

ПОЛТАВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Факультет інженерно-технологічний
Кафедра механічної та електричної інженерії

Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи на здобуття ступеня вищої освіти
« магістр »
бакалавр, магістр

на тему: «Розробка та обґрунтування основних характеристик роторного
пиловловлювача»

Виконав: здобувач вищої освіти за
освітньо-професійною програмою
Машини і засоби механізації
сільськогосподарського виробництва
назва ОПП
спеціальності 133 Галузеве
машинобудування
код та найменування спеціальності
ступеня вищої освіти «магістр» групи 3
Черниш Андрій Сергійович
Прізвище та ініціали здобувача вищої освіти
Керівник: Скрипник В.О.
Прізвище та ініціали керівника
Рецензент: Дудніков І.А.
Прізвище та ініціали рецензента

ВСТУП

На підприємствах харчової промисловості, при здійсненні багатьох технологічних процесів виділяється велика кількість дрібнодисперсного пилу, що важко вловлюється. Вид і кількість пилів залежать від технології виробництва. Згідно з Законом України «Про охорону атмосферного повітря» підприємства, які мають джерела викидів шкідливих (забруднюючих) речовин в атмосферне повітря, повинні розробляти та здійснювати заходи щодо охорони атмосферного повітря. Тобто забороняється викид в атмосферу речовин, шкідливих і небезпечних для життя і здоров'я людини і для навколишнього природного середовища.

На сьогоднішній день для багатьох підприємств харчової промисловості очищення виробничих викидів від шкідливих речовин є однією з основних проблем захисту повітряного басейну. Викид пилу зумовлює велику вибухо- та пожежонебезпечність, призводить до погіршення умов праці та значних втрат кількості виробленого продукту. У планах розвитку країни природоохоронними організаціями були поставлені завдання щодо збільшення створення ефективних пиловловлювачів; вдосконалення процесів виробництва харчових продуктів з метою зниження викидів пилів у навколишнє середовище та поліпшення очищення відпрацьованих газів від шкідливих домішок [1].

У міру освоєння нової техніки та технології з'являються нові види речовин, що викидаються в атмосферу. Основними причинами викидів вважають: відсутність локалізації джерел виділення пилу; конструктивні недоліки – негерметичність, несправність обладнання; порушення технологічного процесу та ін. На даному етапі розвитку існує великий вибір обладнання, що забезпечує заданий ступінь очищення газів, а також методик визначення параметрів газових потоків та ефективності пиловловлювачів [1, 2]. На практиці знайшли широке застосування такі способи уловлювання пилу: абсорбційний, адсорбційний, каталітичний, термічний та біохімічний. За способом відділення твердих і рідких частинок апарати поділяються на: інерційні уловлювачі; фільтри; апарати електричного очищення газів та апарати мокрого очищення газів.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вибір конструкції пиловловлювача здійснюється з урахуванням техніко-економічних характеристик, фізико-хімічних властивостей пилів, що вловлюються, та їх дисперсного складу. Більше половини маси пилів, що утворюються під час виробництва крохмалю, сухого молока, кристалічної глюкози та інших. продуктів становлять частки розміром менше 10 мкм. Такі частинки незадовільно вловлюються циклонами, які використовують на першому ступені очищення газів, тому на другому застосовують рукавні фільтри та мокрі пиловловлювачі. Рукавні фільтри забезпечують ступінь уловлювання частинок розміром менше 1мкм не менше 99 % . Однак мають високий гідравлічний опір та недостатню експлуатаційну надійність (внаслідок поривів фільтрувальної тканини). Крім цього частинки пилу харчових продуктів, що облягаються на фільтрувальній тканині, піддаються більш тривалому термічному впливу з боку сушильних газів, що призводить до перегрівання термолабільних складових частинок пилу. Вище сказане обмежує застосування рукавних фільтрів другого ступеня очищення сушильних газів.

Застосування мокрого способу очищення газів як другий щабель є одним з найбільш ефективних, т.к. дозволяє вловлювати частки розміром 1-5 мкм з ефективністю не менше 95-99 %. Мокрий спосіб пилеочищення розглянутий у ряді робіт [1, 2].

Апарати мокрого типу мають ряд переваг перед аналогічними апаратами: простота конструкції; невисока вартість; висока ефективність пиловловлення; менші габарити; застосування для очищення високотемпературних, горючих та вибухонебезпечних, вологих газів; можливість уловлювання твердих, рідких та газоподібних компонентів; надійність та довговічність; простота та безпека експлуатації. Поруч із перевагами апарати цього типу мають і ряд недоліків: підвищені витрати енергії за високого ступеня очищення; проблема використання уловленого продукту; стеження уловлених частинок на внутрішніх поверхнях обладнання; винос вологи з пиловловлювача; корозійне зношування обладнання.

Дана робота спрямована на дослідження основних характеристик роторного розпилювального пиловловлювача (РРП), з метою встановлення сфери його застосування для очищення газових викидів від пилів харчових продуктів, а також

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

виявлення придатності РРП для інших суміжних галузей промисловості [2].

Об'єкти досліджень. Технологічний процес та структурно-технологічна схема роторного розпилювального пиловловлювача.

Предмет досліджень. Закономірності, умови та режими роботи процесу пиловловлення в РРП.

Мета роботи – полягає в дослідженні основних характеристик роторного розпилювального пиловловлювача (РРП) з метою визначення галузі застосування та шляхів його подальшого вдосконалення.

У зв'язку з чим необхідно вирішити такі завдання:

1. Дослідження основних параметрів, що визначають гідравлічні опори та бризкоунос в РРП, отримання експериментально – статистичних моделей;
2. Вивчення закономірностей процесу пиловловлення в РРП, отримання експериментально - статистичних моделей;
3. Розробка рекомендацій щодо розрахунку РРП та визначення галузі його промислового використання.

Методика досліджень. Як основні методики використовувалися основні положення законів та методів класичної механіки та математичного аналізу, методика планування багатофакторних експериментів, методики проведення лабораторних та лабораторно-польових досліджень. Результати оброблялися із застосуванням програм STATISTICA, Microsoft Excel та ін.

Практична значимість та реалізація досліджень. 1. Розроблено рекомендації щодо розрахунку РРП промислових розмірів та визначено галузі його застосування;

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ВИБІР НАПРЯМКУ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Конструкції роторних пиловловлювачів з внутрішньою циркуляцією рідини

На сьогоднішній день відомо велику кількість пиловловлюючого обладнання. Залежно від способу організації поверхні контакту фаз і принципу дії мокрі пиловловлювачі поділяються на: порожнисті газопромивачі; насадочні скрубери; барботажні та пінні апарати; апарати ударно-інерційної дії; апарати відцентрової дії; швидкісні апарати.

Серед великої кількості апаратів найбільш ефективними є апарати мокрого пиловловлення роторного типу з внутрішньою циркуляцією та самозрошенням рідиною. Роторні апарати такого типу забезпечують ступінь очищення газів від частинок пилу розміром 1-5 мкм на 95-99 % при незначних питомих енерговитратах та невисокій щільності зрошення.

У першій групі апаратів (рис. 1.1 а) запилене повітря надходить у циліндричну камеру, що має радіальні патрубки з кінцями, відігнутими у напрямку її обертання (від електроприводу). Кінці патрубків заглушені більшими дисками, ніж у патрубків діаметра, в безпосередній близькості від яких є випускні отвори для виходу повітря.

У другій групі апаратів (рис. 1.1 б) підведення запиленого повітря здійснюється від кількох стаціонарних (нерухомо встановлених) патрубків аналогічної форми. Газорідинний шар, що перемішується, утворюється за рахунок роботи мішалки. Одна установка може очищати запилене повітря від кількох поодиноких джерел виділення пилу в цеху [1, 2, 3].

Третя група апаратів (рис. 1.1 в) відрізняється тим, що циліндрична камера має прямі радіальні патрубки круглого перерізу, а в ній є відцентровий дисковий розпилювач, пов'язаний з очищаючою рідиною, що знаходиться в піддоні корпусу апарату. Очищення повітря відбувається при його обертанні в розпилювальному крапельно-рідинному середовищі всередині камери і в робочому об'ємі установки.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						10
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 1.1 – Основні види пиловловлювачі

У четвертій групі апаратів (рис. 1.1 г) зазначений вище механізм відділення досягається за рахунок енергії повітряного потоку. У даному випадку конструкція патрубків циліндричної камери (вони відігнуті на 90° в одну сторону) виконана таким чином, що тяга, створювана в кожному патрубку реакцією вихідного повітряного потоку, змушує саму камеру здійснювати обертальний рух. При цьому відбувається взаємодія з рідиною, що очищає, самозрошення.

У п'ятій групі апаратів самозрошення відбувається при обертанні лопатевих пристроїв за рахунок енергії повітряного потоку, що подається тангенціально стосовно осі обертання лопаті (рис. 1.1 д) горизонтальна вісь обертання, (рис. 1.1 е) вертикальна вісь обертання). При цьому відбувається інтенсивна взаємодія запиленого повітря з крапельно-рідинним середовищем у всьому робочому обсязі апарату [1, 2, 4].

Всі апарати, описані вище, характеризуються організацією високорозвиненої поверхні контактування фаз при мінімальній витраті промивної рідини.

Удосконалення конструкцій пиловловлювачів мокрого типу здійснювалося шляхом збільшення пропускної спроможності по газу, поліпшення гідродинамічних характеристик, підвищення ефективності очищення та зниження енерговитрат. Але

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

не завжди зміна в позитивний бік одного з перерахованих вище факторів супроводжувалася поліпшенням та інших.

На рис. 1.2 представлений один контактний елемент роторного розпилювального апарату (РРА), що містить найбільш перспективні технічні рішення: високопродуктивний забірний пристрій у вигляді двох коаксіальних циліндрів з забірними лопатками між ними, пристінний краплевідбійник вигляді вертикально встановлених металевих пластин, зливну тарілку з центральним перетіканням, в газоходах якої встановлені напрямні лопатки для закручування газу [4].

Рисунок 1.2 – Роторний розпилювальний апарат

Принцип роботи апарату такий. Газ, пройшовши крізь газоходи зливних тарілок 2, набуває закрученого руху. У зв'язку з чим сепарація дрібнодисперсних крапель на корпусі апарату і пристінних краплевідбійниках збільшується. При русі газу назустріч факелу диспергованої рідини гідравлічний опір зростає. При прямомотці – гідравлічний опір ступеня нижче, ніж при протитоці, оскільки газ рухається слідом за факелом диспергованої рідини. При цьому час контакту краплі рідини в польоті більший, що призводить до збільшення ефективності пилеочищення. Також час перебування газової фази на контактному елементі збільшується із встановленням напрямних лопаток. Ефективність пилеочищення одного ступеня дорівнює 98-99 % у діапазоні швидкостей 0,8-3,2 м/с [4, 5].

Серед найвідоміших апаратів роторного типу слід зазначити газопромивач [5]. Цей апарат відноситься до крапельно-струменевих (рис. 1.3). Він складається з конічного днища 1, розподільника 2, корпусу 3, дискового промивача 4, зливних тарілок 5 з напрямними лопатками 6 в газоходах, розпилювача 7, пристінного краплевідбійника 8, сепаратора 9, крильчатки 10, валу 11, кришки 12, патрубку для виведення шламу 13.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Апарат працює в такий спосіб. Очищений газ надходить у кінцеву частину апарату 1 по тангенціально встановленому патрубку, придбавши при цьому обертальний рух. Такий рух газу в апараті можливий із встановленням напрямних лопаток 6 і відбійних елементів сепаратора, які нахилені під певним кутом, що сприяє збереженню закрученого руху газу по всій висоті апарату.

Очищений у сепараторі 9 від крапель рідини газ, тангенційно подається у верхню частину апарату. Встановлена на валу 11 крильчатка 10 сприяє зниженню гідравлічного опору.

Відпрацьована рідина, пройшовши розподільник 2, відводиться через нижній патрубок для вивантаження шламу 13.

Рисунок 1.3 – Газопромивач

Конструкція апарату забезпечує високу ефективність без попередніх щаблів очищення через можливість підбору відповідної кількості розпилювачів та промивачів [6].

Одним з апаратів з покращеними характеристиками є роторний розпилювальний пиловловлювач [6]. Пиловловлювач (рис.1.4) містить вал 1, підшипникову опору 2, сепаратор 3, крильчатку-сепаратор 4, корпус 5, транспортуючий циліндр 6 з насосним пристроєм 14, навколо якого співвісно

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

встановлений напрямний циліндр з сіткою для відділення нерозчинних частинок уловленого пилу 12. У нижній частині пиловловлювача встановлений бункер 11 з гідрозатвором 9 і патрубком видалення шламу 10. На корпусі встановлений патрубок введення зрошуючої рідини 13.

Пиловловлювач працює наступним чином. Очищений газ по патрубку вводиться тангенціально в апарат і в результаті відцентрової сили, що притискається до поверхні рідини, залитої в бункер 11. Частинки пилу, стикаючись з поверхнею рідини, змочуються і осідають на дно бункера 11.

↓

Рисунок 1.4 – Роторний розпилювальний пиловловлювач

В результаті контакту з поверхнею рідини, залитої в бункер 11, утворюється додаткова поверхня взаємодії частинок пилу з рідиною, що позитивно позначається на ефективності очищення пилу. Закручений рух газ зберігає у всій висоті апарату, т.к. рухається слідом за рідиною, що розпилюється транспортуючим циліндром, захоплюється крильчаткою-сепаратором 4, а в сепараторі 3 проходить по лабіринтних каналах, утвореним відбійними елементами. Газ виходить з сепаратора 3 і притискається до стінки у верхній частині корпусу 5, а далі виводиться по тангенційно встановленому до корпусу 5 патрубку. Закручений рух газу забезпечує низький гідравлічний опір його проходженню через апарат [7, 8].

Робоча рідина за допомогою насосного пристрою 14 безперервно подається в транспортуючий циліндр 6, у верхній частині якого розташовані в необхідній кількості отвори, що розпилюють. При диспергуванні рідини транспортуючим

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

циліндром 6 утворюється шар струменів і крапель, досягнувши стінок корпусу 5 і пластинок пристінного краплевідбійника, краплі вдаряються про них, в результаті з'являються вторинні краплі, а на пластинках каплеотбойника і стінці корпусу 5 утворюється плівка турбулізованої рідини, що стікає по корпусу 5 бункер 11 [7, 8].

Пристінний краплевідбійник (на рис. 1.4 не показаний) є набором пластин, вертикально встановлених на висоту факела розпилювача. Пластини виготовлені з нержавіючої сталі і встановлені під кутом 15-20° до дотичної, проведеної до кола розпилювача, з кроком, в 2 рази більшим за їх ширину.

Очищений газ, відбившись від поверхні рідини, залитої в бункер 11, контактує з плівкою, що стікає по корпусу 5, зі струменями і краплями рідини, розпорошеної транспортуєчим циліндром 6, і проходить через зону удару крапель рідини об стінку корпусу і пластинки краплевідбійника. На всьому шляху газ зустрічає високорозвинену поверхню рідини, що інтенсивно оновлюється, що забезпечує високий ступінь очищення газу від пилу. Пройшовши факел розпилювача, газ очищається від крапель робочої рідини і підкручується крильчаткою-сепаратором 4, що створює зону розрідження і забезпечує зниження гідравлічного опору апарату.

Робоча рідина разом з частинками уловленого пилу збирається в бункері 11 пиловловлювача, де частинки пилу розчиняються, і шлам безперервно виводиться у вигляді суспензії або розчину через патрубки 7, 8 гідрозатвора 9. Підживлення апарату свіжою робочою рідиною з урахуванням компенсації втрат її на випаровування і з шламом, що вивантажується, здійснюється як безперервно, так і періодично через патрубок 13. Вловлена в сепараторі 3 рідина зливається вздовж стінок корпусу вниз. Для промивання лабіринтних каналів у сепараторі 3 передбачено спеціальний зрошуючий пристрій 15.

Напрямний циліндр 12 служить для запобігання розкручування рідини в бункері 11 та поліпшення роботи насосного пристрою 14 [7, 8].

Витрата робочої рідини (води) приймали мінімально достатньою для задовільної роботи пиловловлювача, так як кількість рідини в бункері не впливає на ефективність пилеочищення. Було встановлено, що витрата робочої рідини має бути

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$L_p / F_a \geq (0,4 \div 120) \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{м}^2 \cdot \text{с}$, $L_p \geq 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$, де F_a – площа перерізу апарату, при цьому зі зливального патрубку безперервно відводиться незначна її частина.

Підвищення ефективності очищення досягається за рахунок створення постійного підпору рідини в насосному пристрої і постійного відведення суспензії (шламу) за допомогою гідрозатвора 9. Зниження ймовірності забивання отворів, що розпилюють, частинками пилу ще нерозчиненого продукту – за рахунок установки решітки на напрямному циліндрі. Поліпшення сепарації газу від крапель робочої рідини та зменшення гідравлічного опору апарату – за рахунок встановлення крильчатки-сепаратора 4. Підвищення навантаження по газу – за рахунок зниження впорскування та гідравлічного опору апарату. Поліпшення зазначених вище показників у сукупності забезпечить поліпшення та технічних характеристик пиловловлювача [9, 10].

Виконавши літературний огляд, можна дійти невтішного висновку, підвищення ефективності пилоочищення в розглянутих апаратах відбувається з допомогою багаторазового дотичного удару перешкоду, зниження гідравлічного опору апарату відбувається з допомогою застосування крильчаток. У апаратах такого типу присутня багаторазова циркуляція робочої рідини, тобто апарати працюють в умовах самозрошення, у зв'язку з чим, мають високу пропускну здатність по газу.

Аналіз мокрого пиловловлення та перспективи його використання в харчовій та суміжних галузях промисловості представлені в ряді робіт, які показують високі техніко-економічні показники. Також, зазначається, що роторні апарати з внутрішньою циркуляцією рідини є перспективним видом обладнання при очищенні промислових газів, технології сипучих харчових продуктів та ін [3, 8].

Часто мокрі апарати застосовуються в тих випадках, коли пил є відходами (наприклад, зола, доменний пил) або він легко може бути використаний у мокрому вигляді (наприклад, пил на підприємствах харчової промисловості (сухе молоко, пил лактози і т.п.), пил на підприємствах кольорової металургії та гірничої хімії, що переробляється гідрометалургійним способом), а також тоді, коли потрібне

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

оохолодження газів незалежно від очищення.

Багатообіцяючим напрямом у вдосконаленні апаратів мокрого типу є застосування ротаційного принципу відділення у пристрої з внутрішньою циркуляцією рідини. Роторні розпилювальні пиловловлювачі (РРП) мають ряд переваг: меншою питомою витратою електроенергії, ніж у тарілчастих, насадочних колон; низьким розходом робочої рідини; високим ступенем уловлювання пилу розміром до 1,3 мкм.

При очищенні газів від різних видів пилів ефективність мокрого пиловловлення в роторних апаратах з багаторазовою циркуляцією рідини досягає 99,99%. Тому вибір певного апарату є складним процесом, вирішити який неможливо без урахування відповідних техніко-економічних показників [11].

Отже, конструкція роторного розпилювального апарату є перспективною, а дослідження наявної конструкції (рис. 1.4) є важливим науково-технічним завданням. Так як в апаратах цієї групи забезпечується висока ефективність пиловловлення, величина впорскування відносно невелика і залежить від конструктивно-технологічних параметрів, а також РРП має невисокий гідравлічний опір.

1.2 Дослідження гідродинаміки роторних розпилювальних апаратів

При роботі роторного розпилювального апарату (РРА) прийнятої конструкції [11] необхідна щільність зрошення забезпечується внутрішнім циркуляційним контуром, що представляє собою транспортуючий циліндр - забірний пристрій з підйомною спіраллю - циліндр, що диспергує. Продуктивність контуру залежить від продуктивності забірного пристрою та продуктивності транспортуючого перфорованого циліндра (рис. 1.5) [12].

Максимальна висота відбору Нотр рідини вибиралася трохи нижче за розрахункову H_p , яка дорівнює [12]:

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						17
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$H_p = \frac{n^2}{1800} \cdot \left[\left[\frac{D}{2} \right]^2 - \left[\frac{d}{2} \right]^2 \right], \quad (1.1)$$

де n – частота обертання циліндра, що транспортує, об/хв.

1 – циліндр, що транспортує; 2 – забірний пристрій; 3 – підйомна спіраль; 4 – заспокійлива перегородка

Рисунок 1.5 – Схема роторного розпилювача

Було встановлено, що фактором, що визначає продуктивність транспортуючого циліндра, є різниця між розрахунковою висотою підйому рідини H_p і висотою відбору $H_{від}$ [12].

$$Q_1 = 2,22 \cdot 10^{-3} \cdot (H_p - H_{від}) \quad (1.2)$$

При спільному розв'язанні рівнянь 1.1 і 1.2 автори отримали рівняння для розрахунку продуктивності транспортуючого циліндра плівкового випаровувача з внутрішнім циркуляційним контуром [12].

$$Q_1 = 2,22 \cdot 10^{-3} \cdot \left\{ \frac{n^2}{1800} \cdot \left[\left(\frac{D}{2} \right)^2 - \left(\frac{d}{2} \right)^2 \right] - H_{\text{від}} \right\}. \quad (1.3)$$

Таблиця 1.1 – Вплив конструктивних та режимних параметрів забірною пристрою на його продуктивність

$d \cdot 10^2, \text{ м}$	$b \cdot 10^2, \text{ м}$	$\alpha, ^\circ$	$h \cdot 10^2, \text{ м}$	$\omega, \text{ с}^{-1}$
5,5	1	6-10	1; 2; 3	73,2; 83,7; 94,2; 104,5
6,35	0,5; 1; 1,35	7		
7,8	1			

Авторами [12] також було встановлено залежність продуктивності забірною пристрою від конструктивних параметрів апарату.

Відстань від нижнього торця забірною пристрою до днища апарату не впливає на продуктивність при

$$h' \geq \frac{d}{4} \text{ м.} \quad (1.4)$$

Із зменшенням зазору між центральною втулкою та внутрішнім діаметром стрічкової спіралі Δ_1 продуктивність забірною пристрою збільшується.

З конструктивних міркувань було прийнято

$$\Delta_1 = 1/1,5 \text{ мм.} \quad (1.5)$$

Оптимальна величина зазору між перегородками в дні апарату та зовнішнім діаметром втулки забірною пристрою Δ_2 залежить від розміру зовнішнього діаметра забірною пристрою та кутової швидкості його обертання

$$\Delta_2 = 0,4 \cdot \left(\frac{\omega \cdot d}{2} \right)^{1,86}. \quad (1.6)$$

Для визначення структури рівняння, що характеризує вплив конструктивних і режимних параметрів на продуктивність забірною пристрою, методом аналізу розмірностей отримана залежність [12]

$$\frac{Q_2}{\omega \cdot d^3} = f \cdot \left(\frac{h}{d}, \frac{b}{d}, \frac{g}{\omega^2 \cdot d}, \frac{\mu}{\omega \cdot \rho \cdot d^2}, \alpha \right). \quad (1.7)$$

Вплив сили тяжіння при вимушеному русі рідини мізерно мало, тому безрозмірним комплексом $g/(\omega^2 \cdot d)$ можна знехтувати.

В результаті математичної обробки експериментальних даних отримана залежність [12]

$$\frac{Q_2}{\omega \cdot d^3} = 6 \cdot \left(\frac{h}{d}\right)^{0,4} \cdot \left(\frac{b}{d}\right)^{1,7} \cdot \left(\frac{\nu}{\omega^2 \cdot d}\right)^{0,4} \cdot (tg\alpha)^3, \quad (1.8)$$

$$Q_2 = 6 \cdot \omega^{1,23} \cdot d^{1,36} \cdot h^{0,4} \cdot b^{1,7} \cdot \nu^{-0,33} \cdot (tg\alpha)^3. \quad (1.9)$$

З умови рівності продуктивності транспортуючого циліндра та забірною пристрою $Q_1 = Q_2 = Q_u$, що визначаються рівняннями (1.3 та 1.9), знаходяться основні розміри та режимні параметри циркуляційного контуру, що забезпечують задану продуктивність.

При заданій продуктивності циркуляційного контуру для визначення діаметра транспортуючого циліндра та забірною пристрою рівняння (1.3 та 1.9) необхідно використовувати у вигляді:

$$d = \left(\frac{Q_u}{6 \cdot \omega^{1,23} \cdot d^{1,36} \cdot h^{0,4} \cdot b^{1,7} \cdot \nu^{-0,33} \cdot (tg\alpha)^3} \right)^{0,735}, \quad (1.10)$$

$$D = \sqrt{\frac{35,5 \cdot 10^3 (Q_u + 2,22 \cdot 10^{-3} \cdot H_{омб})}{\omega^2} + d^2}. \quad (1.11)$$

Дисперсність факела розпиленої рідини характеризується деяким середнім діаметром крапель з урахуванням параметрів того чи іншого закону розподілу та довжиною суцільної ділянки струменя. Середній діаметр краплі визначається за рівнянням [12, 13]:

$$d_{f,k} = f^{-k} \sqrt{\frac{\sum d_i^f \cdot n_i}{\sum d_i^k \cdot n_i}}, \quad (1.12)$$

де f і k – числа, що залежать від способу опосередкування.

В результаті обробки експериментальних даних було отримано рівняння для визначення середніх характеристик дисперсності факелу розпиленої рідини [14]:

$$d'_{10} = \frac{d_0^{0,54} \cdot \rho_2^{0,33} \cdot \sigma^{0,35}}{172 \cdot U_2^{0,75} \cdot \mu_2^{0,28}}, \quad (1.13)$$

$$d'_{32} = \frac{d_0^{0,59} \cdot \rho_2^{0,28} \cdot \sigma^{0,37}}{84 \cdot U_2^{0,85} \cdot \mu_2^{0,34}}, \quad (1.14)$$

$$d'_{43} = \frac{d_0^{0,61} \cdot \rho_2^{0,27} \cdot \sigma^{0,37}}{67 \cdot U_2^{0,85} \cdot \mu_2^{0,35}}, \quad (1.15)$$

де d'_{10} – середній арифметичний діаметр крапель, м;

d'_{32} – середній об'ємно-поверхневий діаметр крапель, м;

d'_{43} – середній масовий діаметр крапель, м.

Вирази (1.12-1.13) справедливі в таких межах:

$$\rho_2 = (0,998...1,397) \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, \mu_2 = (0,886...4,064) \cdot 10^{-3} \text{ Па} \cdot \text{с},$$

$$\sigma = (44,87...88,08) \cdot 10^{-3} \text{ Нм}, t_{oc} = t = (2..3)d_0, d_0 = (1,1...2,0) \cdot 10^{-3} \text{ м}, 0,733...1,333.$$

При цьому максимальна відносна помилка апроксимації становить трохи більше 17%. Повний гідравлічний опір зрошуваного РРА являє собою [12, 14]:

$$\Delta P_0 = \Delta P_c + \Delta P_\phi, \quad (1.16)$$

$$\Delta P_c = \frac{\xi_c \cdot U_\Gamma^2 \cdot \rho_\Gamma}{2} = 6,415 \cdot U_\Gamma^2 \cdot \rho_\Gamma, \quad (1.17)$$

$$\Delta P_\phi = \xi_\phi \cdot U_\Gamma^2 \cdot \rho_\Gamma, \quad (1.18)$$

$$\xi_\phi = C \cdot (f \cdot \beta)^a \cdot \text{Re}_\Gamma^e \cdot K_{co}^c. \quad (1.19)$$

Справедливість виразів (1.16) – (1.19) перевірена в межах: швидкість повітря $U_\Gamma = (0,7...4,1) \text{ м/с}$; частота обертання розпилювача $n = (11,07...25,8) \text{ с}^{-1}$; $\rho_p = (880...1280) \text{ кг/м}^3$; $\mu_p = (0,001...0,106) \text{ Па} \cdot \text{с}$; $\sigma_p = (32,1...90,4) \text{ мН/м}$; число рядів отворів, що розпорошують $K_{oc} = (6...17)$, число отворів одиничних факелів в одному ряді $k = (37...70)$.

При диспергуванні рідини перфорованим циліндром у вільному просторі апарату утворюється газорідина система, параметри якої змінюються по радіусу апарату. При взаємодії впорскуваних крапель і газу краплі змінюють свою швидкість і траєкторію руху, при цьому відбувається як руйнування крапель, так і

утворення нових [14, 15]. Гідродинамічна обстановка у факелі відрізняється складністю.

Проаналізувавши дані з гідродинаміки факела розпилу рідини та гідродинаміку удару крапель про перешкоду визначено основні джерела бризко-винесення [14]: 1. Дрібнодисперсні краплі, віднесені потоком газу з факела розпорошеної рідини; 2. Дрібнодисперсні краплі, що утворилися при взаємодії крапель факела між собою; 3. Дрібнодисперсні краплі, що утворилися при взаємодії крапель факела та вторинних крапель між собою; 4. Вторинні краплі, що утворилися при ударі крапель факела об пластинки пристінного краплевідбійника.

Аналітичні та експериментальні дослідження дозволили встановити, що найбільш значущими є 1 та 3 джерела, а 2 та 4 джерелами можна знехтувати. Впорскування у РРА з перехресним струмом газу та рідини був вивчений у [12], автором було отримано рівняння:

$$e = 1,05 \cdot 10^{-21} \cdot R \cdot e_{жс}^{-0,9} \cdot W \cdot e_F^{1,9} \cdot F \cdot r_M^{3,1} \cdot \left(\frac{D_p}{t_{окр}} \right)^{5,5} \cdot \left(\frac{H_p}{t_{ос}} \right)^{0,1}, \quad (1.20)$$

де Re_p – число Рейнольдса;

We_e – критерій Вебера;

Fr_M – критерій Фруда;

$D_p/t_{окр}$ – радіальна складова враховує сепарацію крапель у смолоскипі розпилу;

$H_p/t_{ос}$ – осьова складова враховує сепарацію крапель у смолоскипі розпилу;

H_p і D_p – діаметр і висота перфорованого циліндра;

$t_{окр}$ і $t_{ос}$ – окружний і осьовий крок отворів перфорованого дна,

U_r – швидкість газу.

Згідно [12], щоб характеризувати сепараційні властивості факела достатньо 6-8 рядів отворів, що розпилюють.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3 Дослідження енерговитрат на роботу роторних розпилювальних апаратів

Як основні показники при виборі пиловловлюючого обладнання можна виділити: ефективність очищення газів по залишковій концентрації, мінімальні капітальні витрати, надійність роботи апарату та зручність його експлуатації [14].

Основним показником економічності пилу – газоочисного апарату за інших рівних умов є енерговитрати на організацію його роботи. Енергія контакту між газом і рідиною складається з: енергії газу, яка характеризує ступінь турбулізації газо-рідинного потоку в апараті; енергії рідини, що характеризує ступінь диспергування рідини, а також механічної енергії елементів конструкції апарату, що обертаються [14, 15]. Розподіл енерговитрат залежить від конструкції апаратів. Наприклад, у барботажних газопромивачів основна частка енерговитрат посідає повідомлення енергії газу. В апаратах із нерухомою насадкою – енерговитрати на подачу рідини. В апаратах з рухомою насадкою - енерговитрат на подачу рідини та на рух газу, що призводить рідину до псевдозрідженого стану та створює в обсязі насадки барботажний режим. У роторних апаратів основні витрати енергії припадають на подолання гідравлічного опору апарату.

Розрахунок питомих енерговитрат

$$K_{y\partial} = P_a + P_p \cdot \frac{V_p}{V_z} + \frac{N_m}{M_z}, \quad (1.21)$$

де P_a – гідравлічний опір апарату, Па;

P_p – тиск розпалюваної рідини, Па;

V_p / V_z – об'ємні витрата, відповідно рідини і газу, м³/с;

N_m – потужність обертового механізму, що витрачається на контактування газу з рідиною, Вт;

M_z – маса газу, кг.

Перші два доданки у формулі (1.24) є енергією дотику K_T .

$$K_T = \Delta P_{ann} + P_{жс} \cdot \frac{V_{жс}}{V_{\Gamma}} \quad (1.22)$$

де ΔP_{ann} – гідравлічний опір апарату, Па;

V_{Γ} і $V_{жс}$ – об'ємні витрати рідини та газу, м³/с.

У формулі (1.25) ΔP_{ann} характеризує ступінь турбулізації газо-рідинного потоку в апараті, а $P_{жс} \cdot (V_{жс} / V_{\Gamma})$ – ступінь диспергування рідини.

Вплив кожного доданка на величину K_T визначається конструктивними особливостями. Також K_T враховує спосіб введення рідини в апарат, діаметр крапель і фізико-хімічні властивості рідини.

У формулі (1.21) третій доданок властиво роторним апаратам. Тобто в роторних апаратах енергія витрачається за двома напрямками: перше – витрати на подолання гідравлічного опору апарату і друге – механічні витрати, тобто потужність ротора, що витрачається на роботу.

Для розрахунку енергії по першому напрямку використовується формула, запропонована для визначення енергії, що витрачається вентилятором для подолання гідравлічного опору [17, 18]:

$$N = V_{\Gamma} \cdot \frac{\Delta P}{\eta}, \quad (1.23)$$

де V_{Γ} – об'ємна витрата газу, м³/с;

ΔP – підвищення тиску, повідомляємо вентилятором перекачується потоку і дорівнює повному гідравлічному опору апарату, Па;

$\eta = \eta_{\epsilon} \cdot \eta_{\delta} \cdot \eta_{\Pi}$ – загальний ККД;

η_{ϵ} – ККД вентилятора;

η_{δ} – ККД двигуна;

η_{Π} – ККД передавального механізму.

Формула для розрахунку витрат енергії забірною пристроєм розпилювача отримана Даниленко М.І. [11, 14]:

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$N_{y\partial} = 130 \cdot h^{-0,23} \cdot B^{-0,24} \cdot U_{cp}^{1,2} \cdot \left(\frac{\rho_p}{\rho_B} \right). \quad (1.24)$$

Сумарні енерговитрати ДК, згідно [12] визначаються за формулою:

$$N_{\partial} = N_{ome} \cdot q'' \cdot k, \quad (1.25)$$

де N_{ome} – витрата потужності при закінченні рідини через один отвір, Вт;

q'' – продуктивність одного отвору, кг/с;

k – число отворів течії.

Для розрахунку наведених витрат потужності [12]

$$N_{np} = N_{\partial} \cdot \frac{\Delta S}{G}, \quad (1.26)$$

де ΔS – площа перфорованої поверхні, що відноситься до одного отвору, м²;

G – секундна масова продуктивність диспергуючого пристрою, кг/с.

1.4 Висновки до розділу

Зі виконаного літературного огляду можна зробити такі висновки.

1. Мокрі пиловловлювачі забезпечують високу ефективність сепарації мікронних частинок. Серед апаратів мокрого пиловловлення перспективні апарати з внутрішньою циркуляцією і самозрошенням робочої рідиною. Тому що при їх роботі витрата робочої рідини незначна.

2. Апарат [17] представляє інтерес, оскільки містить елементи раніше випробуваних апаратів, що забезпечують високу ефективність пиловловлення при затримці робочої рідини в самому апараті. Тобто підживлення апарату робочою рідиною необхідна для компенсації винесення, випаровування рідини і на відведення рідини зі шламом.

3. Мета роботи: полягає у дослідженні основних характеристик роторного розпилювального пиловловлювача (РРП) з метою визначення сфери застосування та шляхів його подальшого вдосконалення.

2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ РОБОТИ РОТОРНОГО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО ПИЛОВЛОВЛЮВАЧА

2.1 Дослідження гідравлічних опорів роторного розпилювального пиловловлювача

Експериментальні дослідження гідравлічних опорів здійснювалися на дослідній установці, представлений на рис. 2.1

Експерименти проводилися при варіюванні параметрів у таких межах: діаметр диспергуючих отворів $d_0 = 1,4...2,5$ мм однаковим окружним ($t_{окр}$) та осьовим ($t_{ос}$) кроком $t_{окр} = t_{ос} = 2,5 \cdot d_0$, отвори розташовані в 6 рядів у шаховому порядку; швидкість газу апараті – $U_z = 0,59...3,78$ м/с; частота обертання транспортуючого циліндра $n = 800...1000$ об/хв. Експерименти виконані на системі повітря - вода за нормальної температури $18 \pm 2^\circ \text{C}$.

Течія газу через апарат будь-якої конструкції завжди супроводжується втратами тиску. Повний гідравлічний опір зрошуваного РРП розглядався як:

$$\Delta P_0 = \Delta P_c + \Delta P_\phi \quad (2.1)$$

де ΔP_c – гідравлічний опір неорошувального апарату, Па;

ΔP_ϕ – гідравлічний опір шару крапель у факелі розпиленої рідини, Па.

Дослідження втрат напору на неорошаному РРП проводилося без подачі рідини як за нерухомому циліндрі, що транспортує, так і при обертанні його з різною частотою.

Гідравлічний опір неорошуваного РРП визначається за формулою Дарсі - Вейсбаха:

$$\Delta P_c = \zeta_c \cdot \frac{U_z^2 \cdot \rho_z}{2}, \quad (2.2)$$

де ζ_c – коефіцієнт опору неорошаного РРП, рівний сумі коефіцієнтів місцевих опорів, що виникають при поворотах, розширенні або звуження потоку газу.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахунок коефіцієнта опору ζ_c носить складний характер і вимагає різних припущень [12, 16], у зв'язку з чим визначення гідравлічного опір незрошуваного РРА можливе тільки експериментально.

З раніше виконаних робіт видно, що коефіцієнт опору незрошуваного апарату залишається майже постійним і залежить від частоти обертання розпилювача. Коефіцієнт опору неорошаемого апарату визначається за такою формулою [12]:

$$\zeta_c = -0,121 \cdot U_r + 6,264, \quad (2.3)$$

діапазоні швидкостей газу від 0,59 до 3,78 м/с коефіцієнт змінювався від 5,8 до 6,2. Тому з достатньою точністю рекомендовано прийняти коефіцієнт опору незрошуваного апарату постійним і рівним середній величині 6. Підставивши в рівняння (3.3) чисельне значення $\zeta_c = 6$ отримаємо [12]:

$$\Delta P_c = 3 \cdot U_z^2 \cdot \rho_z. \quad (2.4)$$

З даних, представлених на рис. 3.1 випливає, що розпилювач, що обертається в неорошаемом (сухому) апараті створює певне гідравлічне опір проходу повітря.

Рисунок 2.1 – Залежність гідравлічного опору сухого апарату від швидкості газу

Причому зі збільшенням частоти обертання розпилювача опір знижується.

Дане явище можна пояснити вентиляційним ефектом, що створюється розпилювачем, що обертається, крильчаткою. При швидкості повітря в РРП 3,5 м/с втрати напору зростають на 10-15 % за рахунок обертання розпилювача з частотою $n = 900-1000$ об/хв.

У цілому нині гідравлічний опір незрошуваного РРП при $n = 900$ і 1000 об/хв залишається невисоким і трохи перевищує при $n = 0$ об/хв.

Досвідчені дані задовільно описуються рівнянням виду

$$\Delta P_{\text{сyx}} = A + B \cdot U_{\text{e}}. \quad (2.5)$$

Значення коефіцієнтів на рівняння (3.5) наведено у табл. 2.1.

Таблиця 2.1 – Таблиця коефіцієнтів

Частота обертання, n , об/хв	Вільний коефіцієнт, А	Коефіцієнт, В	Коефіцієнт кореляції, R^2
0	23,52	-24,71	0,88
800	46,01	- 32,73	0,98
900	31,43	-31,82	0,86
1000	29,37	- 30,34	0,90

З даних наведених у таблиці 2.1 видно, що значення коефіцієнтів при даних частотах обертання мають близькі значення, тобто частота обертання розпилювача незначно впливає на гідравлічні опори сухого апарату.

Вентиляційний ефект, створюваний факелом розпиленої рідини, є основним фактором, що визначає низький гідравлічний опір апарату. Сутність даного явища полягає в ежекції краплями рідини, що утворилися при розпаді струменів, що витікають з отворів перфорованого циліндра, прилеглих обсягів газу. Краплі захоплюють газове середовище, контактують з нею, перемішуються і передають їй частину кінетичної енергії.

Факел з крапель, що виходять з одного отвору, мають ядро та прикордонний шар, причому прикордонний шар розширюється по довжині смолоскипа, а ядро звужується. Кордони шару зазвичай приймаються лінійними [17]. При близькому розташуванні отворів циліндра, межі шарів накладаються один на одного, це явище істотно впливає на ефективність ежекції газу краплями. Також вплив на спотворення описаної моделі надає те, що газ рухається через шар розпиленої рідини під деяким

кутом до напрямку руху крапель. Враховуючи вище сказане, можна дійти невтішного висновку, що дослідження вентиляційного явища є складним процесом.

Дослідження вентиляційного ефекту не було метою виконання даної роботи, тому про дане явище можна судити з раніше виконаних робіт [17, 18]. З раніше виконаних досліджень випливає, що кількість повітря, що ежектується, залежить від енергії розпорошеної рідини, яка визначається енергією одиничного факела, що диспергується одним отвором циліндра, що транспортує, числом рядів диспергуючих отворів, а також кількістю отворів в одному ряду. Енергія одиничного факела визначається його швидкістю і ваговою кількістю рідини, що диспергується.

Було встановлено [12, 17], що при $K_{oc} = 3$ значення вентиляційного ефекту максимально, так як кожен ряд отворів крім вентиляційного ефекту має власний гідравлічний опір, яке при збільшенні числа рядів зростає разом з вентиляційним ефектом і поступово превуалює над ним. А також збільшення кількості диспергуючих отворів призводить до накладання прикордонних шарів сусідніх факелів один на одного, що призводить до зниження ефективності ежекції газу краплями. З вищесказаного слід, що варіювання відстані між рядами, їх компонування можна істотно підвищити вентиляційний ефект. Можна припустити, що найбільший вплив на вентиляційний ефект надаватиме питома потужність струменя, причому з його збільшенням вентиляційний ефект також збільшується. Збільшення числа отворів, що диспергують, в одному ряду незначно збільшує ступінь ежекції газу рідиною, а збільшення числа рядів знижує її.

Вимірювання гідравлічного опору зрошувача РРП проводилися з різними конструкціями циліндрів, що диспергують (див. табл. 2.1).

Аналізуючи рис. 2.2, можна дійти невтішного висновку, що впливом на ΔP_0 надають всі досліджувані параметри, але різною мірою.

З рис. 2.2 – 2.6 випливає, при збільшенні швидкості обертання розпилювача гідравлічний опір зрошувача апарату ΔP_0 збільшується внаслідок збільшення продуктивності диспергуючого циліндра Q_p і зменшення вільного простору у

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

факелі розпилу, що призводить до збільшення числа крапель, що диспергуються, і призводить до збільшення сумарних ежекційних властивостей розпилювача, так як кожна крапля має елементарний ежекційний ефект.

Рисунок 2.2 – Залежність гідравлічного опору від швидкості газу в апараті при запиленні

Рисунок 2.3 – Залежність повного гідравлічного опору на швидкість газу в зрошуваному апараті (вода)

Збільшення вентиляційного ефекту дозволить знизити гідравлічний опір апарату. Закручування газового потоку за факелом розпиленої рідини також дозволить знизити повний гідравлічний опір зрошуваного РРП.

Математична обробка 600 даних, представлених у додатку дозволила

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

отримати рівняння:

$$\Delta P_0 = 336,6 + 98,4 \cdot U_z - 3,4 \cdot U_p + 0,15 \cdot d_0 - 0,1 \cdot \mu_p + 0,08 \cdot \rho_p + 0,4 \cdot \sigma, \quad (2.6)$$

де $R^2 = 0,99$ – коефіцієнт кореляції.

Рисунок 2.4 – Залежність гідравлічного опору від швидкості газу в
зрошуваному апараті ($n = 900$ об/хв., вода)

Рисунок 2.5 – Залежність гідравлічного опору від швидкості газу в
зрошуваному апараті ($n = 1000$ об/хв., вода)

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 2.6 – Залежність гідравлічного опору зрошувального апарату від швидкості повітря ($d_0 = 2,2 \cdot 10^{-3}$ м вода)

Враховуючи, що $\Delta P_c < \Delta P_0$ рівняння (2.6) можна рекомендувати для розрахункової практики в наступних діапазонах $U_z = 0,59 \dots 3,78$ м/с, $U_p = 3,14 \dots 4$ м/с, $d_0 = 1,4 \dots 2,5$ мм, $\mu_p = (1,2 \dots 2,01) \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\rho_p = 1007 - 1030$ кг/м³, $\sigma = (64,75 \dots 73,1) \cdot 10^{-3}$ Н/м.

Як показують дані рис. 2.6 в діапазоні $U_z = 1,0 \dots 3,8$ м/с гідравлічний опір досліджуваного РРП змінюється не більше $\Delta P_0 = 460 \dots 780$ Па. У роботі [12, 17] наведено техніко-економічні характеристики мокрих пиловловлювачів різних конструкцій. Найбільш близьким за конструктивним рішенням є роторний розпилювальний газопромивач (РРГ), який має кращі характеристики. Опір РРГ у діапазоні швидкостей газу $U_z = 1,5 \dots 3,1$ м/с становить $\Delta P_0 = 150 \dots 730$ Па. РРП при $U_z = 2,5 \dots 3,8$ м/с має практично однакову з РРГ ΔP_0 .

Відхилення експериментальних даних від розрахункових за рівнянням (2.6) не перевищує ± 10 %, що достатньо для інженерних розрахунків і підтверджує правильність вибору параметрів, що визначають гідравлічний опір апарату. І, отже, рівняння (2.5-2.6) можуть бути рекомендовані для інженерних розрахунків, і навіть

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

можна використовувати для вибору раціональних режимів роботи РРП.

Аналізуючи дані представлені на (рис. 2.1-2.6) та рівняння (2.5-2.6) можна зробити висновок, що подальше вдосконалення РРП можливе за рахунок зниження гідравлічного опору. Втрата напору на сухому і зрошуваному апараті визначається головним чином швидкістю проходження газу через апарат. Тому, подальше зниження величини ΔP_0 можливе або шляхом збільшення вентиляційного ефекту ΔP_g за рахунок підбору раціонального взаємного розташування отворів, що розпилюють, або за рахунок зниження ΔP_c шляхом поліпшення аеродинамічних характеристик РРП.

2.2 Дослідження впорскування в роторному розпилювальному пиловловлювач

Важливим фактором, що визначає верхнє граничне навантаження газу в апаратах «мокрого» типу, є величина впорскування, що представляється 53 зазвичай відносної величиною: кг віднесеної рідини на кг газу, що пройшов через апарат за те саме час.

Попередні випробування показали, що тільки при частоті обертання розпилювача не менше 800 об/хв робоча рідина з бункера досягає диспергуючих отворів і забезпечується стійка поверхня міжфазного контакту. Максимальна частота обертання прийнята з умов стійкої роботи РРП і дорівнює $n = 1000$ об/хв.

З раніше виконаних досліджень [17, 18] було встановлено вплив висоти сепараційного простору на величину впорскування, тобто зі збільшенням сепараційного простору впорскування зменшується, але знижується і ступінь корисного використання висоти апарату. На основі попередніх досліджень, де використовувався факел, створюваний розпилювачем, що обертається, нами аналогічно була прийнята з конструктивних міркувань висота сепараційного простору рівна $H_p = 15$ мм, так як факел має розкриття 1° , що забезпечить удар крапель об пластинки краплевідбійника і стінки апарату.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно з літературними даними [17, 19], величина впорскування зменшується зі зростанням щільності, в'язкості та поверхневого натягу робочих рідин, але при цьому фізичні властивості газу не мають істотного впливу на нього.

Величина впорскування може бути виражена за допомогою величин абсолютного, питомого та відносного винесення.

З графіків (рис. 2.7-2.9) випливає, що зі збільшенням швидкості рідини (у разі збільшення частоти обертання розпилювача) впорскування зростає.

Рисунок 2.7 – Залежність впорскування від швидкості газу апараті
($d_0 = 1,4$ мм вода)

Під питомим винесенням e_y розуміють відношення вагової кількості віднесеної рідини (тобто абсолютного винесення) до витрати робочої рідини.

Під абсолютним e_a – вагова (об'ємна) кількість рідини, віднесена з контактного елемента в одиницю часу.

При диспергуванні рідини перфорованим циліндром у вільному просторі апарату утворюється газо-рідинна система, параметри якої змінюються за радіусом апарату. При взаємодії диспергованих крапель і газу краплі змінюють свою швидкість і траєкторію руху, при цьому відбувається як руйнування крапель, так і утворення нових. Гідродинамічна обстановка у факелі відрізняється складністю.

Як показав огляд літературних даних (див. розділ 1.3) найбільший вплив на величину впорскування в апаратах подібної конструкції надають такі параметри, як

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

швидкість газу в апараті, швидкість закінчення рідини з отворів диспергуючого пристрою, діаметр отворів, що диспергують, фізико-хімічні характеристики робочих рідин, а саме в'язкість μ , щільність ρ та поверхневий натяг σ .

Рисунок 2.8 – Залежність впорскування від швидкості газу в апараті

Рисунок 2.9 – Залежність впорскування від швидкості газу в апараті при запиленні

Дані рис. 2.9 характеризують вплив фізико-хімічних характеристик робочої рідини на впорскування. При уловлюванні вугільного пилу впорскування мінімальне, оскільки вона не розчинна у воді, а зміна фізико-хімічних характеристик води веде до зниження впорскування за рахунок збільшення щільності та в'язкості (див. табл. 2.1).

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						35
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У всьому дослідженому діапазоні відносний впорскування не перевищує 0,05 кг/кг, що цілком допустимо, оскільки більшість авторів вважають гранично допустиму величину впорскування рівну 0,1 кг/кг [12, 17]. Обробка експериментальних даних дозволила отримати узагальнений вираз:

$$e_0 = 0,2451 \cdot 10^{60} \cdot d_0^{2,07} \cdot U_p^{1,60} \cdot U_\Gamma^{0,24} \cdot \mu_p^{-0,61} \cdot \rho_p^{-20,36} \cdot \sigma^{-2,13}. \quad (2.7)$$

Рівняння (2.7) можна рекомендувати для розрахункової практики в діапазонах $U_\Gamma = 0,59 \dots 3,78$ м/с, $U_p = 3,14 \dots 4$ м/с, $d_0 = 1,4 \dots 2,5$ мм, $\mu_p = (1,2 \dots 2,01) \cdot 10^{-3}$ Па·с, $\rho_p = 1007 \dots 1030$ кг/м³, $\sigma = (64,75 \dots 73,1) \cdot 10^{-3}$ Н/м.

З аналізу рівняння (2.7) видно, що найбільший вплив на величину бризгоуносу надає діаметр отворів d_0 , меншою мірою швидкість рідини U_p і незначна швидкість газу U_Γ , найбільш впливова щільність рідкості ρ_p , меншою мірою впливає величина поверхневого натягу рідини σ , оскільки чим вище σ , тим необхідно витратити більше енергії на утворення вторинних крапель.

У зазначених межах зміни параметрів відхилення експериментальних значень від розрахункових вбирається у 10%, тому рівняння (2.7) може бути рекомендовано для інженерної практики.

Аналіз отриманих результатів дозволив зробити такі висновки:

1. Частота обертання транспортуючого циліндра приймається з умови:

$$U_{ок} = \omega \cdot R_p \geq 3,14, \quad (2.8)$$

де R_p – радіус транспортуючого пристрою, м.

Дотримання цієї умови забезпечить підйом рідини з бункера на необхідну висоту до диспергуючих отворів.

2. Діаметр диспергуючих отворів слід приймати за умови запобігання забиванню отворів в діапазоні $d_0 = (1,4 \dots 2,5) \cdot 10^{-3}$ м.

Зі збільшенням діаметра отворів диспергуючих величина бризгоуносу зростає. Але при виборі d_0 необхідно враховувати швидкість розчинення уловлених частинок пилу, тобто при вловлюванні погано розчинних і нерозчинних частинок

пилу слід вибирати більший d_0 .

3. Швидкість обертання циліндра, що транспортує, необхідно примінити з умови мінімально можливої, з погляду зниження впорскування та надійності роботи апарату, в діапазоні $U_{ок} = 3,1 \dots 3,2$ м/с.

Частота обертання циліндра, що транспортує, істотно впливає на величину впорскування – зі збільшенням частоти обертання винесення зростає.

При виборі верхнього граничного навантаження газу слід враховувати, що питомі енерговитрати переважно витрачаються на подолання опору апарату, оскільки витрати енергії на обертання ротора незначні. Тому величина гідравлічного опору РРП має перевищувати опору аналогічних апаратів.

З точки зору величини впорскування, як одного з параметрів, що визначають верхнє граничне навантаження РРП по газу, досліджена конструкція забезпечує широкий діапазон навантажень по газу. При $n = 800$ і 1000 об/хв швидкість газу $3,78$ м/с не є граничною і може бути суттєво збільшено. Це свідчить про перспективність досліджуваної конструкції. Аналізуючи отримані дані, можна дійти невтішного висновку, що подальше вдосконалення конструкції апарату можливе з допомогою зниження величини впорскування e зниження енерговитрат на подолання ΔP_0 .

2.3 Рекомендації щодо вибору діапазону навантаження роторного розпилювального пиловловлювача

При виборі верхнього граничного навантаження газу слід враховувати, що питомі енерговитрати переважно витрачаються на подолання опору апарату, оскільки витрати енергії на обертання ротора незначні [15, 17]. Тому величина гідравлічного опору РРП має перевищувати опору аналогових апаратів.

З точки зору величини впорскування, як одного з параметрів, що визначають верхнє граничне навантаження РРП по газу, досліджена конструкція забезпечує широкий діапазон навантажень по газу.

При $n = 800$ та 1000 об/хв швидкість газу $3,78$ м/с не є граничною і може бути

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

суттєво збільшена. Це свідчить про перспективність досліджуваної конструкції.

Відповідно до рекомендацій відносний впорскування не повинен перевищувати 0,1 кг/кг [12, 14]. Якщо прийняти гранично допустиму величину впорскування рівну 0,1 кг/кг, екстраполірую рівняння (2.7) отримаємо верхнє граничне навантаження по газу, $U_g \leq 10,12$ м/с. Однак винесення рідини з пиловловлювача явище небажане, тому в кожному конкретному випадку величина допустимого винесення вибирається з умов виробництва, часто встановлюються виносні ємності - сепаратори.

При вдосконаленні даної конструкції апарату доцільно розробити заходи щодо зниження гідравлічного опору за рахунок:

1. Зменшення діаметра транспортуючого циліндра, щоб збільшити вільну площу для проходу газу;
2. Підвищення вентиляційного ефекту за рахунок збільшення числа розпилювальних отворів і геометрії їх розташування по поверхні циліндра;
3. Використання краплевідбійника, переваги якого підтверджено експериментально.

2.4 Висновки до розділу

1. Досліджено вплив основних параметрів на величину впорскування і гідравлічних опорів в РРП.
2. Отримано розрахунково-статистичні моделі для визначення брызко-винесення та гідравлічних опорів у РРП придатні для інженерної практики.
3. Запропоновано рекомендації для визначення верхнього граничного навантаження по газу та удосконалення РРП.

3 МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ РОТОРНОГО РОЗПИЛЮВАЛЬНОГО ПИЛОВЛОВЛЮВАЧА

3.1 Опис експериментальної установки

Відповідно до мети та завдань дисертації дослідження виконувались на експериментальній установці (рис. 3.1), головним елементом якої є РРП. В основі створення установки лежать методичні рекомендації з проблем пиловловлення [20].

Установка складається з: 1 роторний розпилювальний пиловловлювач діаметром 0,25 м з транспортуючим циліндром діаметром 0,075 м; 2 вхідний повітропровід; 3 вивідний повітропровід; 4 канал для вирівнювання статичного тиску; 5 U-подібний водяний манометр; 6, 7 комбінована трубка Піто-Прандтля; 8 мікроманометр; 9 дозатор пилу; 10 пилозабірна трубка; 11 тахометр; 12 краплеуловлювач; 13 мірний циліндр; 14 бленда; 15 цикл пилоосаджувальний; 16 витяжний вентилятор; 17 вентилятор ВВС; 18 повітродувка; 19 засувка; 20 вентиль. Система аспірації газу через апарат містить: вентилятори 16, 17; газопроводи 2, 3; набір змінних бленд 14. Як газ використовувалося повітря при температурі $18 \pm 2^\circ \text{C}$.

Сепаратор 12 являє собою ємність квадратного перерізу, виконану з нержавіючої сталі. Патрубки для подачі та відведення газу розташовані на одній осі. У напрямку руху газо-рідинної суміші розташована вертикальна пластина, приварена до кришки сепаратора. У днищі сепаратора є патрубок для відведення уловленої рідини.

РРП (рис. 1.4) містить сепаратор 3, що представляє горизонтальну тарілку з газоходами, площа яких для проходу газу становить 35 % від площі перерізу РРП. У газоходах під кутом 20° до горизонту встановлені напрямні лопатки. Над газоходами на висоті 60 мм встановлений диск. Через війну газовий потік виводиться корпус РРП. Відділення крапель з повітряного потоку здійснюється в сепараторі за рахунок дотику потоку з елементами конструкції та багаторазової зміни напрямку руху повітря. Вловлена рідина зливається через щілинні отвори біля стінки РРП.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Крильчатка-сепаратор (поз. 4 рис. 1.4) має висоту 30 мм і містить 6 лопастей, кожна з яких і двох частин. Нижня встановлена під кутом 20° до горизонту, а верхня – горизонтально. Діаметр крильчатки 205 мм. Верхня пластина лопаті є частиною сектора кола діаметром 205 мм з максимальною шириною 20 мм. Краплі рідини виділилися на лопатях крильчатки – сепаратора за рахунок відцентрової сили відкидаються на корпус. Крильчатка – сепаратор закріплена у верхній частині циліндра, що транспортує, над розпилюючими отворами.

Всі деталі установки, що стикаються з повітрям, рідиною та продуктом, виготовлені з нержавіючих марок сталей і спеціальних пластмас.

3.2 Методики проведення експериментальних досліджень

Робота на установці здійснюється в такий спосіб. Через вентиль 20 РРП 1 подавалася вода з температурою $18 \pm 2^\circ\text{C}$, надлишки води зливались через патрубок розташований на корпусі РРП. РРП забезпечений вентилем для регулювання подачі рідини.

РРП працює наступним чином. Газ вводиться в апарат за патрубком, встановленим тангенціально до корпусу. Відбившись від шару рідини в бункери і зберігаючи закручений рух, газ рухається вгору, стикається з плівкою робочої рідини, що стікає по корпусу.

Основний контакт між газом, що очищається, і рідиною здійснюється в зоні диспергування останньої через розпилюючі отвори. Тут газ рухається слідом за струменями і краплями, утвореними при диспергуванні робочої рідини транспортуючим циліндром. В апараті газ контактує як з краплями і струменями рідини у смолоскипі розпилу, так і з плівкою рідини на поверхні пластин пристінного краплевідбійника і внутрішньої поверхні корпусу

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки апарату

Пройшовши факел розпилю газ за допомогою крильчатки-сепаратора частково звільняється від крапель робочої рідини і надходить у сепаратор для наступного відділення крапель і далі виводиться з РРП по патрубку, встановленим щодо корпусу. З вище сказаного можна дійти невтішного висновку, що і рідина у смолоскипі розпилю рухаються за умов близьких до прямого руху. Газ потрапляє в зону розрядження, що створюється струменями і краплями рідини, що рухаються в тому ж напрямку.

Пристінний краплевідбійник (на рис. 3.1 не показаний) є набором пластин, вертикально встановлених на висоту факела розпилю. Пластини виготовлені з нержавіючої сталі та встановлені під кутом 15-20° до дотичної, проведеної до кола розпилювача, з кроком, у 2 рази більшим за їх ширину. В результаті цього краплі факела розпилю (первинні) щодо вдаряються об поверхню пластин і їх енергія витрачається в основному на ковзання по пластинках і перемішування плівки рідини на них, а не на дроблення на дрібні (вторинні) краплі, як при прямому ударі.

Робоча рідина заливається в бункер, необхідний її рівень підтримується за допомогою переливного патрубка. Рідина з бункера забірним пристроєм за допомогою циліндра, що транспортує, піднімається до розпилюючих отворів і за

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рахунок відцентрової сили диспергується на струмені і краплі, утворюючи факел розпилу. У верхній частині диспергуючого пристрою розміщувалися в шість рядів у шаховому порядку з кроком $t_{oc} = t_{ок} = 2,5d_0$ отвори діаметром $d_0 = 1,4...2,5$ мм.

РРП умовно можна як один контактний елемент з 5 змінними перфорованими циліндрами. Параметри змінних циліндрів наведено у таблиці 3.1 (див. рис. 3.2).

Рисунок 3.2 – Ділянка розгортки перфорованого циліндра

Таблиця 3.1 – Параметри змінних перфорованих циліндрів

Параметр, d_0 мм	Діаметр циліндра, d мм	Довжина, L мм	Відстань між отворами $t_{oc} = t_{ок}$ мм	Число отворів у ряді, $K_{окр}$	Загальна кількість отворів, $K_{заг}$	Сумарна площа отворів, $F_{отв}$ м ²
$d_0=1,4$	78	245	2,61	94	658	0,001
$d_0=1,7$	78	245	3,14	78	546	0,0012
$d_0=2,0$	78	245	3,8	64	448	0,0014
$d_0=2,2$	78	245	4,5	55	385	0,0015
$d_0=2,5$	78	245	5	49	343	0,0017

Відбившись від пластин краплевідбійника, робоча рідина у вигляді плівки стікає по внутрішній поверхні корпусу в бункер, звідки знову подається на диспергування. Підживлення рідини до заданого рівня компенсує втрати випаровування, винесення зі шламом тощо. Підживлення свіжою рідиною можливе як періодичним, так і безперервним способами. Відповідно шлам з апарату відводиться періодично чи безперервно.

У дозатор 9 завантажувався попередньо подрібнений до заданих розмірів продукт. Дозатор попередньо тарували для кожного модельного пилу, необхідна подача регулювалася зміною частоти обертання шнека. Дозатор виконаний у

вигляді металевого бункера з похилими стінками. Верхня частина дозатора оснащена воружником. У нижній частині дозатора розташовується циліндричний канал з вікнами, яким рухається шнек. Конструкції шнеків мають різні геометричні параметри. Рух шнека та воружителя здійснюється від електродвигуна постійного струму марки ПЛО-72, через триступінчасту передачу.

Привід дозатора дозволяв регулювати його продуктивність у межах як заміною шнека, а й регулюванням його частоти обертання шляхом зміни напруги з допомогою ЛАТРа. Контроль частоти обертання здійснювався візуально, шляхом підрахунку числа обертів валу воружителя, який обертався у 7, 8 разів повільніше. Потім бункер живильника заповнювався пилоподібним продуктом, який протягом 5-7 хвилин ретельно і багаторазово перешивався воружителем без подачі в трубопровід 2. Це проводилося для запобігання утворенню агломератів і зниження насипної щільності продукту в бункері. Пил з дозатора 9 у трубопровід 2 надходить спеціальною течкою.

Потім включали двигуни, які приводив у рух вентилятори 16 і 17 для подачі повітря через РРП. Задана подача повітря встановлювалася за допомогою змінних блендів 14, в центрі яких є отвір. Комбінована трубка Піто-Прандтля 6 застосовувалася для вимірювання повного напору і швидкості повітряного потоку в повітроводі 3. За величиною напору та швидкості газового потоку визначали витрату повітря.

Потім проводили запуск електродвигуна постійного струму, марка 2ПН-112, приводу РРП, який з'єднаний через клинопасову передачу з валом розпилювача. За допомогою тахометра 11, типу ТЕ-45, клас точності 0,5, встановлювалася необхідна частота обертання розпилювача. Тахометр через гнучкий вал з'єднаний із валом РРП. Амперметр і вольтметр дозволяють постійно контролювати напругу і силу струму в ланцюзі. При досягненні необхідної подачі пилу живильником, починали відбір повітря за допомогою пилозабірної трубки 10, яка безпосередньо з'єднана з пилоосаджувальним циклоном 15. Пило-осаджувальний циклон був встановлений у трубопроводі, через який повітря забиралося з повітроводу 3 за допомогою повітрорудки 18. Пилозабірна трубка виготовлялася згідно з рекомендаціями

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гінцветмету [20, 21]. У пилеосаді-тельном циклоні 15 встановлювалася фільтрувальна перегородка, яка затримувала частинки пилу не уловлені в апараті. Фільтрувальна перегородка є фільтрувальною тканиною марки АФА ВП 20-1, укладеною на сітку з розміром осередку 3×3 мм виконану з нержавіючої сталі. Перед початком роботи трубопровід перевірявся на герметичність.

Витрата робочої рідини (води) приймали мінімально достатньою для задовільної роботи пиловловлювача, так як кількість робочої рідини в бункері не впливає на ефективність пилеочищення. У попередніх дослідженнях було встановлено, що витрата робочої рідини має бути не менше $L_p \geq 1,5 \cdot 10^{-5} \text{ м}^3/\text{с}$ при цьому зі зливного патрубку безперервно приділяється незначна частина робочої рідини. Після виведення установки на режим (5-15 хв.) робили підрахунок сумарної кількості віднесеної рідини за допомогою мірного циліндра марки 1-1000-2 ГОСТ 1770-74 (поз. 13). Мірний циліндр являє собою скляну посудину з нанесеними на зовнішній стінці поділками, що вказують обсяг мілілітрів. Похибка щодо обсягів рідин з допомогою циліндра лежить у межах 1-10%. Для підвищення точності вимірювань проводилося не менше 5 з наступним усереднення результатів. Час кожного виміру контролювався ручним секундоміром з точністю до 0,1 секунди. Тривалість одного виміру становила 1/10 хвилин, в залежності від кількості віднесеної рідини.

Як фільтр використовували аналітичний аерозольний фільтр АФА ВП 20-1 (ТУ 95 1892-89) призначений для визначення вагової концентрації аерозолів. Основу даного фільтра становить фільтруюче полотно Петрянова, що складається з волокнистого матеріалу, в ньому використовується ефект електростатичного тяжіння частинок аерозолі до заряджених волокон фільтра. Фільтр характеризується високою ефективністю уловлювання та визначення вагової концентрації аерозолів. Даний фільтр дозволяє ефективно вловлювати аерозоль різного дисперсного та хімічного складу.

Діапазон змін концентрацій пилів ставився виходячи з вимог норм ГДК для кожного продукту і відповідав 2,5-10 мг/м³ [19, 112].

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Було попередньо проведено підготовку до відбору проб пилу. Вибрано ділянку вихідного газоходу, місце для встановлення штуцера, в якому буде знаходитись пилозабірна трубка під час відбору. Були визначені статичний натиск у перерізі газоходу, швидкість газу тих точках, де передбачався відбір пилу до розрахунку діаметра отвори наконечника пилозабірної трубки. Ці заходи узгоджувалися з рекомендаціями, викладеними у літературі [20].

Після закінчення кожного виміру все обладнання ретельно очищали. Вловлений пил спільно з фільтром поміщали в ексикатор з постійною вологістю не менше ніж на добу. Для визначення кількості уловленого пилу зважували фільтр до і після експерименту і з різниці знаходили кількість уловленого продукту. Зважування проводили на аналітичних вагах ВЛР-200 з точністю до 0,15 мг, клас 2. Розрахунок ефективності пиловловлення проводили згідно з рекомендаціями, викладеними в літературі [20, 21].

Під час проведення експерименту параметри ретельно контролювались і підтримувалися постійними. Всі серії дослідів для зменшення похибки, що вноситься в результат експерименту фактором часу, повторювалися в різний час.

З метою економії дорогих пилоподібних продуктів (сухе молоко, лактоза та цукровий пил) використовували дробово-факторний експеримент типу $2 \cdot k - 1$. Кількість дослідів при цьому визначили $N = n^{k-1}$, де n – кількість рівнів ($n = 2$), до – кількість факторів ($k = 4$). При роботі на вугільному пилу реалізована методика повно-факторного експерименту, щоб більш повно встановити вплив всіх комбінацій факторів планування на процес пиловловлення і кількість дослідів визначалося за формулою $N = n^k$, де n – кількість рівнів ($n = 2$), $k = 4$ – кількість факторів.

Матриця планування експерименту наведено у Додатку А.

Перевірку правильності побудови матриці планування та порядок виконання експериментів проводили за відомою методикою.

Методика вимірювання гідравлічного опору РРП полягала у вимірі різниці статичного тиску на вході і виході з апарату. Вимірювання тисків та їх різниці

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проводили за допомогою U-образних водяних манометрів з похибкою 2 %. Тиск відбиралося з каналу, що поєднує дренажні отвори, які рівномірно розподілені по колу повітровою. При цьому змінювалися параметри в таких межах $t_{окр}$ і осьовим $t_{ос}$ кроком $t_{окр} = t_{ос} = 2,5d_0$, отвори розташовані в 6 рядів у шаховому порядку; швидкість газу в апараті $U_g = 1...3,8$ м/с; частота обертання розпилювача задавалася з умов його стійкої роботи $n = 800...1000$ об/хв, що забезпечувало швидкість закінчення рідини в межах $U_g = 3,14...4$ м/с. Експерименти виконані на системі повітря - вода за нормальної температури $18 \pm 2^\circ \text{C}$.

Дослідження гідравлічних опорів РРП проводилося у два етапи. Перший етап: дослідження опору неорошаемого РРП (без подачі рідкості, як із нерухомому розпилювачі, і при обертанні його з різною частотою). На другому етапі вимірювали повний опір зрошуваного РРП за різних параметрів. Швидкість обертання розпилювача задавалася з умов стійкої роботи РРП та регулювалася за допомогою тахометра 11, типу ТЕ-45, клас точності 0,5.

При дослідженні впорскування використали сепараційний метод визначення кількості віднесеної рідини – за допомогою виносного інерційного сепаратора. Цей метод досить простий і надійний і широко застосовується в експериментальних дослідженнях та на виробництві.

Для визначення ефективності роботи РРП використовувалися модельні пилю із середньомедіанним розміром частинок менше 2 мкм. Для отримання таких пилю вихідні матеріали пропускали 3-10 разів, в залежності від властивостей через вібраційний млин МВ-60 з робочими органами у вигляді стрижнів.

Як модельні продукти були прийняті – пил сухого молока, знятого з рукавних фільтрів, як добре змочуваний і розчинний пил; погано змочується вугільний пил, для розширення області експерименту використовували лактози пил і цукровий пил.

Вибір пилю заснований на тому факті, що при порівняно великому обсязі виробництва сухого молока, лактози та цукру втрати продукту в навколишнє середовище становлять 4 % від продуктивності сушарки, але можуть досягати значно більших величин [11].

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						46
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дисперсний склад пилів визначався методом оптичної мікроскопії з подальшою обробкою мікрофотографій згідно з методикою викладеною в літературі [20]. На біологічному мікроскопі Levenhuk 40L NG забезпеченому цифровою камерою DCM310 проводилося фотографування. Обробка фотографій здійснювалася на ЕОМ. Мікроснімки представлені в Додатку (ДОДАТОК Б).

Вугільний пил погано змочується водою, а також легше піддається подрібненню до дрібнодисперсних фракцій, що дозволяє розширити область експерименту, оскільки пил сухого молока, пил лактози і цукровий пил добре змочуються.

Досліди проводилися в зимовий час, а для даного регіону виробництво лактози доцільно здійснювати влітку. Сертифікат відповідності наведено в ДОДАТКУ В

Гранулометричний склад пилів після додаткового подрібнення товарного продукту представлений у таб. 3.2.

Таблиця 3.2 – Гранулометричний склад пилу

Вид пилу	Склад частинок пилу (у % від загальної кількості)							Середній розмір частинки, d_0 мкм
	<1мкм	2 мкм	3 мкм	4 мкм	5 мкм	6 мкм	7 мкм	
Вугільний	65	13	4	3,5	2	~1	~1,5	1,4
Цукровий	70	15	1	3	1	-	-	1,9
Лактозний	96,3	3,5	0,2	-	-	-	-	1,3
Сухе молоко	81	7	6	2,7	2	-	1,3	1,9

Фізико-хімічні характеристики робочих рідин представлені в таблиці 3.3 (щільність, ρ_p , кг/м³; в'язкість, $\mu_p \cdot 10^{-3}$, Па·с; поверхневий натяг, $\sigma_p \cdot 10^{-3}$, Н/м).

Таблиця 3.3 – Фізико-хімічні характеристики робочих рідин

Вид пилу	ρ_p кг/м ³	$\mu_p \cdot 10^{-3}$ Па·с	$\sigma_p \cdot 10^{-3}$ Н/м
Вугілля	1008	1,34	68,53
Сухе молоко	1028	1,95	64,75
Лактоза	1030	2,01	68,61
Цукор	1007	1,2	73,1

Методики виміру фізико-хімічних характеристик робочої рідини такі: в'язкість – капілярним візкозиметром типу ВПЗ-3 з допустимою похибкою

визначення 0,3 %; щільність – пікнометричним методом, похибка якого вбирається у 0,1 %; поверхневий натяг – методом академіка Ребіндера [92], похибка якого не перевищує 2 %. Так як методики вимірювань забезпечують високий відсоток достовірності отриманих результатів, то число повторів кожної серії експериментів обмежувалося двома, в різний час.

Дані методики набули найбільшого поширення в експериментальних дослідженнях, оскільки мають достатню точність при необхідному числі повторних вимірювань, а також є відносно простими. У попередніх дослідженнях щодо визначення ефективності пилоочищення, відзначалася висока відтворюваність результатів, тому число повторень експериментів обмежувалося двома, що здійснюються у різний час. Розходження між вимірами не перевищувало 0,01%, тому для розрахунку були прийняті середні значення двох вимірів.

Фізико-хімічні властивості робочих рідин вимірювалися одночасно з відбором повітря через фільтр у циклоні, поз. 15.

3.3 Висновки по розділу

1. Розроблена експериментальна установка та застосовувані методики та приладова база забезпечують достовірність одержуваних результатів з похибкою прийнятною для практичних розрахунків.

2. Обґрунтовано вибір продуктів для отримання модельних пилів, визначено дисперсний склад пилів із середньо-медіанним розміром частинок менше 2 мкм.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						48
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4 РЕЗУЛЬТАТИ ЕКСПЕРЕМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Аналіз механізмів пиловловлювання на різних стадіях в роторному розпилювальному пиловловлювачі

В результаті аналізу літературних даних було виявлено основні механізми осадження зважених частинок: відцентрове осадження твердих частинок пилу при тангенційному введенні газу в апарат; краплі та струмені у смолоскипі розпиленої рідини та плівка, що утворилася в результаті удару крапель об стінки апарату.

За механізмами пиловловлення в РРП можна виділити такі зони:

1. У конічному бункері переважає відцентрове осадження твердих частинок, і навіть механізм зачеплення частинок друг з одним.
2. У смолоскипі розпиленої рідини переважає інерційне пилоосадження.
3. На стінках корпусу РРП переважає осадження зважених частинок на плівку рідини, яка утворюється при досягненні крапель і струменів корпусу РРП.

Розглянемо докладніше механізми осадження частинок.

При осадженні частинок пилу зачепленням розмір часток відіграє важливе значення при захопленні за рахунок торкання частинкою поверхні тіла, що обтікається. Якщо знехтувати інерційними ефектами і вважати, що частка точно слідує у відповідності з лініями струму, то частка осаджується не тільки в тому випадку, коли її траєкторія перетнеться з поверхнею тіла, але і у разі перетину лінії струму на відстані від поверхні тіла, що дорівнює її радіусу. Таким чином, ефективність зачеплення вище нуля і тоді, коли інерційне осадження відсутнє. Ефект зачеплення характеризується параметром, який є відношенням діаметрів частинки d_q і обтіканого тіла d_m .

При потенційному обтіканні кулі (при прагненні радіусу частинки R до 0) ефективність зачеплення дорівнює:

$$\eta_r = (1 + R^2) - \frac{1}{1 + R} \approx 3R, \quad (4.1)$$

для циліндра:

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\eta_r = (1 + R^2) - \frac{1}{1 + R} \approx 2R. \quad (4.2)$$

У разі коли значення інерційних ефектів велике і траєкторії осідають частинок прямолінійні, ефективність зачеплення для кулі дорівнює:

$$\eta_r = (1 + R^2) - 1 \approx 2R, \quad (4.3)$$

для циліндра:

$$\eta_r = R. \quad (4.4)$$

У зв'язку з чим ефективність механізму зачеплення при потенційному обтіканні кулі знаходиться в діапазоні $2R - 3R$, а для циліндра $R - 2R$.

Ефективність осадження за рахунок торкання при в'язкому обтіканні циліндра дорівнює:

$$\eta_r = \frac{R^2}{2 - \ln Re}, \quad (4.5)$$

$$\eta_r = R^2 \cdot R^{0,0625}. \quad (4.6)$$

З наведених вище рівнянь випливає: ефект зачеплення стає значним при осадженні частинок на сферах із малим діаметром. При цьому осадження частинок залежить від швидкості газів, а залежить від режиму течії газу.

Ефективність осадження частинок зачепленням на тілі, що обтікається, може бути представлена і в критеріальній формі:

$$\frac{Stk}{Re_e} = \frac{d_u^2 \cdot \rho_u}{d_m^2 \cdot \rho_r} = const, \quad (4.7)$$

де $Re_m = \frac{d_u \cdot v_r \cdot \rho_r}{\mu_r}$ – критерій Рейнольдса для обтіканого тіла.

Отже, η_R можна представити у вигляді функції:

$$\eta_R = f \cdot \left(Stk; \frac{Stk}{Re_e} \right). \quad (4.8)$$

У мокрому пиловловленні відцентровий метод осадження використовується при осадженні частинок на поверхні мішура (наприклад, при барботажі).

Відповідно до закону Стокса, швидкість відцентрового осадження кульової

частки можна розрахувати, прирівнюючи відцентрову силу F_{ω} Н, що розвивається при обертанні газового потоку, силі опору середовища:

$$F_{\omega} = m_{\omega} \cdot \frac{V_{\omega}^2}{r}, \quad (4.9)$$

де m_{ω} – маса частинки, кг;

V_{ω}^2 – швидкість обертання газу, м/с;

r – радіус обертання газу, м.

Швидкість осадження частинок (в галузі дії закону Стокса) визначається за формулою:

$$\eta_R = f\left(Stk; \frac{Stk}{Re_e}\right). \quad (4.10)$$

Аналізуючи вирази (4.10) можна дійти невтішного висновку, що швидкість осадження зважених частинок у відцентрових пиловловлювачах прямо пропорційна квадрату діаметра частки. При цьому швидкість відцентрового осадження більше швидкості гравітаційного осадження в v_{ω} / v_g раз.

Згідно з виразом (4.10) швидкість відцентрового осадження дорівнює відношенню відцентрової сили, що діє на кульову частинку, до сили опору середовища:

$$\omega = \frac{F_{\omega}}{F_c} = \frac{\pi \cdot d_{\omega}^3 \cdot \rho_{\omega} \cdot V_{\omega}^2}{6 \cdot r} / (3 \cdot \pi \cdot \mu_r \cdot d_0 \cdot V_{\omega}) = \frac{d_{\omega}^2 \cdot \rho_{\omega} \cdot V_{\omega}}{18 \cdot \mu_r \cdot r}, \quad (4.11)$$

де $\frac{d_{\omega}^2 \cdot \rho_{\omega} \cdot V_{\omega}}{18 \cdot \mu_r \cdot r}$ – критерій Стокса Stk_{ω} , в якому лінійний параметр r – радіус обертання газу.

Ефективність осадження частинок під дією відцентрової сили має вигляд:

$$\eta_{\omega} = f(Re; Stk_{\omega}). \quad (4.12)$$

При відцентровому осадженні частинок, крім відцентрових сил на частку впливають і гравітаційні сили. Теоретично згідно з теорією наближеного моделювання, ефективність відцентрового пиловловлення визначається не тільки критерієм Stk_{ω} , за однакових гідродинамічних умов:

$$\eta_{\omega} = f(\text{Re}; Stk_{\omega}; Fr) \quad (4.13)$$

Оскільки вплив критерію Fr невеликий, то ефективність пиловловлення визначається лише критерієм Стокса:

$$Stk_{\omega} = \frac{d_q^2 \cdot \rho_q \cdot V_r}{18\mu_r \cdot D_a}, \quad (4.14)$$

де V_r – швидкість газу на вході в апарат, м/с;

D_a – діаметр апарату, м.

Для розгляду механізму інерційного осадження частинок на краплях виділимо (рис. 4.1) елементарний обсяг факела. Масові витрати при проходженні частинками пилу через поверхні 1 q_{q1} та 2 q_{q2} відповідно дорівнюють:

$$q_{q1} = C_n \cdot \int_{R_{\varepsilon 1}}^{R_{\varepsilon 2}} U_{\varepsilon} \cdot H_p^c \cdot d \cdot R = C_n \cdot H_p^c \cdot U_{\varepsilon} \cdot (R_{\varepsilon 2} - R_{\varepsilon 1}), \quad (4.15)$$

$$q_{q2} = (C_n + dC_n) \cdot \int_{R_{\varepsilon 1}}^{R_{\varepsilon 2}} U_{\varepsilon} \cdot H_p^c \cdot d \cdot R = (C_n + dC_n) \cdot H_p^c \cdot U_{\varepsilon} \cdot (R_{\varepsilon 2} - R_{\varepsilon 1}), \quad (4.16)$$

де C_n – концентрація пилу, кг/м³;

$R_{\varepsilon 1}$ і $R_{\varepsilon 2}$ – внутрішній і зовнішній радіус газоходу, м;

H_p^c – висота елементарного об'єму, м.

Масова витрата під час проходження через поверхню 3 визначається за формулою

$$q_{q3} = \int_{R_{\varepsilon 1}}^{R_{\varepsilon 2}} M \cdot J \cdot \frac{d \cdot R}{U_k} = \frac{3 \cdot C_n \cdot Q_p^c \cdot \eta_{stk} (R_{\varepsilon 2} - R_{\varepsilon 1}) \cdot d \cdot \theta}{4 \cdot \pi \cdot d_k}, \quad (4.17)$$

де $M = C_n \cdot \pi \cdot \eta_{stk} \cdot d_k^2 \cdot U_k / 4$ – маса частинок пилу, уловлених однієї краплею;

η_{stk} – коефіцієнт захоплення при інерційному осадженні;

$J = \frac{6 \cdot Q_p^c}{\pi \cdot d^3} \cdot \frac{d \cdot \theta}{2 \cdot \pi}$ – число крапель диспергованих транспортуючим циліндром

елементарний об'єм в секунду;

θ – кут повороту газу при проходженні через шар, що диспергується, рад.

При цьому ефективність захоплення на краплях є функцією числа Стокса і

залежить від діаметра частки пилу, його швидкості та діаметра краплі рідини.

Середній діаметр краплі визначається за рівнянням:

$$d_{f,k} = f^{-k} \sqrt{\frac{\sum d_i^f \cdot n_i}{\sum d_i^k \cdot n_i}},$$

де f і k – числа, що залежать від способу опосередкування.

Ефективність інерційного осадження η_{stk} на сферичній краплі визначається:

$$\eta_{stk} = \left(\frac{K_{stk}}{K_{stk} + A} \right)^2, \quad (4.18)$$

де $K_{stk} = \frac{C_k \cdot V_d \cdot \rho_\delta \cdot \delta^2}{18 \cdot \mu \cdot d}$ – «параметр інерційного зіткнення» (критерій Стокса,

розрахований по діаметру краплі d_k швидкості частинок щодо краплі V_d ;

C_k – поправка Кенінгема-Мілікена, вводиться для частинок розміром 0,2-2,2 мкм, при $\delta > 1$ мкм, $C \approx 1$; $A = 0,35$ емпіричний коефіцієнт.

Всі частинки, що увійшли в елементарний об'єм через поверхню 1, повинні залишити його через поверхні 2 або 3. Вирішуючи спільно рівняння (4.14), (4.15) та (4.16), отримаємо :

$$\eta = 1 - \exp \left[- \frac{3 \cdot Q_p^c \cdot \eta_{stk}}{2 \cdot d_k \cdot U_\Gamma \cdot H_p^c} \cdot \frac{\theta}{2 \cdot \pi} \right], \quad (4.19)$$

де $\theta/(2 \cdot \pi)$ – кількість обертань запиленого газу при проходженні через факел розпиленої рідини:

$$\frac{\theta}{2 \cdot \pi} = \frac{H_p^c}{\pi \cdot (R_{e2} + R_{e1}) \cdot \operatorname{tg} \gamma}. \quad (4.20)$$

Вирішуючи спільно рівняння (4.19) та (4.20) отримаємо:

$$\eta_{in} = 1 - \exp \left[- \frac{3 \cdot Q_p^c \cdot \eta_{stk}}{2 \cdot \pi \cdot d_k \cdot U_\Gamma \cdot (R_{e2} + R_{e1}) \cdot \operatorname{tg} \gamma} \right]. \quad (4.21)$$

Рисунок 4.1 – Елементарний об'єм факела розпиленої рідини

Механізм визначення ефективності осадження в зоні удару досить складний, оскільки крім утворення турбулізованої плівки також утворюються вторинні краплі, які можуть уловлювати частки пилу. Враховуючи цей факт, була отримана залежність ефективності осадження в зоні удару

$$\eta_y = f \cdot \left(Re_p; Stk_u; \frac{H_p}{h_{cl}} \right), \quad (4.22)$$

де Stk_u – число Стоксу;

D_a – діаметр апарату, м;

Re – критерій Рейнольдса;

H_p / h_{cl} – геометричний симплекс, характеризуючий густоту факела, що розпорошується,

$h_{cl} = (6...7) \cdot t_{oc}$ – висота одного шару, що складається з шести рядів диспергуючих отворів, м.

Осадження зважених частинок на плівку рідини було розглянуто у роботі.

Дія різних сил на частинку пилу, підведену до поверхні рідини, показано на рис. 4.2.

Оскільки найбільший інтерес представляє переміщення частинки в перпендикулярному напрямку поверхні плівки напрямку, підсумовуємо дію всіх вертикальних складових цих сил:

Рисунок 4.2 – Рівновага частинки пилу на поверхні плівки рідини

$$F_y - \sigma \cdot l \cdot \sin \alpha - S_y \cdot h \cdot \rho_p \cdot g + (m_y - m_p) \cdot g = 0, \quad (4.23)$$

де l – довжина периметра змочування, м;

α – рівноважний кут, град;

S_y – площа частки на рівні трифазного кордону, м²;

h – різниця висот рівня рідини та периметра змочування, м;

m_p – маса витісненої частинкою рідини, кг;

θ і β – відповідно кут змочування і кут форми, град;

h – функція кута α , яка визначається формою поверхні рідини.

У міру зменшення розмірів тіла, що занурюється, ця форма наближається до циліндричної, значення якої визначається за формулою:

$$h = 2 \cdot \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_p \cdot g}} \cdot \sin \frac{\alpha}{2} \cdot \sqrt{\frac{r}{r + \sqrt{\frac{\sigma}{\rho_p \cdot g}}}}, \quad (4.24)$$

де r – радіус циліндра, м.

Аналізуючи рівняння (4.23) і (4.24), можна зробити висновок, що кут α зменшується зі зменшенням зовнішньої сили F_y і маси частинки. Для частинок, розміри яких за всіма трьома напрямками не перевищують 100 мкм, при $F_y = 0$ кут практично дорівнює 0 і відповідно $\theta - \beta = 0$.

Кут форми β для опуклих частинок може приймати як зазвичай малі значення тільки на верхній межі частинки або на верхній горизонтальній ділянці поверхні. Значення більше 90° він може приймати тільки на нижній грані або на нижній горизонтальній ділянці поверхні. Відповідно до вище сказаного добре змочуються частинки (кут θ дуже малий) плавають повністю занурені в рідину; незмочуються

частинки ($\theta > 90^\circ$) знаходяться в газовому середовищі; змочувана частка тоне при $\alpha = \theta_{\max}$. Зі збільшенням сили $F_{\text{ц}}$ кут α зростає до деякого максимального значення, після чого частка тоне в рідині. Для частки кубічної форми, що змочується, розміром менше 100 мкм сила визначається за формулою:

$$F_{\max} = 4 \cdot a \cdot \sigma \cdot \sin \theta_{\max}, \quad (4.25)$$

де a – сторона куба, м.

Кут змочування має два значення $\theta_{\max}$ і $\theta_{\min}$, залежно від напрямку переміщення трифазної межі, у бік газової або рідкої фази, відповідно.

$$A = \int_0^H F_{\text{ц}} \cdot d \cdot H, \quad (4.25)$$

де H – шлях, що проходить частинкою при її зануренні в рідину, м.

Для часток, що змочуються, невеликого розміру:

$$A = \frac{8 \cdot a \cdot \sigma \cdot c}{3} \cdot \left(1 - \cos^3 \frac{\theta_{\max}}{2} \right), \quad (4.27)$$

$$A = 4 \cdot a^2 \cdot \sigma \cdot \sin(\theta_{\max} - 90) + 1,72 \cdot a \cdot \sigma \cdot c. \quad (4.28)$$

Перериваючи роботу зануреної частинки і її кінетичну енергію, можна визначити мінімальну швидкість, з якої повинна вдаритися частка про поверхню рідини, щоб потонути в ній. Оскільки робота занурення в рідину кулі менша, ніж рівновеликого куба, то мінімальні швидкості, при яких частка почне тонути в рідині, будуть дещо меншими, ніж одержувані за наведеним вище розрахунком.

Вище розглянуто випадок при горизонтальному розташуванні плівки, а РРП плівка розташовується вертикально. Визначимо силу тяжкості та відцентрову силу для частинки кожного модельного пилу.

$$F_T = m_{\text{ц}} \cdot g, \quad F_{\text{ц}} = \frac{m_{\text{ц}} \cdot \omega_p^2}{r},$$

де $r = 0,125$ м – радіус апарата;

ω_p – швидкість рідини м/с.

Вугільний пил: $d_{\text{ц}} = 1,4 \cdot 10^{-6}$ м, $\rho_{\text{ц}} = 2,2 \cdot 10^3$ кг/м³, $F_T = 0,04 \cdot 10^{-6}$ Н,

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$F_{y1} = 0,4 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y2} = 0,45 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y3} = 0,5 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$$

Лактозний пил: $d_u = 1,3 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \rho_u = 1,02 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, F_T = 0,017 \cdot 10^{-6} \text{ Н},$
 $F_{y1} = 0,14 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y2} = 0,16 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y3} = 0,175 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$

Пил сухого молока: $d_u = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \rho_u = 1,03 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, F_T = 0,038 \cdot 10^{-6} \text{ Н},$
 $F_{y1} = 0,3 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y2} = 0,34 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y3} = 0,375 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$

Цукровий пил: $d_u = 1,9 \cdot 10^{-6} \text{ м}, \rho_u = 1,028 \cdot 10^3 \text{ кг/м}^3, F_T = 0,059 \cdot 10^{-6} \text{ Н},$
 $F_{y1} = 0,47 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y2} = 0,43 \cdot 10^{-6} \text{ Н}, F_{y3} = 0,59 \cdot 10^{-6} \text{ Н}.$

За наведеними вище даними, можна дійти невтїшного висновку, що силою тяжкості при розрахунках у першому наближенні можна знехтувати.

При товщині плівки перевищує поперечний розмір частинки, робота відриву частинки набагато більше роботи, необхідної для її занурення в шар рідини. Тому для запобігання вторинному винесення частинок газом після удару їх про вільну поверхню рідкої плівки товщина плівки повинна становити не менше 0,2-0,3 мм. Частка може повернутися в газовий потік, якщо при ударі вона зіткнеться з іншою частинкою, яка вже закріпилася в шарі рідини. Тому збільшення концентрації частинок призводить до зниження ефективності захоплення частинок плівкою, що стікає.

З урахуванням необхідної товщини плівки витрата рідини на утворення плівки може бути отримана за допомогою наведених нижче формул (залежно від режиму течії).

Значення середньої швидкості плівки по всьому поперечному перерізі шару рідини визначається з виразу:

$$V_{nl} = \frac{\rho_p \cdot g \cdot \delta_{nl}^2 \cdot \cos \beta}{3 \cdot \mu_p}, \quad (4.30)$$

де β – кут нахилу до вертикальної осі.

Товщина плівки визначається за однією з формул:

$$\delta_{nl} = \sqrt{\frac{3 \cdot \mu_p \cdot V_{nl}}{\rho_p \cdot g \cdot \cos \beta}} = \sqrt[3]{\frac{3 \cdot \mu_p \cdot V_p}{\rho_p \cdot g \cdot L \cdot \cos \beta}}, \quad (4.31)$$

де V_p – об'ємний витрата рідини, м³/с;

L – ширина плівки, м.

Експериментально було встановлено, що профіль швидкостей рідини в плівці є параболу, причому максимальне значення швидкості спостерігається на її поверхні.

Товщина плівки δ згідно з рекомендаціям визначається за формулою:

$$\delta \cdot \left(1 - \frac{\delta}{D_a}\right) = 0,135 \cdot \left(\frac{U_p}{g}\right)^{1/3} \cdot \text{Re}_{nl}^{7/12}, \quad (4.32)$$

де Re_{nl} – число Рейнольдса плівки;

D_a – діаметр РРП, $D_a = 0,25$ м;

U_p – швидкість рідини.

У таблиці 4.1 наведено результати розрахунку товщини плівки рідини при запиленні модельними пилами, визначеними за формулою (4.31).

Таблиця 4.1 – Товщина плівки

Вид пилі, парапараметри процесу		Число Рейнольдса плівки Re_{nl}	Товщина пленки δ мм,
Вугільний пил: $d_q = 1,4 \cdot 10^{-6}$ м, $\rho_p = 1008$ кг/м ³ , $\mu_p = 1,34 \cdot 10^{-3}$ Па/с	$U_p = 3,14$ м/с	3,3	0,29
	$U_p = 3,52$ м/с	3,7	0,33
	$U_p = 3,93$ м/с	4,14	0,38
Цукровий пил: $d_q = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м, $\rho_p = 1007$ кг/м ³ , $\mu_p = 1,2 \cdot 10^{-3}$ Па/с	$U_p = 3,14$ м/с	5	0,43
	$U_p = 3,52$ м/с	5,62	0,5
	$U_p = 3,93$ м/с	6,25	0,57
Пил лактози: $d_q = 1,3 \cdot 10^{-6}$ м, $\rho_p = 1030$ кг/м ³ , $\mu_p = 2,02 \cdot 10^{-3}$ Па/с	$U_p = 3,14$ м/с	2,08	0,2
	$U_p = 3,52$ м/с	2,34	0,21
	$U_p = 3,93$ м/с	2,6	0,24
Пил сухого молока: $d_q = 1,9 \cdot 10^{-6}$ м, $\rho_p = 1028$ кг/м ³ , $\mu_p = 1,95 \cdot 10^{-3}$ Па/с.	$U_p = 3,14$ м/с	3,15	0,27
	$U_p = 3,52$ м/с	3,53	0,3
	$U_p = 3,93$ м/с	3,93	0,36

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

Аналізуючи отримані дані (таб. 4.1) можна дійти невтішного висновку, що у всіх модельних пилах товщина плівки щонайменше рекомендованої величини 0,2 мм. Це свідчить про те, що вторинного винесення частинок газом після удару їх про вільну поверхню рідкої плівки не відбувається.

Відповідно до загальна ефективність пилеочищення в РРП може бути розрахована за формулою, що враховує разом кілька механізмів осадження:

$$\eta_0 = 1 - (1 - \eta_{in}) \cdot (1 - \eta_R) \cdot (1 - \eta_D) \cdot (1 - \eta_y), \quad (4.33)$$

де η_R – ефективність осадження за рахунок ефекту зачеплення;

η_D – ефективність дифузійного осадження.

Ефективність осадження за рахунок механізму зачеплення дорівнює

$$\eta_R = (1 + R^2) - \frac{1}{1 + R} \approx 3 \cdot R, \quad (4.34)$$

де d_q – діаметр частинки;

d_k – діаметр краплі.

Ефективність дифузійного осадження η_D дорівнює [126]:

$$\eta_D = \frac{2 \cdot \sqrt{2}}{(Re \cdot d_k)^{1/2}}, \quad (4.35)$$

де Pe – критерій Пекле;

U_r – швидкість газу, м/с;

I_K – визначальний лінійний параметр обтічного тіла;

D_4 – коефіцієнт дифузії частинки, м/с.

Визначення ефективності пилеочищення в промислових умовах дуже проблематично у зв'язку з низкою причин, таких як невраховані ефекти тертя, пульсацій і т.д. У зв'язку з чим більшість дослідників пропонують описувати ефективність як функцію витрат енергії на здійснення процесу очищення газу:

$$\eta = 1 - E^{B \cdot K_m^E}, \quad (4.35)$$

де B та E – коефіцієнти, що залежать від дисперсного складу пилу,

K_m – енергія зіткнення.

Одним із суттєвих недоліків рівняння (4.36) є відсутність у ньому параметрів, що характеризують геометричні розміри апарату, повітряного міхура або краплі рідини, оскільки йдеться про апарати з переважанням механізму інерційного осадження частинок, ефективність якого знаходиться у вигляді функціонального взаємозв'язку із числом Стокса.

Для визначення основного механізму пиловловлення в РРП визначимо чисельні значення ефективностей пилеочищення для всіх модельних пилів при різних механізмах уловлювання.

При осадженні частинок пилу зачепленням згідно з рекомендаціями ефективність уловлювання може бути визначена за формулою:

$$\eta_R \approx 2 \cdot \frac{d_u}{d_k},$$

де d_u – діаметр частинок пилу, м;

d_k – діаметр краплі, м.

Діаметр краплі визначається за однією з формул:

$$d_k = 19,7 \cdot We^{-0,5} \cdot d_0, \text{ при } We \leq 2000,$$

$$d_k = 30 \cdot U_p^{0,5} \cdot d_0 \cdot \mu_p^{0,25} \cdot \sigma^{0,25}, \text{ при } We \leq 2000.$$

де We – критерій Вебера.

Ефективність дифузійного осадження η_D дорівнює:

$$\eta_D = \frac{8}{3 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{2}{Re}},$$

де S_c – критерій Шмідта, для $d_4 = 1,4$ мкм, $S_c = 12,5 \cdot 10^5$, $d_4 = 1,3$ мкм, $S_c = 11,6 \cdot 10^5$, $d_4 = 1,9$ мкм, $S_c = 16,96 \cdot 10^5$.

Ефективність інерційного осадження η_{stk} на сферичній краплі визначається за формулою (4.18). При цьому критерій Стокса в перехідній області обтікання $0,2 < Re_u < 150$ дорівнює:

$$Stk^{0,5} = 1,25 \cdot Re_u^{-0,0685},$$

де C_k – поправка Кенінгема-Мілікена, для $d_4 = 1,4$ мкм, $C_k = 1,134$, $d_4 = 1,3$

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

мкм, $C_k = 1,053$, $d_4 = 1,9$ мкм, $C_k = 1,54$.

Число Рейнольдса частки визначається за такою формулою:

$$Re_u = \frac{d_u \cdot U_{\Gamma} \cdot \rho_z}{\mu_z},$$

Із раніше виконаних досліджень ефективність інерційного осадження може бути визначена за формулою:

$$\eta_{Stk} = 99,99744 \cdot Stk^{6,85 \cdot 10^{-6}}.$$

Ефективність пиловловлення визначалася за формулою:

$$\eta = \frac{G_{\Pi}}{V_{\Gamma} \cdot C_{\Pi}}.$$

Відповідно до формули (4.33), ефективність пилеоочищення в зоні удару крапель про краплевідбійники

$$\eta_y = 1 - \frac{1 - \eta_0}{(1 - \eta_{in}) \cdot (1 - \eta_R) \cdot (1 - \eta_D)}.$$

Згідно з літературними даними визначимо необхідні параметри для пилу лактози:

при $U_z = 0,59$ м/с; $Re_u = 0,054$; $Pe = 0,6264 \cdot 10^5$; $\eta_D = 0,005$;

при $U_z = 3,78$ м/с; $Re_u = 0,348$; $Pe = 4,04 \cdot 10^5$; $\eta_D = 0,0019$;

при $U_p = 3,14$ м/с; $d_0 = 1,4$ мм; $\eta_D = 0,0014$;

при $U_p = 3,14$ м/с; $d_0 = 2,5$ мм; $\eta_D = 0,001$;

при $U_p = 3,52$ м/с; $d_0 = 1,4$ мм; $\eta_D = 0,0015$;

при $U_p = 3,52$ м/с; $d_0 = 2,5$ мм; $\eta_D = 0,0011$;

при $U_p = 3,93$ м/с; $d_0 = 1,4$ мм; $\eta_D = 0,0017$;

при $U_p = 3,93$ м/с; $d_0 = 2,5$ мм; $\eta_D = 0,0013$;

при $U_z = 3,78$ м/с; $Re_u = 0,348$; $Stk = 1,81$; $\eta_{Stk} = 99,998$;

при $U_z = 0,59$ м/с; $Re_u = 0,054$; $Stk = 1,53$; $\eta_{Stk} = 99,997$;

при $U_z = 0,59$ м/с; $C_n = 5$ г/м³; $\eta_0 = 99,9981$;

при $U_e = 0,59$ м/с; $C_n = 10$ г/м³; $\eta_0 = 99,9982$;

при $U_e = 3,78$ м/с; $C_n = 5$ г/м³; $\eta_0 = 99,9982$;

при $U_r = 0,78$ м/с, $C_n = 10$ г/м³; $\eta_0 = 99,9983$.

З наведених розрахунків можна зробити висновок, що інерційний механізм осадження на краплях надає вирішальний вплив на загальну ефективність пиловловлення в РРП. Тому розрахунок ефективності осадження у зоні удару не доцільний.

4.2 Аналіз результатів дослідження процесу пиловловлення

При визначенні ефективності пилеочищення в роторному розпилювальному пиловловлювачі було здійснено ряд попередніх експериментальних досліджень.

Вивчено вплив окремих факторів на процес пиловловлення (частоти обертання розпилювача, концентрації пилу в повітрі, швидкості повітряного потоку та ін.). Результати показали високу ефективність РРП, у широкому діапазоні змін зазначених параметрів при уловлюванні частинок пилу розміром $1,9 > d_{50} > 1,3$ мкм.

Вихідним параметром, що характеризує результати експерименту, прийнята ефективність пилеочищення в апараті η , %.

Незалежними змінними (факторами), прийняті:

1. Діаметр отворів транспортуючого циліндра d_0 мм.
2. Окружна швидкість витікання рідини з отворів транспортуючого циліндра U_p м/с.
3. Концентрація пилоподібного продукту в повітрі, що надходить на очищення C_n .
4. Швидкість повітря в апараті U_e м/с.

Аналіз результатів попередніх досліджень та огляд літературних даних дозволили встановити область варіювання основних факторів:

$$d_0 = 1,4/2,5 \text{ мм}; U_p = 3,14/3,95 \text{ м/с};$$

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						62
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C_{\Pi} = 0,7/10 \text{ г/м}^3; U_{\Gamma} = 0,59/3,8 \text{ м/с}.$$

Ефективність пиловловлення визначалася за відомим виразом:

$$\eta = \frac{G_{\Pi}}{V_{\Gamma} \cdot C_{\Pi}}. \quad (4.37)$$

На рис. 4.3 представлена залежність ефективності пиловловлення від швидкості газу в апараті при різних діаметрах отворів, що диспергують, в циліндрі.

Математична обробка експериментальних даних методом найменших квадратів, дозволила отримати експериментально –

1 – ♦ – вугільний пил, $d_0 = 1,4 \text{ мм}$; 2 – • - цукор, $d_0 = 1,7 \text{ мм}$; 3 – ▲ – лактоза, $d_0 = 2,2 \text{ мм}$; 4 – ■ – сухе молоко, $d_0 = 2,5 \text{ мм}$

Рисунок 4.3 – Залежність ефективності пиловловлення від швидкості газу в апараті

Ефективність пиловловлення сухого молока $d_0 = 1,9 \text{ мкм}$ може бути визначена за формулою:

$$\begin{aligned} \eta = & 101,13 + 0,2 \cdot d_0 - 0,16 \cdot U_P + 0,297 \cdot C_n - 0,835 \cdot U_z - 0,12 \cdot d_0 \cdot U_P - \\ & - 0,052 \cdot d_0 \cdot C_n + 0,085 \cdot d_0 \cdot U_{\Gamma} - 0,092 \cdot x + 0,085 \cdot d_0 \cdot U_z - \\ & - 0,092 \cdot U_P \cdot C_n + 0,173 \cdot U_P \cdot U_z + 0,04 \cdot C_n \cdot U_z, \end{aligned} \quad (4.38)$$

де R^2 – коефіцієнт кореляції.

Аналізуючи рівняння (4.38) можна зробити висновок, що найбільший вплив на ефективність пиловловлення надає швидкість газу в апараті $U_z \text{ м/с}$. Зі збільшенням U_z ефективність апарату знижується (d_4 має знак «-»). Також істотний вплив на ефективність пиловловлювання надає діаметр отворів диспергуючого

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						63
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

пристрою і концентрація пилу в апараті, тобто зі збільшенням d_0 або C_n ефективність пилеочистки η збільшиться. Тому зміна діаметра отворів диспергуючого пристрою повинна бути узгоджено з концентрацією пилу в апараті та зі швидкістю повітря. Збільшення діаметра отворів призведе до зменшення поверхні контакту фаз, тому не слід приймати d_0 більше 2,5мм. Коефіцієнт при швидкості закінчення рідини (частоти обертання розпилювача), значно менше величин коефіцієнтів при d_0 , C_n і U_z це говорить про несуттєвий її вплив на ефективність пилеочищення, а також несуттєвий вплив ефектів парних взаємодій. Для досягнення високої ефективності очищення необхідно зменшити швидкість газу в апараті.

Цукровий пил ($d_{50} = 1,9$ мкм) добре розчинний у воді. Обробка результатів експериментів дозволила отримати рівняння:

$$\begin{aligned} \eta = & 100,2697 + 0,059 \cdot d_0 - 0,052 \cdot U_p - 0,009 \cdot C_n - 0,075 \cdot U_z - \\ & - 0,001 \cdot d_0 \cdot U_p - 0,0005 \cdot d_0 \cdot C_n + 0,02 \cdot d_0 \cdot U_z + 0,004 \cdot U_p \cdot C_n + \\ & + 0,0085 \cdot U_p \cdot U_z + 0,001 \cdot C_n \cdot U_z. \end{aligned} \quad (4.39)$$

Деяка зміна коефіцієнтів у рівнянні регресії пов'язана з відмінністю фізико-хімічних характеристик пилів, що уловлюються. Найбільший вплив на ефективність очищення також має швидкість газу в апараті U_z м/с. Зі збільшенням U_z ефективність апарату знижується d_4 має знак «-». Також істотно впливає на ефективність уловлювання пилу цукру надає діаметр отворів диспергуючого пристрою d_0 і швидкість закінчення рідини через диспергуючі отвори розпилювача U_p , тобто зі збільшенням d_0 ефективність пилоочищення знижується. Отже, зміна d_0 має бути узгоджена з U_p та U_z . Коефіцієнт при концентрації пилу в апараті C_n значно менше величин коефіцієнтів при d_0 , U_z і U_p це говорить про несуттєвий вплив на ефективність пилоочищення.

Коефіцієнт b_3 має знак «-», що дозволяє припустити, що з збільшенням C_n ефективність апарату знижується. Для досягнення високої ефективності очищення необхідно зменшити швидкість газу в апараті.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						64
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Пил лактози ($d_{50} = 1,3$ мкм) також добре розчинний у воді. Ефективність уловлювання частинок пилу лактози визначається:

$$\begin{aligned} \eta = & 100,05 + 0,12 \cdot d_0 - 0,6 \cdot U_p + 0,04 \cdot C_n - 0,85 \cdot U_z - \\ & - 0,2 \cdot d_0 \cdot U_p - 0,072 \cdot d_0 \cdot C_n + 0,086 \cdot d_0 \cdot U_z - \\ & - 0,01 \cdot U_p \cdot C_n + 0,13 \cdot U_p \cdot U_z + 0,07 \cdot C_n \cdot U_z. \end{aligned} \quad (4.40)$$

Найбільший вплив на ефективність очищення має швидкість газу в апараті U_z м/с. Зі збільшенням U_z ефективність апарату знижується b_4 має знак «-». Аналізуючи рівняння (4.40) можна дійти невтішного висновку, що ефективність пилоочищення прямо пропорційна концентрації пилу C_n і назад пропорційна швидкість закінчення рідини з отворів перфорованого циліндра $U_{ж}$. Тобто зі збільшенням C_n ефективність очищення збільшується, а з збільшенням ефективність знижується. Також для досягнення високої ефективності очищення необхідно зменшити швидкість газу в апараті. На ефективність пиловловлення в апаратах мокрого типу істотно впливає змочуваність пилу. У зв'язку з чим, для оцінки ефективності роботи РРП при уловлюванні незмочуваних пилів було обрано вугільний пил. Середньомедіанний діаметр вугільного пилу $d_{50} = 1,4$ мкм.

При математичній обробці даних ефективність уловлювання вугільного пилу має вигляд:

$$\begin{aligned} \eta = & 98,91 + 0,14 \cdot d_0 + 0,37 \cdot U_p + 0,059 \cdot C_n + 0,27 \cdot U_z - \\ & - 0,098 \cdot d_0 \cdot U_p + 0,008 \cdot d_0 \cdot C_n + 0,084 \cdot d_0 \cdot U_z - 0,02 \cdot U_p \cdot C_n - \\ & - 0,0965 \cdot U_p \cdot U_z - 0,007 \cdot C_n \cdot U_z. \end{aligned} \quad (4.41)$$

Найбільший вплив на ефективність очищення надає швидкість витікання рідини з отворів перфорованого циліндра U_p . Зі збільшенням U_p ефективність очищення також підвищується знак «+» у коефіцієнта b_2 . Також суттєвий вплив на ефективність пиловловлювання надає діаметр отворів диспергуючого пристрою d_0 і швидкість газу в апараті U_z , збільшення даних параметрів призведе до зростання ефективності очищення. Проводячи аналіз

Тільки коефіцієнтів, можна відзначити зниження ступеня впливу запиленості повітряного потоку на ефективність пиловловлення

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Математична обробка близько 300 результатів досліджень дозволила отримати узагальнене рівняння ефективності пиловловлення для всіх використаних пилів:

$$\begin{aligned} \eta = & 108,1 + 0,4 \cdot d_0 + 0,17 \cdot U_p + 0,09 \cdot C_n + 0,4 \cdot U_z - \\ & - 0,08 \cdot d_0 \cdot U_p + 0,08 \cdot d_0 \cdot C_n - 0,01 \cdot d_0 \cdot U_z - 0,04 \cdot U_p \cdot C_n - \\ & - 0,065 \cdot U_p \cdot U_z - 0,01 \cdot C_n \cdot U_z. \end{aligned} \quad (4.42)$$

З аналізу рівняння (4.42) випливає, що ефективність очищення прямо пропорційна d_0 та U_z . Судячи з величини коефіцієнтів при U_p і C_n дані параметри мають менший вплив на ефективність пиловловлення. Рівняння (4.42) можна рекомендувати для розрахункової практики у наступних діапазонах:

$$\begin{aligned} U_{an} = & 0,59 \dots 3,78 \text{ м/с}, U_p = 3,14 \dots 4 \text{ м/с}, d_0 = 1,4 \dots 2,5 \text{ мм}, \mu_p = (1,2 \dots 2,01) \cdot 10^3 \text{ Па}, \\ \rho_p = & 1007 \dots 1030 \text{ кг/м}^3, \sigma = (64,75 \dots 73,1) \cdot 10^3 \text{ Н/м}, d_q = 1,3 \dots 1,9 \text{ мкм}. \end{aligned}$$

Всі рівняння регресії відрізняються один від одного, що пояснюється різним дисперсним складом пилів та їх фізико-хімічними властивостями.

При дослідженні пилоочищення було встановлено, що в усьому діапазоні варіювання параметрів на всіх модельних пилах ефективність становила не менше 99,9 %.

Згідно з отриманими даними, подальше вдосконалення РРП доцільне з метою підвищення фракційної ефективності.

Для визначення ефективності мокрого пиловловлювання в РРП, був проведений додатковий експеримент на сухому апараті, який дозволив визначити скільки пилу вловлюється власне конструкцією апарату. Обробка експериментальних даних показала, що в незрошуваному апараті вловлюється до 10 % пилу, що зневажливо мало по відношенню до мокрого пиловловлювача і це можна знехтувати в подальших розрахунках.

В даний час існує достатня кількість мокрих пиловловлювачів близьких по конструкції. Порівняльна оцінка апаратів «микрою» очищення проведена в ряді робіт.

Скрубери Вентурі використовують у різних галузях промисловості, зокрема і

харчової. Вони здатні працювати при швидкостях газу 50 м/с і вище, забезпечуючи високоефективне вловлювання мікронних та субмікронних частинок пилу. Однак мінімальний гідравлічний опір їх при цьому становить 2 кПа.

Вартість такого апарату можна порівняти з ціною електрофільтра, що значно перевищує вартість інших апаратів «мокрого» типу. Циклони з водяною плівкою ЦВП відрізняються невеликими питомими енерговитратами і забезпечують ступінь очищення не менше 99% для пилу, що має розмір частинок понад 10 мкм, дрібніші частинки вловлюються лише на 90-95%. Для «микрої» пилоочищення економічно перспективні відцентрово-інерційні апарати із внутрішньою циркуляцією рідини та самозрошенням. Пилоуловлювач ГРБ, розроблений В.В. Варваровим, має ступінь очищення 98-99% і менший гідравлічний опір порівняно з ефективним пінім апаратом ГДП-М. Серед найбільш відомих «мокрих» апаратів для пилоочищення, що застосовуються за кордоном, слід відзначити комбінований тарілчастий пінний сепаратор з шаром гранул СДК, що містять поглинаючий матеріал (що уловлює краплі рідини). Цей шар гранул істотно підвищує ефективність сепарації тонкодисперсних частинок пилу.

Установки мокрого пиловловлення Я9-ЗМУ-1 освоєні вітчизняної промисловістю і на початку 90-х років поставлялися на підприємства, що виробляють сухі молочні продукти. Вони мають досить низький гідравлічний опір і, отже, невисокі питомі енерговитрати, проте за ефективністю пилоочищення дещо поступаються вже відомим апаратам. Конструкція РРП, яка при досить низькій щільності зрошення та невисокому гідравлічному опорі забезпечує не менше 99,9 % уловлювання частинок розміром 1,3 мкм при досить низьких питомих енерговитратах.

4.3 Висновки до розділу

1. Встановлено, що у всьому діапазоні варіювання параметрів на всіх модельних пилах з розміром частинок $1,9 \geq d_p \geq 1,3$ мкм ефективність становила не менше 99,9 % при безперервному відведенні шламу.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Отримано експериментально – статистичні моделі для визначення ефективності пилоочищення в РРП для використаних модельних пилов.

3. Встановлено, що основним механізмом осадження частинок пилу в досліджуваному РРП є інерційне осадження на краплях.

4. У результаті літературного огляду було встановлено, що досліджуваний РРП забезпечує ступінь очищення газів від частинок пилу розміром 1,3 мкм не менше 99,9 % при незначних питомих енерговитратах та невисокій щільності зрошення.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						68
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Охорона праці

Законодавство України про охорону праці – це система взаємопов'язаних нормативно-правових актів, що регулюють відносини у сфері соціального захисту громадян у процесі трудової діяльності. Воно складається з Закону України “Про охорону праці”, Кодексу законів про працю України, Закону України “Про загальнообов'язкове державне соціальне страхування від нещасного випадку на виробництві та професійного захворювання, які спричинили втрату працездатності” та прийнятих відповідно до них нормативно-правових актів. Базується законодавство України про охорону праці на конституційному праві всіх громадян України на належні, безпечні і здорові умови праці, гарантовані статтею 43 Конституції України. Ця ж стаття встановлює також заборону використання праці жінок і неповнолітніх на небезпечних для їхнього здоров'я роботах. Ст. 45 Конституції гарантує право всіх працюючих на 11 щотижневий відпочинок та щорічну оплачувану відпустку, а також встановлення скороченого робочого дня щодо окремих професій і виробництв, скороченої тривалості роботи у нічний час.

В Україні виникають щорічно тисячі важких надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, в наслідок яких гине велика кількість людей, а матеріальні збитки сягають кількох мільярдів гривень. Нині в багатьох областях України у зв'язку з небезпечними природними явищами, аваріями і катастрофами обстановка характеризується як дуже складна [22, 23].

Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях в умовах сільськогосподарського виробництва – важливе завдання, вирішення якого забезпечить нормальні умови праці працівниками сільського господарства. Це заходи по подальшому поліпшенню і оздоровленню умов праці, широкому впровадженню сучасних засобів безпеки, усуненню причин, що породжують травматизм, створенню на виробництві необхідних гігієнічних і санітарно-побутових умов [24].

					KPM.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						69
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Охорона парці в нашій країні охоплює заходи по подальшому полегшенні умов праці на основі механізації важких і шкідливих виробничих процесів, широкому впровадженню сучасних засобів охорони праці, усуненню причин, що породжують травматизм і професійні захворювання робітників. Вона тісно пов'язана з умовами праці [25].

Умови праці – характеризуються оціночними показниками мікроклімату, наявністю в робочій зоні шкідливих та небезпечних виробничих факторів, психофізичним та естетичними елементами діяльності працівників господарства

5.2 Екологічна експертиза

В процесі виробництва та змішування сипучих матеріалів в приміщеннях нагромаджується велика кількість пилу, який являє собою значну небезпеку відносно вибухів і пожеж, оскільки пило вітряна суміш в певній концентрації є дуже вибухонебезпечною. Найбільш вибухонебезпечною є суміш із розмірами частинок менше 70 мкм. Верхня межа вибухонебезпечної концентрації пилу, вище якої вибухи через недостатність кисню можливі, складає 2 кг/м^3 нижня межа, в залежності від виду пилу, складає $(7,6 \dots 271) \cdot 10^{-3} \text{ кг/м}^3$ [26].

Тому при виробництві та змішування сипучих матеріалів важливе значення має процес знепилення, що виключає негативний вплив на працюючих. Для забезпечення знепилення при проектуванні виробництва комбікормів необхідно:

- встановити кожухи, що запобігають виходу пилу з простору машин;
- використати на стрічкових конвеєрах глибокі жолобчасті підпори;
- закрити отвори в норіях спеціальними кришками;
- за герметизувати всі тріщини, щілини і отвори в бункерах;
- на вагах, де зерно вивантажується партіями, використати внутрішній перетік, замість аспірації;
- горизонтальні поверхні й виступи в робочих приміщеннях, галереях й навісах, які накопичують пил, слід встановити під нахилом;

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						70
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- вертикальні грубі стіни, на яких осідає пил, розгладити цементним розчином та пофарбувати емалевою чи епоксидною фарбою;
- підтримувати чистоту на робочому місці (товщина пилу не повинна перевищувати 0,3 мм – при цій товщині добре окреслюються відбитки взуття);
- встановити систему аспірації та інерційні циклони (тканинні фільтри), для вилучення пилу із повітря.

Також при виробництві та змішування сипучих матеріалів не менш негативним фактором для працюючих є шум та вібрація. Для виключення даних факторів, «шумні» машини необхідно:

- встановити на бетонному покритті з амортизованими опорами;
- розташувати на першому поверсі;
- використати гумові подушки;
- зробити канали мащення підшипників;
- постійно контролювати рівень мастила в редукторах.

При виробництві, в теплу пору року, утворюється значна кількість теплоти та вологи, яку необхідно вилучити із приміщення, для забезпечення необхідних санітарно-гігієнічних умов для працюючих. З цією метою необхідно скомпонувати вентиляційну систему в робочих приміщеннях [26].

Вібрація – загальнобіологічний шкідливий чинник, що призводить до фахових захворювань – віброзахворювань, лікування котрих можливо тільки на ранніх стадіях. Хвороба супроводжується стійкими порушеннями в організмі людини (опорно-руховий апарат, необоротні зміни в кістках і суглобах, зсуви в черевній порожнині, нервово-психічній сфері). Людина частково або цілком утрачає працездатність. По способі передачі на людину вібрація підрозділяється на загальну і локальну. Загальна - діє через опорні поверхні ніг на весь організм у цілому. Локальна - на окремі ділянки тіла. Загальну поділяють по характері передачі на: транспортну (при прямованні машин); транспортно-технологічну (при виконанні роботи машиною прямовання: кран, бульдозер); технологічну (при роботі механізмів і людина знаходиться поруч) [26].

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						71
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У автоматичних виробництвах захистом є дистанційне керування (виключає контакт). У неавтоматических виробництвах:

- Зниження вібрації в джерелах їхніх виникнень: підвищення точності опрацювання деталей; оптимізація технологічного процесу; поліпшення балансування.

- Відстрочка від режимів резонансу (збільшення жорсткості системи); вібродемпфірування (пружинні віброізолятори).

Поліпшення організації праці вібронебезпечних процесів: загальна кількість часу в контакті з віброобладнанням не повинно перевищувати зміни; одноразову дію не повинно перевищувати для локальної - 20 хвилин, для загальної - 40 хвилин.

5.3 Економічна ефективність розробки

Ціна нового апарату, що виготовляється на машинобудівному підприємстві, визначається [27]:

$$Ц = C + П + НДС, \quad (5.1)$$

де C – повна собівартість, грн.,

$П$ – прибуток (20% від собівартості), грн.,

$ПДВ$ – податку додану вартість (18% від собівартості), грн.,

$$Ц = 335218,11 + 67043,622 + 60339,26 = 462601 \text{ грн.}$$

Капітальні витрати на впровадження нового обладнання у виробництво визначається [27]:

$$K_{заг} = Ц + K_{мон}, \quad (5.2)$$

де $K_{мон}$ – витрати на монтаж, (15% від ціни нового обладнання), грн.,

$$K_{заг} = 462601 + 69390,15 = 531991,15 \text{ грн.}$$

Приріст прибутку визначатиметься за формулою:

$$\Delta П = Q \cdot \frac{K_{\partial} - K_n}{1000} \cdot A \cdot П_{к2}, \quad (5.3)$$

де Q – продуктивність апарату за годину, $Q = 29500 \text{ м}^3/\text{год.}$;

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						72
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

K_{∂} – концентрація пилу у викидах до впровадження апарату, г/м³;

K_n – концентрація пилу у викидах після впровадження апарату, г/м³;

A – кількість годин роботи на рік, $A = 736$;

$\Pi_{кз}$ – цінова прибуток із 1 кг продукції, 30 грн.

$$\Delta\Pi = 29500 \cdot \frac{0,24 - 0,024}{1000} \cdot 736 \cdot 30 = 140693,8 \text{ кг/год.}$$

Таблиця 5.1 – Витрата амортизаційних відрахувань та відрахувань на утримання обладнання

Найменування	Величина, грн.
Поточний ремонт та утримання обладнання та транспортних засобів	10006,9
Амортизація обладнання	50034,7
Разом	60041,61

Визначаємо умовно-річну економію за формулою [28]:

$$E_{yp} = \Delta\Pi - P, \quad (5.4)$$

де P – витрата амортизаційних відрахувань та відрахувань на утримання обладнання, грн.

$$E_{yp} = 140693,8 + 60041,61 = 80652,2 \text{ грн.}$$

Визначаємо термін окупності капітальних витрат за формулою [28]:

$$T_{ок} = \frac{K_{заг}}{E_{yp}}, \quad (5.5)$$

$$T_{ок} = \frac{531991,15}{80652,2} = 6,6 \text{ років.}$$

Визначаємо коефіцієнт економічної ефективності капітальних вкладень [28]:

$$K_{ef} = \frac{E_{yz}}{K_{заг}}, \quad (5.6)$$

$$K_{ef} = \frac{80652,2}{531991,15} = 0,15.$$

Річний економічний ефект від використання РРП визначається за формулою [28]:

$$E_p = E_{yp} - E \cdot K_{заг}, \quad (5.7)$$

де E – нормативний коефіцієнт економічної ефективності, $E = 0,12$,

$$E_p = 80652,2 - 0,12 \cdot 531991,15 = 16813,26 \text{ грн.}$$

Витрати виготовлення роторного розпилювального пиловловлювача становлять 335218,11 грн. Ціна нового апарату, що виготовляється на машинобудівному підприємстві, складе 462601 грн. Термін окупності 6,6 року.

5.4 Висновки по розділу

1. Розроблено рекомендації щодо розрахунку РРП промислових розмірів.
2. Запропоновано рекомендації щодо промислового використання РРП для очищення сушильних газів від пилу сухого молока.
3. Оснащення типової сушарки РС - 500 досліджуваним пиловловлювачем на другому ступені пилоочищення дозволить знизити втрати відпрацьованого повітрям продукту з 4% до 0,01%.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						74
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Виявлено основні закономірності гідравлічних опорів сухого та зрошуваного РРП від основних параметрів. Отримано експериментально - статистичні моделі придатні для інженерної практики.

2. Встановлено закономірності відносного впорскування в РРП від основних технологічних, геометричних та фізико-хімічних параметрів. Отримана узагальнена експериментально – статистична модель, придатна для розрахункової практики.

3. Досліджено загальні закономірності пилоочищення в РРП, показано, що основним механізмом пиловловлення є інерційний, встановлені умови роботи, що забезпечують уловлювання на 99,9% частинок пилів з розміром $d_0 > 1,3$ мкм.

Запропоновано експериментально - статистичну модель для визначення ефективності пилоочищення.

4. Розроблено рекомендації щодо розрахунку пиловловлювачів промислових розмірів, розглянуто варіанти використання РРП для очищення сушильних газів від пилу сухого молока.

					КРМ.133ГМмз_21.01.000 ПЗ	Аркуш
						75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		