

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

Галіч Роман Васильович



УДК 621.928.9(043.3)

**ВПЛИВ ВИХІДНИХ ПРИСТРОЇВ НА ГІДРОДИНАМІКУ
І ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИХРОВИХ ПИЛОВЛОВЛЮВАЧІВ**

05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

АВТОРЕФЕРАТ
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Суми – 2014

Дисертацією є рукопис

Робота виконана на кафедрі процесів та обладнання хімічних та нафтопереробних виробництв Сумського державного університету Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник -

доктор технічних наук, професор
Якуба Олександр Родіонович,
Сумський національний аграрний університет
Міністерства аграрної політики та продовольства
України, м. Суми,
професор кафедри інженерної технології харчових
виробництв

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Гумницький Ярослав Михайлович,
Національний університет «Львівська політехніка»
Міністерства освіти і науки України, м. Львів,
професор кафедри екології та збалансованого
природокористування

доктор технічних наук, професор
Лукашов Володимир Костянтинівич,
Шосткинський інститут Сумського державного
університету Міністерства освіти і науки України,
м. Шостка,
зав. кафедри технології високомолекулярних сполук

Захист відбудеться 31 жовтня 2014 р. о 16⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради **К 55.051.04** в Сумському державному університеті за адресою: 40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2, корп. Ц, ауд. 204.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотеці Сумського державного університету за адресою: 40007, Україна, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2.

Автореферат розісланий «29» вересня 2014 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради



Гурець Л. Л.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Сучасний екологічний стан України (висока концентрація екологічно шкідливих виробництв, морально і фізично застаріле, ненадійне та недостатньо ефективне технологічне обладнання природоохоронного призначення) визначає крайню актуальність постійної уваги щодо вирішення проблем забезпечення чистого повітря.

Східний регіон України, як найбільш насичений промисловими підприємствами хімічної, металургійної та будівельної галузей, є великим промисловим регіоном України, де щільно зосереджені екологічно небезпечні галузі сучасного промислового виробництва, обсяг викиду пилу в атмосферу з яких з кожним роком неупинно збільшується внаслідок зростання кількості джерел де утворюються заповилені потоки, що потребують очищення. Тому однією з актуальних проблем, що постає сьогодні перед промисловістю, є системне вдосконалення існуючої техніки і технології в галузі захисту навколишнього середовища в цілому, і, зокрема, зменшення запиленості повітря за рахунок створення інноваційних конструкцій знепилюючого обладнання.

Аналіз публікацій вітчизняних та закордонних дослідників та особистий досвід роботи в галузі охорони довкілля, свідчить, що через технологічну складність процесу вловлювання полідисперсного пилу й відносно високу його собівартість недостатньо розглянуті питання математичного моделювання процесу сепарації частинок пилу в системі зустрічних закручених потоків (ЗЗП), і як наслідок – відсутність надійної інженерної методики вибору і розрахунку вихрових пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ (Ц – з циліндричною сепараційною камерою), а також напрямків їх конструктивного удосконалення. Це не дозволяє на стадії проектування з потрібним рівнем об'єктивності проводити їх порівняльний аналіз за визначними показниками роботи – фракційній і загальній ефективності та енергоефективності. Крім того, актуальною задачею є також визначення питань з надання додаткових функцій та конструктивного оформлення ВАЗЗПЦ для використання в якості технологічного обладнання, що застосовується на різних технологічних стадіях виробництва – джерелах пилових викидів.

Викладене вище обумовлює актуальність обраної теми дисертації, спрямованої на вирішення важливої науково-практичної задачі – на основі теоретичного обґрунтування і дослідження процесу розділу фаз, зокрема виділення частинок пилу в системах з обертальними потоками, створювати та конструктивно розвивати нові високоефективні та більш вдосконалені типи обладнання природоохоронного призначення, зокрема вихрові апарати із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП), а також технологічну апаратуру з активною гідродинамікою для іншого призначення.

Зв'язок роботи з науковими темами, договорами. Робота має науково-прикладний характер і виконана у відповідності з науковим напрямком роботи кафедри процесів та апаратів хімічних та нафтопереробних виробництв Сумського державного університету з проблем дослідження та розробки нових конструкцій знепилюючого обладнання у сукупності з планом проведення спільних робіт з ПАТ «Севєродонецький ОРГХІМ» з питань дослідження, створення і промислового впровадження вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою (ВАЗЗПЦ) (Договір про науково-технічне співробітництво № 51.18–01.13Н, 2013).

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є розробка конструкції високоефективного пиловловлюючого обладнання на базі вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками для промислових підприємств різних галузей.

Поставлена мета досягнута шляхом вирішення наступних задач :

- вивчення впливу режимно-конструктивних параметрів вихідного патрубку на аеродинаміку і гідродинамічні характеристики, загальну ефективність сепарації та гідравлічний опір пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ (з циліндричною сепараційною камерою) ;

- вивчення впливу геометрії, побудови та умов експлуатації бункерної частини на основні параметри гідродинаміки в сепараційній камері вихрового пиловловлювача ;

- розробка математичної моделі визначення полів швидкостей у вихровому апараті з циліндричною сепараційною камерою виходячи з закону збереження моменту кількості руху ;

- уточнення математичної моделі розрахунку фракційної ефективності ;

- дослідження ефективності пиловловлювання та енерговитрат у вихровому апараті з безперервним вивантаженням пилу ;

- визначення основних місць моделі ВАЗЗПЦ для конструктивного удосконалення ;

- визначення напрямків з конструктивної адаптації моделі ВАЗЗПЦ щодо використання її в якості спеціального технологічного обладнання для проведення інших окрім пиловловлювання процесів ;

- розробка інженерної методики вибору і розрахунку вихрових пиловловлювачів з циліндричною сепараційною камерою і безперервним вивантаженням пилу.

Об'єкт дослідження – процес розділення фаз в механічних системах з заповненими повітряними потоками, зокрема, виділення частинок пилу під дією відцентрових сил у вихрових апаратах із зустрічними закрученими потоками.

Предмет дослідження – вплив основних режимно-конструктивних параметрів вихідних пристроїв на ефективність роботи вихрового апарата із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою.

Методи дослідження базуються на проведенні моніторингу ефективності роботи відцентрових пиловловлювачів на підприємствах хімічної, металургійної та будівельної галузей промисловості, для чого використано : гідродинамічний метод для визначення полів швидкостей ; ваговий – для визначення ступеня очищення ; дисперсний – для визначення гранулометричного складу пилу ; методи фізичного та математичного моделювання процесу розділення фаз в сепараційній камері. Достовірність та обґрунтованість наукових положень, висновків і результатів підтверджені коректним використанням сучасних методів математичної статистики, розрахунку похибок відхилень показів, теорії ймовірності при теоретичних дослідженнях і моделюванні динамічних процесів, значним обсягом дослідних даних, отриманих застосуванням відповідних засобів вимірювань і методів проведення експериментальних досліджень (спостереження, аналізу та синтезу), експериментальним підтвердженням моделей і методик розрахунків, отриманих в реальних умовах роботи обладнання. Методи активізації творчого процесу застосовані при створенні інноваційних конструкцій обладнання, зокрема, вихрового пиловловлювача з гвинтовою сепараційною камерою та контактного модуля мокрого очищення.

Наукова новизна полягає у визначенні умов для більш ефективної роботи вихрових пиловловлювачів із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою, створених на базі комплексних теоретичних, практичних та експериментальних досліджень, зокрема :

- вперше досліджено вплив вихідних пристроїв на гідродинаміку і ефективність роботи вихрових пиловловлювачів із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою ;

- показано, що аеродинамічні процеси, що відбуваються у вихідному патрубку, впливають на ефективність роботи та гідравлічний опір вихрового пиловловлювача з циліндричною сепараційною камерою і безперервним вивантаженням пилу ;

- визначені режими течії потоків у вихідному патрубку в залежності від ступеня закрученості повітря ;

- встановлено, що на ефективність роботи вихрових пиловловлювачів з циліндричною сепараційною камерою впливають геометрія бункерної частини і надійність ущільнень в місці вивантаження пилу ;

- розроблена математична модель з визначення полів швидкостей в робочій зоні, заснована на законі збереження моменту кількості руху, що дозволяє з достатньою для технічних цілей точністю оцінювати величини складових швидкості у будь-якій точці сепараційного простору вихрового пиловловлювача з циліндричною сепараційною камерою ;

- уточнена математична модель гідродинаміки вихрового апарата ; отримані формули, які дозволяють прогнозувати рівень фракційної ефективності пиловловлювання ;

- визначені зони для конструктивної модернізації найбільш важливих функціональних вузлів вихрових апаратів з циліндричною сепараційною камерою і надана оцінка рівня їх впливу на ефективність сепарації ;

- встановлено, що рівень активності та особливості гідродинаміки вихрових апаратів з циліндричною сепараційною камерою дозволяють поширити область їх використання в якості технологічних апаратів для проведення інших окрім пиловловлювання процесів хімічної технології. Показано, що способами конструктивної модернізації основних вузлів вихрових апаратів можливо адаптувати їх для конкретного функціонального застосування.

Практична цінність роботи. Розв'язані в дисертації задачі, отримані результати і використані методи досліджень дозволяють ставити та розв'язувати актуальні проблеми зі зменшення техногенного навантаження на навколишнє середовище, пов'язані з існуючими технологіями переробки твердих матеріалів на підприємствах різних галузей промисловості, особливо там, де виникає потреба в очищенні запылених потоків.

Розроблена інженерна методика вибору і розрахунку вихрових пиловловлювачів з циліндричною сепараційною камерою, яка дозволяє на початкових стадіях проектування встановлювати очікуваний рівень основних режимно-конструктивних параметрів, які у найбільшій мірі відповідають експлуатаційним вимогам.

Розроблена інноваційна конструкція вихрового пиловловлювача з циліндричною сепараційною камерою (ВАЗЗПЦ) і безперервним вивантаженням пилу, на яку отримано патент на корисну модель.

Розроблена конструкція спеціального контактного модуля для використання в якості другого ступеня мокрого очищення після моделі ВАЗЗПЦ, на яку отримано патент на корисну модель.

За результатами проведених досліджень впроваджені у виробництво і пройшли експериментальну апробацію вихрові пиловловлювачі моделі ВАЗЗПЦ :

- у відділенні підготовки шихти для виробництва скляних кульок на ТОВ «НВО Северодонецький Склопластик» на лініях уловлювання доломіту і меленої крейди ;
- на аспіраційній лінії з уловлювання дрібнодисперсного пилу виробництва медичного засобу ізосорбиду динітрату ТОВ «НВФ МІКРОХІМ» ;
- на ТОВ «Рубіжне–Агро» в якості обладнання для санітарного очищення повітря, що викидається в атмосферу після вібраційного сепаратора БСХ–100.

Впровадження вихрових пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ сприяло зниженню шкідливого пилового навантаження на навколишнє середовище та поверненню у технологічний цикл дорогих сировинних продуктів.

Матеріали дисертації використовуються у навчальному процесі при викладенні теоретичного курсу Розрахунок та конструювання в хімічному машино- та апаратобудуванні.

Особистий внесок здобувача. Дисертаційна робота є самостійним і цілком завершеним дослідженням автора в галузі процесів та апаратів хімічних виробництв. Автор провів аналіз стану питання з очищення аерозолів вихровими пиловловлювачами з джерел утворення пилових викидів промислових виробництв, розробив конструкції експериментальних стендів та установок, планував методику проведення досліджень. Автором проведений теоретичний аналіз та математичне моделювання руху частинок пилу у системі зустрічних закручених потоків, отримані аналітичні рівняння з визначення полів швидкостей та розрахунку фракційної ефективності пиловловлювання, на базі яких розроблена інженерна методика вибору і розрахунку вихрових пиловловлювачів, а також створені інноваційні конструкції вихрового апарата та пристрою, здатних з високою ефективністю вловлювати дрібнодисперсні частинки пилу, що підтверджено експериментальними і дослідно-промисловими випробуваннями. Постановка конкретних задач досліджень, питання математичного моделювання, аналіз і обговорення отриманих результатів виконувалися здобувачем спільно з науковим керівником. Особистий внесок автора в наукових роботах, опублікованих у співавторстві, наведений у списку робіт за темою дисертації.

Апробація результатів дисертації. Матеріали дисертації обговорювалися на міжнародних та вітчизняних конференціях : VI Міжнародна науково-практична конференція «Наука і освіта 2003» (Дніпропетровськ, 2003); III Міжнародна науково-практична конференція “Динаміка наукових досліджень “2004” (Дніпропетровськ, 2004); Міжнародна науково–практична конференція « Комплексне використання сировини, енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві неорганічних речовин» (Черкаси, 2004); науково-практична конференція студентів, аспірантів і молодих вчених “Технологія–2004” (Северодонецьк, 2004); II Міжнародна науково-практична конференція «Дні науки–2006» (Дніпропетровськ, 2006); II Всеукраїнська науково-практична конференція «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем (Северодонецьк, 2012); VI Міжнародна

науково-практична конференція «Економічні, екологічні та соціальні проблеми вугільних регіонів СНД» (Краснодон, 2013); науково-технічна конференція співробітників, аспірантів і студентів факультету технічних систем та енергоефективних технологій «Сучасні технології у промисловому виробництві» (Суми, СумДУ, 2014).

Публікації. Результати дисертаційної роботи опубліковано в 23 наукових працях : 13 статтях, із них 9 – у спеціалізованих виданнях, що входять до переліку МОН України, 2 – у спеціалізованих зарубіжних виданнях, 2 – у збірниках матеріалів конференцій; 8 публікацій тез доповідей в матеріалах конференцій. Отримано 2 патенти на винахід.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, п'яти розділів, загальних висновків, списку використаних джерел та чотирьох додатків. Загальний обсяг роботи – 152 сторінки. Робота містить 38 ілюстрацій і 4 таблиці. Додатки розміщені на 11 сторінках, список використаних джерел у кількості 149 найменувань – на 18 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтована актуальність теми досліджень, зв'язок з науковими програмами, сформульовані мета та задачі досліджень, їх наукова новизна та практичне значення, дані щодо апробації роботи, публікацій, надано загальну характеристику роботи.

У **першому розділі** розглянутий стан питання з очищення повітря у різних галузях промисловості. Надані характеристика і загальна оцінка основних джерел промислових викидів, характеристики і властивості пилу, розглянуто сучасне обладнання для очищення повітря, визначені основні напрямки підвищення ефективності роботи існуючих аспіраційних систем за рахунок розробки інноваційних моделей сухих пиловловлювачів. Викладена історія розвитку, наведені результати патентного пошуку, огляду та аналізу літературних джерел з питань устрою та принципу роботи пиловловлюючої апаратури відцентрової дії, зокрема вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗП), надані відомості з порівняльного аналізу ефективності роботи та їх практичного застосування.

У **другому розділі** визначені задачі дослідження, розглянуті побудова та принцип дії предмету дослідження – конструкції циліндричного вихрового апарата, визначені методи дослідження та експериментальні стенди. В якості основного керівного матеріалу для організації і проведення експериментальних досліджень моделей ВАЗЗП прийняті положення Єдиної методики порівняння відцентрових пиловловлювачів.

Загальний вид предмету дослідження – типової конструкції вихрового пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ (Ц – з циліндричною сепараційною камерою) – наведений на рис. 1.

Конструктивно типова модель ВАЗЗПЦ являє собою циліндричну сепараційну камеру 1, у верхній частині якої передбачений канал подачі вторинного потоку 4 (L_2), вихідний патрубок 3 для видалення очищеного повітря (L_0), а в нижній частині – канал подачі первинного потоку 5 (L_1), який закручується у завихрителі 6 і надходить до

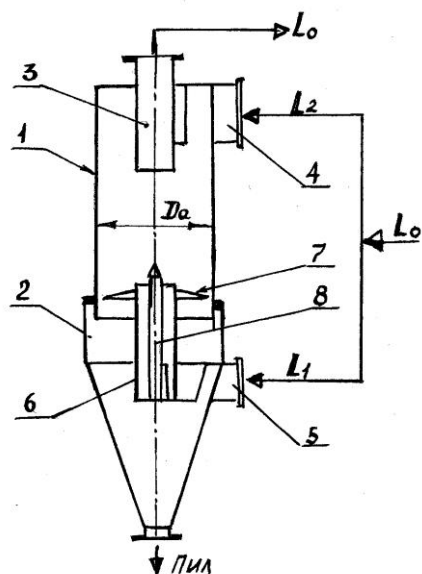


Рисунок 1 – Конструкція вихрового апарата моделі ВАЗЗПЦ (типова):

- 1 – циліндрична сепараційна камера;
- 2 – пилозбірний бункер;
- 3 – вихідний патрубок;
- 4 – канал подачі вторинного потоку;
- 5 – канал подачі первинного потоку ;
- 6 – завихритель первинного потоку;
- 7 – шайба відбійна;
- 8 – осьовий витиснювач

сепараційної камери у осьовому напрямку назустріч вторинному потоку. Всередині циліндроконічного пилозбірного бункера 2 передбачений завихритель первинного потоку 6 з відбійною шайбою 7 і витиснювачем 8, а конічна частина бункера внизу постачена штуцером для видалення накопиченого пилу.

Робота апарата в якості пиловловлювача міститься в тому, що заповнений потік у вигляді аерозолі, що подається від джерела утворення пилу за допомогою тягового вентилятора, надходить в сепараційну камеру 1 одночасно по двох каналах – первинному 5 (L_1) і вторинному 4 (L_2), в яких вони закручуються в один бік і рухаються назустріч один одному. В результаті їх взаємодії по висоті сепараційної камери 1 утворюється результуючий обертаний потік, з якого під дією складної системи сил, переважно відцентрових та сил лобового опору, частинки пилу відокремлюються від повітря і, рухаючись в радіальному напрямку від осі обертання до бокової поверхні сепараційної камери, досягають її стінки. При цьому уловлений пил пристінною часткою вторинного потоку транспортується вниз до рівня відбійної шайби 7 і крізь кільцевий зазор, утворений між шайбою 7 та сепараційною камерою 1, потрапляє у бункер-накопичувач 2. Низхідний вторинний потік (L_2) на рівні відбійної шайби 7 розвертається на 180° і, поступово зливаючись з висхідним первинним потоком, у

вигляді результуючого вихору (L_0) із залишками дрібнодисперсних частинок рухається вгору, де через вихідний патрубок 3 відводиться в атмосферу або у разі необхідності направляється на додатковий ступінь очищення.

З метою комплексного вирішення задач експериментального дослідження гідродинаміки потоків як в сепараційній камері і проточній частині вихідного патрубку, так і в пилозбірному бункері ВАЗЗПЦ, створена універсальна установка для проведення дослідів, яка складається із стенду з визначення аеродинамічних характеристик і гідравлічного опору та стенду з дослідження загальної ефективності пиловловлювання, показаних на рис. 2 і рис. 3 відповідно.

Вимірювання величини перепаду тиску у вхідних каналах, на виході з ВА та в бункерній його частині проводилися за допомогою водяних мікроманометрів 3.

Визначення витрати повітря по вхідних каналах, у вихідному патрубку та загальному колекторі видалення чистого повітря здійснювалось непрямим способом.

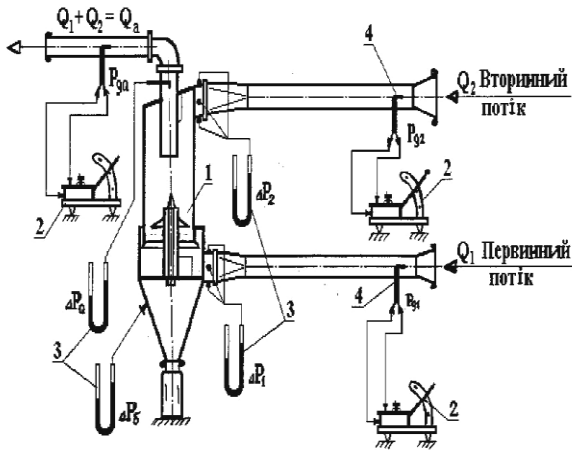


Рисунок 2 – Схема стелу з визначення аеродинамічних характеристик:

1 – модель ВАЗЗПЦ; 2 – мікроманометри з нахиленою шкалою; 3 – мікроманометри рідинні; 4 – пневмометрична трубка конструкції НПОГАЗ

Спочатку, за допомогою пневмометричних трубок 4 та мікроманометрів з нахиленою шкалою 2, визначався рівень динамічного натиску з наступним розрахунком витрати повітря з урахуванням поперечного перерізу проточного каналу. Далі при певному гідродинамічному режимі за чинною методикою розраховувались відповідні параметри: парціальні коефіцієнти опору вхідних каналів, сепараційної камери, вихідного патрубку та загального гідравлічного опору досліджуваної моделі ВА.

Визначення загальної ефективності пиловловлювання різних типорозмірів та моделей на різних режимах роботи здійснювалось у відповідності з вимогами Єдиної методики порівняння сухих пиловловлювачів відповідно до схеми стелу (рис. 3).

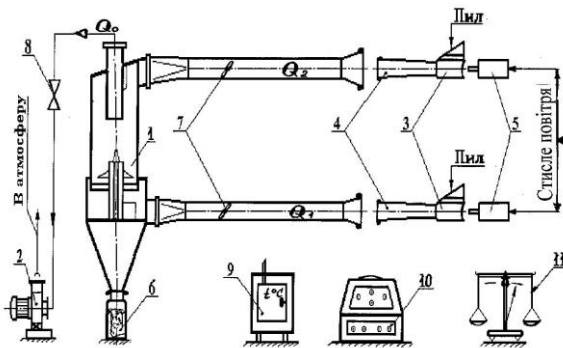


Рисунок 3 – Схема стелу з визначення загальної ефективності пиловловлювання:

1 – модель ВАЗЗПЦ; 2 – вентилятор високого тиску ВВД-5; 3 – система дезагломерації та дозування пилу; 4 – дифузор; 5 – сопло стислого повітря; 6 – пилозбірник; 7 – регулятор витрати повітря (дросельна заслінка); 8 – шиберна заслінка загального колектора; 9 – сушильний шаф; 10 – пульт керування; 11 – терези лабораторні

Для штучного запилення повітря застосовувався як тестовий пил (мелений кварц), так і пиловий матеріал з конкретних джерел виробничих підприємств.

Загальна ефективність пиловловлювання визначалась як різниця між наважкою пилу, що подана у пиловловлювач, та загальною кількістю уловленого пилу.

Ступінь запиленості потоків на вході попередньо розраховувався виходячи з витрати повітря і наважки поданого пилу, а на виході – за допомогою пробовідбірної трубки внутрішньої або зовнішньої фільтрації.

Дослідження порівнюваних типорозмірів та конструктивних моделей ВАЗЗПЦ проводилось у відповідності із попередньо складеним планом дослідів та чинними методами підготовки, проведення, аналізу та обробки отриманих результатів експериментів.

У третьому розділі розглянуті особливості гідродинаміки вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками, надана загальна оцінка проблем математичного моделювання взаємодії частинок пилу з повітрям в умовах стрічних закручених потоків. На основі критичного аналізу відомих методів визначення полів швидкостей та розрахунку фракційної ефективності, розроблені математичні моделі, які дозволяють, по-перше, виходячи з теоретичного підходу, що базується на законі збереження кількості руху, визначати складові швидкості руху частинок у будь-якій точці сепараційного простору моделі ВАЗЗПЦ, по-друге, надавати попередню оцінку фракційній ефективності пиловловлювання.

Так, прийнята в дисертації модель розрахунку тангенціальних швидкостей базується на теоретичному підході виходячи з закону збереження моменту кількості руху. Зміна інтенсивності змішування вторинного потоку з первинним по висоті сепараційної зони (H) у вигляді узагальненої залежності зміни радіальної швидкості має вид:

$$V_r(r_*, z) = -A(H - z)^k, \quad (1)$$

де: z – вертикальна координата, відрахована вгору від верхнього рівня відбійної шайби; H – загальна висота сепараційної камери; A, k – емпіричні коефіцієнти.

З (1) виходить, що при $k = 0$ радіальна швидкість розподіляється так, як прийнято раніше; при $k \geq 0$ радіальна швидкість потоку наростає донизу, а при $k \leq 0$ радіальна швидкість зменшується донизу.

Коефіцієнт A у (1) можна визначити з балансової умови:

$$\int V_r(r_*, z) \cdot 2\pi \cdot r_* \cdot dr = L_2. \quad (2)$$

З (1,2) виходить:

$$A = \frac{L_2(k+1)}{2\pi \cdot r_* \cdot H^{k+1}}. \quad (3)$$

Зміна витрати вторинного потоку по висоті сепараційної камери ВА відповідає зміні витрати первинного потоку. Причому, вторинний потік при русі зверху донизу зменшується при злитті з первинним потоком, а витрата первинного потоку збільшується при русі знизу вгору:

$$dL_2(z) = dL_1(z_1) = -V_r(r_*) \cdot 2\pi \cdot r_* \cdot dz. \quad (4)$$

Для розв'язання диференціального рівняння (4) підставимо V_r з (1) і A з (3). Розв'язок відносно $L_1(z)$, при початковій умові $z=0$, $L_1(z) = L_1$ дає:

$$L_1(z) = L_1 + L_2 \left[1 - \left(1 - \frac{z}{H} \right)^{k+1} \right]. \quad (5)$$

Замінімо $L_2 = \varepsilon \cdot L_1$ і отримаємо рівняння в іншому вигляді (ε – співвідношення потоків L_2/L_1):

$$L_1(z) = L_1 \left[1 + \varepsilon \left(1 - \left(1 - \frac{z}{H} \right)^{k+1} \right) \right] = L_1 \left[(1 + \varepsilon) - \varepsilon \left(1 - \frac{z}{H} \right)^{k+1} \right]. \quad (6)$$

Аналогічно отримано рівняння для розрахунку $L_2(z)$:

$$L_2(z) = L_2 \left[1 - \left(1 - \frac{z}{H} \right)^{k+1} \right]. \quad (7)$$

Середнє по перерізу значення осьових швидкостей розрахуємо з (6) та (7):

$$V_{z_1} = \frac{L_1 + L_2 \frac{z}{H}}{\pi \cdot r_*^2} \quad (8); \quad V_{z_2} = - \frac{L_2 \cdot z}{\pi \cdot H (r_0^2 - r_*^2)}. \quad (9)$$

Радіальні складові швидкості були визначені виходячи з рівняння нерозривності :

$$\frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} (r \cdot V_r) + \frac{\partial V_z}{\partial z} = 0. \quad (10)$$

$$V_{r1} = - \frac{L_2 \cdot r}{2\pi \cdot r_*^2 H} \quad (11); \quad V_{r2} = \frac{L_2 (r^2 - r_0^2)}{2\pi \cdot H (r_0^2 - r_*^2) r}. \quad (12)$$

Тангенціальна складова швидкості визначається виходячи із закону зберігання моменту кількості руху.

Отримана узагальнена залежність тангенціальних складових вихрового апарата у внутрішньому та зовнішньому шарах:

$$V_{\varphi_1} = \omega_1(z) \cdot r \quad (13); \quad V_{\varphi_2} = \omega_1(z) \cdot \frac{r_*^2}{r}. \quad (14)$$

де $\omega_1(z)$ – кутова швидкість обертання внутрішнього шару на висоті (z) від первинного завихрителя.

Рівняння (13) відповідає закону обертання твердого тіла, а рівняння (14) – закону потенційного обертання.

Для виконання проектних розрахунків необхідно знати кутову швидкість обертання потоку $\omega_1(z)$. Рівняння моменту кількості руху газу, який проходить через довільний переріз сепараційної камери на певній висоті (z) у внутрішньому шарі :

$$M_1(z) = \int_0^{r_*} \rho V_{s1} \cdot 2\pi \cdot r \cdot dr \cdot \omega_1(z) \cdot r^2. \quad (15)$$

Після інтегрування і відповідних перетворень отримано рівняння для визначення кутової швидкості обертання потоку в сепараційній камері та вихідному патрубку :

$$C_0 = \frac{2M_{ex} \cdot r_*^2}{\rho \cdot (L_1 + L_2) \cdot r_4^4}, \text{ c}^{-1}, \quad (16)$$

де вхідний момент кількості руху визначається по формулі:

$$M_{ex} = 0,5\pi \cdot \rho \cdot V_z \cdot V_\varphi \cdot r_0. \quad (17)$$

Розроблена уточнена математична модель розрахунку фракційної ефективності пиловловлювання, яка враховує вплив режимних і конструктивних параметрів моделі ВАЗЗПЦ та з достатньою для інженерних розрахунків точністю дозволяє прогнозувати її сепараційну здатність в конкретних експлуатаційних умовах.

Фракційну ефективність пиловловлювання пропонується визначати по формулах:

$$\eta_{sep} = d_{ch}^2 \cdot \frac{2\pi \cdot \rho_T \cdot C_0^2 \cdot r_*^4 \cdot (r_0 + r_*) \cdot f(H)}{9\mu \cdot L_3^2 \cdot (r_0 + r)(r_0 + r_0^2)} + \frac{(r^2 - r_0^2) \cdot r^2 \cdot f(H)}{2(r_0 + r)(r_0^2)(r_0^2 + r^2)(r_0 - r_*)}, \quad (18)$$

$$\eta_{sep1} = \frac{\exp A - 1}{\exp A} \quad (19); \quad A = d_{ch}^2 \cdot \frac{\rho_T \pi \cdot r_*^2}{18\mu \cdot L_3^2} \cdot C_0^2 \cdot H \cdot \left(L_1 + \frac{L_2}{2} \right) - \frac{1}{2} \ln \left(\frac{L_1 + L_2}{L_1} \right). \quad (20)$$

Перелік приведених позначень: L_1, L_2, L_3 – витрата первинного, вторинного та загального потоків відповідно, м³/с; H, z – висота зони сепарації та відстань до перерізу, що розглядається, м; V_z, V_r – осьова та радіальна швидкості руху потоків, м/с; r_0, r_*, r – радіус сепараційної камери, розділення потоків і поточний відповідно, м.

Виконаний також аналіз методів визначення та розрахунку енергетичних характеристик, зокрема гідравлічного опору пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ.

Таким чином, у процесі математичного моделювання отримані аналітичні рівняння, які покладені в основу розробки інженерної методики вибору і розрахунку вихрових пиловловлювачів з циліндричною сепараційною камерою.

У **четвертому розділі** наведені результати дослідження впливу вихідних пристроїв, зокрема вихідного патрубку та бункерної частини на гідродинаміку та ефективність роботи пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ.

Встановлено, що використання в проточній частині вихідного патрубку будь-яких пристроїв для розкручування потоків, у більшості випадків погіршує гідродинамічний режим, утворений всередині сепараційної камери, сприяє зростанню гідравлічного опору та зменшенню загальної ефективності пиловловлювання. Результати дослідження впливу вихідного патрубку на гідродинаміку та ефективність моделі ВАЗЗПЦ містяться у наступному (рис. 4–9).

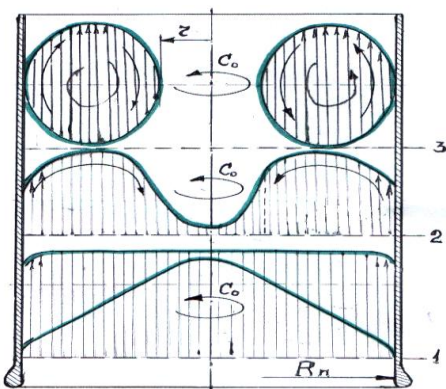


Рисунок 4 – Характер течій у вихідному патрубку:

- 1 – слабо закручений потік;
- 2 – помірно закручений потік;
- 3 – сильно закручений потік

Визначено, що характер і параметри очищеного потоку повітря у проточній частині вихідного патрубку (поле швидкостей, співвідношення тангенціальної, аксіальної та радіальної складових, гідравлічний опір), є функцією параметрів утвореного всередині сепараційної камери гідродинамічного режиму, який визначається кратністю потоків. Так, в залежності від ступеня закрутки повітряного потоку, тобто частоти його обертання навкруги осі (C_0), який надходить у вихідний патрубок безпосередньо з сепараційної камери, в його проточній частині виникають різні картини течій, що визначають рівень гідравлічного опору пиловловлювача моделі ВАЗЗПЦ.

Рис. 5, 6 ілюструють потенційний рівень економічності різних типорозмірів моделі ВАЗЗПЦ в різних режимах пиловловлювання (при кратності потоків $K = 0,7$ та $K = 0,8$) при різних витратах заповненого повітря та застосуванні різних конструктивних типів пристроїв для розкручування обертових потоків.

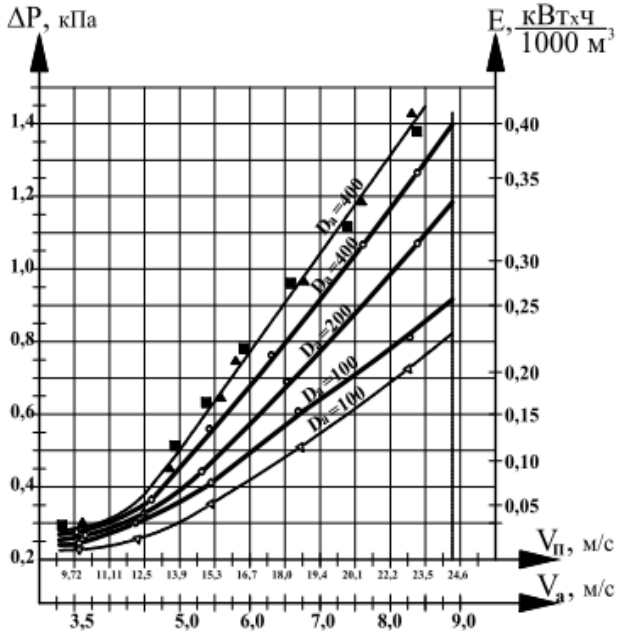


Рисунок 5 – Гідравлічний опір (ΔP) і питомі енерговитрати (E) ВАЗЗПЦ в функції від (V_n , V_a) при $K = 0,7$:

○ – без пристроїв для розкручування ($D_a = 0,4$ м); ▽ – з пристроєм типа «улітка» ($D_a = 0,1$ м); ■, ▲ – з іншими типами пристроїв для розкручування ($D_a = 0,4$ м)

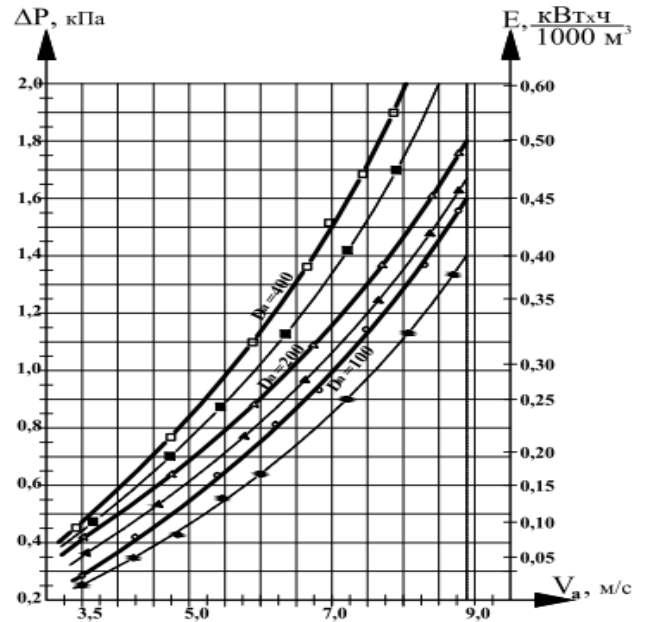


Рисунок 6 – Загальні втрати тиску в ВАЗЗПЦ (для $D_a = 0,1; 0,2; 0,4$ м при $K = 0,8$):

□, Δ, ○ – без будь-яких пристроїв для розкручування;
■, ▲, ● – з пристроєм для розкручування типа «улітка»

Як видно з рис. 5, практично для всіх наведених типорозмірів ВАЗЗПЦ характер кривих, які відображають рівень гідравлічного опору (питомих енерговитрат E) в залежності від середньої осьової швидкості потоку, що проходить через апарат, є ідентичним. При використанні пристрою для розкручування типа «улітка» (для $D_a = 0,1$ м) спостерігається деяке зниження опору у всьому діапазоні витрати повітря, у той час як застосування інших типів пристроїв для розкручування (■, ▲ – для $D_a = 0,4$ м) призводить до зростання питомих енерговитрат. На користь використання *уліточних* пристроїв для розкручування потоків свідчать й порівнювальні дані з загальних втрат тиску, отримані на трьох типорозмірах пиловловлювачів (рис. 6).

Слід зауважити, що отримані експериментальні дані є цілком винятковими і стосуються лише пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ одиночного виконання, які працюють «в мережі», вони не розповсюджуються на апарати інших моделей, наприклад з конічною сепараційною камерою, а також таких, що працюють на «вихлоп», тобто у тому випадку, коли викид очищеного повітряного потоку здійснюється безпосередньо у вільний простір.

Для пиловловлювачів ВАЗЗПЦ теоретичні розрахунки гідравлічних втрат, що засновані на концепції Вальтера Барта, проводились по наступних залежностях, розроблених керівником дисертаційної роботи за участю автора :

$$\Delta P_{вх} = \frac{\rho}{2} \left(\frac{V_{\varphi a}^2 \cdot r_a}{r_4} - \frac{V_{\varphi 4}^2 \cdot r_4}{r_a} + V_{\varphi 4}^2 \right) \quad (21); \quad \Delta P_{вих} = \frac{\rho}{2} \cdot V_{s4}^2 \left[K \left(\frac{V_{\varphi 4}}{V_{s4}} \right)^{\frac{4}{3}} + \left(\frac{V_{\varphi 4}}{V_{s4}} \right)^2 \right]. \quad (22)$$

де V_{φ} , V_z – тангенціальна і аксіальна швидкість потоку відповідно, м/с;

a – відноситься до сепараційної камери ; 4 – відноситься до вихідного патрубку;

$K = 4,4$ – парціальний коефіцієнт конструкції ВАЗЗПЦ.

На рис. 7 показаний графік збігу теоретичних розрахунків з експериментальними даними, визначеними для моделі ВАЗЗПЦ–400 при максимальній кратності відношення потоків ($K=0.8$), що подаються у вхідні канали (режим активного пиловловлювання).

Для кожного з визначних режимних параметрів ВАЗЗПЦ–400 були визначені коефіцієнти кореляції, за допомогою яких для будь-якого типорозміру пиловловлювача розрахункові теоретичні дані можна наблизити до найбільш прогнозованих у відповідних експлуатаційних умовах.

З метою визначення загальної ефективності пиловловлювання, у виробничих умовах були випробувані моделі ВАЗЗПЦ–200 і ВАЗЗПЦ–400 (рис. 8). В якості тестового пилу був використаний доломіт (складова шихти скляного виробництва) з параметрами пилу: $d_{50} = 18$ мкм; $\rho_{п} = 2100$ кг/м³).

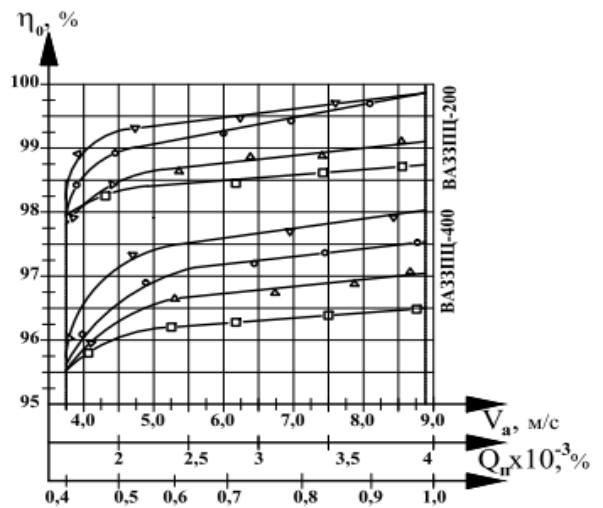
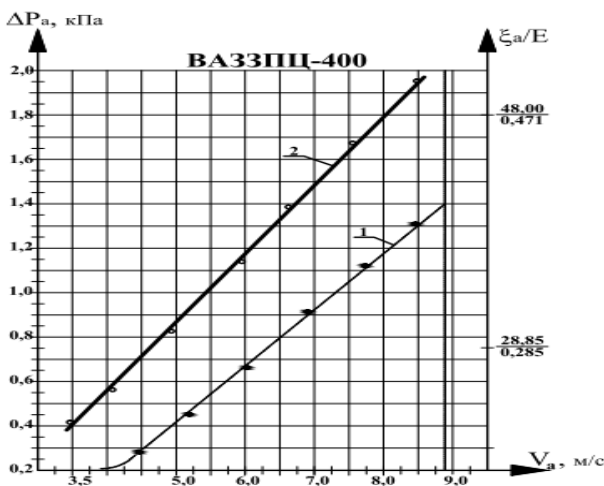


Рисунок 7 – Графік збігу теоретичних та експериментальних даних з визначення гідравлічних втрат в ВАЗЗПЦ – 400:

- 1 – за теоретичними розрахунками;
- 2 – за експериментальними даними

Рисунок 8 – Загальна ефективність пиловловлювання ВАЗЗПЦ:

- – без пристроїв для розкручування ;
- Δ, □ – з пристроями для розкручування різних конструкцій;
- ∇ – з розкрувачем типа «улітка».

Характер кривих свідчить про те, що застосування уліточних розкручувачів сприяє підвищенню загальної ефективності пиловловлювання у всьому діапазоні з витрати, що

обумовлено насамперед підвищеною стійкістю гідродинамічного режиму процесу розділення фаз всередині сепараційної камері. Використання інших конструктивних типів розкручувачів негативно впливає на загальну ефективність роботи пиловловлювачів внаслідок зворотного впливу гідродинамічного режиму, утвореного у вихідному патрубку, на стабільність режиму пиловловлювання в сепараційній камері.

Тобто, з метою підвищення загальної і фракційної ефективності пиловловлювання ВАЗЗПЦ та зниження питомих енерговитрат, можуть бути рекомендовані до установки розкруувачі потоків уліточного типу.

Іншим після вихідного патрубка й не менш важливим функціональним вузлом моделі ВАЗЗПЦ є його бункерна частина (рис. 9), призначена для часткового накопичення уловленого пилу і забезпечення надійної його евакуації за межі апарата.

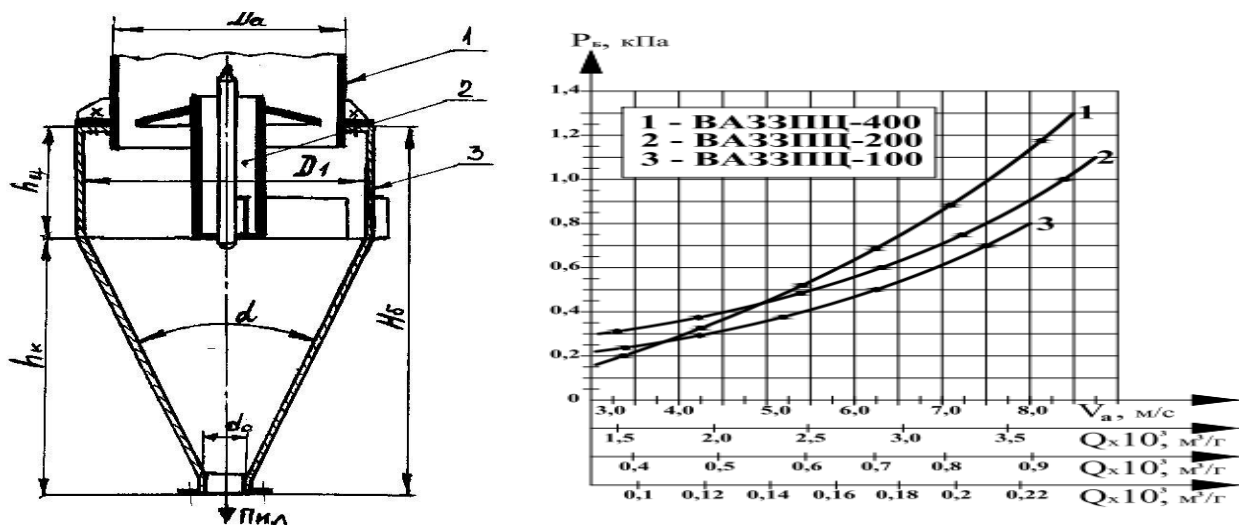


Рисунок 9 – Схема бункерної частини моделі ВАЗЗПЦ одиночного виконання та рівень гідралічного опору: 1 – сепараційна камера; 2 – завихритель первинного потоку ; 3 – бункер-накопичувач пилу

При тривалій роботі вихрового пиловловлювача, внаслідок виникнення порушень герметичності ущільнення між вихідним штуцером конічної частини бункера-накопичувача та штуцером відповідного механізму для вивантаження пилу, можуть мати місце значні підсмоктування повітря ззовні, що негативно позначається на характері гідродинаміки процесу виділення пилу та ефективності її вловлювання безпосередньо в сепараційній камері апарата.

Результати експериментальних досліджень з визначення характеру впливу режимно-конструктивних параметрів бункерної частини ВАЗЗПЦ, представлені на рис. (10–16).

При підсмоктуванні повітря ззовні, у розвантажувальному кільцевому зазорі, утвореному на рівні відбійної шайби, між її торцем та стінкою сепараційної камери утворюється течія, яка рухається вгору назустріч напрямку руху уловленого пилу. Ця течія повітря виконує негативну роль так званого *запірного потоку* різної інтенсивності, який у будь-якому випадку протидіє вільному видаленню пилу з сепараційної камери у бункер-накопичувач. Рис. 10 переконливо ілюструє негативну дію цього ефекту.

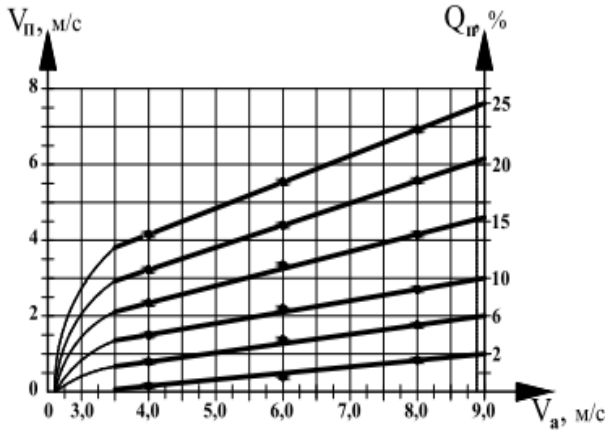


Рисунок 10 – Залежність швидкості руху «запірного» потоку (V_n) у кільцевому зазорі від середньої швидкості (V_a) і кількості повітря, яке підсмоктується ззовні (Q_n)

З рис. 10 видно, що практично у всьому робочому діапазоні середніх швидкостей запышеного потоку в сепараційній камері (тобто від 4 до 8,85 м/с), із збільшенням кількості зовнішнього повітря, що надходить через нещільності різних з'єднань (Q_n), зростає також і швидкість стрічного руху *запірного* потоку в кільцевому зазорі. Це явище негативно впливає на повноту видалення уловленого пилу і, крім того, призводить до небажаного збільшення вторинного виносу пилу переважно дрібнодисперсних фракцій у напрямку вихідного патрубку, тобто знижує як загальну, так і фракційну ефективність пиловловлювання.

На різних типорозмірах ВАЗЗПЦ ($D_a = 0,2 ; 0,3 ; 0,4$ м) експериментальним шляхом був визначений характер залежності загальної ефективності виділення пилу від рівня зовнішнього підсмоктування при уловлюванні складових виробництва силікатного скла, зокрема мелених доломіту та крейди (рис. 11, 12).

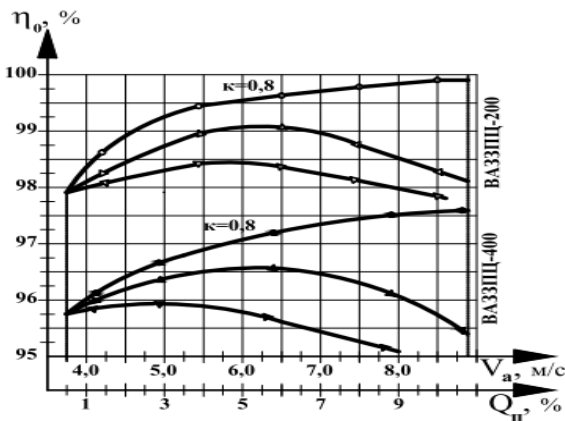


Рисунок 11 – Залежність загальної ефективності пиловловлювання (η_0) від середньої швидкості (V_a) і кількості запірного потоку, (Q_n) (мелений доломіт):

○, ● – без підсмоктувань ; Δ, ▲ – з підсмоктуванням і вивантаженням пилу; ▽, ▼ – з підсмоктуванням і без вивантаження пилу

На лінії аспірації меленого доломіту експериментальні дослідження з визначення загальної ефективності уловлювання проведені на двох апаратах в режимі «ефективного вловлювання» (тобто при $K = 0,80$) (рис. 11). Встановлено, що із зростанням потоку, що підсмоктується ($Q_n = f(Q_0)$), спостерігається й більш інтенсивне зниження сепараційної здатності вихрових пиловловлювачів. Такий же висновок можна зробити й за даними експерименту з уловлювання пилу меленої крейди ВАЗЗПЦ–300, показаними на рис. 12.

За результатами теоретичних розрахунків побудовано сімейство усереднених кривих ступеня виносу частинок пилу (ϵ) в залежності від швидкості руху (V_n) запірного потоку у зазорі і дисперсії розподілу частинок пилу за розмірами (σ_n^1) (рис. 13).

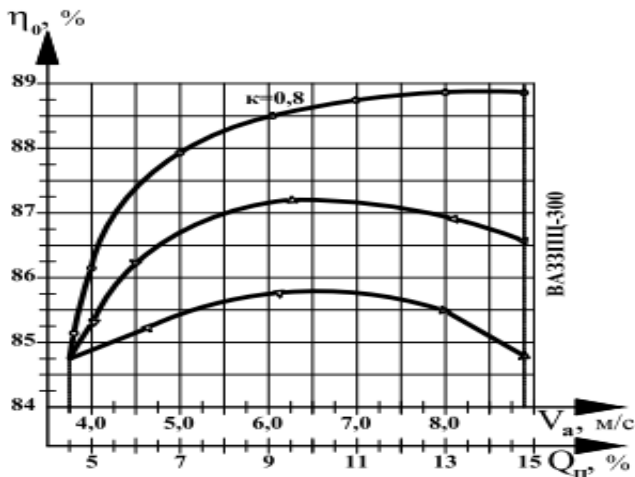


Рисунок 12 – Залежність загальної ефективності пиловловлювання (η_0) від середньої швидкості (V_a) і кількості повітря (Q_n) (крейда мелена):

○ – без підсмоктування; Δ – з підсмоктуванням і вивантаженням пилу; ∇ – з підсмоктуванням і без вивантаження пилу

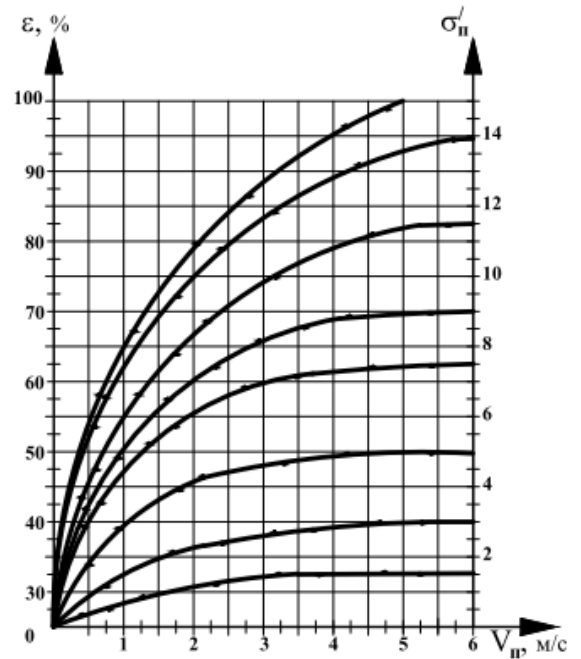


Рисунок 13 – Залежність $\varepsilon = f(V_n, \sigma'_n)$

Із зростанням величини σ'_n , тобто при збільшенні частки дрібнодисперсних фракцій пилу в загальному обсязі полідисперсного матеріалу, пропорційно збільшується і кількість вторинного виносу (ε) пилу з сепараційної камери, що обумовлюється посиленням протидії запірного повітряного потоку вільному руху пилу крізь кільцевий зазор у бункерну частину ВАЗЗПЦ.

Згідно рис. 13, значний виніс дисперсної фази, що знаходиться в сепараційній камері апарата, для переважної більшості дисперсних матеріалів хімічних, металургійних та підприємств будівельних матеріалів, може спостерігатися вже при початковій швидкості запірного потоку у кільцевому зазорі $V_n = 4 \text{ м/с}$, тобто на рівні підсмоктувань починаючи з 10% від загальної продуктивності з повітря, що очищується, для даного типорозміру моделі ВАЗЗПЦ.

Таким чином, надійне забезпечення якості ущільнення фланцевого з'єднання випускаючого пил штуцера бункерної частини апарата з вивантажувальним пристроєм є однією з важливих задач забезпечення рівня функціональних параметрів під час промислової експлуатації пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ.

У **п'ятому розділі** за результатами теоретичних і експериментальних досліджень надані конкретні рекомендації щодо їх практичного втілення у вигляді певних інноваційних конструкцій апаратів природоохоронного призначення.

Аналіз результатів експериментальних досліджень з визначення загальної ефективності пиловловлювання з високими концентраціями пилу та їх значними

пульсаціями привели до технічного рішення, суть якого міститься в зниженні концентрації пилу всередині сепараційної камери за рахунок забезпечення безперервного вивантаження уловленої пилу по всій її висоті, а також видалення з первинного та вторинного завихрителів потоків.

Як було показано раніше, лише застосування пристроїв для розкручування типу «улітка», встановлених безпосередньо за вихідним патрубком ВАЗЗПЦ-100, сприяло зниженню рівня енергоспоживання практично у всьому діапазоні середніх швидкостей. Використання інших конструктивних типів пристроїв для розкручування потоків у більшості випадків призводило лише до зростання загального гідравлічного опору.

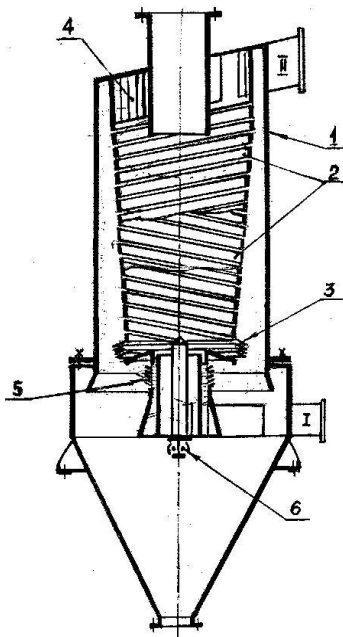


Рисунок 14 – Інноваційна модель ВАЗЗПЦ з гвинтовою сепараційною камерою та безперервним розвантаженням пилу:

1 – корпус ; 2 – гвинтова сепараційна камера ; 3 – розвантажувач сепараційної камери ; 4 – розвантажувач вторинного каналу ; 5 – розвантажувач первинного каналу ; 6 – шарнірна опора

На рис. 14 показана інноваційна модель вихрового пиловловлювача з гвинтовою сепараційною камерою і безперервним видаленням пилу (патент України 80028), яка пройшла промислову апробацію і показала покращені показники ефективності роботи у порівнянні з типовою моделлю ВАЗЗПЦ.

Суттєвою конструктивною відзнакою інноваційної моделі пиловловлювача ВАЗЗПЦ, у порівнянні з базовою, є те, що всередині циліндричного корпусу 1 вбудована гвинтова сепараційна камера 2 з гарантованим зазором між суміжними витками спіралі, яка в нижній частині на рівні відбійної шайби закінчується жалюзійним розвантажувачем 3, жорстко пов'язаним з завихрителем первинного потоку.

У первинному завихрителі, завдяки пристрою для радіального витиснювання пилу, ексцентрично встановленому в нижній шарнірній опорі 6, при проходженні повітряного потоку виникає мілка вібрація, яка через суміжні елементи передається на гвинтову сепараційну камеру, сприяючи у такий спосіб покращенню умов видалення пилу і зниженню його концентрації у пристінній зоні. Крім того, жалюзійні розвантажувачі пилу передбачені як у первинному, так і у вторинному вхідних каналах.

Порівняльна характеристика ефективності пиловловлювання базової та інноваційної моделі показана на рис. 15. Експериментально доведено, що вібраційна дія сприяє суттєвому покращенню умов сепарації частинок пилу лише в інноваційній моделі з гвинтовою сепараційною камерою.

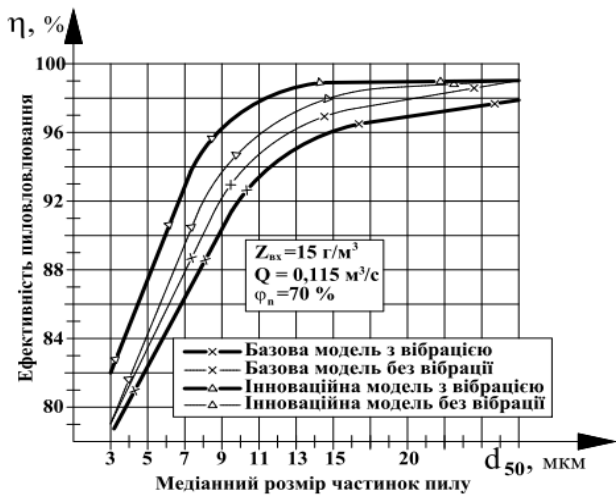


Рисунок 15 – Порівняльна характеристика з ефективності пилоловлювання інноваційної моделі ВАЗЗПЦ з базовою

Експериментально доведено, що, при виникненні потреби, в межах номінальної продуктивності з витрати запошеного повітря доцільно застосовувати другу ступінь очищення потоку, що видається через вихідний патрубок. При цьому здійснюється не тільки ефективне розкручування вихідного потоку, але й спостерігається уловлювання значної частки мільких фракцій пилю, які з відомих причин виносяться з сепараційної камери. Слід зазначити, що додаткове застосування ступеня доочищення не є суттєво енерговитратним, бо цей процес може бути здійснений за рахунок певної частки енергії обертового потоку, що відводиться безпосередньо з вихідного патрубку.

Як приклад з потенційно можливих варіантів, пропонується конструкція контактного модуля мокрого очищення (КММО), що встановлюється безпосередньо на вихідному патрубку моделі ВАЗЗПЦ.

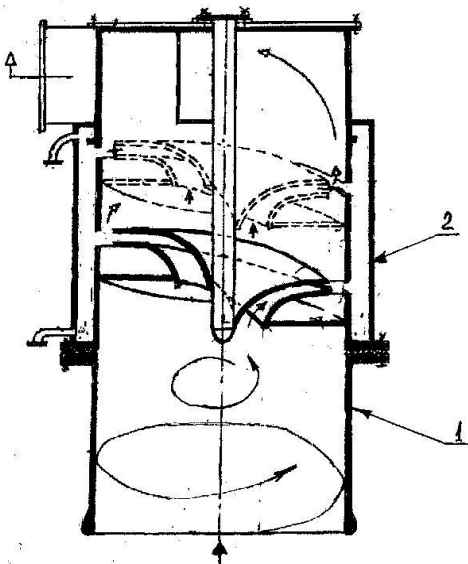


Рисунок 16 – Схема контактної модуля мокрого очищення (варіант):

1 – вихідний патрубок моделі ВАЗЗПЦ;

2 – контактний модуль

Концепція інноваційного рішення (патент України 81163) міститься у наданні дрібнодисперсним частинкам пилю інтенсивного обертання навколо власної осі безпосередньо перед взаємодією з поверхнею поглинаючої рідини, наприклад з вільно стікаючою плівкою чи піною.

Спрощена конструктивна схема КММО показана на рис. 16.

Закручений потік з дрібнодисперсними частинками пилю при вході у контактний модуль 2 розділюється на осьову та периферійну складові. По осі пристрою у вигляді висококонцентрованого «пилового джгута» рухається насичена пилом частка потоку, яка надалі проходить через гвинтовий елемент, змінюючи осьовий напрямок руху на радіальний. При цьому у проточній зоні горизонтального каналу, за рахунок штучно утвореного градієнта швидкості, частинки, що рухаються у потоці, набувають інтенсивне обертання навкруги

власної осі і в контактній зоні взаємодіють із вільно стікаючою плівкою рідини. Завдяки інтенсивному обертанню частинок зменшується їх енергія так званого «входження», що витрачається на подолання опору поверхневого шару поглинаючої рідини. Після занурення під шар рідини частинки пилу вважаються уловленими і у вигляді суспензії видаляються на регенерацію.

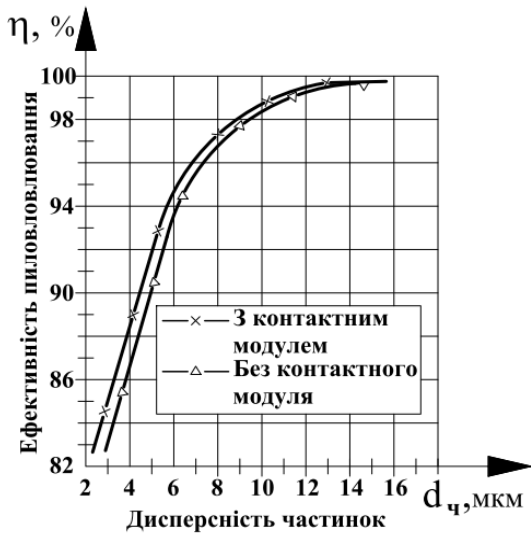


Рисунок 17 – Порівняльні характеристики з фракційної ефективності пилоловлювання типової моделі ВАЗЗПЦ з інноваційною моделлю з використанням КММО

Менш запылений периферійний потік обходить контактну зону по обвідному гвинтовому каналу і, поступово зливаючись з очищеним осевим потоком, через «уліточний» вихідний пристрій відводиться за межі КММО. Про доцільність застосування КММО свідчать й порівняльні дані з фракційної ефективності пилоловлювання кварцового тестового пилу різної дисперсності (рис. 17).

За результатами теоретичних і експериментальних досліджень розроблена інженерна методика вибору і розрахунку вихрових пилоловлювачів моделі ВАЗЗПЦ, яка дозволяє проектувати досить складні аспіраційні установки, створювані на їх базі, найбільш пристосованими до експлуатаційних умов.

Визначені також основні зони для конструктивної модернізації та потенційні напрямки багатофункціонального застосування вихрових апаратів моделі ВАЗЗПЦ.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Вперше досліджено вплив вихідних пристроїв на гідродинаміку процесу сепарації та ефективність роботи вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою та безперервним вивантаженням пилу.
2. Показано, що аеродинамічні процеси у вихідному патрубку впливають на ефективність роботи вихрового пилоловлювача і його гідравлічний опір.
3. Визначені характерні режими течії всередині проточної частини вихідного патрубка в залежності від ступеня закрутки повітряного потоку.
4. Встановлено, що на загальну ефективність пилоловлювання вихрових пилоловлювачів з циліндричною сепараційною камерою впливають параметри бункерної частини та надійність ущільнення вивантажувального патрубка.
5. Розроблена математична модель розрахунку полів швидкостей в робочій зоні циліндричного вихрового пилоловлювача, заснована на збереженні моменту кількості

руху, що дозволяє з достатньою для технічних цілей точністю оцінювати величини складових швидкості у будь-якій точці сепараційного простору.

6. Розроблена уточнена математична модель гідродинаміки ВАЗЗПЦ, отримані аналітичні вирази для розрахунку мінімального діаметра частинок пилу, що характеризують фракційну ефективність уловлювання.

7. Розроблена інженерна методика вибору і розрахунку вихрових пиловловлювачів з циліндричною сепараційною камерою як складових систем аспірації, яка дозволяє на стадії проектування наблизити визначні параметри установок до експлуатаційних.

8. Визначені основні зони для конструктивної модернізації основних функціональних вузлів вихрових апаратів з циліндричною сепараційною камерою з метою поліпшення їхніх визначних параметрів роботи.

9. Встановлені потенційні області щодо багатofункціонального використання моделі ВАЗЗПЦ в якості технологічної апаратури з АГР для проведення відмінних від пиловловлювання процесів хімічної технології. Показано, що способом конструктивної модернізації моделі ВАЗЗПЦ можлива їх адаптація для конкретного функціонального застосування.

10. Розроблена і запатентована нова модель вихрового пиловловлювача з гвинтовою сепараційною камерою і вузлами попереднього безперервного вивантаження пилу.

11. Розроблена і запатентована конструкція контактного модуля мокрого очищення, яка встановлюється безпосередньо на вихідному патрубку ВАЗЗПЦ і дозволяє підвищити рівень загальної і фракційної ефективності пиловловлювання.

12. Впроваджені і пройшли промислово апробацію як типові моделі ВАЗЗПЦ, так і інноваційні моделі, при реконструкції аспіраційних установок на ТОВ «Науково-виробниче об'єднання «Сєверодонецький Склопластик», ТОВ «Науково-виробнича фірма «МІКРОХІМ» та ТОВ «Рубіжне–Агро».

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ

Статті у фахових виданнях

1. Якуба О. Р. Розрахунок ефективності пило- та каплевловлювачів очищення газів компресорних станцій / О. Р. Якуба, С. О. Тимчук, Р. В. Галіч // Вісник Сумського національного аграрного університету. Науково-методичний журнал. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вип. № 10, 2003. – С. 277–282.

Здобувачем проведені розрахунки та експериментальна перевірка результатів.

2. Галіч Р. В. Поле швидкостей в апаратах з зустрічними закрученими потоками / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. М. Галіч // Вісник Сумського національного аграрного університету. Науково-методичний журнал. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вип. 12, 2004. – С. 16–20.

Здобувачем виконаний аналіз відомих математичних моделей.

3. Якуба О. Р. Підвищення ефективності очищення і сушіння зерна за рахунок використання вихрових сепараторів / О. Р. Якуба, Р. В. Галіч, В. М. Галіч, С. О. Тимчук // Вісник Сумського національного аграрного університету. Науково-методичний журнал. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вип. № 13, 2005. – С. 52–61.

Здобувачем виконаний порівнювальний аналіз роботи існуючих пристроїв і запропонований варіант пиловловлювача із зустрічними закрученими потоками.

4. Якуба О. Р. Уточнення залежностей фракційної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками (АЗЗП) / О. Р. Якуба, Р. В. Галич, О. М. Калашніков // Вісник Сумського національного аграрного університету. Науково-методичний журнал. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Вип. 9 (15), 2006. – С. 32–41.

Здобувачем виконана експериментальна перевірка адекватності моделі, проведена статистична обробка результатів дослідів, сформульовані висновки.

5. Якуба О. Р. Удосконалення моделей розрахунку структури потоків апаратів із зустрічними закрученими потоками / О. Р. Якуба, Р. В. Галич, О. М. Калашніков // Вісник Сумського національного аграрного університету. Науково-методичний журнал. Механізація та автоматизація виробничих процесів. Випуск 9 (15), 2006. – С. 48–55.

Здобувачем проведений аналіз та перевірка адекватності математичної моделі з розрахунку складових швидкості в сепараційній камері вихрового апарата.

6. Галич Р. В. Конструктивное усовершенствование вихревых аппаратов со встречными закрученными потоками / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Хімічна промисловість України. – 2013. – №3. – С. 75–83.

Здобувачем визначені основні зони вихрових пиловловлювачів для їх конструктивного удосконалення.

7. Галич Р. В. К вопросу осаждения твёрдых частиц на поверхность жидкости / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Вісник Сумського державного університету. Науковий журнал. Серія : Технічні науки. – СумДУ, № 1, 2013. – С. 61–77.

Здобувачем виготовлена експериментальна установка, досліджений процес занурювання частинок пилу в рідину, виконаний аналіз результатів досліджень, сформульовані висновки.

8. Якуба О. Р. Удосконалення моделей розрахунку фракційної ефективності протитечних пиловловлювачів / О. Р. Якуба, Р. В. Галич // Вісник Сумського національного аграрного університету (СНАУ). Серія : Будівництво. Випуск 8(17), 2013. – С. 118–122.

Здобувач приймав участь у розробці математичних моделей, зокрема при визначенні тангенціальної швидкості та при виводі формули для розрахунку кутової швидкості обертання потоку у вихідному патрубку.

9. Галич Р. В. Влияние раскручивающих устройств на гидродинамику и энергоэффективность центробежных пылеуловителей / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Вопросы химии и химической технологии. УДХТУ, Дніпропетровськ, 2014, №1. – С. 159–164.

Здобувачем виготовлені та експериментально досліджені різні конструкції розкручувачів потоків, виконаний аналіз та сформульовані основні висновки.

Статті в наукометричних базах даних

10. Галич Р. В. Исследование, разработка и конструктивное оформление многофункциональных вихревых аппаратов / Галич Р. В. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. Прикладная механика. – 2013. – № 3(63). – С. 32–40.

Здобувачем виконаний системний аналіз одержаних результатів з теоретичних та експериментальних досліджень, сформульовані основні висновки та рекомендації.

11. Галич Р. В. Разработка и внедрение вихревых пылеуловителей со встречными закрученными потоками / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. И. Склабинский, В. Я. Стороженко // Химическое и нефтегазовое машиностроение, №3, 2014. – С. 12–15.

Здобувачем виконаний аналіз одержаних результатів з теоретичних та експериментальних досліджень, сформульовані основні висновки та надані рекомендації щодо застосування нових пиловловлювачів.

Статті в інших збірниках

12. Кошовец Н. В. Особенности гидродинамики вихревых аппаратов / Н. В. Кошовец, Н. И. Азаров, А. Р. Якуба, Р. В. Галич, В. К. Кияшко, В. Н. Галич // Комплексне використання сировини, енерго- та ресурсозберігаючі технології у виробництві неорганічних речовин. Збірник наукових праць Міжнародної науково-практичної конференції. – Черкаси, 2004. – С. 88–89.

Здобувачем на підставі аналізу експериментальних даних систематизовані матеріали з вивчення гідродинамічних особливостей апаратів із зустрічними закрученими потоками.

13. Галич Р. В. Применение вихревых аппаратов в системах подготовки и сушки зерновых / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, В. Н. Галич // Збірник наукових праць Луганського національного аграрного університету. Технічні науки, № 65/88. – 2006. – С. 87–92.

Здобувачем запропоновано використовувати вихрові пиловловлювачі в якості альтернативи відцентровим циклонним апаратам.

Патенти

14. Вихровий пилоуловлювач : патент 80028 Україна : МПК В01D 45/12, В04С 7/00 / Галич Р. В., Якуба О. Р., Склабинський В. І., Стороженко В. Я. – № u 2012 13437 ; заявл. 26.11.12 ; опубл. 13.05.13, Бюл. № 9.

Здобувачем винайдено найбільш ефективну концепцію конструкції гвинтової сепараційної камери та устрій вузла вивантаження пилу з первинного завихрувача.

15. Контактний модуль : патент 81163 Україна : МПК В01D 45/12, В04С 7/00 / Галич Р. В., Якуба О. Р. – u 2012 14463 ; заявл. 17.12.12; опубл. 26.06.13, Бюл. № 12.

Здобувачем запропоновано закручувати частинки пилу навкруги власної осі за рахунок градієнту швидкості та розроблена конструкція контактної зони.

Тези виступів на конференціях

16. Галич Р. В. Вихревые аппараты с контактным модулем / Р. В. Галич, А. Р. Якуба, С. А. Тимчук, В. Н. Галич // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка наукових досліджень “2004”. Том 34. Екологія. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 15–16.

Здобувачем спланований та поставлений експеримент, виконаний попередній аналіз результатів досліджень ефективності застосування другого ступеня очищення.

17. Якуба А. Р. О гидравлических потерях в выходном патрубке вихревых аппаратов / А. Р. Якуба, Р. В. Галич, В. Н. Галич, С. А. Тимчук // Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції “Динаміка наукових досліджень 2004”. Том 60. Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта, 2004. – С. 72–74.

Здобувачем проведено експериментальні дослідження на фізичних моделях.

18. Галич Р. В. Многофункциональные вихревые аппараты / Р. В. Галич, А. Р. Якуба // Матеріали науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Технологія – 2004”. – Сєверодонецьк, 2004. – С. 20–21.

Здобувачем проведений аналіз технічних характеристик та визначені можливості вихрових апаратів із зустрічними закрученими потоками для використання в якості високоефективних пиловловлювачів.

19. Галіч Р. В. Модель структури потоків апаратів із зустрічними закрученими потоками / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. М. Галіч // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Дні науки–2006» (17- 28 квітня 2006 р.). Том 8. Технічні науки. – Дніпропетровськ : Наука і освіта. – 2006. – С. 33–36.

Здобувач приймав участь у моделюванні і здійснював експериментальну перевірку робочої гіпотези на фізичних моделях.

20. Галіч Р. В. Розрахунок фракційної ефективності апаратів із зустрічними закрученими потоками / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба, В. М. Галіч // Матеріали II міжнародної науково-практичної конференції «Дні науки – 2006» (17- 28 квітня 2006 р.). Том 13. Екологія. – Дніпропетровськ : Наука і освіта. 2006. – С. 48–51.

Здобувач виконував аналіз математичних моделей стосовно запропонованому методу розрахунку фракційної ефективності пиловловлювання.

21. Галіч Р. В. Моделювання процесу сепарації частинок пилу в системі зустрічних закручених потоків / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба // Матеріали другої Всеукраїнської науково-практичної конференції «Актуальні проблеми створення електронних засобів промислових автоматизованих систем (29-30 листопада 2012 р.). – Сєверодонецьк, 2012. – С. 111–113.

Здобувачем визначені деякі проблемні питання з математичного моделювання при вивченні взаємодії двохфазних систем в умовах зустрічних закручених потоків.

22. Галич Р. В. Очистка воздуха в шахтах Донбасса вихревыми аппаратами со встречными закрученными потоками / Р. В. Галич // Материалы VI международной научно-практической конференции «Экономические, экологические и социальные проблемы угольных районов СНГ» (19 апреля 2013 г). Краснодар, 2013. – С. 15–18.

Здобувачем визначені можливості застосування нових моделей пиловловлювачів для очищення запилених потоків в гірничодобувній галузі промисловості.

23. Галіч Р. В. Підвищення ефективності сепарації пилу у вихрових апаратах із зустрічними закрученими потоками з циліндричною сепараційною камерою / Р. В. Галіч, О. Р. Якуба // Матеріали III-ї Всеукраїнської міжвузівської науково-технічної конференції «Сучасні технології у промисловому виробництві» Розділ: Хімічна технологія та інженерія (23–24 квітня 2014 р.). Суми, СумДУ, 2014. – С. 103.

Здобувачем надана оцінка переваг вихрових пиловловлювачів перед іншими конструкціями пристроїв для обезпилення загорошених промислових викидів.

АНОТАЦІЯ

Галіч Р. В. Вплив вихідних пристроїв на гідродинаміку і ефективність вихрових пиловловлювачів. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології. – Сумський державний університет, МОН України, Суми, 2014.

Дисертація присвячена вивченню гідродинаміки процесу виділення пилу у вихрових апаратах із зустрічними закрученими потоками (ВАЗЗПЦ) з циліндричною сепараційною камерою, призначених для очищення аерозолів в хімічній, будівельній, металургійній та інших галузях промисловості. Вивчено гідродинамічні особливості моделі ВАЗЗПЦ. Визначено характер впливу режимно-конструктивних параметрів вихідного патрубка та бункерної частини конструкції апарата на гідродинаміку, ефективність роботи та енергоекономічність. Виходячи з закону збереження моменту кількості руху отримані аналітичні вирази з розрахунку складових полів швидкостей та оцінки фракційної ефективності. Визначений вплив різних конструкцій пристроїв для розкручування на ефективність пиловловлювання та гідравлічний опір, рекомендовано використовувати «уліточні» пристрої для розкручування. Визначений вплив параметрів бункерної частини моделі ВАЗЗПЦ на гідродинаміку та питомі енерговитрати на пиловловлювання. Розроблена інженерна методика вибору і розрахунку пиловловлювачів моделі ВАЗЗПЦ. Запропонована і захищена патентом України інноваційна конструкція пиловловлювача з гвинтовою сепараційною камерою і безперервним вивантаженням пилу, яка пройшла промислову апробацію на підприємствах хімічної, металургійної та будівельної галузей. Запропонована і захищена патентом України конструкція контактного модуля мокрого очищення. Визначені зони конструктивної модернізації моделі ВАЗЗПЦ та області їх поліфункціонального застосування для проведення процесів хімічної технології.

Ключові слова: вихрові апарати із зустрічними закрученими потоками, гідродинаміка, ефективність пиловловлювання, гідравлічний опір, контактний модуль.

АННОТАЦИЯ

Галич Р. В. Влияние выходных устройств на гидродинамику и эффективность вихревых пылеуловителей. – Рукопись.

Диссертация на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 – процессы и оборудование химической технологии. Сумской государственной университет, 2014.

Диссертация посвящена изучению гидродинамики процесса выделения частиц в вихревых аппаратах со встречными закрученными потоками (ВАЗЗПЦ) с цилиндрической сепарационной камерой, предназначенных для очистки запылённых выбросов в различных отраслях промышленности. Изучены особенности гидродинамики сепарационной камеры, позволяющие выделить три основных режима работы модели ВАВЗПЦ. Изучен характер течений потоков в проходной части выходного патрубка и оценено влияние его режимно-конструктивных параметров на эффективность и экономичность вихревого пылеуловителя. Установлено влияние разных раскрывающих устройств на степень пылеулавливания и гидравлическое

сопротивление. Изучено влияние параметров бункерной части аппарата на степень пылеулавливания и гидравлические потери. Определены зоны для конструктивной модернизации типовой модели пылеуловителя модели ВАВЗПЦ и их влияние на параметры его работы. Методами математического моделирования, исходя из закона сохранения момента количества движения, получены аналитические выражения для расчёта составляющих полей скоростей в любой точке рабочего пространства, а также формулы для расчёта фракционной эффективности, на основе которых разработана инженерная методика выбора и расчёта пылеуловителей модели ВАВЗПЦ, имеющая единый научный и методологический подход с методикой расчёта циклонов.

На основе комплекса теоретических и экспериментальных исследований установлено, что, используя способ предварительного отделения пылевых частиц в обход сепарационной камеры, можно добиться повышения общей степени пылеулавливания. Разработана и защищена патентом Украины инновационная модель пылеуловителя ВАВЗПЦ с винтовой сепарационной камерой и непрерывной выгрузкой пыли, которая прошла промышленную и показала преимущества перед типовой моделью пылеуловителя. Улучшению параметров работы пылеуловителя ВАВЗПЦ способствует также и установка второй ступени очистки, монтируемой непосредственно на выходном патрубке, что позволяет повысить общую и фракционную эффективность. Разработана конструкция контактного модуля мокрой очистки, которая защищена патентом Украины. Определены потенциальные области полифункционального использования модели ВАВЗПЦ для проведения иных процессов химической технологии.

Ключевые слова: вихревые аппараты, гидродинамика, эффективность пылеулавливания, гидравлическое сопротивление, контактный модуль.

SUMMARY

Galich R. V. Effect on the hydrodynamics of the output devices and effectiveness of the vortex. – Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.17.08 – processes and equipment of chemical technology. Sumy State University, 2014.

Thesis is devoted to the study of fluid flow and separation process in vortex devices with counter swirling flow (VAVZPTS) with a cylindrical separation chamber designed to purify the aerosol chemical and construction industries. VAVZPTS studied hydrodynamic features. The nature of the impact of regime – design parameters and the outlet fitting of the bunker on the hydrodynamics, performance and energy efficiency. Based on the law of conservation of angular momentum obtained analytical expressions for the components of the velocity fields and evaluation of fractional efficiency. Developed engineering technique selection and calculation models VAVZPTS precipitators. Developed and patented in Ukraine innovative design dust collector with continuous discharge of dust, which has been tested in the chemical and construction industries. Proposed and patented design of the contact module of Ukraine scrubbing. Defined zoning constructive modernization model VAVZPTS and their multifunctional use of the area for the processes of chemical technology.

Key words: vortex devices with counter swirling flow, hydrodynamics, separation, dust collection efficiency, flow resistance, contact module.

Підписано до друку 15.09.2014.
Формат 60x90/16. Умовн. друк. арк. 1,0. Обл.–вид. арк. 1,0.
Наклад 100 прим. Зам. №

Видавець і виготовлювач
Сумський державний університет,
вул. Римського-Корсакова, 2, м. Суми, 40007
Свідоцтво суб'єкта видавничої справи ДК № 3062 від 17.12.2007 р.