

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ «ЛЬВІВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА»

СЕМЕНЮК Микола Віталійович

УДК 621.928.93

ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ПОТОКІВ У ВІДЦЕНТРОВИХ ФІЛЬТРАХ

05.17.08 – Процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Львів – 2018

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут» Міністерства освіти і науки України та у відділі теплофізичних процесів у котлах Інституту технічної теплофізики Національної академії наук України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент
Бойко Тетяна Владиславівна,
Національний технічний університет України,
«Київський політехнічний інститут ім. І. Сікорського»,
виконувач обов'язків завідувача кафедри кібернетики
хіміко-технологічних процесів, м. Київ

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Цейтлін Мусій Абрамович,
Національний технічний університет «Харківський
політехнічний інститут»,
професор кафедри хімічної техніки та промислової екології,
м. Харків;

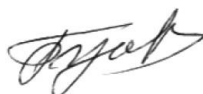
кандидат технічних наук, доцент
Гаврилів Роман Іванович,
Національний університет «Львівська політехніка»,
доцент кафедри хімічної інженерії, м. Львів

Захист дисертації відбудеться «23» квітня 2018 року о 11⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 35.052.09 у Національному університеті «Львівська політехніка» за адресою: 79013, м. Львів, пл. Св. Юра 9, корпус IX, ауд. 214.

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

Автореферат розісланий «21» березня 2018 р.

*Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 35.052.09,
доктор технічних наук, професор*



Я. М. Гумницький

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Серед проблем захисту довкілля найбільш актуальною є охорона повітряного басейну, так як забруднене повітря погіршує екологічні умови, призводить до передчасного зносу основних фондів промисловості, об'єктів житлово-комунального господарства і т. д. Локальні забруднення повітря золою і пилом – одна з найбільш тривожних сучасних проблем.

Вирішенню проблем очистки технологічних газових викидів присвячені праці таких вчених: П.О. Коузова, А.Ю. Вальдберга, В.Т. Стефаненко, А.А. Халатова, Д.О. Серебрянського, Є.В. Асламової, В.М. Галича та інших вчених.

У багатьох галузях промисловості в якості першого ступеня очищення технологічних газів від твердих частинок застосовують відцентрові пиловловлювачі, засновані на відцентровій силі. Різке зниження ефективності очищення газових потоків від твердих частинок в даних апаратах не дозволяє їх застосовувати в якості єдиної ступені очищення в системах з високою початковою запиленістю. Високої ефективності очищення газового потоку від твердих частинок можна домогтися шляхом поєднання двох принципів очищення в одному апараті: відцентрової сепарації і багаторазової фільтрації через саморегенеруючий динамічний пиловий шар.

У 2000 роках був отриманий патент на винахід –“відцентровий фільтр” заснований на системі каналів із замкненими контурами, який дозволяє у 2...5 разів скоротити викиди у повітря твердих часток у порівнянні з типовими відцентровими пиловловлювачами. Конструкція даного апарату захищена міжнародними патентами та патентами України, а результати роботи та досліджень системи каналів із замкненими контурами відображені в одній докторській дисертації (Буров О.І.) та двох кандидатських дисертаціях (Буров О.О., Серебрянський О.О.).

Проте, проведені дослідження не в повній мірі відображають процеси, що протікають у апаратах з системою каналів із замкненими контурами при очистці газових потоків від твердих часток. Про це свідчать результати розрахунків по створеним математичним моделям коефіцієнта вловлювання та аеродинамічного опору апаратів даного типу.

Актуальність теми полягає в удосконаленні, дослідженні та розробці методики розрахунку відцентрового фільтра з відводом вловлених часток з кожної пари каналів в герметично ізольовані один від одного бункери для підвищення ефективності вловлювання.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконувалась в рамках: договору про співпрацю між НТУУ «КПІ ім. І Сікорського», та ІТТФ НАН України, наукових досліджень кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського» - «Пріоритетні напрями розвитку науки в Україні» у відповідності до Державних програм України, що стосуються збереження навколишнього середовища (довкілля) та сталий розвиток, новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі у рамках закону України № 2623/III від 11.07.2001 р. «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки».

Дисертаційна робота виконувалася згідно до завдань держбюджетної теми № 2719п «Розроблення, вдосконалення, керування і оцінювання екологічної сталості та безпеки промислових і територіальних утворень як систем із замкненими циклами»

Результати наукових досліджень, що представлені в дисертації, отримані в Інституті технічної теплофізики Національної академії наук України за підтримки Інституту промислової екології в рамках виконання держбюджетної науково-дослідницької роботи «Розроблення та апробація установки для очищення димових газів від діоксиду сірки та золи, що утворюються під час спалювання твердого органічного палива» № ДЗ/451-2013.

Мета і завдання дослідження. Основною метою роботи є проведення комплексу досліджень процесу розділення в полі відцентрових сил пилогазових потоків, створення методики розрахунку процесу очищення та удосконалення пиловловлюючих апаратів.

У рамках дисертаційної роботи поставлено такі основні завдання:

- провести експериментальні дослідження для встановлення закономірностей масового та дисперсного розподілу часток різного матеріалу в елементах системи спіральних каналів з замкненими контурами;
- розробити фізичну модель процесу очистки газового потоку від твердих часток у системі каналів відцентрового фільтра;
- розробити математичну модель визначення аеродинамічного опору та ефективності вловлювання твердих часток у відцентровому фільтрі;
- провести комп'ютерне моделювання відцентрового фільтра за допомогою сучасних програмних комплексів;
- дослідити аеродинамічні властивості запиленого газового потоку у центральній області каналів відцентрового фільтра;
- оцінити адекватність розроблених моделей;
- розробити нову конструкцію відцентрового фільтра з відводом вловлених часток з кожної пари каналів в герметично ізольовані один від одного бункери.

Об'єктом дослідження є процес відцентрової сепарації у фільтрах, для очищення газових викидів.

Предметом дослідження є відцентрові фільтри з системою спіральних каналів із замкненими контурами, для очищення газових потоків.

Методи дослідження. Фізичне моделювання на лабораторному устаткуванні, комп'ютерне моделювання структури потоків в системі спіральних каналів відцентрового фільтра, математичне моделювання процесу розділення в полі відцентрових сил пилогазових потоків, теорія подібності для отримання критеріальної залежності ефективності процесу, математична статистика для встановлення залежностей між ефективністю на характеристиками пилогазового потоку розробленої конструкції апарата.

Наукова новизна. Вперше комплексно досліджено закономірності аеродинаміки і пиловловлювання у відцентровому фільтрі з системою спіральних

каналів, виконаних таким чином, щоб пил з частиною газу з наступного по ходу витка спіралі могли інжектуватися в попередній виток при цьому, зокрема:

- вперше отримано експериментальні дані щодо аеродинамічного опору та розподілу швидкостей газу по витках спіральних елементів та області виходу газу у центрі сепараційної камери відцентрового фільтра;
- вперше отримані експериментальні дані щодо ступеню вловлювання пилу як в цілому по апарату, так і по окремих витках спіральних каналів в залежності від густини, дисперсного складу пилу, швидкості повітря та кривизни витка;
- вперше експериментально досліджено фракційний розподіл пилу, що вловлюється у кожному витку спіральних каналів в залежності від його радіусу, швидкості повітря, фізичних властивостей та дисперсного складу вихідного пилу;
- вперше на основі обчислювального експерименту з використанням розробленої математичної моделі руху газу у фільтрі, що досліджувався, отримано тривимірні графіки структури потоків газу у центральній частині сепараційної камери;
- вперше у результаті обчислювального експерименту отримано профілі швидкостей часток пилу в перерізі відцентрового фільтра та сепараційної камери в залежності від витрати газу.

Практичне значення отриманих результатів.

Розроблено та виготовлено принципово новий апарат з системою спіральних каналів із замкненими контурами для вловлювання полідисперсних порошків, який захищено патентом України. Розроблені в роботі методики дозволяють знаходити оптимальні умови експлуатації і конструювання відцентрових фільтрів при мінімальних енерговитратах, забезпечуючи необхідний ступінь очищення газів. Розроблений апарат може бути використаний на підприємствах металургійної, цементної, коксохімічної та інших галузях промисловості.

Впровадження результатів роботи:

- виготовлено та впроваджено на ПАТ “Авдіївський коксохімічний завод”, м. Авдіївка два відцентрових фільтри;
- виготовлено та впроваджено на АТ “Євроцемент-Україна”, м. Балаклія 3 відцентрових фільтри;
- виготовлено одну секцію установки для очищення димових газів від діоксину сірки та золи, що поставлена на підприємство ДП “Макіїввугілля”, шахта Бутівська.
- результати дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри кібернетики хіміко-технологічних процесів Національного технічного університету України “Київський політехнічний інститут”.

Особистий внесок здобувача полягає у проведенні теоретичних та експериментальних досліджень, аналізі та обробці одержаних результатів, впровадженні результатів досліджень і відображенні у наукових працях:

- розглянуто закономірності руху твердих частинок, газу і конструктивні способи інтенсифікації процесу сепарації в апаратах з системою спіральних каналів із замкненими контурами. Розглянуто фізичну модель очистки неоднорідних газових систем у відцентровому пиловловлювачі ;

- проведено комп'ютерне *CFD* моделювання аеродинаміки та ефективності вловлювання полідисперсного пилу у відцентровому фільтрі;
- розроблено математичну модель розрахунку аеродинамічного опору в апараті з системою каналів із замкненими контурами;
- проведено стендові випробування відцентрового фільтру і виконано обробку одержаних результатів;
- виготовлено пиловловлюючий апарат та проведено експериментальні та промислові дослідження процесу вловлювання пилу в відцентровому фільтрі, який призначений для комплексної очистки газів;
- проведений патентний огляд та прийнята участь в розробці нового апарату – відцентровий фільтр.

Апробація результатів дисертації. Основні результати роботи доповідались і обговорювались на: VII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів”, (м. Київ, 2013); VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів”, (м. Київ, 2013); IX Всеукраїнській науково-практичній конференції студентів, аспірантів і молодих вчених “Обладнання хімічних виробництв і підприємств будівельних матеріалів”, (м. Київ, 2014); XIII Міжнародній науково-практичній конференції “Хімічна інженерія, екологія та ресурсозбереження” (м. Київ, 2015), IV-VI Міжнародних науково-практичних конференціях молодих вчених і спеціалістів в області проектування підприємств гірничо-металургійного комплексу, енерго- і ресурсозбереження, захисту навколишнього природного середовища (м. Харків, 2015-2017), V Міжнародній науково-практичній конференції “Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку” (м. Київ, 2016), Міжнародній науково-практичній конференції “Chemical Technology and Engineering” (м. Львів, 2017).

Публікації. За результатами дисертації опубліковано 14 наукових праць [1-14]. З них 3 патенти на винахід та корисну модель [1,2,3], 1 стаття в науковому періодичному виданні іншої держави [4], 2 статті у науковому періодичному виданні України, що входить до міжнародних наукометричних баз [5,6], 3 статті у фахових виданнях з переліку ВАК України [7, 8, 9], 5 статей у збірниках тез наукових конференцій [10,11,12,13,14].

Структура й обсяг роботи. Дисертація викладена на 158 сторінках друкованого тексту основної частини, яка складається із вступу, п'яти розділів та висновків. Повний обсяг дисертації становить 215 сторінок і включає 103 рисунки, 46 таблиць, список використаних джерел із 86 найменувань та 7 додатків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми, сформульовано мету та задачі дисертаційної роботи, методи дослідження, наукову новизну та практичну цінність отриманих результатів, наведено інформацію про апробацію роботи, публікації, приведені основні результати і положення, що виносяться на захист.

У **першому розділі** дисертаційної роботи «Сучасний стан техніки та технологій очистки димових та технологічних газів» проведено аналітичний огляд

стану науки та техніки відцентрової сепарації твердих частинок та особливості конструкцій відцентрових фільтрів.

Виконаний аналіз основних напрямків розвитку і вдосконалення технології відцентрової очистки полідисперсних потоків від твердих часток показав, що ефективність вловлювання в цих апаратах не забезпечує сучасних екологічних норм, а модернізація призводить до підвищення металоємності та аеродинамічного опору конструкції, що ускладнює експлуатацію. Високих показників ефективності вловлювання можна досягти в апаратах, заснованих на системі каналів із замкненими контурами (відцентрових фільтрах), що дозволяють від 2 до 5 разів зменшити викиди твердих часток у повітря у порівнянні з типовими відцентровими пилоловлювачами. Проведений аналіз досліджень відцентрових фільтрів із системою криволінійних каналів показав, що процеси, які протікають в даних апаратах не достатньо вивчені і не дають можливості поширювати їх на виробництва.

В основі роботи відцентрового фільтра лежить система послідовно розташованих криволінійних каналів з однаковими кутами повороту і рівними площами поперечних перерізів. Канали утворюються двома плоскими стінками і циліндричними напівобичайками різної кривизни. Замкнутий контур виникає в двох сусідніх каналах за наявності ексцентриситету між осями обертання непарних і парних напівобичайок. У результаті організації внутрішніх циркулюючих потоків у системі каналів утворюється динамічний газопиловий шар, який і є фільтром для частинок, що знову надходять на очищення газу.

Нова конструкція відцентрового фільтра, розроблена на основі аналізу недоліків аналогів, містить камеру сепарації з криволінійними каналами, де кожна пара щілин сполучена з окремим конічним бункером. Використання винаходу дозволить збільшити ефективність вловлювання полідисперсних порошкових матеріалів.

У другому розділі дисертаційної роботи «Експериментальні дослідження відцентрового фільтра» розглянуто будову, принцип дії апарата, описано експериментальну установку та методику проведення експериментальних випробувань відцентрового фільтра, приведено результати та аналіз експериментальних досліджень його аеродинамічного опору та ефективності вловлювання твердих частинок.

Для проведення аеродинамічних випробувань відцентрового фільтра був змонтований лабораторно-експериментальний стенд (рис. 1). На рис. 2 показано схематичне зображення перерізу сепараційної камери відцентрового фільтра.

Робота лабораторної установки здійснювалась наступним чином: для проведення випробувань включався відцентровий вентилятор 5, подача матеріалу здійснювалась за допомогою шнекового живильника 9. Матеріал, що подавався до живильника поступав у вимірювальний газохід 1, де перемішувався з повітрям. Утворений пилогазовий потік потрапляв у відцентровий фільтр 2 де тверді частки вловлювались в системі каналів та розділялись по ізольованим бункерам, що з'єднані з парами каналів, а очищений газовий потік через газохід 3 та відцентровий вентилятор 5 потрапляв у навколишнє середовище. Лабораторна установка працювала під розрідженням, що створювалося відцентровим вентилятором.

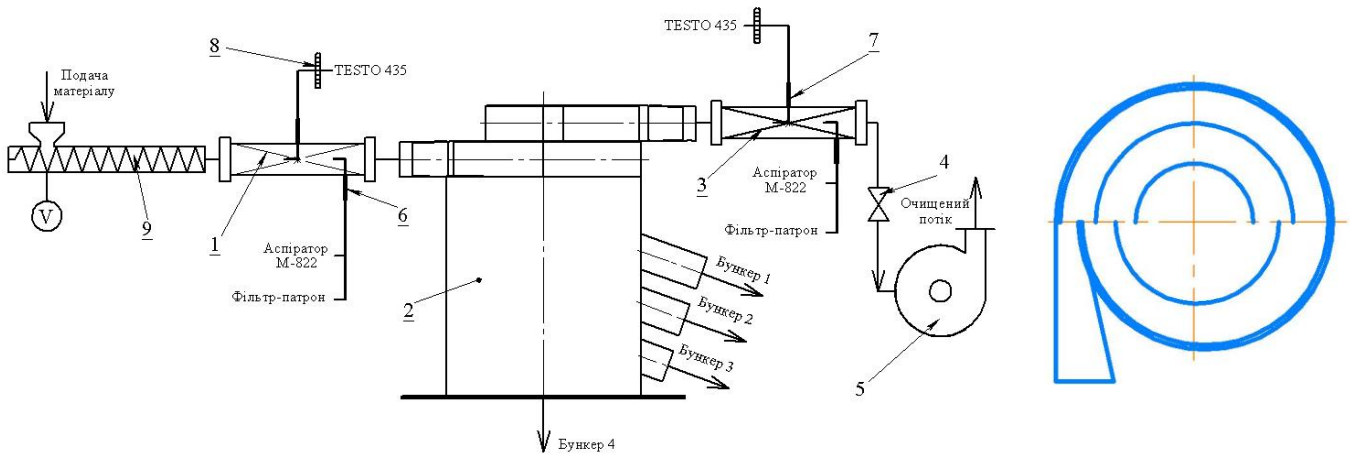


Рис. 1 Схема лабораторної установки

Рис. 2 Переріз
сепараційної камери
відцентрового
фільтра

Тверді частки, що вловлюються в системі каналів відводяться через кільцеві щілини усіх чотирьох пар каналів восьмиканального відцентрового пиловловлювача у окремі ізолювані один від одного бункери.

При проведенні експериментальних досліджень через апарат пропускався потік повітря з витратою від 100 до 200 м³/год та подачею твердих часток від 150 до 350 г/хв. Дослідження проводились при стаціонарній концентрації суміші 100 г/м³. В якості експериментальних матеріалів в дослідженнях були використані тверді частинки коксу, каоліну, вапна, цементу, лігніну та піску. Аеродинамічні характеристики восьмиканального відцентрового фільтра представлено в таблиці 1.

Таблиця 1

Аеродинамічні характеристики восьмиканального відцентрового фільтра

№ п/п	Швидкість потоку у вхідному патрубку; V , м/с			Аеродинамічний опір; ΔP , Па		
	Режим 1	Режим 2	Режим 3	Режим 1	Режим 2	Режим 3
1	7,5	12	15	45	145	254
2	7,7	12,3	15,4	38	120	214
3	8	12,6	15,8	33	93	167
4	8,2	12,9	16,3	26	80	133
5	8,5	13,3	16,7	22	64	115
6	8,7	13,5	17,2	18	53	83
7	9	14	17,5	15	45	66
Центральна область	1,7	2,5	3,3	130	400	688
Сумарно				327	1000	1720

Аеродинамічний опір в криволінійних каналах нерівномірний, а його значення має загальну тенденцію розподілу для різних режимів роботи апарата. Збільшення числа каналів приводить до зниження аеродинамічного опору в каналах сепараційної камери відцентрового фільтра. Також видно, що втрата енергії в центральній області системи каналів не залежить від режиму роботи апарата і складає 40% від загального рівня втрати енергії в апараті в цілому.

Проведені експериментальні дослідження ефективності вловлювання твердих часток у відцентровому фільтрі. На рис. 3 зображено ефективність вловлювання часток коксу ($d_{50} = 12$ мкм) та піску ($d_{50} = 50$ мкм) кожною парою каналів. Осадження крупно дисперсних часток річного піску та тонко дисперсних часток коксу мають різний характер вловлювання. Відносно рівномірний розподіл матеріалу по елементам системи каналів для піску пов'язаний з більшою одиничною масою його частинок.

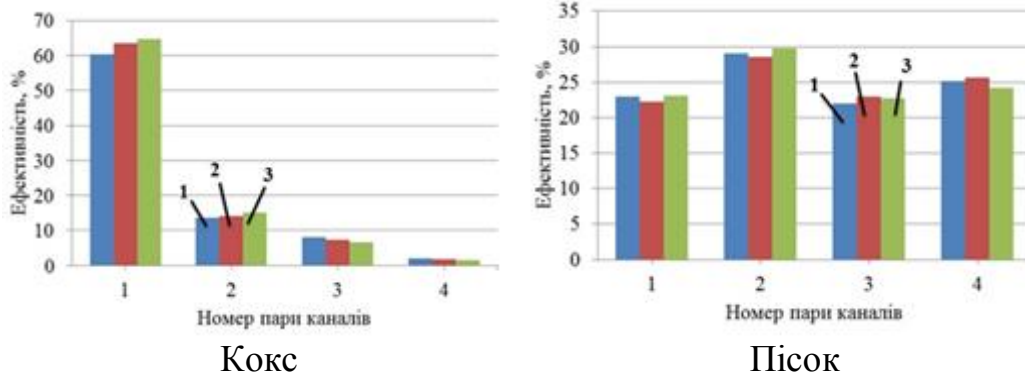


Рис. 3 Ефективність вловлювання часток кожною парою каналів
1 – 100 м³/год; 2 – 150 м³/год; 3 – 200 м³/год

Для визначення розподілу дисперсного складу матеріалу, що вловлюється кожною парою каналів, було проведено ряд досліджень з використанням лазерного аналізатора *SK LASER MICRON SIZER*.

Визначено, що розподіл дисперсного складу часток по елементам системи каналів з замкненими контурами не залежить від дисперсних характеристик матеріалу, що вловлюється (d_{50} , ρ_p , σ). Медіанний діаметр твердих часток по елементам апарату в порівнянні з медіанним діаметром твердих часток вхідного потоку змінюється в межах від 10 до 15 мкм.

В досліджуваному апараті ширина рециркуляційної щілини складає 14% від загальної ширини сепараційного каналу і є незмінною для всієї системи каналів. Зворотній потік з рециркуляційних щілин пар каналів змішується з запиленним потоком, що потрапляє на вхід до пари каналів. Таким чином у системі каналів відцентрового пиловловлювача відбувається усереднення дисперсного складу твердих часток по елементам системи.

Результати отриманих експериментальних даних по фракційній ефективності мають практичний характер для конструювання відцентрових фільтрів та організації елементів системи каналів апарата.

Загальна фракційна ефективність, незалежно від кількості пар каналів, зростає зі збільшенням медіанного діаметру часток.

Для визначення ефективності вловлювання часток окремими елементами системи апарата були проведені експериментальні дослідження роботи ізольованих пар каналів на різних матеріалах (рис. 4). Для цього у відцентровому фільтрі закривались щілини відводу часток у відповідні бункери-збирачі.

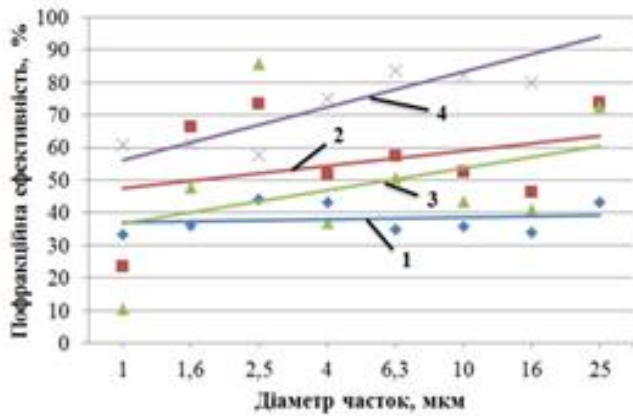


Рис. 4 Фракційна ефективність відцентрового фільтра для цементного пилу
1 – перша пара каналів; 2 – друга пара каналів; 3 – третя пара каналів; 4 – четверта пара каналів

Фракційна ефективність тонкодисперсних часток вища в першій та другій парі каналів і становить для 1 пари каналів – від 50 до 70 %, для 2 пари каналів – від 30 до 60 %. Для крупнодисперсних часток фракційна ефективність має обернену залежність, при якій третя та четверта пари каналів працюють найефективніше і складають для 3 пари каналів – від 30 до 60 % а для 4 пари каналів – від 60 до 90 %.

На рис. 5 зображено загальну ефективність вловлювання часток у відцентровому фільтрі в залежності від витрати повітря. При зміні витрати потоку від 100 до 200 м³/год спостерігається.

Для підвищення ефективності вловлювання часток у відцентровому фільтрі проводилися дослідження із діафрагмуванням вихідного патрубку насадками діаметром від 50 до 75 мм. Діаметр вихідного отвору складає 80 мм.

Діафрагмування вихідного патрубку відцентрового фільтра з 80 мм до 50 мм призводить до підвищення питомих енергозатрат в 2,3 рази. Для коксу з медіанним діаметром часток 12 мкм коефіцієнт виносу часток знижується в 1,5 разів, для цементу з медіанним діаметром часток 20 мкм коефіцієнт виносу часток знижується в 2,7 разів.

У **третьому розділі** дисертаційної роботи «Чисельні розрахунки основних параметрів роботи відцентрового фільтра» представлено комп'ютерне моделювання аеродинамічних характеристик течії потоку в каналах відцентрового фільтра та в центральній області системи каналів. Наведені результати розрахунків комп'ютерного моделювання руху твердих часток в системі каналів із замкненими контурами та чисельні розрахунки часу перебування твердої частинки у відцентровому фільтрі.

Для розрахунків використовувався сучасний програмний комплекс *SolidWorks*. В результаті числового аналізу моделі відцентрового фільтра було встановлено, що при зміні витрати повітря з 100 до 200 м³/год в сепараційній камері апарату відбувається підвищення аеродинамічного опору з 350 до 1700 Па та швидкості від 10 до 20 м/с.

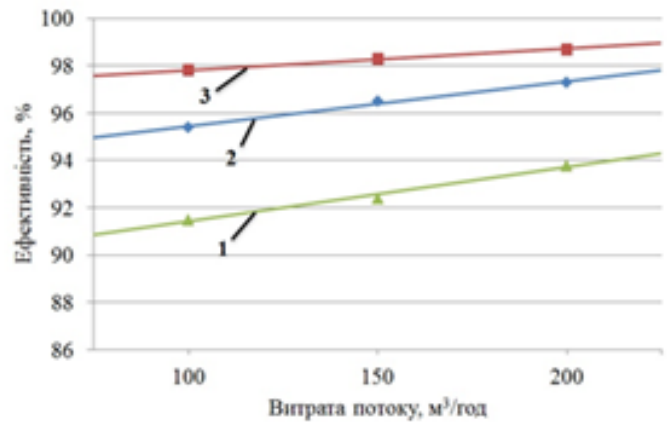


Рис. 5 Загальна ефективність вловлювання часток у відцентровому фільтрі
1 – суміш коксу та вапна; 2 – суміш цементу та вапна; 3 – суміш піску та вапна

На рис. 6 та 7 зображено залежність коефіцієнта аеродинамічного опору ξ від витрати потоку у відцентровому фільтрі по розрахунковим формулам і *CFD* моделюванню та розподіл тиску в поперечному перерізі відцентрового фільтра.

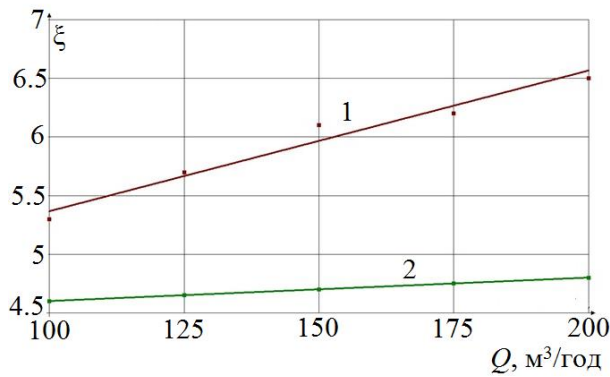


Рис. 6 Залежність коефіцієнта аеродинамічного опору від витрати потоку

1) за розрахунковою залежністю; 2) по *CFD* моделюванню

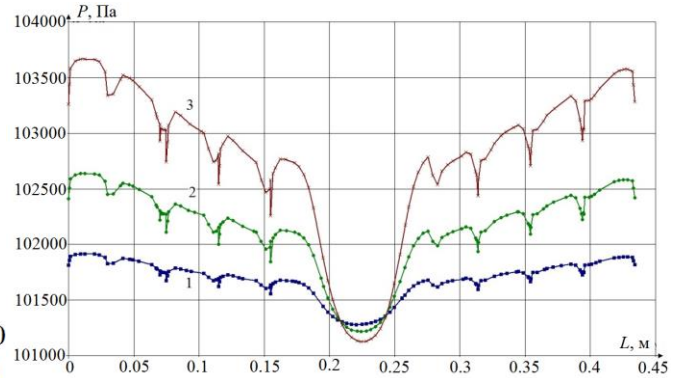


Рис. 7 Розподіл тиску в поперечному перерізі відцентрового фільтра
1 – 100 м³/год; 2 – 150 м³/год; 3 – 200 м³/год

Аналіз розрахункових даних дозволив встановити, що в каналах сепараційної камери відцентрового фільтра додатково до початкового об'єму газів, що очищається, додається від 14% до 25% додаткового об'єму, тобто 1120...2000 м³/год, який здійснює додатково 3...5 обертів в системі каналів з замкненими контурами.

Чисельний аналіз наведених на рисунку 7 даних дозволяє оцінити вклад падіння тиску у центральній області системи каналів щодо сукупності криволінійних каналів. Так, при 100 м³/год - 40%; при 150 м³/год - 41%; при 200 м³/год - 42% від загального аеродинамічного опору апарату. У зв'язку з цим виникає необхідність більш детального аналізу структури руху потоку у центральній області системи каналів.

Для більш детального аналізу структури руху потоку було проведено аеродинамічне моделювання центральної області системи каналів. При моделюванні течії застосовувалася фізична модель руху, розрахована для чисельних розрахунків аеродинамічних характеристик потоку в каналах відцентрового фільтра (рис. 8).

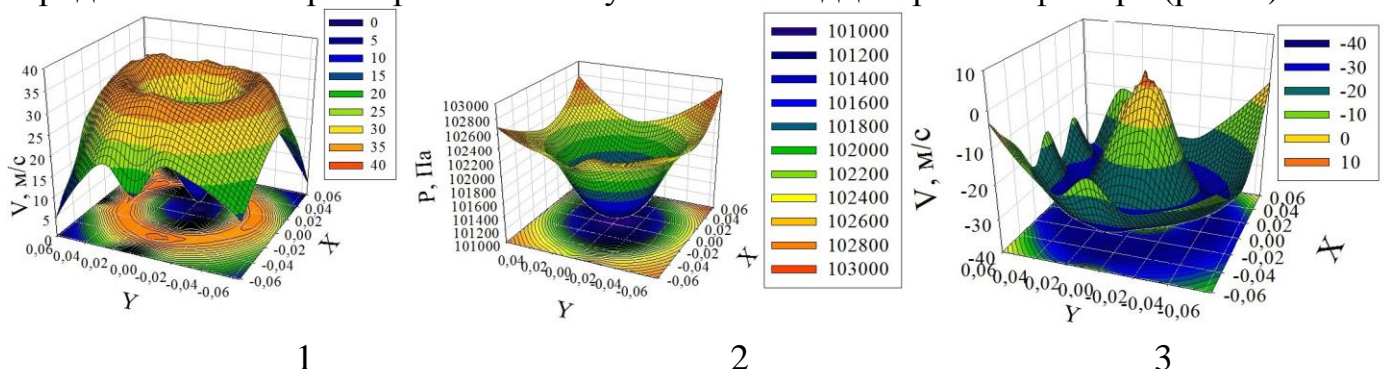


Рис. 8 Розподіл значень швидкостей, тангенціальної компоненти швидкості та тиску

1 – розподіл значень швидкостей; 2 – розподіл значень тиску; 3 – розподіл значень тангенціальної компоненти швидкості

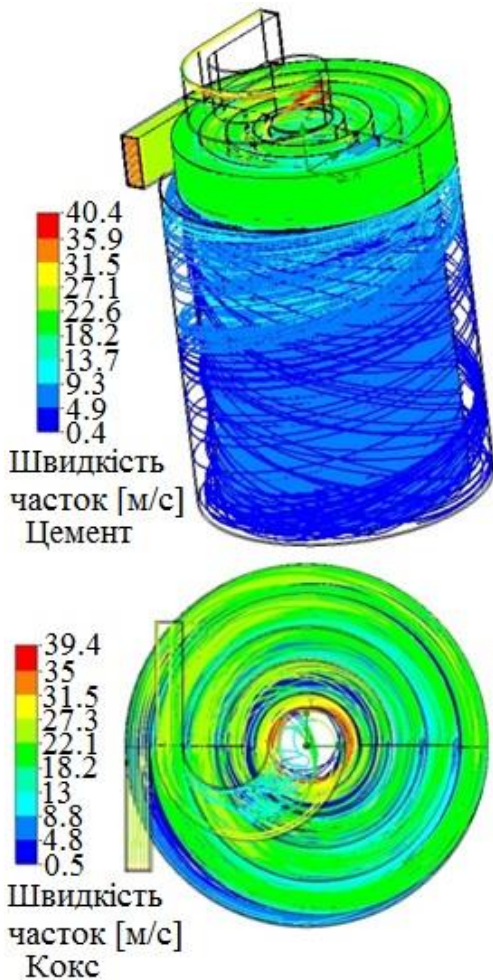


Рис. 9 Розподіл швидкості часток цементу в перерізі сепараційної камери

в сепараційній камері майже не змінюється і складає від 18 до 25 м/с. Досягаючи бункеру, частинки різко втрачають швидкість до 5-10 м/с і осідають під дією сили тяжіння. На виході частинки розкручуються і мають швидкість від 30 до 40 м/с.

Для визначення часу перебування твердої частинки в об'ємі апарата було проведено чисельний розрахунок двоканального відцентрового фільтра.

Метою аеродинамічного моделювання є вибір типу конструкції двоканального відцентрового апарата з системою каналів з замкненими контурами для очистки димових газів від діоксиду сірки, та золи. Оскільки, вилучення з димових газів діоксиду сірки пов'язане з часом контакту часток сорбенту з газовим середовищем, було розглянуто декілька варіантів конструкції апарата.

Модель апарата складається з криволінійного каналу ($K_{кр}$), транзитного каналу ($K_{тр}$), рециркуляційного каналу (K_p) та каналу переходу потоку в бункер (K_6). Для визначення оптимального варіанту співвідношень транзитного та рециркуляційного потоків розрахунок здійснювався для чотирьох варіантів співвідношень $K_p/K_{тр}$: 0,2, 0,3, 0,4 та 0,5 розташування каналів.

Діапазон моделювання твердих часток складав від 5 до 50 мкм з кроком в 5 мкм. Для кожного діаметру моделювалось 1000 часток та визначалось середнє значення довжини і часу руху в об'ємі каналів апарату в залежності від співвідношення $K_p/K_{тр}$.

Падіння тиску в центральній області системи каналів складає 40...42 %; від загального аеродинамічного опору апарата. Близько 40% падіння тиску відбувається через вихрові втрати енергії та раптового розширення на вході і звуження на виході. Зміна цих величин, впливає на аеродинаміку і ефективність вловлювання відцентрового фільтра.

Наступним етапом дослідження відцентрового фільтра є комп'ютерне моделювання руху твердих часток в апараті для визначення їх розподілу по елементам системи.

В якості матеріалів в моделюванні були використані тверді частинки коксу, каоліну, вапна, цементу, лігніну та піску. Матеріали, що використовувались при проведенні комп'ютерного моделювання, мають діапазон медіанного діаметра (d_{50}) від 12 до 50 мкм і густини (ρ_p) від 1800 до 3450 кг/м³.

На рис. 9 зображено розподіл швидкості часток цементу в перерізі відцентрового фільтра та сепараційної камери при витраті повітря 200 м³/год.

Як видно з рисунку, потік твердих часток рівномірно розподіляється по елементам апарату.

Швидкість руху твердих часток вапна в

В таблиці 2 наведені результати моделювання руху твердих часток $Ca(OH)_2$ і золи в об'ємі відцентрового фільтра.

Таблиця 2

Результати моделювання руху твердих часток $Ca(OH)_2$ і золи

$K_p/K_{тр}$	$Ca(OH)_2$		Зола	
	τ , сек	l , м	τ , сек	l , м
0,2	1,8	8,7	1,9	9,4
0,3	2	8,8	2	8,9
0,4	4,1	12,8	4	13,6
0,5	2,5	14,21	2,4	14,6

Проведений чисельний розрахунок часу перебування та довжини шляху для твердих часток $Ca(OH)_2$ та золи ($d_{50} = 5 \dots 50$ мкм) в середині апарату очистки виявив, що середній час перебування твердих часток складає 4 секунди при довжині шляху 12...14 м, для варіанта конструкції апарату з співвідношенням ширини зазорів між каналами рівним 0,4.

У четвертому розділі дисертаційної роботи «Методика розрахунку основних параметрів роботи відцентрового фільтра» розглядається алгоритм розрахунку основних параметрів роботи відцентрового фільтра та математична модель процесу очистки неоднорідних газових систем у апараті. Розроблено методику розрахунку процесу очистки димових газів від діоксиду сірки у відцентрових фільтрах.

Відцентровий фільтр з чотирма замкнутими контурами і діафрагмою на виході розраховувався з урахуванням з'єднання з бункерами попарно розташованих каналів і змінного винесення з нього пилу при нестационарних умовах.

На рис. 10 та 11 показано схеми розрахунку аеродинамічного опору та розрахунку коефіцієнта уловлювання полідисперсної золи або пилу у відцентровому фільтрі.

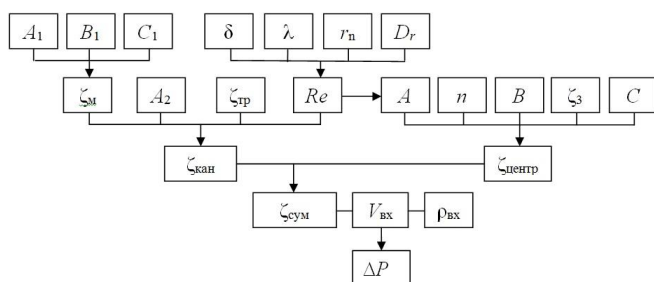


Рис. 10 Схема розрахунку аеродинамічного опору у відцентровому фільтрі

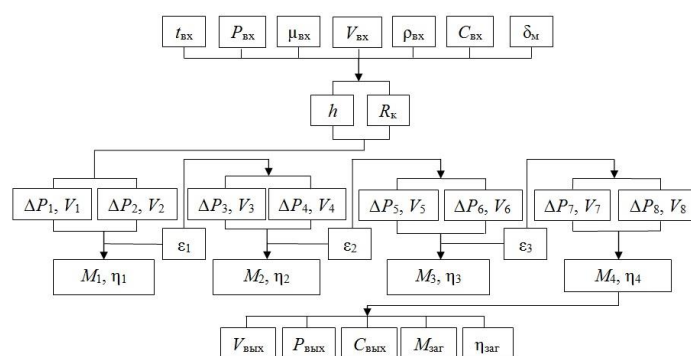


Рис. 11 Схема розрахунку загального коефіцієнта вловлювання пилу у відцентровому фільтрі

Гідравлічні втрати в відцентрових апаратах характеризуються коефіцієнтом опору. Конструктивно, відцентровий фільтр представляє собою послідовно встановлені криволінійні канали, в яких відбувається плоскопаралельний рух потоку і центральну область системи каналів, в якій рух потоку має вихрову форму.

Розроблено методику розрахунку коефіцієнта аеродинамічного опору відцентрового фільтра, що являє собою суму двох складових – аеродинамічного опору каналів та центральної області сепараційної камери.

Так зі збільшенням швидкості від 10 до 20 м/с коефіцієнт опору системи каналів змінюється від 5,3 до 6,5. Падіння тиску в центральній області системи каналів складає 40...42 %; від загального аеродинамічного опору апарата. Коефіцієнт опору центральної області системи каналів в значній мірі залежить від режиму вихрового руху газового потоку і також має лінійний характер зростання в залежності від числа Рейнольдса.

При отриманні математичного опису ефективності вловлювання відцентрового фільтра був прийнятий логарифмічно-нормальний закон розподілу часток пилу за розмірами (ЛНР). В основі методики розрахунку ефективності вловлювання твердих часток у відцентровому фільтрі лежить енергетичний принцип розрахунку інерційних пиловловлювачів, розроблений Шиляєвим. Математичне формулювання принципу виражає співвідношення між затратами енергії на очищення одиниці об'єму газу в залежності від їх режимно-геометричних параметрів та характеристик пилу і газу:

$$K_{\delta} = e^{-aStk^n} \cdot K \quad (1)$$

де K – коефіцієнт, що враховує зміну концентрації запиленого потоку.

На основі енергетичного принципу, за даними лабораторно-експериментальних досліджень та характеристик матеріалів були отримані розрахункові залежності з постійними a та n . Постійні a і n в цій залежності характеризують індивідуальні властивості пиловловлювачів і залежать одночасно від інерційного числа Стокса.

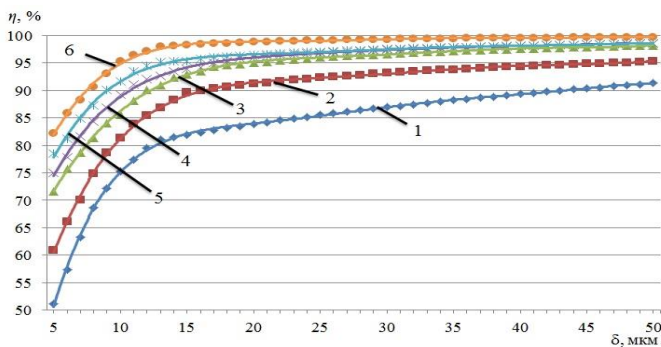


Рис. 12 Фракційні ефективності вловлювання твердих часток

1 – кокс; 2 – каолін; 3 – вапно;
4 – цемент; 5 – лігнін; 6 – пісок

5 до 50 мкм шести різних матеріалів склали від 50 до 99,9 %.

Методика розрахунку процесу очистки димових газів від діоксиду сірки у відцентрових фільтрах ґрунтується на трьох основних складових: матеріальний баланс необхідного реагенту для процесу десульфуризації діоксиду сірки та кількості води, комп'ютерне моделювання аеродинамічної картини перебігу газового потоку в реакторі для забезпечення необхідного часу контакту між реагентом і газовим середовищем та конструктивний розрахунок основних геометричних характеристик апарата очистки.

Отримана залежність дозволяє розраховувати відцентрові фільтри з криволінійними каналами на задану ефективність уловлювання часток різного матеріалу при відомій густині ρ_m , середньоквадратичній дисперсії σ , медіанному діаметрі часток d_{50} , необхідній витраті газопилового потоку та інших параметрах, що відображають конструктивні особливості апарата.

Як видно з рис. 12, розраховані фракційні ефективності вловлювання твердих часток медіанного діаметра від

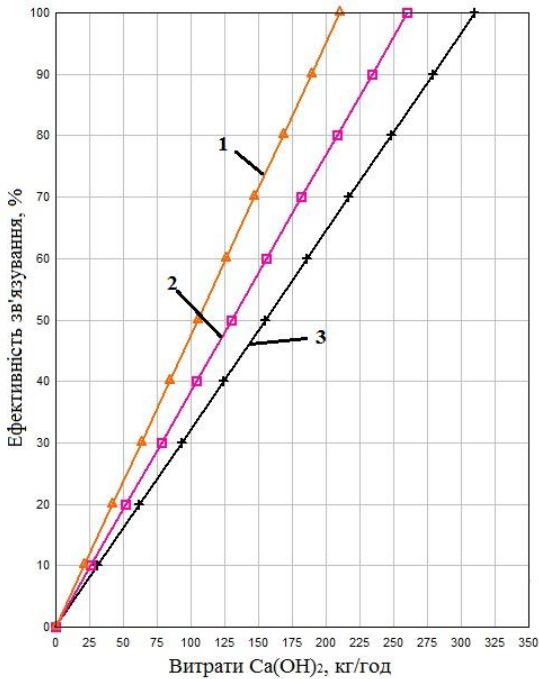


Рис. 13 Залежність ефективності зв'язування діоксиду сірки від витрат вапна

- 1 – коефіцієнт надлишку вапна 2; 2 – коефіцієнт надлишку вапна 2,5; 3 – коефіцієнт надлишку вапна 3

ефективність очистки, що відповідає кінцевій концентрації SO_2 -2,72 г/м³ при початковій – 6,29 г/м³.

За результатами розрахунків можна визначити ефективність зв'язування сірки, знаючи час процесу десульфуризації димових газів та константу швидкості протікання хімічної реакції (таблиця 3).

Матеріальний баланс процесу десульфуризації діоксиду сірки здійснювався для двоступеневої системи аспірації, що складалася з двоканального відцентрового фільтру ЦФ1Г-2-0,6 – на першій ступені та шестиканального відцентрового фільтру ЦФ2-6-0,6 – на другій ступені.

Чисельний розрахунок процесу десульфуризації димових газів, що утворилися при спалюванні вугілля марки Г із вмістом сірки 3,5% в котлі ДКВР 10/13, показав, що при повному протіканні хімічних реакцій та коефіцієнті надлишку гашеного вапну, що становить - 2, необхідно 103 кг/год $Ca(OH)_2$ при спалюванні 1200 кг/год вугілля.

На рис. 13 показано залежність ефективності зв'язування діоксиду сірки від витрат вапна.

Проведені багатоваріантні чисельні розрахунки ефективності очистки димових газів від SO_2 дозволили встановити, що при часі контакту $Ca(OH)_2$ з газовим середовищем 3,6 с та константі швидкості 47 с⁻¹ досягається 50%

Таблиця 3

Значення ефективності зв'язування SO_2 при різних значеннях константи швидкості хімічної реакції (k, моль·м⁻³·с⁻¹) та часу протікання процесу (τ, с)

τ \ k	46,69	93,38	186,76	373,52	747,04	1494,08	2988,16	5976,32	11952,64	23905,28
1,2	0,213	0,381	0,513	0,617	0,698	0,762	0,811	0,849	0,878	0,899
2,4	0,381	0,617	0,763	0,853	0,909	0,943	0,964	0,977	0,985	0,99
3,6	0,513	0,763	0,885	0,944	0,973	0,986	0,993	0,997	0,998	0,999
4,8	0,617	0,853	0,944	0,978	0,992	0,997	0,999	0,999	1	1
6	0,699	0,909	0,973	0,992	0,997	0,999	1	1	1	1
7,2	0,763	0,944	0,987	0,997	0,999	1	1	1	1	1
8,4	0,814	0,965	0,994	0,999	1	1	1	1	1	1
9,6	0,853	0,979	0,997	1	1	1	1	1	1	1
10,8	0,885	0,987	0,998	1	1	1	1	1	1	1
12	0,909	0,992	0,999	1	1	1	1	1	1	1

В результаті математичного моделювання та розробленої методики розрахунку процесу очистки димових газів від діоксиду сірки були отримані залежності для розрахунку аеродинамічного опору та ефективності вловлювання твердих частинок пилу та SO_2 .

Проведені теоретичні та експериментальні дослідження аеродинаміки та ефективності вловлювання твердих часток у відцентровому фільтрі дають можливість оцінити адекватність розробленої математичної моделі (рис. 14).

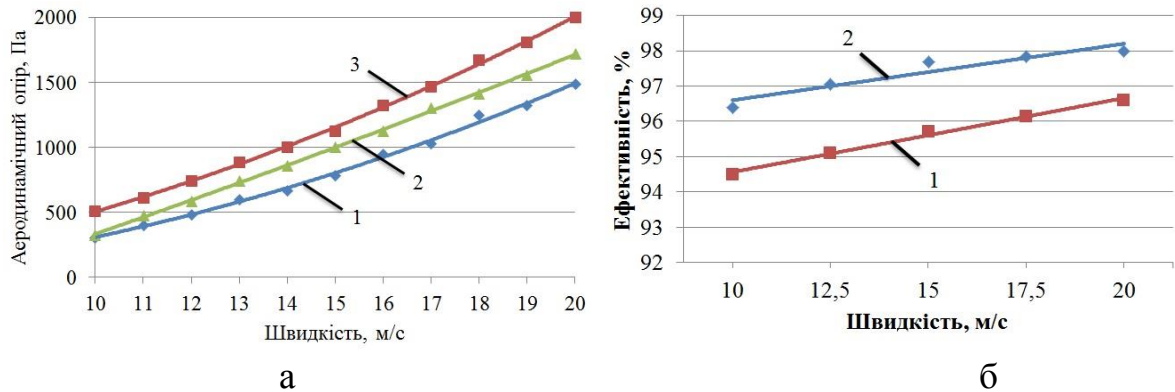


Рис.14 Залежність аеродинамічного опору (а) та повної ефективності вловлювання твердих частинок (б) від швидкості в перетині фільтра
1 – математична модель; 2 – експериментальні дані; 3 – комп'ютерне моделювання

В п'ятому розділі дисертаційної роботи «Промислове випробування та впровадження відцентрового фільтра у виробництво» представлені результати промислових випробувань та впровадження відцентрового фільтра, що підтверджуються актами випробувань та впровадження.

В результаті проведених випробувань відцентрового фільтра було встановлено, що ефективність вловлювання золи апаратом за котлом з низькотемпературним киплячим шаром (НТКШ) склала 95%...98% в залежності від режиму роботи апарата, в порівнянні з ефективністю вловлювання твердих частинок 85...95% у встановлених в даній системі золоочищення батарейних циклонах (таблиця 4).

Таблиця 4

Порівняння результатів випробувань системи газоочищення фільтра з розрахунковими параметрами типових циклонів НДЮГАЗ

Параметри	Тип апарата				
	ЦН-15	ЦН-11	СКЦН-33	СЦН-40	ВФ
Діаметр апарату, м	0,9				
Оптимальні робочі характеристики апаратів					
Швидкість в перетині апарату,	3,5	3,5	2	---	3,8
Коефіцієнт опору апарата, ζ	1,4	1,7	4,2	---	6,5
Падіння тиску в апараті, ΔP , Па.	1017	1695	1258	---	1735
Характеристики апаратів при падінні тиску в них $\Delta P \approx 900$ Па.					
Швидкість в перетині апарата,	3,49	2,71	1,83	1,04	3,1
Ефективність вловлювання, %	91,6	92,8	94,9	96,5	97,8
Коефіцієнт виносу, %.	8,4	7,2	5,1	3,5	2,2

З приведеної таблиці 4 видно, що при аеродинамічному опорі 900 Па, віднесення часток в 3,5% забезпечує лише один високонапірний циклон СЦН-40. Система газоочищення з встановленим відцентровим фільтром при аеродинамічному опорі 900 Па, забезпечує коефіцієнт віднесення 2,2%, що в 1,5 раз менше ніж в стандартному пиловловлюючому обладнанні.

Були проведені промислові випробування для перевірки ефективності вловлювання золи та діоксиду сірки відцентровими фільтрами в системі аспірації топки із шаровим спалюванням вугілля. Дослідження ефективності роботи двоступеневої системи аспірації та напівсухої десульфуризації, що складається з двоканального відцентрового фільтру ЦФ1Г-2-0,6 – на першій ступені та шестиканального відцентрового фільтру ЦФ2-6-0,6 – на другій ступені.

На рис. 15 наведені графічні залежності аеродинамічного опору (при різних режимах навантаження котла) та ефективності уловлювання твердих часток двоканального відцентрового фільтру ЦФ1Г-2-0,6, шестиканального відцентрового фільтру ЦФ2-6-0,6 та сумарно для системи газоочищення та напівсухої десульфуризації в залежності від витрат димових газів, що проходять через апарат.

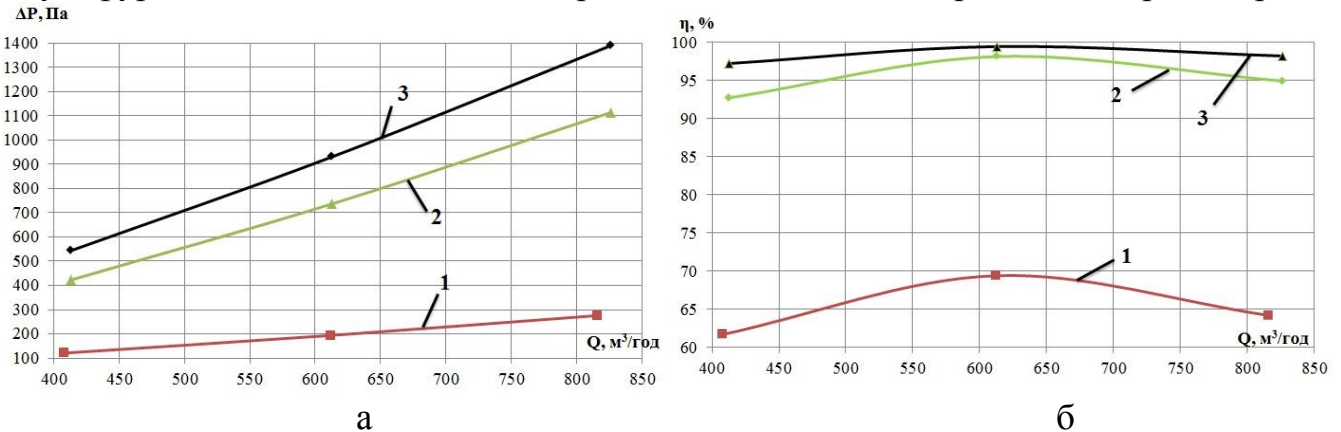


Рис. 15 Залежність аеродинамічного опору (а) та ефективності вловлювання твердих частинок (б) в залежності від витрати потоку

1 – двоканальний відцентровий фільтр; 2 – шестиканальний відцентровий фільтр; 3 – сумарно для системи газоочищення

Зведеного рис. 15а видно, що діапазон зміни перепаду тиску складає 540-1400 Па, залежно від режиму навантаження котла. Для режиму оптимальних витрат димових газів через відцентровий фільтр 600 м³/год, що відповідає навантаженню шарової топки котла 75%, аеродинамічний опір двох послідовно встановлених відцентрових фільтрів (3) складе 930 Па. З рис. 15б видно, що відсоток виносу золи з системи газоочищення та напівсухої десульфуризації змінюється від 2,8 до 0,6 залежно від витрати димових газів. Так при проектних показниках витрати димових газів через відцентрові фільтри і температурі 180 °С, віднесення золи з системи газоочищення складає - 0,6%, при аеродинамічному опорі 930 Па.

Розподіл значень концентрації діоксиду сірки в системі газоочищення та напівсухої десульфуризації в залежності від навантаження котла зображено на рис. 16.

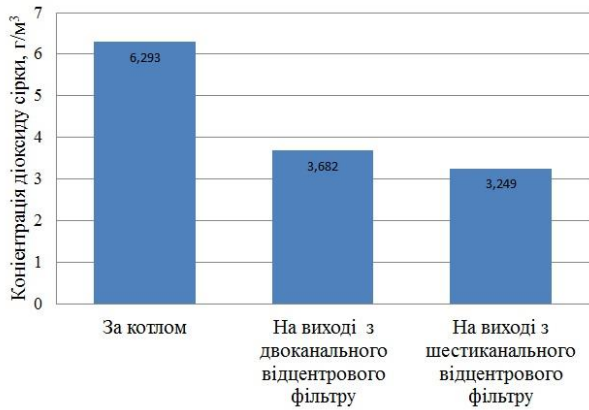


Рис. 16 Розподіл концентрації діоксиду сірки в системі газоочищення та напівсухої десульфуризації

основних конструктивних розмірів апарата було спроектовано та впроваджено у виробництво на АТ «ЕВРОЦЕМЕНТ - УКРАЇНА», м Балаклея три відцентрових фільтри зпроектними витратами очисних газів від 8 до 16 тис. м³/год. Коефіцієнт вловлювання твердих частинок в середньому склав від 93 до 95%.

При випробуваннях на цементних підприємствах АТ «ЕВРОЦЕМЕНТ-УКРАЇНА», м. Балаклія було встановлено, що ефективність вловлювання цементного пилу у відцентрових фільтрах ЦФ2-2-45Г в середньому склала від 70 до 75%, а в ЦФ2-6-22.5 – від 93 до 94%, в порівнянні з ефективністю вловлювання твердих частинок від 60 до 80% у встановлених на підприємствах батарейних циклонах та циклонних пиловловлювачах ЦН-15.

Аеродинамічний опір відцентрових фільтрів при відкритті шиберу димососа Д15,5 на 50 і 90% становив відповідно в ЦФ2-2-45Г 200 і 400 Па; а в ЦФ2-6-22.5 - 500 і 860 Па.

За проведеною порівняльною техніко-економічною характеристикою застосування двоступеневої установки, що складається з відцентрового і рукавного фільтра у порівнянні з циклонами досягається: втричі зниження концентрації пилу перед рукавним фільтром, підвищення питомого газового навантаження на фільтрувальні рукави до 1,5 м³/м²·хв. без зниження ресурсу фільтрувальних рукавів та ефективності роботи рукавного фільтра, зменшення габаритних розмірів системи аспірації та зниження експлуатаційних витрат.

ВИСНОВКИ

У дисертації вирішено наукове завдання – проведено комплекс досліджень процесу розділення в полі відцентрових сил пилогазових потоків, створено методики розрахунку процесу очищення та удосконалено пиловловлюючий апарат.

1. На основі проведеного аналітичного огляду відцентрової очистки полідисперсних потоків від твердих часток розроблено концепцію та конструкцію нового 8-ми каналного відцентрового фільтра, що відрізняється

З рис. 16 видно, що усереднене значення ефективності вловлювання діоксиду сірки в двоканальному відцентровому фільтрі ЦФ1Г-2-0,6 складає від 40 до 50 %. За рахунок додаткового зв'язування діоксиду сірки в газоході та шестиканальному відцентровому фільтрі ЦФ2-6-0,6 остаточна концентрація SO₂ знижується ще на 10-15 % та складає від 3,2 до 3,3 г/м³.

По результатах попередніх випробувань на ефективність очистки та гідравлічний опір відцентрового фільтра за розробленою методикою розрахунку

від аналогів тим, що кожна пара каналів з'єднана з ізольованим бункером через днище каналу та кільцеву щілину.

2. Розроблена методика розрахунку аеродинамічного опору відцентрового фільтра показала, що зі збільшенням швидкості потоку від 10 до 20 м/с коефіцієнт опору системи каналів змінюється від 5,3 до 6,5. Падіння тиску в центральній області системи каналів складає від 40 до 42 %; від загального аеродинамічного опору апарата.
3. На основі енергетичного принципу, за даними експериментальних досліджень та характеристик матеріалів були отримані розрахункові залежності з постійними a й n . Значення константи a змінюється в межах від 0 до 6 та для 1...3 каналів має сталий характер. Значення константи n змінюється в межах - 0,2-0,6.
4. Проведені багатоваріантні чисельні розрахунки ефективності очистки димових газів від SO_2 дозволили встановити, що при часі контакту $Ca(OH)_2$ з газовим середовищем 3,6 с та константі швидкості 47 с^{-1} досягається 50% ефективність очистки, що відповідає кінцевій концентрації SO_2 - 2,72 г/м³ при початковій - 6.29 г/м³.
5. В результаті числового аналізу моделі відцентрового фільтра було встановлено, що при зміні витрати повітря з 100 до 200 м³/год в сепараційній камері апарату відбувається підвищення аеродинамічного опору з 350 до 1700 Па та швидкості від 10 до 20 м/с. Падіння тиску в центральній області системи каналів складає від 40 до 42 %; від загального аеродинамічного опору апарата при зміні витрати повітря з 100 до 200 м³/год.
6. В результаті числового моделювання центральної області системи каналів відцентрового фільтра було виявлено, що падіння тиску на 40 % відбувається через вихрові втрати енергії та раптового розширення на вході і звуження на виході.
7. Ефективність вловлювання часток для більшості експериментальних матеріалів зростає від першої до другої пари каналів на 20%, від другої до третьої пари практично не змінюється та від третьої до четвертої пари каналів зменшується на 25-30 %.
8. Експериментально доведено, що медіанний діаметр твердих часток по елементам апарату змінюється в межах: для першого – третього бункерів – від 2 до 5%, для четвертого бункера – від 10 до 15%. Таким чином у системі каналів відцентрового фільтра відбувається усереднення дисперсного складу твердих часток по елементам системи.
9. В результаті проведеного аналізу розроблених методик розрахунку було підтверджено адекватність математичної моделі. Встановлено, що різниця між отриманими даними по розрахунку аеродинамічного опору циклонного пиловловлювача становить від 16 до 22 % та ефективності вловлювання твердих частинок становить від 2 до 5 %.
10. В результаті проведених випробувань на в системі аспірації ТШМ № 8-10 було встановлено, що ефективність вловлювання цементного пилу у відцентровому фільтрі в середньому склала 93% при аеродинамічному опорі близько 800 Па.

11. При спалюванні твердого палива на експериментальному стенді моделі топки вдалося досягти близько 93 % очистки від золи та до 50 % очистки від діоксиду сірки. За рахунок додаткового зв'язування діоксиду сірки в газозоді та шестиканальному відцентровому фільтрі ЦФ2-6-0,6 остаточна концентрація SO_2 знижується на 10-15 % та складає від 3,2 до 3,3 г/м³.
12. При реалізації вдосконаленої системи аспірації у складі відцентрових фільтрів досягається: втричі зниження концентрації пилу перед рукавним фільтром, підвищення питомого газового навантаження на фільтрувальні рукави до 1,5 м³/м²·хв. без зниження ресурсу фільтрувальних рукавів та ефективності роботи рукавного фільтра, зменшення габаритних розмірів системи аспірації, зниження експлуатаційних витрат.

СПИСОК ОСНОВНИХ ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

• Публікації у наукових фахових виданнях України:

1. Семенюк М.В. Дослідження розподілу концентрації та дисперсного складу твердих часток в газових потоках в системі каналів з замкненими контурами / Семенюк М.В., Серебрянський Д.О., Плашихін С.В. // Міжнародний науково-прикладний журнал “Промислова теплотехніка” – Інститут технічної теплофізики НАН України – Київ 2013 – Т. 35, №6 - С. 83-92. *(Особистий внесок: розглянуто закономірності руху твердих частинок, газу і конструктивні способи інтенсифікації процесу сепарації в апаратах з системою каналів із замкненими контурами).*

2. Семенюк М.В. Двухуровневый центробежный фильтр / Серебрянський Д.О., Горголюк В.В., Плашихін С.В., Семенюк, М.В. // Науково-виробничий журнал “Екологія і промисловість”, ГП «УкрНТЦ «Енергосталь». – Харків 2014 рік – №2 – С. 34-38. *(Особистий внесок: проведено експериментальні та промислові дослідження процесу вловлювання пилу в відцентровому фільтрі).*

3. Семенюк Н.В. Методика расчета эффективности улавливания твердых частиц в центробежных аппаратах пылеочистки / Плашихин С.В., Семенюк Н.В., Бойко Т.В. // Экология и промышленность – 2016. - №3. – С. 62-66. *(Особистий внесок: розробка алгоритму розрахунку ефективності вловлювання часток у відцентровому фільтрі на базі енергетичного принципу).*

• Стаття в науковому періодичному виданні іншої держави (Білорусія):

4. Семенюк М.В. Исследование величины аэродинамического сопротивления восьмиканального центробежного фильтра / Семенюк М.В., Серебрянський Д.О., Плашихін С.В. // Инженерно-фізичний журнал, Інститут тепло- і масообміну імені А.В. Ликова НАН Білорусії –Білорусія, Мінськ 2015 – Т. 88, № 2 – С. 455-463. *(Особистий внесок: проведено стендові випробування відцентрового фільтру і виконано обробку одержаних результатів).*

• Статті в наукових періодичних виданнях України, які включені до міжнародних наукометричних баз даних:

5. Семенюк М.В. До питання побудови математичної моделі одновимірного об'єкту / Бойко Т. В., Абрамова А. О., Серебрянський Д. О., Семенюк М. В. // Технологічний аудит і резерви виробництва – Харків 2015 – № 2/5 (22) – С. 16-21. *(Особистий внесок: розроблено математичну модель розрахунку аеродинамічного опору в апарат із системою каналів із замкненими контурами).*

6. Semenyuk. N. Analysis of the efficiency of purification of gas flows in a centrifugal filter / T.Boyko, D.Skladanyu, A.Abramova, S.Plashykhin, N.Semenyuk. //Восточно-европейский журнал передовых технологий ISSN 1729-3774 – 2016. - №2/10(80). – С. 4-9. *(Особистий внесок: проведено аналіз адекватності розробленої методики розрахунку ефективності очистки газових потоків).*

• **Патенти на винахід та корисну модель:**

7. Семенюк М.В. Патент на винахід UA 100913 C2 «Відцентровий класифікатор» / Серебрянський Д.О., Семенюк М.В. // Номер заявки а 2011 03390, дата подання заявки: 22.03.2011, дата, з якої є чинними права на корисну модель: 11.02.2013, публікація відомостей про видачу патенту: 11.02.2013, бюлетень №3. *(Особистий внесок: проведено патентний огляд та прийнята участь в розробці нового фільтра – відцентровий класифікатор).*

8. Семенюк М.В. Патент на корисну модель UA 110464 U «Відцентровий фільтр з жалюзійною решіткою» / Плашихін С.В., Семенюк М.В. // Номер заявки и 2016 03659, дата подання заявки: 06.04.2016, дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.10.2016, публікація відомостей про видачу патенту: 10.10.2016, бюлетень №19. *(Особистий внесок: проведено патентний огляд, прийнята участь в розробці вдосконалення відцентрового фільтра у вигляді жалюзійної решітки на вході в апарат).*

9. Семенюк М.В. Патент на корисну модель UA 111538 U «Дворівневий відцентровий фільтр» / Плашихін С.В., Семенюк М.В. // Номер заявки и 2016 05634, дата подання заявки: 25.05.2016, дата, з якої є чинними права на корисну модель: 10.11.2016, публікація відомостей про видачу патенту: 10.11.2016, бюлетень №21. *(Особистий внесок: проведено патентний огляд, прийнята участь в розробці вдосконалення відцентрового фільтра у вигляді дворівневої сепараційної головки).*

• **Публікації у збірниках матеріалів конференцій:**

10. Семенюк М.В. Комп'ютерне моделювання гідродинамічних процесів циклонних пиловловлювачів / Серебрянський Д.О., Плашихін С.В., Семенюк, М.В. // IV Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів в області проектування підприємств гірничо-металургійного комплексу, енерго- і ресурсозбереження, захисту навколишнього природного середовища. – Харків 2015. – С. 171-178.

11. Семенюк М.В. Очистка запыленного воздуха при помелі клінкеру в трубних кульових млинах / Плашихін С.В., Семенюк, М.В. // V Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів в області проектування підприємств гірничо-металургійного комплексу, енерго- і ресурсозбереження, захисту навколишнього природного середовища, ГП «УкрНТЦ «Енергосталь» – Харків 2016 – С. 81-84.

12. Семенюк М.В. Комп'ютерне моделювання аеродинамічних процесів та ефективності вловлювання твердих часток у відцентрованому фільтрі / Бойко Т.В., Семенюк М.В., Плашихін С.В. // Комп'ютерне моделювання в хімії і технологіях та системах сталого розвитку – КХМТ-2016: Збірник наукових статей П'ятої міжнар. наук.-практ. конференції. – Київ:НТУУ «КПІ», 2016, ISBN 978-617-696-461-2. – С. 187-192.

13. Семенюк М.В. Очищення димових газів від діоксиду сірки та золи, що утворюються під час спалювання твердого органічного палива / Плашихін С.В., Семенюк, М.В. // VI Міжнародна науково-практична конференція молодих вчених і спеціалістів в області проектування підприємств гірничо-металургійного комплексу, енерго- і ресурсозбереження, захисту навколишнього природного середовища, ГП «УкрНТЦ «Енергосталь» – Харків 2017 – С. 94-101.

14. Семенюк М.В. Ефективність вловлювання твердих часток у відцентрованому фільтрі / Т.В. Бойко, М.В. Семенюк // Chemical Technology and Engineering (Хімічна технологія та інженерія): збірка тез доповідей Міжнародної науково-практичної конференції. – 26-3- червня 2017 року, м. Львів. – Львів: Видавництво Львівської політехніки.- 2017 – С. 38-39 –ISBN 978-966-241-068-9.

АНОТАЦІЯ

Семенюк М.В. Очищення газових потоків у відцентрових фільтрах.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.17.08 «Процеси й обладнання хімічної технології». – Національний університет «Львівська політехніка». Львів, 2018.

Дисертаційна робота присвячена розробці і дослідженням апарата нової конструкції – відцентрового фільтра, в якому поєднані два принципи очищення: відцентрової сепарації і багаторазової фільтрації через динамічний пиловий шар. В роботі наведено результати експериментальних досліджень аеродинамічних характеристик і ефективності пиловловлювання для відцентрового фільтра. Розроблено методику розрахунку відцентрового фільтра нової конструкції для отримання показників аеродинамічного опору і ефективності пиловловлювання. На основі проведеного комп'ютерного моделювання трьохвимірної моделі апарата було виявлено значний вплив центральної області сепараційної камери на показники ефективності. Результати роботи впроваджено у виробництво.

Ключові слова: сепарація, відцентровий фільтр, аеродинамічний опір, ефективність вловлювання.

АННОТАЦИЯ

Семенюк Н.В. Очистка газовых потоков в центробежных фильтрах.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08 «Процессы и оборудования химической технологии». – Национальный университет «Львовская политехника». Львов, 2018.

Диссертационная работа посвящена разработке и исследованию аппарата новой конструкции - центробежного фильтра, в котором совмещены два принципа очистки: центробежной сепарации и многократной фильтрации через динамический

пылевой слой. В работе приведены результаты экспериментальных исследований аэродинамических характеристик и эффективности пылеулавливания для центробежного фильтра. Разработано методика расчета центробежного фильтра новой конструкции для получения показателей аэродинамического сопротивления и эффективности пылеулавливания. На основе проведенного компьютерного моделирования трехмерной модели аппарата было обнаружено значительное влияние центральной области сепарационной камеры на показатели эффективности. Результаты работы внедрены в производство.

Ключевые слова: сепарация, центробежный фильтр, аэродинамическое сопротивление, эффективность улавливания.

ANNOTATION

Semeniuk M. Cleaning gas flows in centrifugal filters.

Thesis for obtaining a degree of candidate of technical sciences on specialty 05.17.08 – Processes and equipment of chemical technology, Lviv Polytechnic National University. Lviv, 2018.

The thesis is dedicated to the development and research of the apparatus of a new construction - a centrifugal filter with the channels system of closed contours, which combines two principles of purification: centrifugal separation and multiple filtration through the dynamic dust layer.

The analysis of the basic directions of development and improvement of centrifugal purification technology of polydisperse streams from solid particles showed that the capture efficiency of typical dust collectors does not provide modern emission standards, but modernization leads to both: increasing of metal capacity and aerodynamic resistance of the construction and complicating the operation. The high capture efficiency can be achieved by using apparatuses with the channels system of closed contours that allow to reduce the air emissions of solid particles in 2...5 times in comparison with typical centrifugal dust collectors. However, the results of calculations based on the created mathematical models shown that studies of these devices do not fully reflect the processes occurring in them.

On the basis of the analytical review of centrifugal purification of polydisperse streams from solid particles, the concept and construction of a new 8-channel centrifugal filter had been developed. The device differs from the analogs by the fact that each pair of channels is connected to an isolated bunker through the bottom of the channel and the annular gap.

The method for calculating aerodynamic resistance of the centrifugal filter had been developed, that include the sum of two components: aerodynamic resistance of channels and the central area of the separation chamber.

On the basis of the energy principle, the calculated dependencies with constant a and n had been obtained according to the data of laboratory-experimental studies and characteristics of materials.

Multivariate numerical calculations of flue gas cleaning efficiency from SO_2 had been performed and cleaning efficiency up to 50% at the contact time $Ca(OH)_2$ with gas environment equal to 3,6 s and the rate constant equal to 47 s^{-1} had been achieved.

A three-dimensional model of the centrifugal filter had been created and numerical and analytical research had been carried out. The pressure drop in the central area of the channel system is from 40 to 42% from the general aerodynamic resistance of the apparatus.

The result of experimental research shown that the efficiency of particle capture for most experimental materials increases from the first to the second pair of channels by 20%, from the second to the third pair of channels does not change significantly and from the third to fourth pair of channels decreases by 25...30%.

There had been experimentally proved that the median diameter of solid particles in elements of the apparatus varies within: from the first to the third bunkers – 2-5%, for the fourth bunker – 10-15%. Thus, the averaging of the disperse composition of solid particles in the system elements occurs in the system of channels of a centrifugal filter.

Based on the analysis of obtained mathematical modeling data, experimental research, computer modeling and existing calculation methods the adequacy of the mathematical model had been confirmed. The passing of solid particles by 2-3 times compared with the analogue had been reduced due to the improvement of centrifugal filter construction in the form of successively connected curvilinear channels with the removal of particles in separate bunkers sealy insulated from each other. The purification system consisting of centrifugal filters at the enterprise «EUROCEMENT-UKRAINE» (Balakliia city) had been manufactured and installed. The testing of the aspiration system TBM № 8...10 shown that the efficiency of catching of cement dust in the centrifugal filter is in average 93% at an aerodynamic resistance of about 800 Pa. The increase in productivity by 10% without additional energy consumption for grinding had been achieved at the modernization of the aspiration system of cement mills.

Key words: separation, centrifugal filter, aerodynamic resistance, capture efficiency, sulfur dioxide.