

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
“ХАРКІВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ”**

Пітак Інна Вячеславівна

УДК 66.074

**ЗАКОНОМІРНОСТІ ПРОЦЕСУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОПОВІТРЯНИХ
СУМІШЕЙ В РОТОРНОМУ ВИХРОВОМУ АПАРАТІ**

Спеціальність 05.17.08 – процеси та обладнання хімічної технології

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків- 2008

Дисертацією є рукопис

Роботу виконано на кафедрі хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”, Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: кандидат технічних наук, доцент,
Моїсєєв Віктор Федорович,
Національний технічний університет
«Харківський політехнічний інститут», м. Харків,
професор кафедри хімічної техніки та промислової
екології.

Офіційні апоненти: доктор технічних наук, старший науковий співробітник,
Фрумін Віталій Мусійович,
Державний науково-дослідний і проектний інститут
основної хімії, Міністерства промислової політики України
м. Харків,
зав. лабораторії тепломасообмінної апаратури.

Кандидат технічних наук, доцент,
Лазненко Дмитро Олексійович,
Сумський державний університет, Міністерства освіти і
науки України м. Суми,
доцент кафедри прикладної екології..

Захист відбудеться “05” червня 2008 р. о 10 год. на засіданні спеціалізованої вченої ради Д64.050.05 Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут” за адресою: 61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 21.

З дисертацією можна ознайомитись у центральній науково-технічній бібліотеці Національного технічного університету “Харківський політехнічний інститут”.

Автореферат розіслано “21” квітня 2008 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

Тимченко В.К.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Загальною тенденцією розвитку хімічної й суміжних галузей є збільшення кількості виробництв середньої й малої потужності, що обумовлено необхідністю розширення асортименту продукції, що випускається створенням виробництв, найчастіше мобільних, які здійснюють переробку промислових відходів. З іншого боку, слід зазначити жорсткість екологічних вимог до хімічних виробництв.

У цих умовах основними вимогами до обладнання для очищення газів є наступні: висока ефективність, стійкість роботи при широких коливаннях кількості та якості газу, що очищається, компактність, можливість комбінованого очищення газів.

Даним вимогам відповідають роторні вихрові апарати для мокрого очищення газів. Розробка таких установок робить можливим: підвищення ефективності очистки газоповітряних сумішей; значне зниження як основних виробничих витрат, так і витрат на монтаж. Це сприятиме, позитивному економічному ефекту за рахунок зменшення виробничих площ, а також зниження витрат на транспортування обладнання.

Інтенсифікація процесів тепломасопередачі у роторному вихровому апараті може бути досягнута за рахунок того, що взаємодія між фазами здійснюється в умовах підвищеної турбулентності потоків завдяки впливу ротора. Крім того, існує можливість створення високої площі поверхні міжфазного контакту в одиниці об'єму за рахунок утворення тонких плівок і дрібних крапель рідини й газу, тому теоретичне й експериментальне дослідження роторного вихрового апарату, розробка методів розрахунку конструктивних параметрів та вдосконалення його конструкції є актуальною задачею, рішення якої присвячена дана дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами.

Дисертаційна робота виконувалася у відповідності до планів проведення науково-дослідних робіт кафедри хімічної техніки та промислової екології Національного технічного університету «ХПІ» у галузі хімічної техніки та технології й стосується вивчення процесу очищення газоповітряних сумішей від пилу, розрахунків та розробки обладнання. Здобувач був виконавцем окремих розділів господарських тем «Дослідження фазового складу керамічної наплавки» (Д.Р. № 0107U009057), «Дослідження взаємодії глиноземвміщую чога заповнювача (корунд, шпінель, муліткорунд) з фосфатним зв'язуючим (поліфосфат натрію, АХФС)» (Д.Р. № 0107U010529).

Мета і задачі дослідження. Метою роботи є дослідження закономірностей процесу очищення газових викидів у роторному вихровому апараті, інтенсифікація його роботи та удосконалення конструкції.

Для досягнення зазначеної мети необхідно було вирішити такі задачі:

- провести аналіз літературних джерел і обґрунтувати вибір перспективної конструкції апарату для досягнення високого ступеня очищення газових викидів та подальших досліджень;
- експериментально дослідити потоки рідкої і газової фаз в апараті, а також вплив технологічних параметрів на ефективність уловлення пилу;

- розробити математичну модель уловлення пилу, яка враховує специфіку роторного вихрового апарату;
- розробити математичну модель руху рідкої фази у роторному вихровому апараті й на підставі цього виявити різні режими роботи апарату;
- удосконалити конструкцію апарату, розробити методику його розрахунку;
- результати досліджень запровадити в навчальний процес.

Об'єкт дослідження - процес мокрого очищення газоповітряних сумішей в роторному вихровому апараті.

Предмет дослідження – механізм уловлення пилу у роторному вихровому апараті; рух рідкої та газової фаз у роторному вихровому апараті.

Методи дослідження базуються на використанні математичної статистики, фізичного та математичного моделювання досліджуваних процесів. Обробка експериментальних даних здійснювалась статистичними методами. Визначення тиску, швидкостей, витрат повітря та рідини і т.п. у процесі експериментальних досліджень здійснювалось за стандартними методиками. Спостереження за рухом рідкої фази в апараті проводилися з застосуванням фото- та відео- апаратури.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

- вперше встановлено закономірності руху рідкої фази в роторному вихровому апараті; показано існування режимів роботи апарату, які відрізняються характером руху рідкої фази в проточній частині, а також співвідношенням плівкової й краплинної рідини в апараті;
- розроблено математичну модель руху плівки рідкої фази по поверхні проточної частини та отримано безрозмірний комплекс, що визначає можливість циркуляції рідкої фази в меридіональному перетині апарата;
- запропоновано модель уловлювання пилу в роторному вихровому апараті, що враховує особливості руху рідкої й газової фаз.

Практичне значення одержаних результатів.

- Розроблено практичні рекомендації щодо розробки конструкції роторного вихрового апарату;
- розроблено удосконалену конструкцію роторного вихрового апарату, яка забезпечує сталу високоефективну роботу апарату у широкому діапазоні коливань режимних параметрів та зниження енерговитрат на яку отримано позитивне рішення про видачу патенту України ;
- розроблено методику інженерного розрахунку роторного вихрового апарату і відповідне програмне забезпечення;
- проведено дослідно-промислові випробування апарату по очищенню газоповітряних викидів від діяльності цементного виробництва (ВАТ «Балцем», м. Балаклея, Харківська обл.), димових газів (котельня шахти Постніковська, Донецька обл.)
- впроваджено результати досліджень в навчальний процес при викладанні спеціальних дисциплін, курсовому та дипломному проектуванні за спеціальностями 8.070220, 8.070221 та 8.070801 на кафедрі хімічної техніки та промислової екології НТУ "ХПІ".

Особистий внесок здобувача. Всі основні положення дисертаційної роботи, які винесені на захист, отримані здобувачем особисто. Серед них розробка математичної моделі процесу уловлення пилу, та математичної моделі руху

рідинної фази, підготовлено й проведено експериментальні дослідження, аналіз, обробка та узагальнення результатів розрахункових та експериментальних досліджень.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися й обговорювалися на: Міжнародному студентському форумі «Освіта, наука, виробництво» (Белгород, 2004 р.); Міжнародній науково-технічній конференції студентів і аспірантів «Хімія і сучасні технології» (Дніпропетровськ, 2004 р.); Всеукраїнській конференції студентів й аспірантів «Сучасні проблеми хімії» (Київ, 2005 р.); Міжнародній науковій конференції аспірантів і студентів «Охорона навколишнього середовища та раціональне використання природних ресурсів» (Донецьк, 2005 р.); Міжнародній науковій конференції «Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних проблем екологічної безпеки» (Чернівці, 2004 - 2007 р; на семінарі кафедри (Харків 2008 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 14 робіт, у тому числі: 5 статей у наукових фахових виданнях ВАК України та позитивне рішення про видачу патенту України на корисну модель.

Структура і обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається із вступу, 6 розділів, висновків та додатків. Повний обсяг дисертації складає 149 сторінок, 34 ілюстрації за текстом, 6 таблиць за текстом, 6 додатків на 17 сторінках, списку використаних літературних джерел з 150 найменувань на 14 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтована актуальність теми дисертації, визначено основну мету і задачі дослідження, визначено наукову новизну та практичну значимість роботи.

У першому розділі наведено аналіз конструкцій роторних апаратів для мокрого очищення газоповітряних сумішей та основних тенденцій їх розвитку. Розглянуто стан досліджень процесу очищення газоповітряних сумішей від пилу в апаратах з закрученими газорідними потоками. Показана перспективність конструкції роторного вихрового апарату (рис. 1).

Апарат представляє собою, вихровий нагнітач. Основними його частинами є корпус 1, ротор 2, колесо 3 з прямими лопатками 7, порожня тороподібна камера 4, патрубки 5 вводу та 6 виводу рідини та газу. В камері встановлена перегородка, яка розділяє її на зони вводу і виводу взаємодіючих фаз. Корпус представляє собою порожній тор. Ротор підключений до електричного приводу 8.

Роторний вихровий апарат працює наступним чином. Газ та рідину подають через патрубок 5 до тороподібної камери 4. Газорідна суміш за рахунок обертання ротору 2 з колесом 3 на якому розташовані прямі лопатки 7 і виникнення відцентрових сил відкидається з периферії колеса в радіальному напрямку і робить рух по колу. Газорідна суміш перетворюється в турбулізовану дисперсну систему, завдяки чому утворюються сприятливі умови для уловлення пилу. Очищене повітря виводиться з апарату через патрубок 6.

Обґрунтовано необхідність дослідження процесу очищення газоповітряних сумішей у роторному вихровому апараті; вдосконалення його конструкції та розробки методики його розрахунку. Сформульовано мету й задачі досліджень.

В другому розділі подано загальні методи дослідження процесу очищення газів у роторному вихровому. Описано експериментальну установку. Наведено методики обробки експериментальних даних та методи, що використовувалися в теоретичному дослідженні.

У третьому розділі описано дослідження процесу мокрого уловлення пилу в роторному вихровому апараті.

В основі процесу мокрого уловлення пилу в роторному вихровому апараті лежить контакт запиленних газів з рідиною, при цьому виділено два основних механізми: відцентровий механізм, який обумовлений інтенсивною закруткою газової фази в меридіональному перетині, та інерційного захоплення часток пилу краплями рідини. Таким чином ефективність уловлення пилу можна визначити рівнянням:

$$\eta = 1 - 1 - \eta_c \quad 1 - \eta_i \quad (1)$$

Отримані рівняння для визначення ефективності:

- відцентрового уловлення пилу -

$$\eta_c = \frac{5}{9} \cdot \frac{\pi \cdot R \cdot d_v^2 \cdot \rho_{TB} \cdot \omega}{\mu} \cdot \left(\frac{R}{r}\right)^2 \cdot \frac{1}{(1 + 2.5\gamma) \cdot \gamma} \quad (2)$$

де $\gamma = \frac{Q}{\pi \cdot \omega \cdot R \cdot r^2}$ - коефіцієнт витрати; r - радіус меридіонального перетину проточної частини, м; R - радіус робочого колеса, м; ω - частота обертання робочого колеса, рад/с; d_v - діаметр твердих часток, мкм; ρ_{TB} - щільність твердих часток, кг/м³; μ - в'язкість повітря, Па·с.

- інерційного уловлення пилу -

$$\eta_i = \frac{3}{2} \cdot \frac{V_{вн} \cdot K_T \cdot r \cdot K_{St}}{Q \cdot d_k} = \frac{3}{2} \cdot \frac{K_3 \cdot K_T \cdot r \cdot K_{St}}{d_k} \quad (3)$$

де K_T - коефіцієнт, який враховує відношення довжини траєкторії польоту краплини рідкої фази до радіуса меридіонального перетину; $\frac{V_{вн}}{Q} = f(K_3)$,

$K_3 = \frac{v_{в}}{v_{ап.}} = f\left(\frac{V_{вн}}{Q^2}\right)$ - об'ємна доля води в апараті; $K_{St} = \left(\frac{C \cdot d_v^2 \cdot \rho_v \cdot v_v}{18 \cdot \mu \cdot d_k}\right)$ - коефіцієнт

інерційного зіткнення; Q - об'ємна витрата повітря, яка пройшла через апарат; $V_{вн}$ - об'ємна витрата рідини, яка циркулює в апараті та потрапляє на робоче колесо; C - поправочний коефіцієнт Кенінгема при $d_v \geq 1$ мкм, $C \approx 1$; d_k - діаметр крапель, мкм; v_v - швидкість твердих часток, м/с.

Зроблено висновок, що ефективність відцентрового вловлювання пилу зростає пропорційно частоті обертання робочого колеса й квадрату відношення радіуса робочого колеса до радіуса меридіонального перетину проточної частини. При збільшенні витрати повітря ефективність знижується. Ефективність інерційного захоплення пропорційна кількості води, яка циркулює в апараті й розприскується робочим колесом.

У четвертому розділі описано рух рідкої фази в апараті.

Для дослідження руху плівки рідини по поверхні проточної частини апарата прийнята модель матеріальної точки (рис. 2).

Рис.2. Розріз проточної частини роторного вихрового апарату

На елемент плівки рідини діє дотична сила, з боку газу, що є причиною руху, а також сила в'язкого тертя по стінці, сила ваги й відцентрова сила, що виникає при русі плівки в окружному напрямку. Математична модель руху рідкої фази містить у собі диференційні рівняння, що описують рух елемента плівки уздовж обраних кутових напрямків:

- кут φ задає положення елемента в меридіональному перетині

$$\rho h \cdot \frac{d^2\varphi}{dt^2} = \tau_m - \rho g h \sin \varphi + \frac{\rho h \cos \varphi}{R} \cdot \left(\frac{R d\psi}{dt} \right)^2 - \lambda' \rho \left(\frac{rd\varphi}{dt} \right)^2; \quad (4)$$

- кут ψ - в окружному напрямку

$$\rho h R \cdot \frac{d^2\psi}{dt^2} = \tau_{\text{окр}} - \lambda' \rho \left(\frac{R d\psi}{dt} \right)^2, \quad (5)$$

де λ' – коефіцієнт тертя при плину плівки за поверхнею проточної частини $\lambda' \approx 0,0015 \dots 0,015$; $\tau_{\text{окр}}$ и τ_m , відповідно, окружна та меридіональна складова дотичних напруг на границі газ-рідина

Аналіз даних рівнянь дозволив виявити наступні режими руху рідкої фази.

У випадку переваги сил в'язкого тертя, має місце тонкоплівковий ламінарний рух рідкої фази

$$\lambda' \rho \cdot \frac{rd\varphi}{dt} = \tau_m \Rightarrow w_{\text{пл.м}}^2 = \frac{\tau_m}{\lambda' \rho}, \quad (6)$$

де $\lambda' \square 1/\text{Re}_{\text{пл}}$, $w_{\text{пл.м}}$ - швидкість руху плівки в меридіональному напрямку

Напрямок руху плівки практично збігається з напрямком пристінних потоків газу. Розбризування рідкої фази колесом у цьому випадку є, але воно не вплине на процес уловлювання пилу, оскільки витрата рідини, що розприскується, відносно невелика.

У випадку з перевагою сили ваги виходить сталий режим, при якому основний обсяг рідини проходить по периферії проточної частини в області $0 < \varphi < \pi/2$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_m \lambda' \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{gh} + \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{gR}}{1 + \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{gR}} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{Fr_m + Fr_{\text{ц}}}{1 + Fr_{\text{ц}}}, \quad (7)$$

де $k_m = \tau_m / \tau_{\text{окр}}$ - співвідношення меридіональних та окружних напруг на границі газ-рідина.

Можливість існування даного режиму визначається відповідним критерієм Фруда

$$Fr_M < 1 ; \quad \text{при цьому} \quad d\varphi/dFr_{\text{ц}} > 0 , \quad (8)$$

$$\text{де } Fr_M = k_M \lambda' \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{gh} ; \quad Fr_{\text{ц}} = \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{gR} .$$

Даний режим, може бути реалізовано в апараті великих розмірів при занадто малій частоті обертання робочого колеса. Уловлювання пилу при цьому можливо тільки за рахунок інерційного механізму й буде украй неефективним.

Збільшення відцентрових сил приводить до збільшення кута φ , а якщо меридіональна складова дотичних сил перевищить силу ваги кут φ перевищить $\pi/2$. У даному режимі основний потік рідини також проходить по периферії проточної частини і його положення дається рівнянням (9).

У випадку, коли переважно існують відцентрові сили та при $1 < Fr_M < Fr_{\text{ц}}$ виходить сталий режим, при якому основний обсяг рідини проходить по периферії проточної частини в області $\pi/2 < \varphi < \pi$

$$\varphi = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{k_M \lambda' \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{hg} + \frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{Rg} - 2}{\frac{w_{\text{пл.окр}}^2}{Rg} - 1} = \frac{\pi}{2} \cdot \frac{Fr_M + Fr_{\text{ц}} - 2}{Fr_{\text{ц}} - 1} . \quad (9)$$

При цьому $d\varphi/dFr_{\text{ц}} < 0$, тобто збільшення відцентрових сил сприяє зміщенню потоку рідини на периферію проточної частини та перешкоджає циркуляції рідини в меридіональному перетині.

Для одержання інтенсивного розбризкування рідини необхідна циркуляція рідкої фази в меридіональному перетині. Існування такого режиму можливо при

$$\frac{Fr_M}{Fr_{\text{ц}}} > 1 \Rightarrow \frac{k_M \lambda' R}{h} > 1 . \quad (10)$$

Згідно нашим експериментальним даним $k_M \approx 1/2,5\gamma$, тому умову (10) можна переписати як

$$\frac{\lambda' R}{2,5 \cdot \gamma \cdot h} > 1 . \quad (11)$$

Для переходу до режиму, в якому рідина циркулює по проточній частині, доцільно збільшення коефіцієнту тертя на границі рідина-стінка, що призведе до зниження окружної швидкості плівки й відповідному зменшенню відцентрової сили, що перешкоджає циркуляції. Збільшення коефіцієнта тертя можна здійснити шляхом нанесення регулярної або нерегулярної шорсткості або хвилястості на внутрішню поверхню проточної частини. Кращою є регулярна шорсткість, яку можна виконати у вигляді гвинтоподібних направляючих елементів. У цьому випадку кінетична енергія окружного руху плівки не просто поглинається, як у випадку з нерегулярною шорсткістю, а направляється на створення гвинтового руху плівки рідини. Воно дозволяє в широкому діапазоні конструктивних і режимних параметрів одержати режим з вираженим меридіональним рухом рідини й

наступним інтенсивним її розбризуванням робочим колесом. Даний технічний винахід має позитивне рішення про видачу деклараційного патенту України.

У п'ятому розділі наведено експериментальне вивчення процесу уловлення пилу, руху рідинної фази, гідродинаміки в роторному вихровому апараті.

У роботі представлена експериментальна установка (рис. 3), на якій проводилися гідравлічні випробування апарата, випробування по визначенню ефективності вловлювання пилу в апараті, а також спостереження за рухом рідкої фази в апараті.

Дослідна установка містила в собі: роторний вихровий апарат, всмоктувальний та напірний трубопровід. На початку всмоктувального трубопроводу розташовано пилогенеруючий пристрій (вібробункер) або димогенератор. Наприкінці ділянки всмоктувального трубопроводу (перед роторним вихровим апаратом) розташована точка для виміру статичного тиску перед апаратом, а також розташовано зонд для виміру запиленості повітря.

На початку напорного патрубку вимірювали статичний тиск після апарату. В кінці лінійної ділянки трубопроводу розташовано пристрій для виміру повного та статичного напору та зонд для визначення запиленості повітря після апарату. Запиленість визначали гравиметричним методом за допомогою фільтрів АФА ВП.

Запиленість повітря до апарату складала від 1 до 20 г/м³ - в дослідах з цементним пилом, а в дослідах з димом запиленість становила 0,1-0,4 г/м³. Витрата води на зрошення для дослідів при очищенні повітря становила 0,2 – 5 л/хв.

Витрата води при проведенні гідравлічних дослідів становила 0-20 л/хв.

Дослідний стенд мав такі розміри: радіус проточної частини $r = 0,055$ м; радіус робочого колеса $R = 0,165$ м; число обертів робочого колеса (n) становило від 500 до 1500 об/хв. Довжина лінії ділянки всмоктувального трубопроводу $l_1 = 20d$. Довжина лінії ділянки напорного трубопроводу $l_2 = 20d$. Діаметр всмоктувального та напорного трубопроводу $d = 0,1$ м.

Отримано залежності тиску, потужності, коефіцієнту корисної дії від коефіцієнта витрати для апарата з гладкою проточною частиною та з встановленими направляючими елементами (рис. 4 - 6). Отримані залежності мають характерний для вихрових компресорів вигляд. Але роторний вихровий апарат працює в області низького коефіцієнта витрати, а максимум ККД зміщено в область менших витрат. Це обумовлено тим, що розміри експериментальної моделі апарату в 3 – 5 разів більше, а частота обертання колеса нижче ніж у вихрових компресорів.

Взаємодія направляючих елементів і газової фази призвела до зниження утворюючого напору й споживаної потужності, а також зміни форми кривої ККД.

Спостереження, які проводилися за допомогою фото- та відео- апаратури показали що: основний режим роботи апарату з гладкою проточною частиною є режим коли у нижній чверті зберігається ламінарна тонка плівка, а основний потік рідкої фази знаходиться в верхній чверті проточної частини. З поверхні цього потоку періодично зривається рідина в формі крапель. (рис. 7)

Установка направляючих елементів на поверхні проточної частини змінила характер роботи апарату: основний об'єм рідини по проточній частині плине уздовж направляючих елементів та потрапляє на лопатки робочого колеса, що обертається. При цьому спостерігається інтенсивне краплеутворення (рис. 8)

Визначення кількості рідкої фази, що утримувалась в апараті здійснювалась методом відсічки. Отримано залежність об'ємної частки рідкої фази в апараті від відношення об'ємної витрати рідкої фази, що подається в апарат, віднесеного до квадрата об'ємної витрати повітря (рис. 9). З наведених залежностей видно, робота апарату з об'ємною часткою рідкої фази в апараті більше ніж 12 % стає нестійкою, тому що спостерігалася тенденція до «захливання». Рівняння, яке наведено на графіку описує дослідні точки з відносною похибкою $\pm 10\%$ в діапазоні $Q_{\text{води}} / Q_{\text{пов.}}^2$ від 0,00195 до 0,0146.

Об'ємна частка рідкої фази в апараті з направляючими елементами менше ніж в апараті із гладкою проточною частиною при однакових режимних параметрах. Це пов'язано з підвищеним виносом крапель рідини, що утворюються.

На рис. 10 отримана залежність потужності апарату від об'ємного вмісту рідкої фази в апараті.

При малому вмісті рідкої фази в апараті з гладкою проточною частиною та з встановленими направляючими елементами, який відповідає в'язкому руху рідкої фази значення потужності однакові.

Але зі збільшенням вмісту рідкої фази в апараті з гладкою проточною частиною спостерігається більш значне збільшення потужності, ніж в апараті з направляючими елементами. Це говорить про те, що в апараті з гладкою проточною частиною внутрішня витрата води, яка взаємодіє з колесом, більше. Однак ця взаємодія відбувається в області роздільника. Таким чином, краплеутворення в апараті із гладкою проточною частиною відбувається найбільш інтенсивно в області усмоктувального патрубку, а не по всій довжині проточної частини, як це відбувається в апараті з направляючими елементами.

Експерименти по дослідженню вловлювання пилу проводилися на двох модельних системах: цементному пилу і димі. Цементний пил є відносно грубо дисперсною системою з перевагою часток розміром більше 5 мкм. Такий пил може бути затримано як за рахунок відцентрового механізму так і за рахунок краплинного захоплення. Дим представлений в основному частками менше 0,5 мкм. Такі частки лише в невеликій мірі можуть бути вловлені краплинним захватом, а в основному, за рахунок дифузії, що зближає вловлювання часток диму й масообмін.

На рис. 11 представлена залежність ефективності вловлювання пилу від об'ємної частки рідкої фази в апараті (модельна система цементний пил). Ефективність очищення в апараті базової конструкції і з встановленими направляючими елементами була досягнута 99 %, але з різною об'ємною витратою рідкої фази в апараті, що обумовлює зростання витрат енергії на очищення.

При вловлюванні диму перевага апарату з направляючими елементами стає більш виразною. Це підтверджує відмінність механізму вловлювання пилу (рис. 12).

У шостому розділі наведене практичне використання результатів дослідження.

На рис. 13 представлена порівняльна оцінка апаратів по кількості витраченої енергії. Для порівняння було обрано апарати для очищення повітря від пилу, розміри часток $\sim 3-5$ мкм: роторний вихровий апарат з гладкою проточною частиною, з направляючими елементами; батарейний циклон; відцентровий скруббер; відцентрово-барботажний апарат і пінний апарат. Всі розглянуті апарати

мокрого очищення газів досягають максимальної ефективності очищення, але з різною кількістю витрат енергії. Апарат з направляючими елементами досягає максимальної ефективності очищення з витратами енергії на 40 % менше ніж апарат із гладкою проточною частиною.

Також в розділі наведені результати дослідно-промислових випробувань апарату. На рисунку 14, 15 представлені дані дослідно-промислових випробувань роторного вихрового апарата. Випробування промислового зразка апарата проводились при очищенні газових викидів від інгредієнтів цементного виробництва, і при очищенні димових газів котельні. В обох випадках застосування апарата не тільки забезпечувало зниження кількості викидів пилу, але й кількості шкідливих газових домішок. На дослідно-промисловій установці досліджували ефективність очищення від пилу в апараті від цементного пилу, який утворюється в процесі помелу.

Пилогазоповітряна суміш, яка пройшла очищення в роторному вихровому апараті відповідає вимогам державним санітарним правилам і нормам, і може викидатися через трубу в атмосферне повітря; проведені випробування апарата показали, що роторний вихровий апарат, із встановленими направляючими елементами на поверхні тора забезпечують ефективність очищення до 98 %, що показує доцільність застосування направляючих елементів у конструкції роторного вихрового апарату. Дослідами показана доцільність використання апарата в технологічній схемі очищення газів, що відходять, після рукавного фільтра, оскільки він забезпечує ефективне вловлювання високодисперсних часток і створює достатній напір для роботи 65 % всієї аспіраційної системи очищення повітря в тому числі циклону, рукавному фільтрі, якщо це необхідно.

На підставі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблена методика інженерного розрахунку основних конструктивних параметрів апарата.

ВИСНОВКИ

В дисертаційній роботі вирішено науково-практичну задачу щодо вивчення досліджень закономірностей процесу очищення газових викидів у роторному вихровому апараті, інтенсифікації роботи та удосконалення його конструкції. У процесі досліджень отримано наступні висновки:

1. Аналіз літературних джерел показав що процес очищення газоповітряних сумішей в роторних апаратах знайшов застосування в багатьох галузях промисловості.

2. Визначено закономірності руху рідкої фази в роторному вихровому апараті. Виявлено існування різних режимів, які відрізняються різним рухом рідкої фази в меридіональному перетині апарату, а також співвідношенням плівкової та краплинної фаз в апараті.

3. Розроблено математичну модель руху плівки рідкої фази за поверхнею проточної частини. Отримано безрозмірний комплекс, який визначає можливість циркуляції рідкої фази в меридіональному перетині апарату.

4. Розроблено математичну модель уловлення пилу, яка враховує специфіку роторного вихрового апарату, та особливості руху рідкої та газової фаз.

5. Область та умови застосування роторного вихрового апарату: очистка пило газових сумішей розмір найменших часток твердої фази (пилу) 2 – 10 мкм (для досягнення ефективності очищення 99,9 %); рідка фаза для зрошення – вода чи близькі по в'язкості рідини; витрата води на зрошення від 0,02 до 0,2 л/м³ повітря; об'ємна частка води в апараті від 3 до 6%, при цьому питомі енерговитрати складають не більше 1800 Дж/м³.

6. Розроблена та захищена патентом України на корисну модель 5 удосконалена конструкція роторного вихрового апарату з встановленими направляючими елементами, які забезпечують: роботу апарату в режимі інтенсивної циркуляції та розбризкуванням рідкої фази в меридіональному перетині в широкому діапазоні режимних параметрів, що є необхідним для підвищення ефективності уловлення пилу.

- Розроблено методику розрахунку роторного вихрового апарату для очищення димових газів для АТ «шахта Постніковська». Результати дисертації впроваджено в навчальний процес кафедри ХТПЕ НТУ «ХПІ» при викладанні спеціальних дисциплін, курсовому та дипломному проектуванні за спеціальностями 8.070220, 8.070221 та 8.070801.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ РОБІТ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. І.В. Питак, П.П. Хусточкин, В.Ф. Моїсєєв, В.П. Шапорєв. Апарат для проведення процесов абсорбції и газоочистки. // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" – Харків: НТУ "ХПІ", 2005 – № 9, с. 3–6.

Здобувачем проведено порівняльний аналіз конструкцій роторних вихрових апаратів, обрані напрямки досліджень. Обрана найбільш доцільна конструкція для проведення процесу очищення газоповітряної суміші.

2. І.В. Пітак, О.Г. Трошин, В.Ф. Моїсєєв, В.П. Шапорєв. Можливості використання тороїдального контактного елемента в вугільній промисловості //

Вісник Національного технічного університету "ХПІ" – Харків: НТУ "ХПІ", 2006 – №10, с. 137–142.

Здобувачем запропоновано розглянути інтенсифікацію процесів абсорбції, які мають велике розповсюдження в хімічній, вугільній та інших областях промисловості. Розроблена конструкція апарату з тороїдальним контактним елементом, який дозволяє значно підвищити ступінь пило очищення.

3. И.В. Питак, А.Г. Трошин, В.Ф. Моисеев. Определение эффективности очистки газовоздушного потока в роторном массообменном аппарате // Східно-Європейський журнал передових технологій – Харків: Технологічний центр, 2007, № 5/4 (29) – с. 9–12.

Здобувачем здійсненні дослідження, щодо визначення основних закономірностей процесу очистки у роторному вихровому апараті. Наведена лабораторна установка для проведення лабораторних випробувань. Отримана графічна залежність ефективності очистки повітря від кількості рідини, яка подається до апарату.

4. И.В. Питак, А.Г. Трошин, А.В. Сурков, В.Ф. Моисеев. Гидравлическая характеристика роторного массообменного аппарата // Вісник Національного технічного університету "ХПІ" – Харків: НТУ "ХПІ", 2007 – № 32, с.93–100.

Здобувачем запропоновано роторний вихровий апарат, який дозволяє значно підвищити ступінь абсорбції або пило очистки. Наведена гідравлічна характеристика роторного вихрового апарату і представлена візуалізація потоку.

5. Трошин А.Г., Питак И.В. О режимах движения жидкой фазы в роторном вихревом массообменном аппарате // "Інтегровані технології та енергозбереження" – Харків: НТУ "ХПІ", 2007 – № 4, с.31–37.

Здобувачем проведено дослідження гідродинаміки внутрішніх потоків рідкої та газової фази у роторному вихровому апараті. Показана можливість існування різних режимів руху рідкої фази.

6. Позитивне рішення про видачу деклараційного патенту України від 15 листопада 2007 р. № 28863/1. Стосується заявки № u200708025.

7. Богинская И.В., Орехова Е.Н. Угольная промышленность – положительные и отрицательные реакторы // Тез. докл. Международного студенческого форума. - Белгород: ГТУ им. В.Г. Шухова. 2004. – ч. 4, – с. 144.

Здобувачем вивчено позитивні й негативні фактори вугільної промисловості.

8. Богинская И.В., Комаристая Б.Н., Орехова Е.Н., Сиренко В.И. Экологические проблемы угледобывающей промышленности (на примере ГОАО ш. "Постниковская" ГП "Шахтерскантрацит") // Тез. доп. Міжнародної науково-технічної конференції студентів і аспірантів «Хімія і сучасні технології». - Дніпропетровськ, 2004. с. 11-12.

Здобувачем представлені екологічні проблеми вугільної промисловості, а саме проблема пилегазових відходів.

9. Богинська І.В., Сиренко В.І., Пітак О.Я. Дослідження процесу видобутку вугілля і використання відходів вугільної промисловості в будівництві та кераміці //

Матеріали Міжнародної конференції “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем”. - Чернівці: "Зелена Буковина". 2004. – с. 144-148.

Здобувачем розглянуто процес видобутку вугілля, виявлено кількість відходів, які утворюються в цьому виробництві

10. Питак І.В., Моїсєєв В.Ф. Очистка газовоздушной смеси механическим аппаратом непрерывного действия // Тез. доп. Всеукраїнської конференції студентів та аспірантів «Сучасні проблеми хімії».- Київ, 2005. с. 44.

Здобувачем запропоновано використовувати роторний вихровий апарат для очищення газоповітряної суміші.

11. Питак І.В., Моїсєєв В.Ф. Очистка газовоздушного потока с помощью тороидального контактного элемента // Тез. доп. Міжнародної наукової конференції аспірантів та студентів «Охорона навколишнього середовища». - Донецьк, 2005. с. 55 – 57.

Здобувачем запропоновано проводити очищення підходящих димових газів в тороїдальному контактному елементі.

12. Пітак І.В., Моїсєєв В.Ф., Калінін А.С. Конструктивна характеристика тороїдального контактного елемента // Матеріали Міжнародної конференції “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем”. - Чернівці: "Зелена Буковина". 2005. – с. 263-268.

Здобувачем розглянуто інтенсифікацію процесів масообміну і пило очистки в роторному вихровому апараті.

13. Пітак І.В., Моїсєєв В.Ф., Трошин О.Г. Можливості використання тороїдального апарату в вугільній промисловості // Матеріали Міжнародної конференції “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем”. - Чернівці: "Зелена Буковина". 2006. – с. 367-372.

Здобувачем запропоновано та обґрунтовано використання тороїдального апарату для очищення газоповітряних сумішей від пилу.

14. Пітак І.В., Моїсєєв В.Ф., Трошин О.Г., Васильєв М.І. Гідравлічна характеристика роторного вихрового апарату для очищення пилогазової суміші // Матеріали Міжнародної конференції “Молодь у вирішенні регіональних та транскордонних екологічних проблем”. - Чернівці: "Зелена Буковина". 2007. – с. 154-158.

Здобувачем вивчено процес видобутку вугілля і використання відходів вугільної промисловості. Розглянута конструктивна характеристика роторного вихрового апарату. Наведена гідравлічна характеристика роторного вихрового апарату.

АНОТАЦІЇ

Пітак І.В. Закономірності процесу очищення газоповітряних сумішей в роторному вихровому апараті. – Рукопис

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за фахом 05.17.08. – процеси та обладнання хімічної технології. – Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», м. Харків, 2008 р.

Робота присвячена виявленню основних закономірностей процесу очищення газоповітряних сумішей в роторному вихровому апараті.

Вперше вивчено закономірності руху рідкої фази в роторному вихровому апараті. Показано існування різних режимів плинину рідкої фази в апараті, а також співвідношення плівкової та крапельної фаз в апараті. На основі досліджень гідродинаміки та пиловловлення визначені оптимальні режимні та конструктивні параметри роботи апарату.

Розроблено математичну модель пиловловлення, та модель руху рідкої фази і на основі цього виявлено режими роботи апарату. Отримано безрозмірний комплекс, який визначає можливість циркуляції рідкої фази в меридіональному перетині. Експериментально досліджено потоки рідкої і газової фаз. Удосконалено конструкцію апарату, розроблено інженерну методика його розрахунку.

Ключові слова: процес очищення газоповітряних сумішей, роторний вихровий апарат, закономірності пиловловлення, дисперсна система, цементне виробництво.

Пітак І.В. Закономерности процесса очистки газозвдушенных смесей в роторном вихровом аппарате. – Рукопись

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.17.08. – процессы и оборудование химической технологии. – Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт», г. Харьков, 2008 г.

Работа посвящена определению основных закономерностей процесса очистки газозвдушенных смесей в роторном вихровом аппарате. На основе исследований гидродинамики и пылеулавливания определены оптимальные режимные и конструктивные параметры работы аппарата.

Впервые изучены закономерности движения жидкой фазы в роторном вихровом аппарате. Показано существование различных режимов течения жидкой фазы в аппарате, а также соотношением пленочной и капельной фаз в аппарате.

Впервые разработана математическая модель движения жидкой фазы по поверхности проточной части и на основе этого выявлены режимы работы аппарата. Получен безразмерный комплекс определяющий возможность циркуляции жидкой фазы в меридиональном сечении. Предложена модель улавливания пыли в роторном вихровом аппарате, которая учитывает особенности движения жидкой и газовой фаз. Усовершенствована конструкция аппарата, разработана инженерная методика его расчета.

Определены направления разработки и развития, усовершенствования конструкции роторного вихрового аппарата; обеспечение его работы при окружной скорости до 20 м/с, что обеспечивает оптимальный комплекс с точки зрения

эффективности и энергозатрат. Обеспечено работу аппарата в режиме с интенсивной циркуляцией и разбрызгиванием жидкой фазы в меридионального сечении, что является необходимым для повышения эффективности улавливания пыли за счет обоснованного подбора конструктивных параметров и создание регулярной шероховатости на внутренней поверхности проточной части. В этом случае кинетическая энергия окружного движения пленки не просто поглощается, как в случае с нерегулярной шероховатостью, а направляется на создание винтового движения пленки жид кости. Данное техническое решение защищено патентом Украины (положительное решение о выдаче патента Украины). Оно позволяет в широком диапазоне конструктивных и режимных параметров иметь режим с выраженным меридиональным движением жидкости и последующим интенсивным ее разбрызгиванием рабочим колесом. Разработана методика расчета основных конструктивных параметров аппарата.

Ключевые слова: процесс очистки газоздушных смесей, роторный вихревой аппарат, закономерности пылеулавливание, дисперсная система цементное производство.

Pitak I.V. Regularity of clearing of air-gas mixes process in the rotative vortical device. - Manuscript

The thesis for the scientific degree of the candidate of engineering sciens in speciality 05.17.08. - processes and equipment of chemical technology. - National Technical University "Kharkov Polytechnical Institute », Kharkov, 2008.

The work is devoted to definition of the basic regularity of process of clearing of air-gas mixes in rotative the vortical device. On the basis of researches of hydrodynamics and catching of a dust are certain optimum regime and design data of work of the device.

For the first time laws of movement of a liquid phase in rotative the vortical device are investigated. Existence of various modes of current of a liquid phase in the device, and also by a parity of film and drop phases in the device is shown.

For the first time the mathematical model of movement of a liquid phase on a surface of a flowing part is developed and on the basis of it operating modes of the device are revealed. The dimensionless complex determining an opportunity of circulation of a liquid phase in meridian section is received. The model of catching of a dust in rotative the vortical device which takes into account features of movement of liquid and gas phases is offered. The design of the device is advanced, the engineering technique of his calculation is developed.

Directions of development and development, improvement of a design rotative the vortical device are determined; maintenance of his work at district speed up to 20 m/s that provides an optimum complex from the point of view of efficiency and power inputs. It is provided work of the device in a mode with intensive circulation and formation of drops a liquid phase in meridian section that is necessary for increase of efficiency of catching of a dust due to the proved selection of design data and creation of a regular roughness on an internal surface of a flowing part. The given technical decision is protected by the patent of Ukraine. The design procedure of the basic design data of the device is developed.

Key words: process of clearing of air-gas mixes, rotative the vortical device, catching of a dust, disperse system, disperse system cement manufacture.

Підписано до друку 18. 04. 2008 р. Формат 60х90/16.

Папір офсетн. Друк – ризографія. Умовн. друк. арк. 0,9.
Гарнітура Times New Roman. Наклад 100 прим. Зам. № 337

Надруковано у СПДФО Ізрайлев Є.М.
Свідоцтво № 04058841Ф0050331 від 21.03.2001 р.
61002, м. Харків, вул. Фрунзе, 16
