінниця, 2005. – 2 (8). – С. 74 – 76. *(Обґрунтування і вибір методики розрахунку)*.

39. Каспрук В. Можливі варіанти розрахунку гідравлічного опору жалюзійно-вихрового пиловловлювача / В. Каспрук, В. Куц, О. Марціяш // Вісник Тернопільського державного технічного університету. – Тернопіль, 2007. – № 2. – С. 87 – 91. *(Порівняльна оцінка результатів розрахунків)*.

40. Слободян С.М. Эффективность улавливания пыли и аэрозоля N – ступенчатой системой / С.М. Слободян, В.П. Куц // Известия Алтайского государственного университета. – Барнаул, 2014. – № 1-1 (81). – С. 257 – 261. **(РИНЦ)**. *(Обоснование необходимости создания ступенчатых систем пылеочистки)*.

41. Слободян С.М. Совершенствование ступенчатых систем пылевой и аэрозольной очистки вредных выбросов / С.М. Слободян, В.П. Куц // Безопасность жизнедеятельности. – М., 2014. – № 8. – С. 55 – 59. **(РИНЦ)**.

(Предложены варианты повышения эффективности пылеулавливания за счет применения разных пылеуловителей на разных ступенях очистки).

42. Слободян С.М. Расчет эффективности n-ступенчатого пылеуловителя / С.М. Слободян, В.П. Куц // Энергетик. – М, 2015. – № 4. – С. 17 – 19. **(РИНЦ).** *(Обоснование целесообразности применения методик расчета отдельных пылеуловителей как составных частей для расчета эффективности систем).*

43. Пат. № 23900 А Україна, МПК6 В04С 3/06. Жалюзійно-вихровий пиловловлювач / Куц В.П., Каспрук В.Б., Плєскун М.І. // Власник Тернопільський державний технічний університет ім. Івана Пулюя. – № 96062491; заявл. 24.06.96; опубл. 31.08.98, Бюл. № 4. *(Формула винаходу, розробка конструкції та участь в експериментальних дослідженнях).*

44. Пат. № 59139 А Україна, МПК7 G 01N 15/04. Спосіб визначення дисперсного складу порошкоподібного матеріалу / Куц В.П., Каспрук В.Б., Ярош Я.Д., Марціяш О.М. – № 2003010377; заявл. 15.01.2003; опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8. *(Формула винаходу, розробка конструкції та участь в експериментальних дослідженнях).*

45. Пат. № 59139 А Україна, МПК7 В 04С 3/06. Батарейний циклон з жалюзійними елементами / Куц В.П., Ярош Я.Д., Марціяш О.М. – № 2003021573; заявл. 24.02.2003; опубл. 15.08.2003, Бюл. № 8. *(Формула винаходу, розробка конструкції та участь в експериментальних дослідженнях).*

46. Пат. № 62320 А Україна, МПК7 В 04С 3/06. Циклон підвищеної ефективності з ступеневим відведенням твердої фази / Куц В.П., Марціяш О.М., Ярош Я.Д. – № 2003031933; заявл. 04.03.2003; опубл. 15.12.2003, Бюл. № 12. *(Формула винаходу, участь в експериментальних дослідженнях).*

47. Патент на корисну модель № 19332 Україна, МПК В 01Д 47/06. Спосіб очистки газів від тонковолокнистого пилу / Куц В.П., Балабан С.М., Ханик Я.М. // Власник Тернопільський державний технічний університет імені Івана Пулюя. – № 4 2006 06255; заявл. 05.06.2006; опубл. 15.12.2006, Бюл. № 12. *(Розрахунок і розробка конструкції, участь в експериментальних дослідженнях).*

48. Патент на корисну модель № 35760 Україна, МПК В01Д 47/06. Апарат для мокрого пиловловлювання / Куц В.П., Горішна Г.П., Марціяш О.М. – № 4 2008 02735; заявл. 03.03.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19. *(Формула винаходу, розробка конструкції).*

49. Патент на корисну модель № 35761 Україна, МПК G01N 15/04. Пристрій для визначення дисперсного складу подрібнених матеріалів / Куц В.П. – № 4 2008 02738; заявл. 03.03.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 19.

50. Патент на корисну модель № 37599 Україна, МПК В01Д 49/00. Спосіб видалення аерозольних частинок із газового потоку / Куц В.П. – № 4 2008 02755; заявл. 03.03.2008; опубл. 10.10.2008, Бюл. № 23.

51. Патент на корисну модель № 39426 Україна, МПК В01Д 49/00. Пристрій для видалення аерозольних частинок із газового потоку / Куц В.П. – № 4 2008 11742; заявл. 09.09.2008; опубл. 25.02.2009, Бюл. № 4.

52. Патент на корисну модель № 68642 Україна, МПК В01Д 47/06. Пиловловлювач для мокрого очищення газу від волокнистого пилу / Куц В.П., Балабан С.М., Горішна Г.П., Чиж В.М. – № 4 2011 08074; заявл. 29.06.2011;

опубл. 10.04.2012, Бюл. № 7. (*Обґрунтування доцільності створення, розрахунок затрат на реалізацію процесу*).

53. Куц В.П. Оптимізація конструкцій жалюзійно-вихрових пиловловлювачів / В. Куц, М. Плескун, О. Марціяш // Тези доповідей X міжнародної конференції «Вдосконалення процесів та апаратів хімічних та харчових виробництв» (УССЕ – 99) (Львів, 21 – 23 вересня 1999р.). – Львів.: ДУ «Львівська політехніка», 1999. – С. 23. (*Постановка завдання, узагальнення результатів*).

54. Куц В.П. Прилад для визначення дисперсного складу порошків і пилу / В.П. Куц, О.М. Марціяш, Я.Д. Ярош // Сборник трудов конференции «Межрегиональные проблемы экологической безопасности» (Сумы – Санкт-Петербург, 15 – 16 мая 2002 г.) – Сумы, Украина – Санкт-Петербург, Россия, 2002. – Т. 3. – С. 88 – 91. (*Розробка та розрахунок конструкції*).

55. Куц В.П. Застосування жалюзійного відводу повітря в батарейних циклонах / В.П. Куц, Я.Д. Ярош, О.М. Марціяш // Матеріали шостої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 24 – 26 квітня 2002. – 139. (*Обґрунтування прийнятих рішень*).

56. Куц В. Пиловловлювачі з жалюзійним відводом повітря: етапи і шляхи вдосконалення. / В. Куц. // Матеріали десятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя. – Тернопіль, 17 – 18 травня 2006. – С. 190.

57. Куц В. Техніко-економічна оптимізація систем очистки із застосуванням циклона з ступеневим відведенням пилу. / В. Куц, О. Марціяш. // Матеріали одинадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 16 – 17 травня 2007. – С. 184. (*Постановка задачі, проведення розрахунків*).

58. Куц В. Пристрій для визначення дисперсного складу подрібнених матеріалів. / В. Куц. // Матеріали дванадцятої наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 14 – 15 травня 2008. – С. 226.

59. Куц В. Шляхи вдосконалення пінних пиловловлювачів. / В. Куц, Г. Горішна, О. Марціяш. // Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 13 – 14 травня 2009. – С. 280. (*Аналіз конструкцій і принципів дії, порівняльна оцінка*).

60. Куц В.П. Зниження витрати води в мокрих пиловловлювачах / В.П. Куц, С.М. Балабан, Я.М. Ханік // Збірник матеріалів I Міжнародного конгресу «Захист навколишнього середовища. Енергоощадність. Збалансоване природокористування». – Львів, 28 – 29 травня 2009. – Львів.: НУ «Львівська політехніка». С. 37. (*Обґрунтування прийнятих рішень*).

61. Куц В. Магнітний пиловловлювач / В. Куц // Матеріали всеукраїнської наукової конференції Тернопільського державного технічного університету імені Івана Пулюя, – Тернопіль, 13 – 14 травня 2009. – С. 281.

62. Куц В. Мокрі пиловловлювачі: переваги, недоліки, основні типи. / В. Куц, Г. Горішна, О. Марціяш. // Матеріали міжнародної науково-технічної

конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 50-річчю Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя та 165-річчю з дня народження Івана Пулюя, – Тернопіль, 19 – 21 травня 2010. – С. 442. (*Постановка задачі, аналіз результатів*).

63. Куц В.П. Особливості методики експериментальних досліджень мокрих пиловловлювачів. / В.П. Куц, Г.П. Горішна, О.М. Марціяш. // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології та обладнання харчових виробництв», – Тернопіль, 29 – 30 вересня 2011. – С. 224 – 225. (*Обґрунтування вибору методики досліджень*).

64. Куц В.П. Обґрунтування вибору типу пиловловлювача. / В.П. Куц, Г.П. Горішна, О.М. Марціяш. // Тези доповідей міжнародної науково-технічної конференції «Сучасні технології та обладнання харчових виробництв», – Тернопіль, 29 – 30 вересня 2011. – С. 226 – 227. (*Аналіз конструкцій і принципів дії пиловловлювачів різних типів*).

65. Куц В. Особливості конструкції і методика досліджень мокрих пиловловлювачів. / В. Куц, Г. Горішна, О. Марціяш. // Збірник тез доповідей XVI наукової конференції Тернопільського національного технічного університету імені Івана Пулюя. Том II. Матеріалознавство та машинобудування. 5 – 6 грудня 2012 року, Тернопіль, Україна. – С. 120. (*Постановка задачі, узагальнення результатів*).

66. Куц В. Ефективність пиловловлювання багатоступеневих очисних систем і їх розрахунок / В. Куц // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості». – Тернопіль, 8 – 9 жовтня 2013. – С. 69 – 70.

67. Куц В. Методика оцінки показників роботи пиловловлювачів в умовах, що відрізняються від умов досліджень / В. Куц // Матеріали Всеукраїнської науково-технічної конференції «Актуальні проблеми харчової промисловості». – Тернопіль, 8 – 9 жовтня 2013. – С. 71 – 72.

68. Куц В.П. Очистка газів: основні причини, завдання, оцінка вигоди / Збірник тез Міжнародної науково-технічної конференції «Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій», присвяченої 55-річчю заснування ТНТУ та 170 річчю з дня народження Івана Пулюя. – Тернопіль.: ТНТУ, 19 – 21 травня 2015. – С. 205.

АНОТАЦІЯ

Куц В.П. Науково-практичні основи створення вискоефективного пилоочисного обладнання комбінованої дії. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси й обладнання хімічної технології. Національний університет «Львівська політехніка» Міністерства освіти і науки України, Львів, 2015.

Дисертація присвячена теоретичним та експериментальним дослідженням процесів пиловловлювання в апаратах, що поєднують принципи дії відцентрових і жалюзійних пиловловлювачів. Теоретично обґрунтована і підтверджена

експериментальними дослідженнями можливість і доцільність створення апаратів такого типу.

Для трьох конструкцій створених пиловловлювачів визначені основні показники роботи – ефективність очищення і гідравлічний опір – і досліджений вплив на їх величину режимних і конструкційних параметрів. Розроблені математичні моделі процесу сепарації в цих апаратах, які дозволяють визначити їх ефективність і оцінити доцільність застосування у виробничих умовах.

Рекомендовані найпридатніші для кожного із апаратів методи розрахунку гідравлічного опору. Запропонована методика розрахунку конструкційних розмірів. Розроблені рекомендації щодо раціонального використання апаратів та заходи з прискорення впровадження їх у виробництво.

Запропоновані два пристрої для визначення дисперсного складу пилу, які дозволяють значно скоротити тривалість дослідів.

Результати досліджень і розробок передані шістьом підприємствам, де передбачається їх використання з річним економічним ефектом 1628,7 тис.грн., та у навчальний процес.

Ключові слова: пилоочищення; жалюзійно-вихровий пиловловлювач (ЖВП); батарейний циклон з жалюзійними елементами (БЦЖЕ); циклон зі ступеневим відведенням пилу (ЦВП); гідравлічний опір; ефективність; сепарація; математична модель; економічний ефект.

АННОТАЦІЯ

Куц В.П. Научно-практические основы создания высокоэффективного пылеочистного оборудования комбинированного действия. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени доктора технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии. Национальный университет «Львовская политехника» Министерства образования и науки Украины, Львов, 2015.

Диссертация посвящена теоретическим и экспериментальным исследованиям процессов пылеулавливания в аппаратах, сочетающих принципы действия центробежных и жалюзийных пылеуловителей. Теоретически обоснована и подтверждена экспериментальными исследованиями возможность и целесообразность создания аппаратов такого типа.

Для трех конструкций созданных пылеуловителей определены основные показатели работы – эффективность очистки и гидравлическое сопротивление – и исследовано влияние на их величину режимных и конструкционных параметров.

Разработаны математические модели процесса сепарации в этих аппаратах, позволяющие определить их эффективность и оценить целесообразность применения в производственных условиях. Рекомендованы наиболее пригодные для каждого из аппаратов методы расчета гидравлического сопротивления. Предложена методика определения конструкционных размеров.

Разработаны рекомендации по рациональному использованию аппаратов и мероприятия по ускорению внедрения их в производство.

Предложены два устройства для определения дисперсного состава пыли, позволяющие значительно сократить продолжительность опытов.

Результаты исследований и разработок переданы шести предприятиям, где запланировано их использование с годовым экономическим эффектом 1628,7 тысяч гривен, и в учебный процесс.

Ключевые слова: пылеочистка; жалюзийно-вихревой пылеуловитель (ЖВП); батарейный циклон с жалюзийными элементами (БЦЖЭ); циклон со ступенчатым отводом пыли (ЦВП); гидравлическое сопротивление; эффективность; сепарация; математическая модель; экономический эффект.

SUMMARY

V.P. Kuts. Scientific and practical basis of creativity of high-efficiency dust-trapping equipment of composite action. – Manuscript copyright.

The doctoral thesis of specialty 05.17.08 Processes and equipment of chemical technologies. National University «Lviv Polytechnic» of Ministry of Education and Science of Ukraine, Lviv, 2015.

The dissertation is dedicated to the theoretical and experimental researches of dust-cleaning process at apparatus, which combine the action principles of centrifugal and louvered dust collector. The possibility and reasonability of creation such apparatuses are theoretically justified and confirmed by experimental researches.

Creation of each dust collector design among three, is motivated by tendency to eradicate by the way of combination some inherent for dust collector defects, which action principles are combined.

In louver-vortex dust collector through the installation inside apparatus the cylindrical louver concentrically to his housing, the efficiency upgrading is achieved as implementation of Principles of centrifugal and louvered divider, so elimination the so-called «axial bundle», in which the centrifugal force is too low for throwing the solid particles to the edge of apparatus, where these particles can be removed away by flow of purified gas, that decreases the separation efficiency.

The multicyclone creation, which elements are made with the cylindrical louvers, was motivated by the need to increase the efficiency through the combination of separation principles, to provide the significant productive capacity without reducing efficiency from using the elements of small diameter and to decrease the dimensions of apparatus especially vertically.

In the cyclone design with multistage dust removal it is provided, except the combination of the principles of centrifugal and louver separation by installing a cylindrical louver, the continuous removal of the basic mass of dust particles, which are thrown off to the edge, vertically step by step, because captured in conical part dust particles can be partially carried away by flow of purified gas as it happens in the cyclones.

The tests according to the standard procedure for this class of equipment for all three dust collectors, allowed to determine main parameters of their work – dust-

catching efficiency and hydraulic resistance – and to examine their impact on the value of operating and design parameters

The mathematical models of separation process which allow determining the dust-catching efficiency and their validity for specific conditions of possible application are worked out. The most suitable methods for calculation of hydraulic resistance are recommended. The determination method of the constructive dimensions has been suggested. The management recommendations and acceleration of their implementation were developed.

The two devices for dust size-consist determination, which allow to reduce the duration of the experiments significantly have been suggested.

Research and development results have been implemented on 6 enterprises where their usage are planned with 1.6287 million hryvnyas of annual economic effect, and also have been used in educational process.

Keywords: dust cleaning; louver-vortex dust collector; louver elements multicyclone; multistage dust removal cyclone; hydraulic resistance; efficiency; separation; mathematical model; economic effect.



Підписано до друку 19.11.2015 р.
Формат 60×90 Папір ксероксний.
Обл. вид. арк. 1,8
Наклад 100 прим. Зам. № 2628

Видавництво Тернопільського національного
технічного університету імені Івана Пулюя.
46001, м. Тернопіль, вул. Руська, 56.
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 4226 від 08.12.11
E-mail: vydavnytstvo@tu.edu.te.ua