

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

«На правах рукопису»

«До захисту допущено»

УДК _____

Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

" ____ " _____ 2018 р.

Магістерська дисертація

зі спеціальності 133 Галузеве машинобудування

спеціалізації «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних і нафтопереробних виробництв»

на тему: **Процес уловлювання багатокomпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів**

Виконав: студент VI курсу групи ЛН-61м

Орленко Андрій Юрійович

(підпис)

Науковий керівник: доцент, канд. техн. наук, Степанюк А.Р.

(підпис)

Консультант з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях
канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.

(підпис)

Розроблення стартап-проекту

канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь, прізвище і ініціали)

(підпис)

Рецензент _____

(посада вчене звання науковий ступінь, прізвище і ініціали)

(підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації немає запозичень праць інших авторів без відповідних посилань

Студент _____ А.Ю. Орленко

Київ – 2018

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені Ігоря Сікорського»

Інженерно-хімічний факультет

Кафедра машин та апаратів хімічних і нафтопереробних виробництв

Освітній ступінь: Магістр

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Спеціалізація «Інжиніринг, обладнання та технології хімічних і нафтопереробних виробництв»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри, д-р. тех. наук, проф.

_____ Я.М. Корнієнко

«__» _____ 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію

студенту Орленку Андрію Юрійовичу

1. Тема дисертації: «Процес уловлювання багатоконпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів».

Науковий керівник: Степанюк Андрій Романович, доцент, к.т.н.

затверджена наказом по університету від «21» березня 2018 р. № 979-с.

2. Термін здачі студентом дисертації: 10 травня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: Процес уловлювання багатоконпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.

4. Предмет дослідження: Кінетика процесу уловлювання багатоконпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів, та визначення основних параметрів процесу, необхідних для проектування.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити:

- Провести аналіз літературних і патентних джерел, на базі яких скласти фізичну і математичну моделі процесу уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.
- Вирішити математичну модель процесу уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.
- Розробити лабораторну установку для уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.
- Експериментальні дослідження властивостей уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.
- Налагодити роботу лабораторної установки уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.
- Виконати експериментальні дослідження кінетики уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.
- Отримати експериментальні дані, необхідні для конструювання промислового зразка циклонного апарату.
- Виконати наукове обґрунтування експериментальних даних.
- Перевірити адекватність математичної моделі результатами експериментальних досліджень.
- Розробити алгоритм розрахунку промислової установки для здійснення процесу уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.

6. Перелік ілюстративного матеріалу: презентація магістерської дисертації.

7. Перелік публікацій: основний зміст дисертаційної роботи викладено в 7-ми опублікованих роботах у тому числі: двох статтях у наукових фахових

виданнях України; чотирьох публікаціях тез доповідей міжнародних конференцій та наукових семінарах; один патент на корисну модель України.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях	канд. техн. наук, доцент Ковтун І.М.		
Розроблення стартап проекту	канд. екон. наук, доцент кафедри промислового маркетингу Юдіна Н.В.		

9. Дата видачі завдання 09 вересня 2016 р.

Завдання прийняв до виконання

_____ А.Ю. Орленко
(підпис)

Науковий керівник дисертації

_____ А.Р. Степанюк
(підпис)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів дисертації	Приміт ка
1	Аналіз літературних і патентних джерел по дослідженню процесу уловлювання багатокomпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів. Формулювання задач теоретичних та експериментальних досліджень.	01.10.2016 – 27.12.2016	
2	Розробка фізичної та математичної моделі процесу уловлювання. Розв'язання математичної моделі теоретичним шляхом.	05.01.2017 – 30.04.2017	
3	Формулювання процесу проведення дослідів. Розроблення методики проведення експериментів.	13.09.2017 – 30.10.2017	
4	Проведення експериментальних досліджень	30.11.2017 – 30.03.2018	
5	Обробка та узагальнення результатів дослідження.	3.04.2017 – 10.04.2018	
6	Висновки й рекомендації.	15.04.2018 – 26.04.2018	
7	Підготовка матеріалів до публікації за результатами досліджень.	26.02.2018 – 15.04.2018	
8	Попередній захист.	25.04.2018	
9	Оформлення презентації до захисту.	27.04.2018 – 19.05.2018	

Студент

(підпис)

А.Ю. Орленко

Науковий керівник дисертації

(підпис)

А.Р. Степанюк

Зміст

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	8
Вступ.....	9
Мета і завдання дослідження	10
1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ.....	12
1.1 Технології вловлювання	12
1.2 Огляд конструкції циклонів	17
1.3 Конструкції пиловловлювачів для полідисперсного пилу	23
2 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ УЛОВЛЮВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ ПРИ ОДЕРЖАННІ ГУМІНОВО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ.....	37
2.1 Опис запронованої конструкції циклону	37
2.2 Фізична модель процесу вловлювання	38
2.3 Математична модель процесу вловлювання	39
2.4 Фізична модель процесу конденсації водяної пари.....	40
2.5 Математична модель процесу конденсації водяної пари.....	41
3.1 Опис експериментального обладнання.....	43
3.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.....	45
3.3 Методика проведення досліджень.....	57
3.3.1 Методика проведення досліджень при вловлюванні без охолодження циклону.....	57
3.3.2 Методика проведення досліджень при вловлюванні із охолодженням циклону.....	58
3.4 Перевірка адекватності математичної моделі	59
3.4.1 Перевірка адекватності математичної моделі при вловлюванні без охолодження циклону	59

3.4.2	Перевірка адекватності математичної моделі при вловлюванні із охолодженням циклону	60
3.5	Оцінка похибки вимірювань	64
3.5.1	Обробка результатів прямих вимірювань.....	64
3.5.2	Розрахунок похибки прямого вимірювання	67
4	ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	69
4.1	Методика розрахунку циклонного апарату з охолодженням	69
5	РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ	74
5.1.	Опис ідеї проекту	74
5.2	Технологічний аудит ідеї проекту	75
5.3	Аналіз ринкових можливостей запуску стартап–проекту	76
5.4	Розроблення ринкової стратегії ринку	84
5.5	Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	87
	ВИСНОВКИ.....	91
	ВЫВОДЫ.....	93
	CONCLUSIONS	94
	СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:	96
	ДОДАТОК А Таблиця ідентифікаторів та програма для розв’язання математичної моделі процесу	100
	ДОДАТОК Б Таблиця результатів експериментів.....	107
	ДОДАТОК В Програма розрахунку циклонного апарату з охолодженням .	110
	ДОДАТОК Г Перелік та копії опублікованих праць за результатами магістерської дисертації	114

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

T – температура, °C;

λ – теплопровідність матеріалу, Вт/(м·К);

ρ – густина матеріалу, кг/м³;

C – питома теплоємність матеріалу, Дж/(кг·К);

τ – час, с;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

Re – критерій Рейнольдса;

Nu – критерій Нуссельта;

Δx_i – похибка між експериментальними даними та результатами розрахунку за математичною моделлю по вісі часу в i точці;

x_i – значення температури в точці i часі за розрахунковими даними;

n – кількість дослідних точок;

Q_p – питома теплота пароутворення;

Q – витрати теплоти, Дж/кг

ρ_n – густина повітря при температурі навколишнього середовища, кг/м³;

C_n – теплоємність повітря, кДж/кг·°C;

m_{H_2O} – маса поданої рідини, кг;

α – коефіцієнт тепловіддачі, Вт/(м²·К);

r – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

ν – кінетична в'язкість, м²/с;

ΔP – гідравлічний опір, Па;

μ – динамічна в'язкість, кгс/м².

Вступ

У всіх ґрунтах є поживні речовини, але більшість з них є умалодоступній формі. Для оптимізації живлення рослин в ґрунт вносять добрива. За рахунок добриводержують близько 50% загального врожаю [1].

Сульфат амонію (амоній сірчаноокислий) - хімікат, який вітчизняна промисловість випускає у великих кількостях. В якості добрива він застосовується повсюдно, без прив'язки до кліматичних умов. Сульфат амонію не належить до отруйних речовин, він не виділяє токсичних парів, що значно спрощує його використання в якості добрива. Особливо корисно амоній сірчаноокислий для весняного внесення, тому що велика кількість азоту, що входить до його складу, допомагає інтенсивно підстобнути ріст і розвиток садових і городніх культур[2].

Під час його виробництва існує проблема очистки промислового повітря від багатокомпонентних систем. Традиційний метод очистки не дає можливості уловити ці системи. Також в цьому методі проходить доочистка у скрубєрі, що збільшує енергоресурс. Тому пропонується новий метод вловлювання двофазного полідисперсного потоку забруднення в циклонному апараті, який має зменшити навантаження на скрубєр та не генерувати велику кількість слабокислих розчинів, які потім забруднюють навколишнє середовище.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є встановлення закономірностей процесу вловлювання двохфазного полідисперсного потоку забруднення в циклонному апараті.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі задачі дослідження:

- проаналізувати існуючі способи та обладнання для уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів;
- сформулювати фізичну та математичну модель уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів;
- перевірити адекватність фізичної і математичної моделей уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів;
- обґрунтувати конструкцію циклону та матеріали для його виготовлення при реалізації механізму уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів;
- розробити експериментальну установку для дослідження характеристик циклону;
- оцінити вплив охолодження стінок циклону при вловлюванні багатокомпонентних систем;
- розробити методику експериментальних досліджень процесу уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів;
- розробити методику та алгоритм розрахунку промислового апарату та обґрунтувати конструкцію вузла пиловловлювання.

Об'єктом дослідження є процес очищення газового потоку від полідисперсного забруднення.

Предметом дослідження є технологічні параметри процесу очищення газового потоку в циклонному апараті від двофазного полідисперсного забруднення.

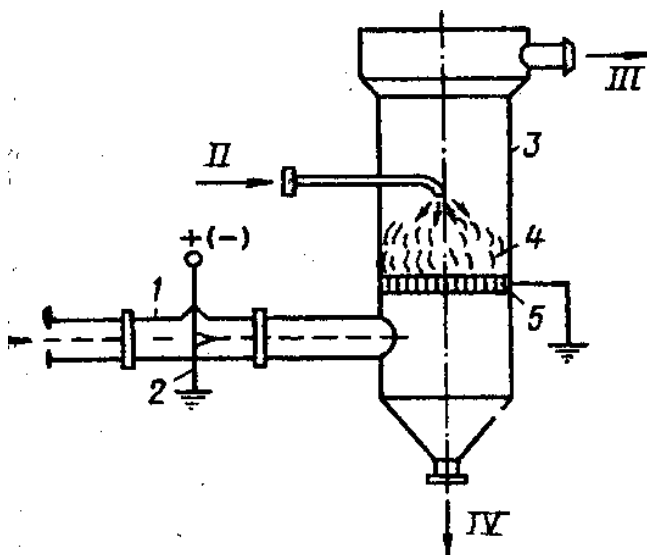
Методи досліджень: фізичне і математичне моделювання процесу очищення газового потоку в циклонному апараті від двофазного від полідисперсного забруднення методами із застосуванням ітераційного підходу, експериментальні дослідження процесу очищення газового потоку; експериментальні дослідження кінетики процесу очищення газового потоку; статистичний аналіз дослідних даних.

1 СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

1.1 Технології вловлювання

Коагуляція аерозолів методом попередньої електрифікації здійснюється, наприклад, шляхом пропускання газу через електричну камеру з коронними електродами, де частинки заряджуються і коагулюються, а потім – крізь мокрий газочисник, у якому газорідкий шар є осаджувальним електродом (рисунк. 1.1)[3].

Осаджувальний електрод може бути пінистим шаром у пінопластових машинах, шаром газо-рідкої емульсії в упакованих скрубберах та інших газопромивачах, у яких грати або інші відповідні деталі повинні бути заземлені [3].

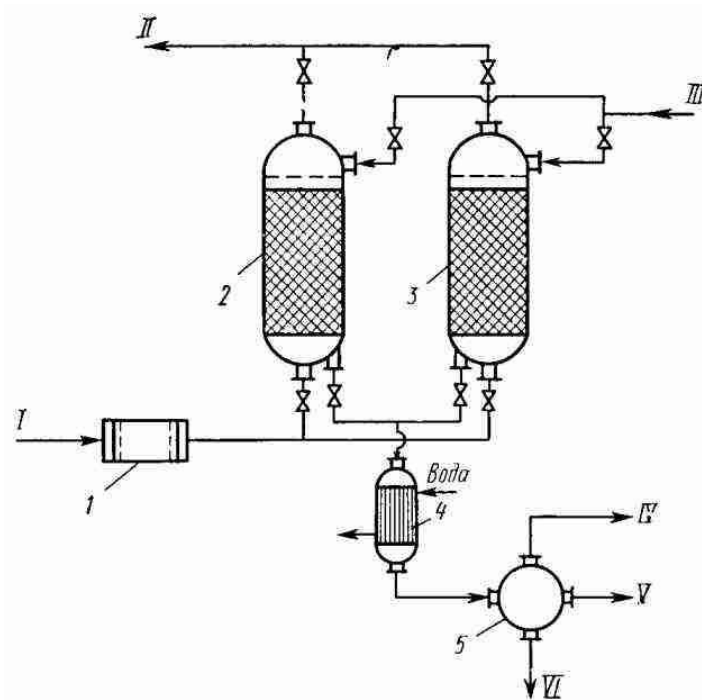


1 – камера електризації; 2 – коронувальний електрод; 3 – пінний апарат; 4 – газорідкий (пінний) шар; 5 – заземлені грати; I – очищений газ; II – вода; III – очищений газ; IV – злив шламу

Рисунок 1.1 – Схема мокрого пиловловлення з попередньою електризацією

Загальні переваги адсорбційних методів очищення газів:

- 1) глибоке очищення газів від токсичних домішок;
- 2) відносна легкість регенерації цих домішок при їх перетворенні в товарний продукт або повернення до продукції; таким чином, реалізується принцип безвідходної технології. Метод адсорбції є особливо раціональним для видалення токсичних домішок (органічних сполук, пари ртуті тощо), що містяться в малих концентраціях, тобто як остаточний етап санітарної очистки відпрацьованих газів[3].



1- фільтр; 2, 3 - адсорбери; 4 - конденсатор; 5 - сепаратор; I- очищується газ; II - очищений газ; III-водяний пар; IV - Неконденсовані пари; V- сконденсований адсорбтив в сховище; VI - водний конденсат

Рисунок 1.2 – Схема адсорбційної газоочисної установки

Недоліки більшості адсорбційних установок - частота процесу та пов'язана з нею інтенсивність реакторів, висока вартість періодичної регенерації адсорбентів. Використання методів безперервної очистки в рухомому та псевдозрідженому шарі адсорбенту частково усуває ці недоліки, але вимагає висококомірних промислових сорбентів, розвиток яких ще не завершено для більшості процесів. Термічні методи нейтралізації викидів газу використовуються для утилізації легко окислених газів, а також домішок з неприємними запахами. Їх перевагами є відносна простота конструкції апаратних засобів та універсальність використання, оскільки робота термоперетворювачів мало впливає на склад оброблених газів. Викиди вуглецю, що містять горючі компоненти, широко відрізняються в різних промислових джерелах, як в ряді компонентів, які потрібно усунути, так і в кількості останніх, а також в кількості тепла та кількості об'єму від десятків до сотень тисяч м³/рік. Методи очищення газу на основі високотемпературного згорання горючих домішок широко застосовуються в лакофарбових галузях, процеси отримання ряду видів хімічної, електричної та електронної продукції, в харчовій промисловості, при знежирюванні і забарвленню деталей та виробів і в багатьох інших процесах[4].

Суть цих методів полягає в окисненні. Вони використовуються для знищення практично будь-яких парів і газів, продукти згорання яких менш токсичні, ніж вихідні матеріали. Пряме спалювання використовується у тих випадках, коли концентрація горючих речовин у відхідних газах не перевищує межі запалювання. Процес здійснюється на звичайних або вдосконалених установках згорання, в промислових печах і печах котельних агрегатів, а також у відкритих факелах[4].

Конструкція нейтралізатора повинна забезпечувати необхідний час перебування газів, які підлягають обробці в апараті, при температурі, яка гарантує можливість досягнення заздалегідь визначеного ступеня нейтралізації. Час перебування зазвичай становить від 0,1 до 0,5 с (іноді до

1 с), Робоча температура в більшості випадків орієнтована на нижню межу самозаймання, яка нейтралізує газові суміші і перевищує температуру запалювання на 100-150 ° С. У деяких випадках вихлопні гази з високим вмістом горючих компонентів можуть бути використані як паливо. Як самостійне паливо можуть спалюватися відходи газів з теплотворною здатністю від 3,35 до 3,77 МДж/м³ і нижче, якщо вони володіють підвищеною температурою. Пряме спалювання газоподібних відходів з використанням додаткового палива вважається доцільним у випадках, коли детоксикація компонентів витоків газу може забезпечити щонайменше 50% загального тепловіддачі. Проте зазвичай вміст горючих домішок у вихлопних газах набагато нижчий за нижчу межу спалаху, що вимагає значної додаткової витрати палива та використання теплової енергії процесу згоряння, в першу чергу для зменшення цих витрат. Витрата додаткового палива при спалюванні таких газоподібних відходів, нагрітих до 50 °С, становить від 25 до 40 кг умовного палива на 1000 м³ оброблюваних газів[4].

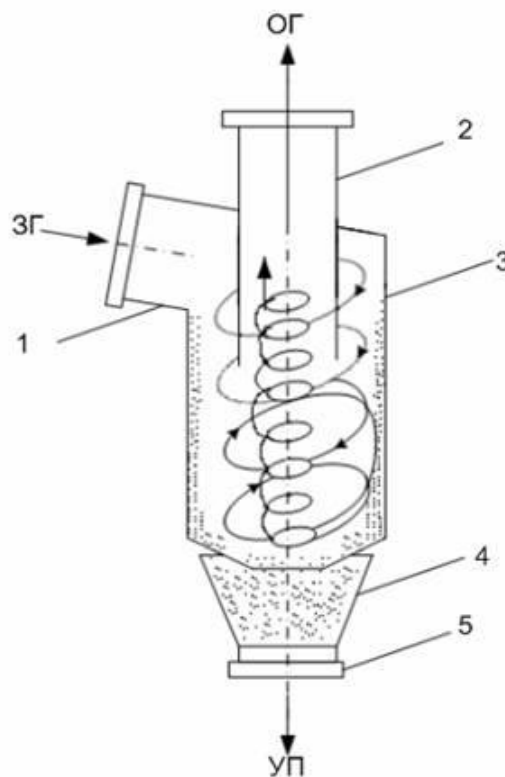
Циклон є пристроєм для відділення твердих частинок від газу; відцентрові пилозбірники, елементи конструкції якого забезпечують обертальне або поступальне рух газового потоку.

Принципово циклон працює за наступною схемою. Знепилюючої газ надходить у твірну, кільцевий простір апарату циліндричної частини, де рухається по спіралі зі зростаючою швидкістю від периферії до центру, спускається по зовнішній спіралі, потім піднімається по внутрішній спіралі і виходить через вихлопну трубу. Під дією відцентрової сили частки пилу відкидаються до стінки циклону і разом з частиною газу попадають у бункер. Частина звільненого від пилу газу повертається з бункера в циклон через центр пиловловлюючого отвору, даючи початок внутрішньому вихру[5].

Циклонні апарати завдяки дешевизні та простоті будови і обслуговування, порівняно невеликому опорі і високій продуктивності є найрозповсюдженішим типом сухого механічного пиловловлювача [5].

Циклонні пиловловлювачі мають такі переваги:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500°C без будь-яких конструктивних змін (якщо передбачається використання більш високих температур, то апарати можна виготовляти із спеціальних матеріалів);
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті внутрішньої поверхні циклонів спеціальним покриттям;
- пил вловлюється в сухому вигляді;
- гідравлічний опір апаратів майже постійний;
- апарати успішно працюють при високих тисках газів;
- пиловловлювачі надто прості у виготовленні;
- зростання запиленості газів не приводить до зниження фракційної ефективності очищення [5].



- 1 – вхідний патрубок; 2 – вихлопна труба; 3 – корпус;
4 – пилоосаджувальний бункер; 5 – пиловий затвор

Рисунок 1.3 – Схема сухого газоочищення (схема циклону)

Правильно спроектовані циклони можуть працювати надійно протягом багатьох років. Разом з тим необхідно мати на увазі, що гідравлічний опір високоефективних циклонів досягає 1250-1500 Па, тому частинки розміром менше 5 мкм вловлювати циклонами погано [5].

1.2 Огляд конструкції циклонів

Пінні пиловловлювачі мають відносно високу здатність вловлювання навіть для дуже дрібних частинок (частки розміром 5 мкм уловлюються на 80-90%), але відхилення швидкості подавальної під решітку газу від розрахункового значення (3 м/с) може приводити або до великого виносу пінногазовим потоком, або, навпаки – до протоки рідини через отвори решітки [4].

Переваги: висока здатність уловлювання.

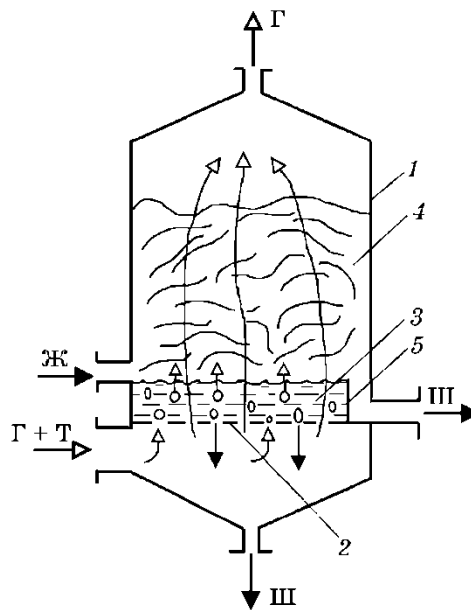
Недоліки: відхилення швидкості газу, що протікає з розрахункового значення, може призвести або до великого відтоку через потік газового отвору, або, навпаки, до розливу рідини через отвори решітки.

Скрубер (рисунок 1.5) – це порожниста вежа круглого і іноді прямокутного перетину з бункерів в нижній частині [6].

По висоті скрубера розташовано кілька рядів форсунок для подачі води. Газ підводять в нижню частину скрубера; рухаючись вгору, він зустрічається з охолоджувальною водою. Великі частинки пилу змочуються водою і осідають в нижньому бункері, з якого через гідрозатвор періодично випускають шлам. Швидкість газів в скрубери становить 1,2–1,5 м/с [6].

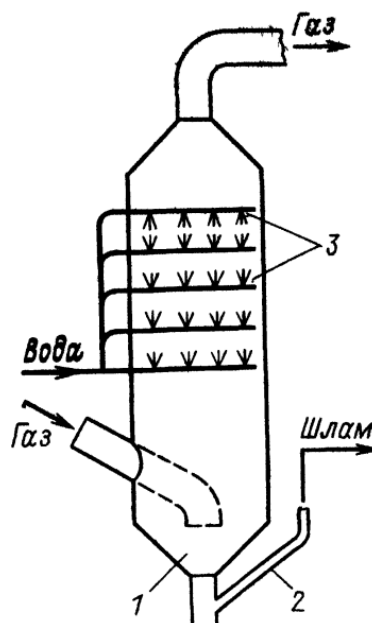
Переваги: висока ступінь уловлювання.

Недоліки: періодично потрібно випускати шлам.



1– корпус; 2– газорозподільна решітка; 3– шарідини; 4– шар піни;
 5– переливний поріг; Г + Т – запылений газ; Ж – рідина; Г – очищений газ; Ш –
 шлам

Рисунок 1.4 – Барботажний (пінний) вловлювач



1 – бункер, 2 – гідрозатвор, 3 – форсунок

Рисунок 1.5 – Безнасадковий скруббер

По висоті скруббера розташовано кілька рядів форсунок для подачі води. Газ підводять в нижню частину скруббера; рухаючись вгору, він зустрічається з охолоджувальною водою. Великі частинки пилу змочуються водою і осідають в нижньому бункері, з якого через гідрозатвор періодично випускають шлам. Швидкість газів в скруббері становить 1,2–1,5 м/с [6].

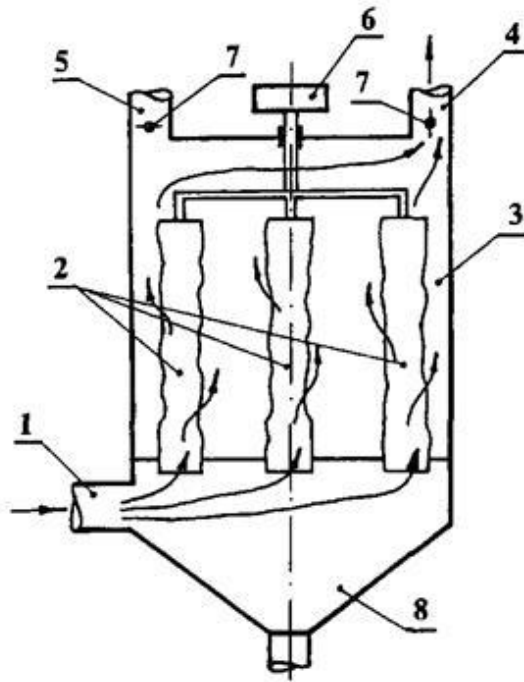
Переваги: висока ступінь уловлювання.

Недоліки: періодично потрібно випускати шлам.

Тканинні фільтри найбільш поширені. Їх використання зростає в зв'язку із створенням нових температуростійких і витривалих до дії агресивних газів тканин. Ступінь очищення газу в фільтрі залежить від пористості матеріалу товщини фільтрування фільтруючого шару, об'єму фільтрувального матеріалу на одиницю об'єму фільтра та загального коефіцієнта захоплення пилової частки фільтруючим фільтром що у свою чергу залежить від механізму процесу фільтрації [7].

Запилений газ, що поступає через вхідний патрубок у нижню частину корпусу фільтру, підводиться всередину рукавів. Після проходження через тканину, що фільтрує, очищене повітря видаляється з апарату. Частки пилу осідають на поверхні рукава, що фільтрує, внаслідок чого його опір поступово збільшується. Коли воно досягає деякого граничного значення, фільтр переводять в режим регенерації. Найчастіше її здійснюють зворотним продуванням. Для підвищення ефективності регенерації рукавів їх можуть струшувати за допомогою спеціальних механізмів. Камери фільтру переводять у режим регенерації по черзі і таким чином забезпечують його безперервну роботу. Ступінь очищення від мелкодисперсного пилу в рукавному фільтрі може досягати 99,9 %. Швидкість проходження газу, що очищається, через тканину, що фільтрує, складає 0,5-1 м/с[7].

Схема рукавного фільтра зображено на рисунку 1.6.



1 – вхід запиленого газу; 2 – рукава; 3 – корпус фільтра; 4 – повітропровід очищеного газу; 5 – повітропровід продувочного повітря; 6 – механізм струшування; 7 – клапани; 8 – бункер для збору пилу

Рисунок 1.6 – Рукавний фільтр

У тканинних фільтрах використовуються два типи матеріалів: звичайні тканини, виготовлені на ткацьких верстатах та фетровому одязі, отримані шляхом зшивання або механічного переплетення ниток методом голки. У типових фільтрувальних тканинах прохідні отвори між філаментами мають розмір 100-200 мкм [7].

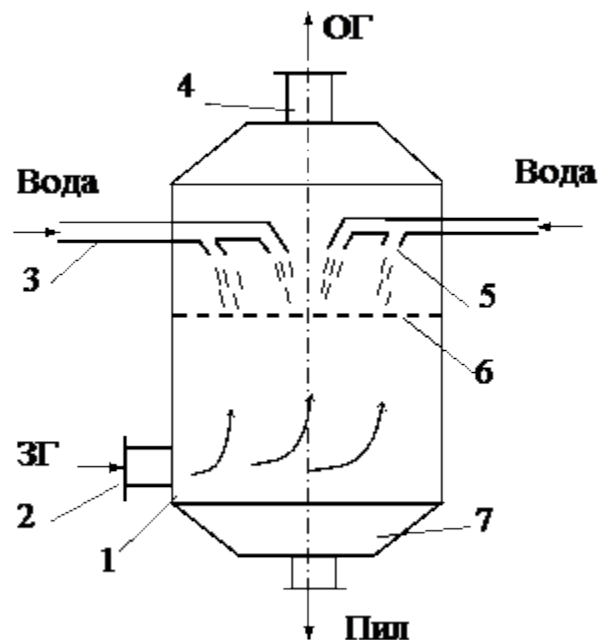
Переваги: висока ступінь уловлювання (до 99.9%).

Недоліки: періодично потрібно замінювати рукави тканинних фільтрів через зношеність.

В порожнистих газопромивачах запилені гази пропускають через завісу розпилюваної рідини. У той же час частинки пилу захоплюються краплями промивної рідини і осаджуються в промивачі, а очищені гази видаляються з апарату.[8].

Найбільш поширеним апаратом цього класу є Порожнистий форсунковий газопромивач. Він широко використовується як для очищення газів від досить великих частинок пилу (більше 5 мкм), так і для охолодження газу, що відіграє важливу роль у різних схемах збору пилу, апарату, який забезпечує кондиціювання (кондиціонування) газу [8].

Порожністі форсункові газопромивачі (рисунок. 5.1) – це колони круглого чи прямокутного перерізу, в яких здійснюється контакт між газами і краплинами рідини, розпилюваної форсунками. За напрямленням руху рідини і газів порожністі газопромивачі діляться на прямоточні, протиточні і з поперечним підведенням рідини. При вологому вимивання зазвичай використовується апарат з протилежним рухом газів і рідин, і рідше з поперечним зрошенням. Прямоточні порожністі апарати широко застосовують при випарювальному охолодженні газів[8].



- 1 – корпус; 2 – патрубок подачі запиленого газу; 3 – патрубок подачі води; 4 – патрубок відведення очищеного газу; 5 – форсунки;
6 – газорозподільна решітка; 7 – бункер для шламу

Рисунок 1.7 – Порожнистий форсунковий газопромивач

В протиточному газопромивачі краплини з форсунок подають назустріч запиленому потоку газів. Вони повинні бути достатньо великими, щоб не бути перенеситися газовим потоком, швидкість якого складає від 0,6 до 1,2 м/с. При високих швидкостях газу крапельна пастка повинна бути встановлена після газопромивача. Форсунки встановлюють в апараті в одному або декількох перерізах: деколи рядами (до 14-16 шт. в перерізі), деколи тільки за віссю апарату[8].

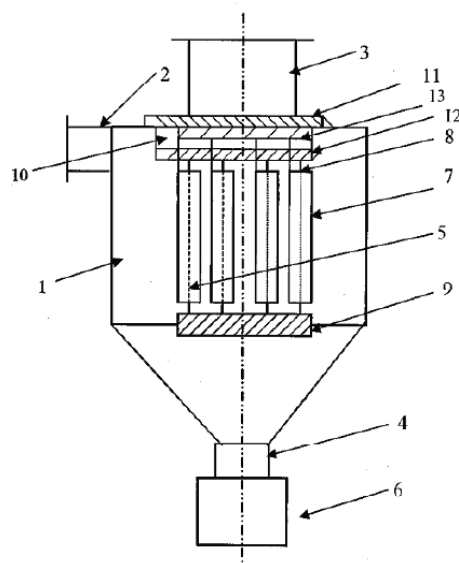
Факел розпилу форсунку може бути направлений вертикально зверху вниз або під певним кутом до горизонтальної площини. При розміщенні форсунки в декількох ярусів можлива комбінована установка розпилювальних вачів: частина факелів спрямована по ходу газу, друга частина - в протилежному напрямку. Для кращого розподілу газів у перерізі апарату в нижній частині газопідігрівача встановлюється газорозподільна решітка [8].

Переваги: комбіноване улаштування розпилювачів.

Недоліки: потрібно зробити безперебійний підвід води.

1.3 Конструкції пиловловлювачів для полідисперсного пилу

Пиловловлювач складається з корпусу 1, тангенційного вхідного патрубку 2, осьових — патрубку для виходу очищеного повітря 3 і пилу 4, жалюзійного відокремлювача 5, бункера 6. Складовими частинами жалюзійного відокремлювача 5 є жалюзі 7 з міцно закріпленою віссю 8, що спирається надно 9 і утримується у вертикальному положенні кільцем 10, приєднаним до корпусу 1. Патрубок для виходу чистого повітря 3 знаходиться у вертикальному положенні за допомогою сальника 11. Жалюзі відокремлювача 7 мають напрямний штир 12, який входить у радіальний паз регулюючого кільця 13[9].



- 1 – корпус; 2 – тангенційний вхідний патрубок; 3 – патрубок для виходу очищеного повітря; 4 – патрубок для виходу очищеного пилу;
 5 – жалюзійний відокремлювач; 6 – бункер; 7 – жалюзі; 8 – вісь; 9 – дно;
 10 – кільце; 11 – сальник; 12 – напрямний штир; 13 – регулююче кільце

Рисунок. 1.8 – Схема пиловловлювача для полідисперсного пилу

Пиловловлювач працює наступним чином. Через тангенційний патрубок пилоповітряна суміш надходить у корпус апарату, де він обертається гвинтоподібно навколо сопла для виходу очищеного повітря. Тут потік діє відцентрова сила, яка відхиляє грубодисперсні пилові частинки до стінки апарату. Частинки пилу, залишеного повітрям, захоплюються в потоці, який рухається вздовж жалюзійного відокремлювача, і через їх інерцію не встигає за повітряним потоком, який рухається вздовж корпусу, який транспортує їх до пиловипускного патрубку, а через нього в бункер, або рухаються вздовж жалюзійного відокремлювача вниз у напрямку патрубку для виходу пилу і бункера. Отже, при проходженні через жалюзійний відокремлювач відбувається вторинна очистка потоку від дрібнодисперсного пилу. Обертаючи патрубок для виходу чистого повітря навколо своєї осі (вручну або автоматично), ми створюємо зусилля, через яке регулююче кільце і напрямний штир

повертає жалюзі на кут від 0 до 60 градусів. Як наслідок, змінюється кут атаки (кут між напрямком потоку і площиною кожного з лопатей кришки), який визначає оптимальні умови для захоплення кожної складової полідисперсного пилу або пилу кожного конкретного типу [9].

Визначивши оптимальні кути атаки для цілого ряду пилу та додаючи ці дані до комп'ютера, ми можемо згодом автоматично або вручну налаштувати вищезгаданий метод залежно від умов кожної конкретної продукції. Якщо необхідно захопити тонкий пил або створити режим із значним потоком повітря, жалюзі повертаються таким чином, щоб створити мінімально можливий кут атаки, що дозволяє збільшити сили інерції на твердих частинках пилу, відбиваючи їх від жалюзів і приблизити місце контакту до зовнішньої її частини (у напрямку корпусу пристрою). В результаті це призведе до підвищення ефективності апарату [9].

Зі зменшенням розміру та маси частинок пилу (дрібнодисперсний пил) при створенні режиму роботи установки з низькими витратами повітря, кут нахилу жалюзі збільшується по відношенню до траєкторії обертального руху потоку навколо жалюзійного відокремлювача щоб забезпечити максимально можливе відбиття частинок пилу з жалюзі та запобігання їх проникненню в середину сепаратора, тобто покращити очищення. При цьому жалюзі повинні мати певні межі повороту в горизонтальній площині, тому що при дуже великому повороті частинки пилу можуть зовсім не зіткнутися з жалюзі, а легко проникнути в середину відокремлювача або потрапити на ту частину жалюзі, яка відіб'є їх у середину відокремлювача [9].

Переваги: обертів жалюзі, кут повороту якого можна дистанційно змінити.

Недоліки: неможливо конденсувати воду, яка знаходиться в полідисперсному середовищі.

Пристрій має корпус, який включає циліндричну обичайку 1, конфузор 2, вхідний патрубок 3, тканинний фільтруючий елемент 4. Тканинний

фільтруючий елемент розташований концентрично обичайці 1 на відстані, яка перевищує ширину вхідного патрубку 3 для забрудненого повітря. Конфузор 2 з'єднаний з пилозбірником 5, який має затвор 6. До вихідного патрубку 7 під'єднаний тканинний фільтруючий елемент 4, обладнаний струшуючим пристроєм 8 для його періодичного відновлення[10].

Запилене повітря надходить в циклон по вхідному патрубку 3, який тангенціально з'єднаний з циліндричною обичайкою 1. Запилене повітря отримує обертовий рух по спіралі зверху вниз. Частинки пилу відкидаються до внутрішньої поверхні обичайки 1, і під дією сили тяжіння рухаються в конфузор 2, і далі в пилозбірник 5[10].

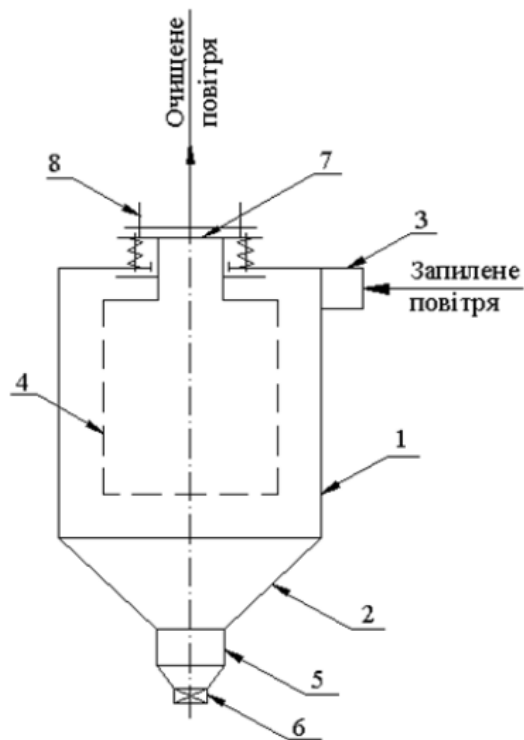
Перший етап очищення здійснюється в циклоні, другий етап – у тканинному фільтрі [10].

Легкі складові пилу, які не були затримані в результаті дії відцентрових сил рухаються разом з потоками повітря до вихідного патрубку 7 і затримуються тканинним фільтруючим елементом 4. Фільтруючий елемент 4 періодично струшується і частинки пилу під дією сил тяжіння рухаються в пилозбірник 5[10].

Ефективність очищення повітря в цьому фільтрі вища в порівнянні з циклоном [10].

Переваги: за допомогою періодичного струшування частинок відсутнє налипання пилу на рукавах.

Недоліки: неможливо очистити вологий пил тому, що буде відбуватися налипання пилу на рукава фільтру.



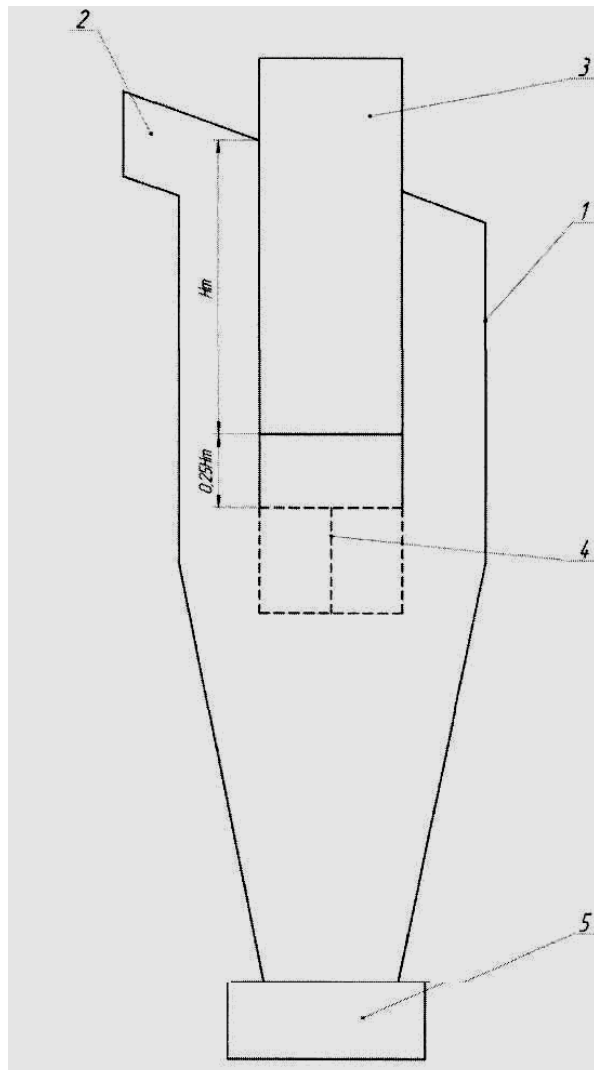
- 1 – циліндрична обичайка; 2 – конфузом; 3 – вхідний патрубок;
 4 – тканинний фільтруючий елемент; 5 – пилозбірник; 6 – затвор

Рисунок. 1.9 – Схема фільтру з двохступінчатою очисткою

Корисна модель відноситься до відокремлення пилу від газового потоку під час циклонного процесу і може використовуватися в хімічній, металургійній, енергетичній, будівельній, харчовій та інших галузях промисловості, в яких виробничі умови вимагають використання зворотно-потоківих циклонних апаратів для уловлювання пилу і очищення газів.

В основу корисної моделі поставлено умову підвищення ефективності циклонного апарату, шляхом вдосконалення конструкції циклону, а саме встановленням сітчастих елементів, що дає змогу підвищити ефективність пиловловлення [11].

Мета досягається тим, що сітчастий елемент з'єднується з вихідним патрубком циклону на відстані $0,25H_t$, у вигляді двох перехрещених сіток[11].



1 – циклон; 2 – вхідний патрубок; 3 – вихідний патрубок; 4 – сітчастий елемент; 5 – бункер

Рисунок. 1.10 – Циклонний апарат

Пристрій для очищення газопилового потоку містить циклон 1, забезпечений вхідним патрубком 2, осьовим вихідним патрубком 3 і сітчастим елементом 4, бункером 5 для збору твердих частинок. Сітчастий елемент 4 прикріплений до вихідного патрубка 2 жорстко[11].

Корисна модель працює таким чином: при здійсненні запропонованого способу у пристрої для очищення газопилового потоку, який надходить через вхідний патрубок 2 (тангенціальний або спіральний) у циклон 1 і набуває обертальний рух. Спадний потік обертається, спускається уздовж внутрішніх

стінок корпусу циклону. Після чого основна маса пилу надходить в бункер 5, а деякі частинки пилу разом з потоком повітря підіймаються до вихідного патрубку, де вони стикаються з сітчастим елементом 4. Внаслідок цієї взаємодії частинки пилу потрапляють у бункер, а чисте повітря буде безперешкодно рухатися через випускну трубу[11].

Переваги: висока ступінь вловлювання.

Недоліки: неможливо сконденсувати вологу, яка знаходиться у середовищі пилу.

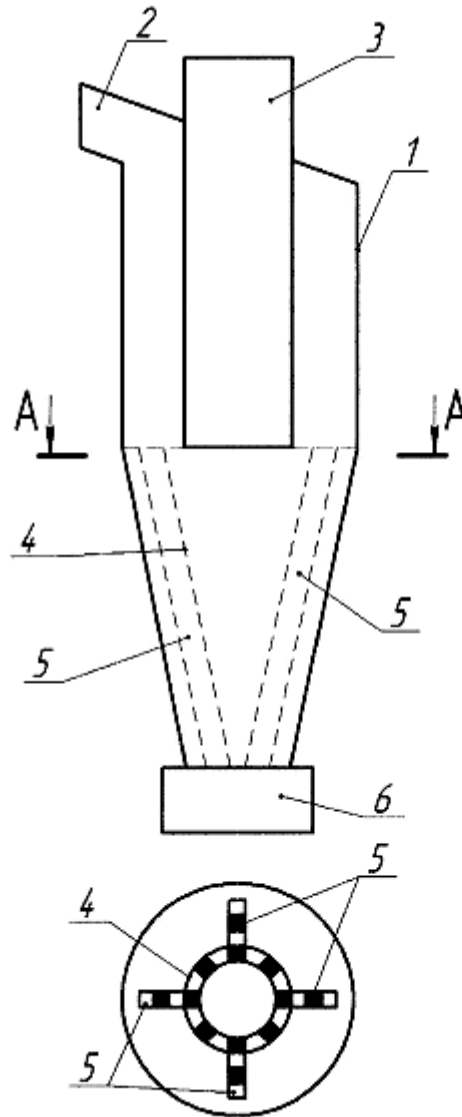
Пристрій для очищення газопилового потоку містить циклон 1, забезпечений вхідним патрубком 2, осьовим вихідним патрубком 3 і розкручувачем потоку, виконаний у вигляді конусу з сітки 4, з поперечними сітчастими ребрами 5, бункер 6 збору твердих частинок. Сітчастий розкручувач потоку 4 з ребрами 5 може бути встановлений по всьому перерізу циклона 1 між торцем вихідного патрубку 3 та входом до бункера 6[12].

Живий переріз сітки розкручувача становить не менше 40-50 %.

При здійсненні запропонованого способу у пристрої для очищення газопилового потоку останній надходить через вхідний патрубок 2 (тангенціальний або спіральний) у циклон 1 і набуває обертального руху. Низхідний потік обертається спіралью, спускається уздовж внутрішніх стінок корпусу циклону, а по його шляху проходить через сітки 5 і 4 у зоні відкритого взаємного руху обертових потоків[12].

Низхідний потік, в якому концентрується основна частина відокремленого пилу, йде далі до бункера 6, де відбувається остаточне осадження частинок. У кінчній частині потік робить поворот на 180° і утворює всередині низхідного потоку висхідний обертаний потік очищеного від пилу газу. Потік через сітки розкручувача може істотно знизити гідравлічний опір циклону, оскільки він сприяє збільшенню поверхні взаємодії обертових потоків, один з яких проходить через сітки та рухається вперед, а інший потік

рухається йому назустріч за рахунок дроблення потоку, що вже пройшов через сітку, на струмені [12].



1 – циклон; 2 – вхідний патрубок; 3 – осьовий вихідний патрубок;
4 – розкручував потоку; 5 – поперечні сітчасті ребра; 6 – бункер

Рисунок. 1.11 – Циклонний апарат із розкручувачем потоку

Таким чином, ефект зниження гідравлічного опору циклону внаслідок дроблення оберткових потоків на струмені проявляється лише в зоні відкритого

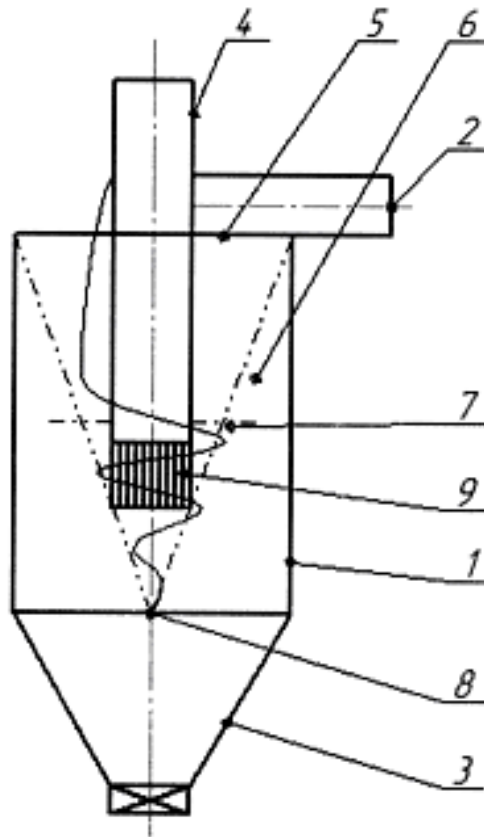
взаємного переміщення обертаючих потоків в зворотньо-потоківих циклонних апаратах. У той же час живий поперечний переріз сітки повинен бути щонайменше 40-50%, за умови, що нижче вказаних меж зменшується інтенсивність взаємодії знижувального та зростаючого потоків, зменшується їх розкручування, що призводить до збільшення гідравлічного опору циклону [12].

Крім того, зменшення живого поперечного перерізу сітки менше 40-50% значно збільшує кількість зіткнень частинок твердого матеріалу з матеріалом сітки. Відбувається відбивання частинок з поверхні сітки, які за наявності відбиття частинок низхідного потоку потрапляють разом з ним у висхідний потік і у вихідний патрубок, що зменшує коефіцієнт очищення. Таким чином, запропоноване розташування сітки та вибір живого перерізу в зазначених межах цих значень приводить до зниження гідравлічного опору циклону, зменшення споживання енергії та збільшення ступеня очищення газопилового потоку [12].

Переваги: невисокий гідравлічний опір циклону.

Недоліки: можливе налипання пилу на розкручувачах потоку.

Циклон складається з циліндричного корпусу 1 з тангенційним вхідним патрубком 2 та конічним пилозбірним бункером 3, приєднаним до нижньої частини корпусу 1. Всередині корпусу 1 розташований осьовий вихідний патрубок 4, на якому безпосередньо під вхідним патрубком 2 кріпиться плоска діафрагма 5, що утворює зі стінкою корпусу 1 кільцевий прохідний канал 6. Лійкоподібна вставка 7, виконана у вигляді порожнього зрізаного конуса, більшою основою з'єднана зі стінкою корпусу 1 на рівні діафрагми 5, а меншою основою спрямована вниз, при цьому вершина 8 конічної поверхні вставки 7 розташована на рівні верхнього краю бункера 3. Патрубок 2 і кільцевий канал 6 виконані рівного прохідного перерізу [13].



- 1 – циліндричний корпус; 2 – тангенційний вхідний патрубок;
 3 – конічний пилозбірний бункер; 4 – осьовий вихідний патрубок; 5 – плоска
 діафрагма; 6 – кільцевий прохідний канал; 7 – лійкоподібна вставка;
 8 – вершина конічної поверхні; 9 – жалюзійний віддільник

Рисунок. 1.12 – Циклон

Циклон працює таким чином: під час експлуатації циклону запилений газ подається через вхідний патрубок 2 і закручується. Вихровий потік через кільцевий канал 6 надходить у зону відділення, і вставкою 7 формується у тонкостінну конічну воронку з вершиною, розташованою на рівні верхнього краю бункера 3. Закручений потік рухається вниз, а на частинки пилу впливає відцентрова сила по всьому шляху руху частинок зверху вниз, тому що радіус обертання потоку зменшується. Оскільки верхня частина лійки знаходиться на рівні верхнього краю бункера, то закручений потік циркуляції не перешкоджає осіданню пилу в бункері 3. Очищений потік потрапляє до циліндричного інерційного жалюзійного віддільника 9, де відбувається вторинне доочищення

потіку при проходженні його крізь щілини віддільника. У віддільнику 9 потік робить різкий поворот на кут, більший 90° , але менший 180° , частину пилу, що знаходиться в потоці, за рахунок сил інерції повертаються на ще менший кут, ударяючись при цьому об жалюзі інерційного віддільника і відскакують від них до зовнішньої стінки вставки 7, або рухаються до низу вздовж жалюзі у напрямку бункера 3[13].

Запропонований циклон значно підвищує ефективність пиловловлення, а також має просту конструкцію, що забезпечує легкість експлуатації та ремонту[13].

Переваги: нескладна конструкція, легко ремонтується

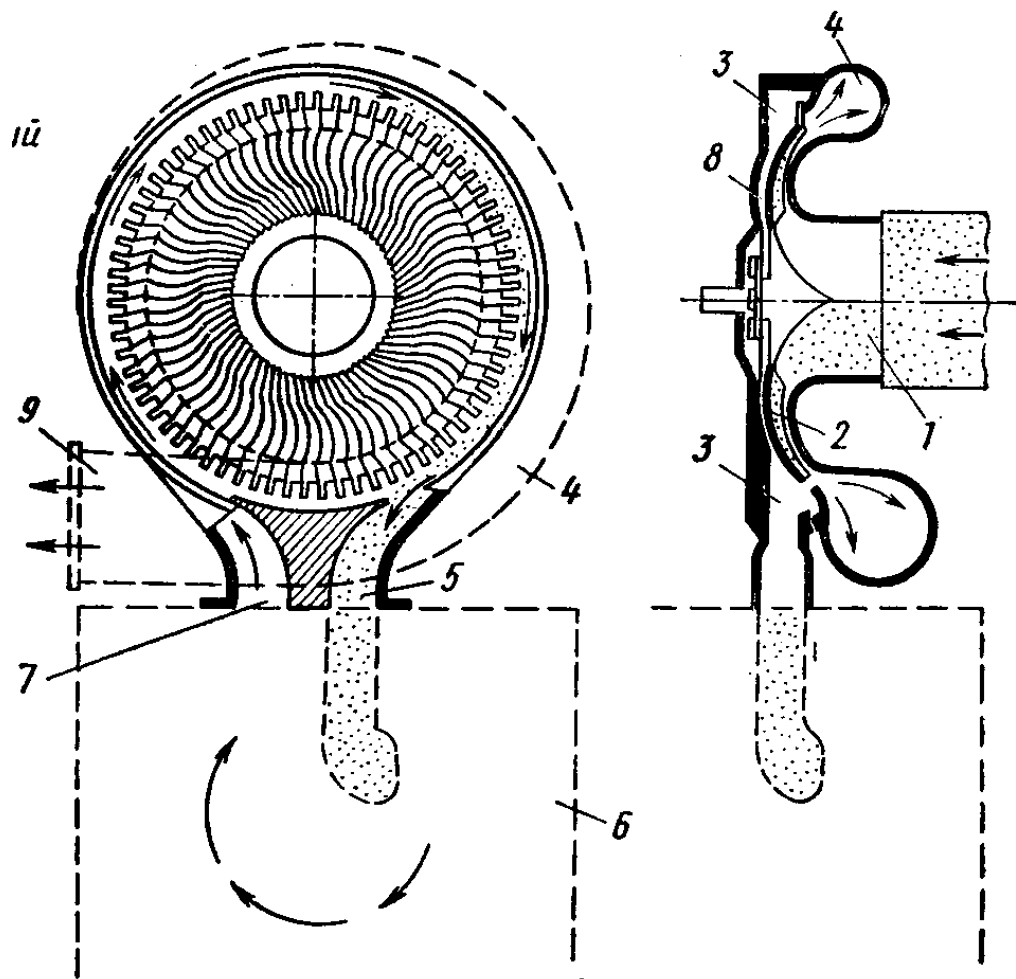
Недоліки: можливе налипання пилу.

Ротаційний пиловловлювач

Цей пиловловлювач є відцентровим вентилятором (Рисунок. 1.13), який одночасно з рухом повітря очищає його від частинок пилу розміром >10 мкм внаслідок сили інерції та сил Коріоліса, що виникають, коли обертається робоче колесо вентилятора[14].

Запилене повітря поступає у всмоктувальний отвір 1. При обертанні колеса 2 суміш пилу з повітрям рухається по міжлопаточним каналам колеса при цьому частинки пилу під дією відцентрових сил і сил Коріоліса притискаються до поверхні диску колеса та до набігаючих сторін лопаток колеса. Пил з дуже невеликою кількістю повітря (3-5%) поступає через проміжок 8 між колесом 2 та диском колеса у кільцеподібний приймач 3, а очищене повітря – в завиток 4 та вихідний патрубок 9. Суміш збагачена пилом через патрубок 5 поступає в бункер 6, в якому пил осідає, а повітря, що звільнилося від нього, через отвір 7 знову повертається в пилеприймач 3. У бункері 6 пил зволожується[14].

Ротоклони забезпечують порівняно високу ефективність очищення: для частинок пилу від 8 до 20 мкм – 83%, а для крупніших до 97%[14].



1 – всмоктувальний отвір; 2 – колесо; 3 – кільцеподібний приймач;
 4 – завиток; 5 – патрубок; 6 – бункер; 7 – отвір; 8 – проміжок; 9 – вихідний
 патрубок

Рисунок. 1.13 – Ротаційний пиловловлювач

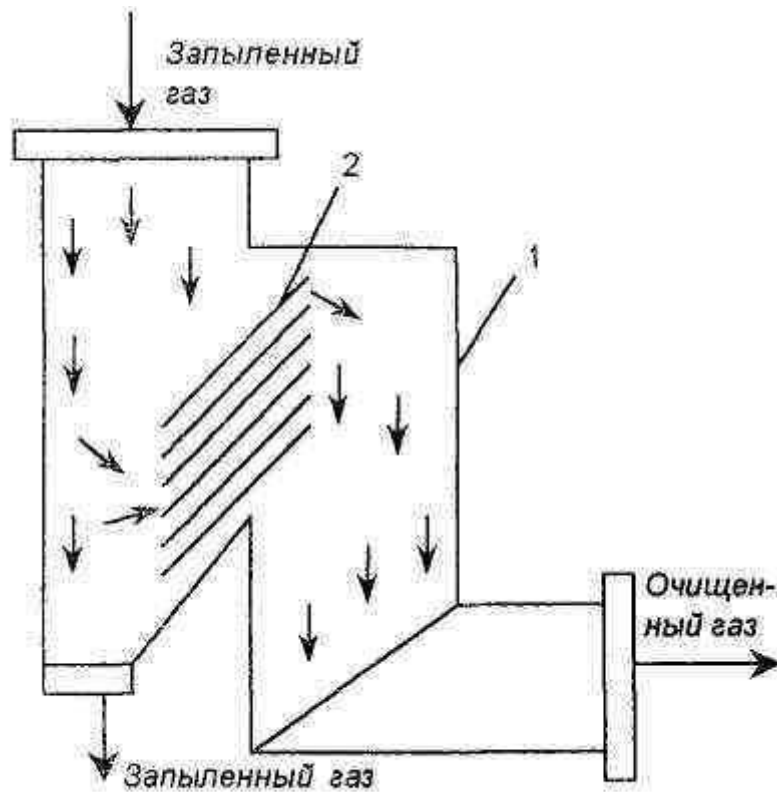
Переваги: висока ступінь вловлювання.

Недоліки: складна конструкція; можливе налипання пилу на роторі.

Жалюзійних пиловловлювач

Пил в основному міститься в потоці, який відсмоктується і направляється в циклон, де потік очищується від пилу і знову зливають з основної частини потоку, що пройшла через решітку. Швидкість газу перед жалюзійними

гратами повинна бути достатньо високою (до 15 м/с), щоб досягти ефекту інерційного розділення пилу. Наступні очисники впливають також швидкість руху газів, що поступають в циклон. Гідравлічний опір решітки становить від 100 до 500 Па. Як правило жалюзійні пиловловлювачі застосовують для уловлювання пилу розміром більше 20 мкм. Недоліком решітки є зношення пластин при високій концентрації пилу. Ефективність уловлювання частинок залежить від ефективності самої решітки та ефективності циклону, а також від частки в ньому всмоктуваного газу. Механізм відцентрового осадження ґрунтується на дії відцентрової сили, що виникає при обертанні очищуваного газового потоку в очисному апараті або коли частини самої установки обертаються. Циклонні апарати набули поширення в промисловості. Це тому, що циклони мають кілька переваг. Вони легко виготовляються та працюють, надійно експлуатуються при підвищених температурах (до 500 ° С) і високих газових тисках, можливість викидання пилу в сухому вигляді та очищення газів з високим вихідним вмістом пилу, майже постійним гідравлічним опором апарату, компактність, низька металоємність і висока продуктивність. Недоліками циклонів є високий гідравлічний опір порядку 1500 Па, неможливість використання газів для видалення липких забруднюючих речовин. Основний недолік циклонних пристроїв - порівняно невелика фракційна ефективність (порядку 60%) в області пилової фракції розміром від 5 до 10 мкм. Цей недолік пояснюється особливостями функціонування циклонів, зокрема, турболізацією запиленого повітряного потоку, що запобігає сепарації пилу. Підвищення ефективності очищення, особливо в області дрібних фракцій, досягається за рахунок більш рівномірного постачання, розподілу і закручуванню пилу і газового потоку [15,16].



1 - корпус, 2 - решітка

Рисунок. 1.14 – Жалюзійнихпилловловлювач

Переваги: висока ефективність очищення завдяки рівномірній подачі, розподілу і закручування пилогазового потоку.

Недоліки: високий гідравлічний опір порядку 1500 Па; неможливість використання для очищення газів від липких забруднень.

Висновки:

Проведено літературний аналіз досліджень процесу вловлювання пилогазових сумішей, дослідження типів пиловловлювачів та методів газоочистки.

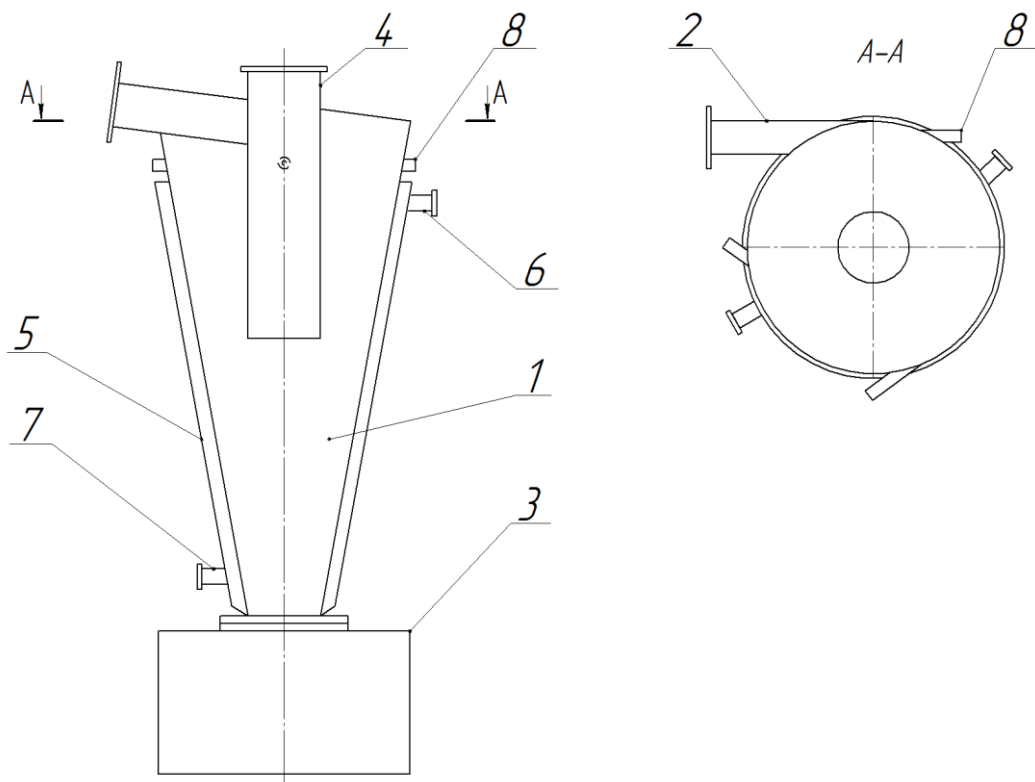
При проведенні літературного огляду було фізичні параметри проведення процесу, фізико-механічні властивості по відношенню до кожного апарату та визначено позитивні і негативні сторони кожного.

2 РОЗРОБКА ФІЗИЧНОЇ ТА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ УЛОВЛЮВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ ПРИ ОДЕРЖАННІ ГУМІНОВО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПЗИТИВ

2.1 Опис запронованої конструкції циклону

Було запроновано нову конструкцію для очистки пилогазових сумішей від багатоконпонентних систем при отриманні гуміново-мінеральних композитів. Дана конструкція отримала позитивне рішення на отримання патенту на корисну модель України.

Суть корисної моделі пояснюється на на рисунку 2.1.



1 – конічний корпус; 2 – тангенційний вхідний патрубок;
3 – пилозбірний бункер; 4 – осьовий вихідний патрубок; 5 – охолоджуюча оболонка; 6 – вихідний патрубок; 7 – вхідний патрубок; 8 – форсунки.

Рисунок 2.1 – Схема циклону

При роботі запропонованого циклонокомпозитне забруднення, яке складається з твердих частинок та водяної пари, подається через вхідний патрубок 2 і закручується. Закручений потік надходить у зону сепарації, рухається вниз, при цьому натверді частинки композитного забруднення впливає відцентрова сила протягом всього шляху руху частинок зверху вниз, тому що радіус обертання потоку зменшується. Водяна пара композитного забруднення після зрошення водою з форсунок 8 конденсується. Додатково, для покращення процесу конденсації, у охолоджуючу оболонку 5 подається холодна вода через вхідний патрубок 7 та виводиться через вихідний патрубок 6. Очищений потік потрапляє до осьового вихідного патрубка 4 та виводиться з циклону. Забруднені частинки та краплини конденсату рухаються вниз у напрямку бункера 3 [17].

2.2 Фізична модель процесу вловлювання

Неоднорідний газовий потік рухається за криволінійною траєкторією b каналі. Відцентрова сила, що діє на тверду частинку в точці b , спричиняє швидкість осідання W_o , перпендикулярно до радіуса – W_r , і як наслідок, частинка рухається за криволінійною траєкторією зі швидкістю $W_{рд}$.

Фізична модель описує процес вловлювання (рисунок 2.1).

В якості дослідного зразка використовувався циліндро-конічний циклон «НИОГАЗ» типу ЦН–11. Вхідний патрубок розміщений під кутом 11° і має прямокутний переріз.

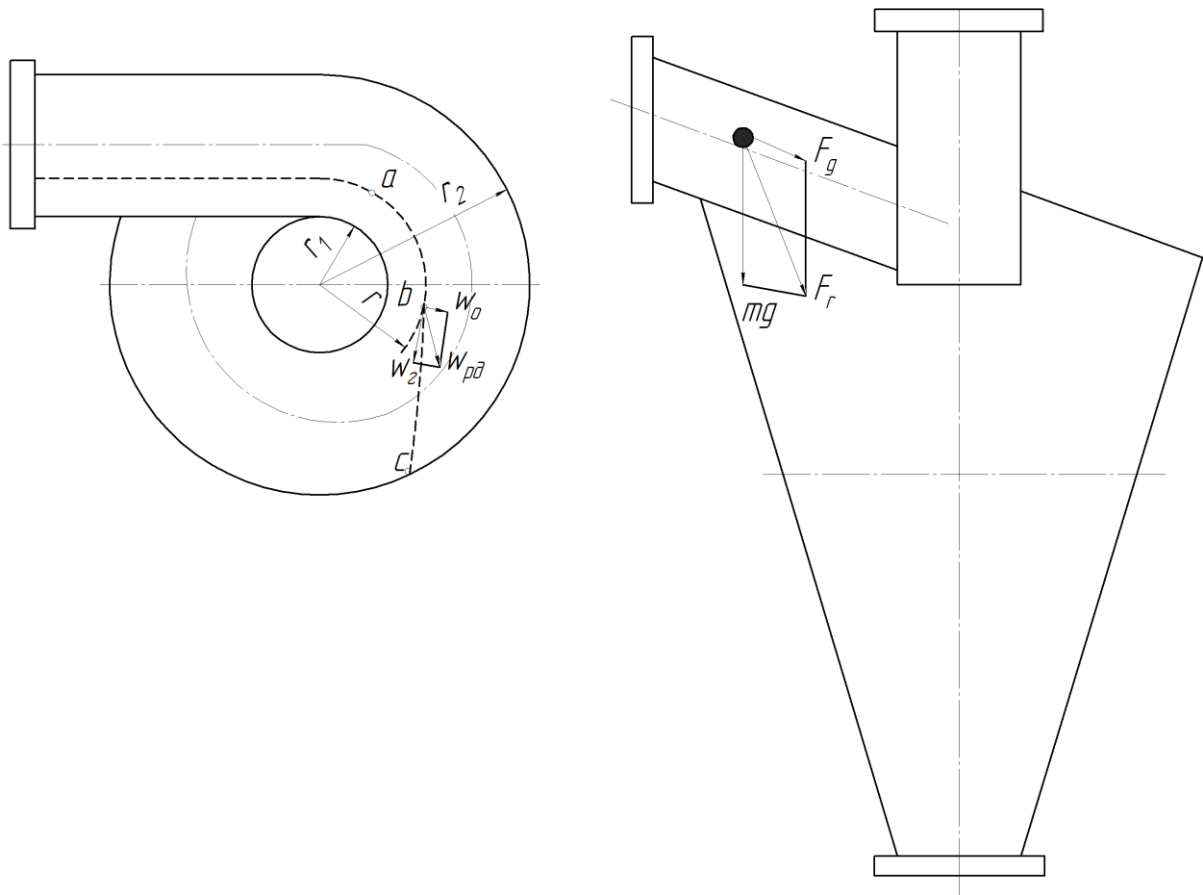


Рисунок 2.1 – Схема осадження твердих частинок у полі відцентрових сил

2.3 Математична модель процесу вловлювання

В загальному випадку відцентрова сила визначається наступним виразом:

$$F_{цб} = \frac{\pi \delta^3}{6} \rho_2 \frac{\vartheta_\varphi^2}{r}$$

Сила спротиву повітря буде визначатися таким виразом:

$$F_c = 3\pi\delta\eta\vartheta_r$$

Якщо припустити відсутність впливу сили тяжіння на частинку в зоні сепарації, то частинка буде рухатися під дією центробіжної сили $F_{цб}$, яка буде прагнути відкинути її на периферію і сили спротиву повітря F_c , яка буде прагнути винести її в сток. Для усталеного руху частинки маємо рівність $F_{цб} = F_c$.

Математична модель процесу вловлювання описується наступним виразом:

$$\frac{\pi \delta^3}{6} \rho_2 \frac{\vartheta_\varphi^2}{r} = 3\pi \delta \eta \vartheta_r$$

Відповідно до цього, кожному розміру частинок відповідає деякий радіус r , при якому має місце стан рівноваги $F_{цб} = F_c$. Якщо всі частинки знаходяться в стані рівноваги, то вони рухаються по концентричних колах, які можуть бути названі рівноважними траєкторіями [18].

За цією рівністю виразивши радіус r , отримаємо відстань на якій буде виконуватися рівність $F_{цб} = F_c$. Отримаємо:

$$r = 50 \text{ мм}$$

2.4 Фізична модель процесу конденсації водяної пари

Фізична модель теплопровідності через плоску стінку описує процес конденсації водяної пари (рисунок 2.2).

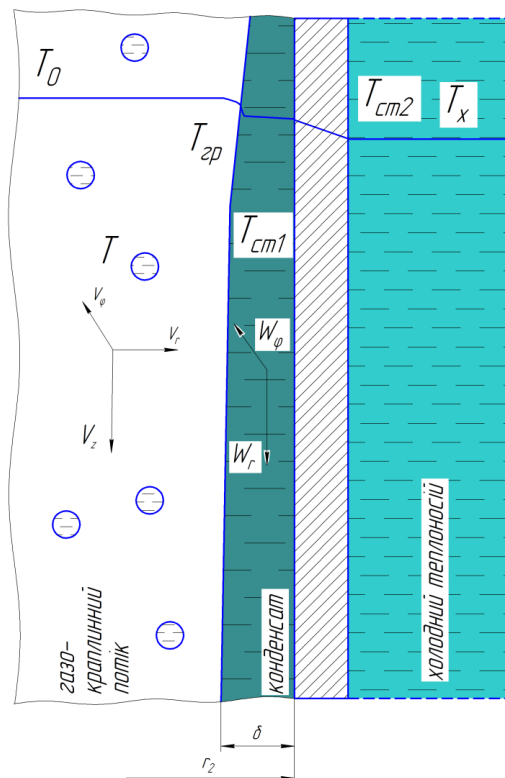


Рисунок 2.2 – Схема об'ємної та плівкової конденсації на стінках сепараційного каналу

2.5 Математична модель процесу конденсації водяної пари

Якщо розглядати теплопередачу через плоску стінку, то температура буде функцією тільки однієї координати x і диференціальне рівняння теплопровідності для розглядуваного випадку запишеться у вигляді [19]:

- зсередини циклону:

$$\frac{\partial T_{ст1}}{\partial \tau} = a_1 \frac{\partial^2 T_{ст1}}{\partial x_1^2}$$

- з боку зовнішнього середовища:

$$\frac{\partial T_{ст2}}{\partial \tau} = a_2 \frac{\partial^2 T_{ст2}}{\partial x_2^2}$$

Початкові умови для цього випадку:

при $\tau=0$, $t_{p1}=90^\circ\text{C}$; $t_{p2}=15^\circ\text{C}$.

В загальному випадку можна записати граничні умови третього роду [20]:

$$q \frac{1}{\alpha_1} = t_{p1} - t_{ст1}$$

$$q \frac{\delta}{\lambda} = t_{ст1} - t_{ст2}$$

$$q \frac{1}{\alpha_2} = t_{ст2} - t_{p2}$$

Систему рівнянь вирішуємо методом скінчених різниць [20]. Блок–схема, код програми, та таблиця із результатами розрахунку (таблиця А.1) розміщені у додатку А.

Висновок: у даному розділі представлена фізична та математична моделі процесу уловлювання багатокomпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів.

3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСУ УЛОВЛЮВАННЯ БАГАТОКОМПОНЕНТНИХ СИСТЕМ ПРИ ОДЕРЖАННІ ГУМІНОВО-МІНЕРАЛЬНИХ КОМПОЗИТІВ

3.1 Опис експериментального обладнання

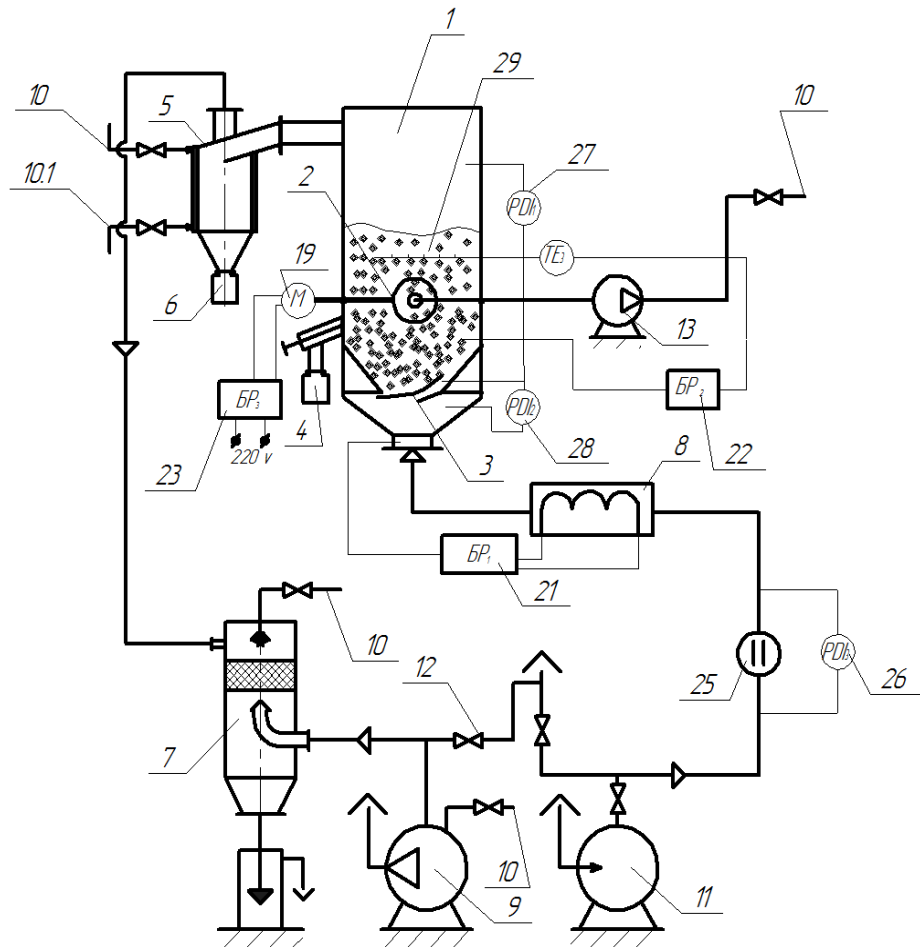
Перевірку ефективності уловлювання багатокомпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів було проведено на експериментальній установці, яка наведена на рисунку 3.1.

Експериментальна установка, призначена для дослідження процесів гранулоутворення багатошарових твердих композитів при зневодненні гомогенних рідких систем.

Пілотна установка має в своєму складі: апарат з псевдозрідженим шаром 1, циклон 5, скруббер 7, вакуум-насос 9, калорифер 8, компресор 13, камерну діафрагму 21, U - подібні дифманометри 23, 22, термометри 25.

При проведенні експериментальних досліджень проводилось безперервне вимірювання:

- температура теплоносія на вході до циклону T_1 , °С;
- температура псевдозрідженого шару T_2 , °С;
- кількість сконденсованої води у циклоні V_1 , м³/год;
- кількість поданої води на псевдозріджений шар V_2 , м³/год;
- температура води, яка відводилась після охолодження T_3 , °С;
- контролювався перепад тиску на ГРП, у псевдозрідженому шарі, тиск у апараті – за допомогою U-подібних водяних дифманометрів.



- 1 – апарат з псевдозрідженим шаром; 2 – конічний диспергатор;
 3 – газорозподільна решітка; 4 – ємність для вивантаження гранул;
 5 – циклон; 6 – ємність для збору пилу; 7 – скруббер; 8 – калорифер;
 9 – вакуум-насос; 10 – лінія подачі води; 10.1 – лінія відводу води з оболонки;
 11 – газодувка; 12 – байпас; 13 – насос; 19 – блок регулювання числа обертів
 двигуна ротора диспергатора (БРЗ); 21 – діафрагма для виміру витрат повітря;
 22, 23, 27, 28 – дифманометри; 25 – термопара виміру температури теплоносія
 на вході; 26 – термопара виміру температури в шарі для регулювання подачі
 розчину; 29 – блок комп'ютерного вимірювання температури; 30 – блок
 регулювання продуктивності насоса

Рисунок 3.1 – Схема експериментальної установки

3.2 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

Згідно закону про охорону праці України на нові машини, механізми, обладнання необхідно розробити нешкідливі і безпечні умови їх експлуатації обслуговуючим персоналом, необхідно оформити сертифікат на безпечну експлуатацію, згідно з встановленими зразками.

Темою магістерської дисертації є «Процес уловлювання багатокomпонентних систем при одержанні гуміново-мінеральних композитів».

Охорона праці і оточуючого середовища включає в себе питання безпеки праці, усунення причин травматизму і попередження професійних захворювань, аварійних ситуацій на виробництві; питання правової охорони праці. Необхідно розробити безпечні і нешкідливі умови для обслуговуючого персоналу. Виконання правил техніки безпеки є основною умовою зниження виробничого травматизму. Усі працівники повинні бути ознайомлені з правилами і інструкціями з техніки безпеки і виробничої санітарії.

При експлуатації обладнання працює оператор, площа приміщення $s = 50 \text{ м}^2$, об'єм: $v = 150 \text{ м}^3$. Устаткування, що розробляється, буде знаходитись в сухому приміщенні з нормальною температурою і вологістю повітря. Підлога приміщення залізобетонна. Згідно [21] воно відноситься до приміщень з підвищеною небезпекою. При обслуговуванні лінії можуть виникнути наступні шкідливі та небезпечні виробничі фактори:

- повітря робочої зони;
- електробезпека;
- вплив механізмів, які рухаються і обертаються;
- теплове випромінювання;
- виробничий шум та вібрації;
- виробниче освітлення;

- надзвичайні ситуації для ремонтних або аварійних робіт;
- пожежна безпека.

Повітря робочої зони

Вентиляцію слід передбачати для забезпечення допустимих метеорологічних умов і чистоти повітря в обслуговуваній ними робочій зоні приміщення (на постійному або не постійних робочих місцях). Кондиціонування повинно розглядатися як забезпечення стандартів чистоти та метеорологічних умов у робочій зоні приміщень або частин приміщень, які вони обслуговують. Клас другий - забезпечити метеорологічні умови в межах оптимальних норм або що вимагає технологічного процесу.

Температура повітря в робочій зоні в холодний період року складає: 20-23°C – оптимальна і 19-21°C – фактична, а в теплий період: 22-25°C та

21-23°C відповідно. Відносна вологість складає 40-60%. Швидкість руху повітря – 0,2 м/с.

Під час роботи лінії пил випускається з відкритих контейнерів шляхом його виходу через слабкість технологічного обладнання - бункер для наповнення. Концентрація пилу в повітрі завдяки вентиляції не перевищує ГДК 6 мг/м³, яка згідно ГОСТ12.1.005-88/98 становить 1,1-3,03 мг/м³.

В якості штучної місцевої вентиляції використовуємо витяжний зонт.

Ефективна робота парасольки можлива, якщо об'єм, що протікає через повітряний потік, менший за об'єм всмоктування повітря. Щоб витягти пил над наповнювачем, встановіть витяжну капот. Для нього характерно, що простір між джерелом і приймачем захищений від навколишнього середовища.

Розмір входу зонта більше, ніж розмір джерела. Для надійності парасольки необхідно, щоб вертикальний шлях між краєм парасольки та верхнім краєм кришки для виділення шкідливих речовин був мінімальним. Розрахунок цих параметрів наведено нижче. Знаходимо габарити зонта:

- висота підвісу зонта Н приймається в границях 1,6 ÷ 1,8 м:

$$H=1,7 \text{ м,}$$

- розміри прямокутного зонта в плані визначаємо з виразу:

$$A = a + 0,8h = 0,4 + 0,8 \cdot 1 = 1,2 \text{ м,}$$

$$B = b + 0,8h = 0,4 + 0,8 \cdot 1 = 1,2 \text{ м,}$$

де $a = b = 0,4$ – сторони поверхні, що перекривається, м;

$h = 1$ – відстань від пазу зонта до поверхні, що перекривається, м.

Кут зачинення зонта φ маємо приймати не більше 60° (в цьому випадку осьова швидкість в перерізі зонта близька до середньої по всьому перерізу зонта).

Повна висота зонта:

$$h_3 = \frac{A - D}{2 \operatorname{tg} \frac{\varphi}{2}} + h_6 = \frac{1,2 - 0,3}{2 \operatorname{tg} \frac{60}{2}} + 0,2 = 0,97 \text{ м,}$$

де $D = 0,3$ м – діаметр витяжної труби;

$h_6 = 0,2$ м – висота борту;

приймаємо $h_3 = 1$ м.

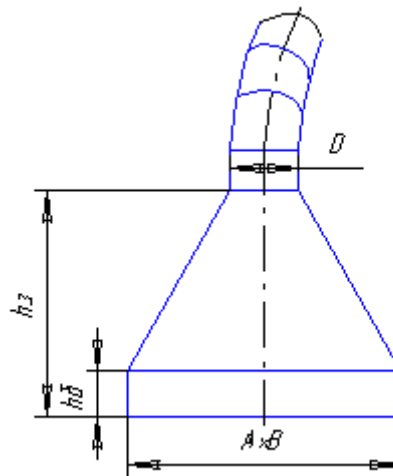


Рисунок 3.1 – Схема зонта

Об'єм повітря, що видаляється витяжною трубою від зонтів:

$$J_3 = 3600 F V_0 = 3600 \cdot 1,44 \cdot 0,5 = 2592 \text{ м}^3 / \text{Год,}$$

де F – площа розрахункового перерізу, м^3 :

$$F = AB = 1,2 \cdot 1,2 = 1,44 \text{ м}^2,$$

$V_0 = 0,5$ м/с – середня швидкість в розрахунковому перерізі зонта.

Втрати тиску у вентиляційній системі $\Delta P = 55$ Па.

Приймаємо осьовий вентилятор МЦ-6: продуктивність якого $J_B = 2500$ $\text{м}^3/\text{год}$, розвинутий повний тиск $P_B = 65$ Па, кількість обертів колеса $n = 930$ об/хв, ККД $\eta = 0,42$.

Вибір електродвигуна.

Потужність електродвигуна N розраховується з коефіцієнтом запасу 1,5.

Необхідна потужність на валу електродвигуна знаходиться за формулою:

$$N = \frac{J_B H_B}{3600 \cdot 102 \cdot \eta_b \eta_n} \cdot 1,5 = \frac{2500 \cdot 65}{3600 \cdot 102 \cdot 0,42 \cdot 0,7} \cdot 1,5 = 2,6 \text{ кВт},$$

де $J_B = 2500$ $\text{м}^3/\text{г}$ – продуктивність вентилятору;

$H_B = 65$ Па – створений вентилятором тиск;

$\eta_b = 0,42$ – КПД вентилятора;

$\eta_n = 0,7$ – КПД передачі.

Приймаємо електродвигун потужністю $N = 2,5$ кВт з кількістю обертів $n = 930$ об/хв.

Фактичні параметри умов відповідають нормам і забезпечуються наступними заходами:

1. Повітря в холодну пору року нагрівається в приміщеннях батареями з теплоносіями води, яка нагріта до температури $50 \div 60^\circ\text{C}$;

2. Вологість та швидкість руху повітря забезпечується природною та штучною вентиляцією.

Враховуючи те, що в теплий період року природна вентиляція втрачає свою ефективність, також використовуються штучні: загальна припливна та комбінована – загальна припливна разом з місцевою витяжною, у вигляді зонта, вентиляції ДСН 3.3.6.042-99.

Ефективність роботи вентиляційної системи відповідає вимогам [22].

Аеродинамічні випробування вентиляційних систем проводять не рідше одного разу на рік, а також після кожного капітального ремонту або реконструкції згідно з [23].

Електробезпека

Для живлення елементів установки використовується трифазна напруга 220/380 В з частотою 50 Гц з глухозаземленою нейтраллю.

Причини ураження обслуговуючого персоналу електричним струмом можуть бути такими:

- помилкове включення установки;
- замикання на корпусі;
- випадки дотику людей до відкритих струмопровідних частин електроустаткування;
- старіння ізоляції і, як наслідок, втрата ізоляційних властивостей;
- дотик до частин установки, що можуть опинитися під напругою у випадку короткого замикання.

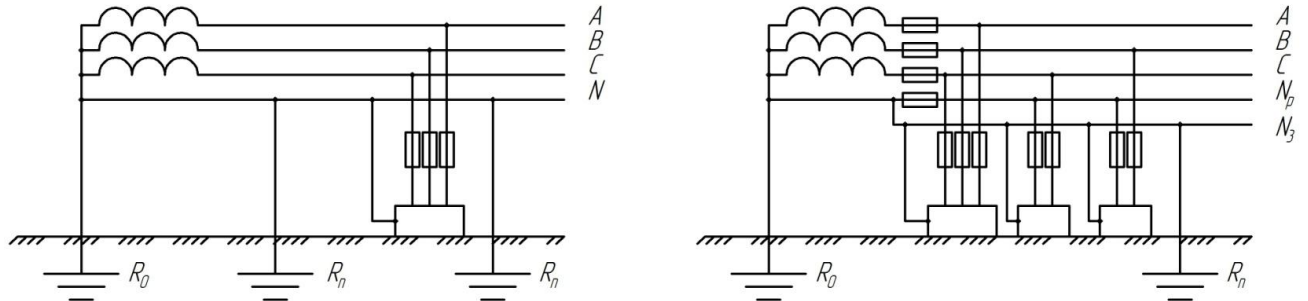
Стан електроізоляції характеризується трьома параметрами: електричною міцністю, електричним опором і діелектричними втратами. Електрична міцність ізоляції визначається випробуванням високої напруги, електричним опором вимірювань та діелектричними втратами за допомогою спеціальних випробувань.

Для забезпечення електробезпеки передбачені організаційні і технічні заходи:

- інструктаж і навчання безпечним методам праці;
- установлення плакатів і знаків безпеки (на небезпечних місцях – джерелах живлення, на регуляторах, і т. ін.);
- захисне відключення;
- ізоляція струмопровідних частин має бути $R \geq 0,5 \text{ МОм}$;
- установлення попереджувальної сигналізації та блокувань.

– використання електрозахисних засобів, у т.ч. діелектричних рукавичок, інструментів з ізолюючими ручками, показчиків напруги;

– захисне
занулення;



a – із суміщеним нульовим провідником

б – з нульовим робочим і
нульовим захисним провідником

Рисунок 3.2 – Схеми занулення електрообладнання в трифазних мережах

У аварійному режимі використовується електромагнітний замок. Електромагнітне блокування дозволяє уникнути можливості небезпечних ситуацій: увімкнути або вимкнути роз'єднувач під навантаженням, включити заземлювальні ножі на частині лінії під навантаженням, нанести навантаження на заземлену частину лінії. Такий замок виконується за допомогою однакових електромагнітних замків та одного електромагнітного ключа.

Вимоги до занулення полягають у наступному: обнулюючі провідники повинні бути вибрані таким чином, щоб струм короткого замикання відбувався на запірному пристрої до корпусу або до нейтрального захисного провідника, що є, щонайменше, в три рази більше, ніж номінальний струм запобіжника найближчої запобіжник або нерегульований випуск або встановлення струму автоматичного вимикача з регульованим випуском з реверсивно залежною характеристикою струму. при захисті мережі автоматичними вимикачами з електромагнітними розчеплювачами ця провідність повинна забезпечувати струм не нижче установки струму миттєвого спрацювання, помножений на коефіцієнт розкиду (по заводських даних) і на коефіцієнт запасу 1,1; при відсутності заводських даних для автоматичних вимикачів з номінальним

струмом до 100А кратність струму короткого замикання відносно установки треба приймати не менше 1,4, а з струмом 100А – не менше 1,25 заГОСТ 12.1.030-82/86.

Вплив механізмів, які рухаються і обертаються

Механізми, що обертаються в лінії: вал і елементи насосів, вентилятори. Ці механізми є небезпечними, оскільки це може спричинити механічні пошкодження людини, тому в кожному випадку частини або компоненти закриваються захисним захисним покриттям, що повністю запобігає можливим механічним пошкодженням. Для аварійної зупинки лінії, яка розташована в кабіні оператора, передбачена кнопка аварійного вимкнення.

Теплове випромінювання

Причинами травм може бути дотик людей до нагрітих поверхонь. Щоб уникнути травм, ці поверхні покриваються шаром ізоляції ($b=5$ см) з мінеральної вати марка 300 [24].

Небезпечними елементами в установці є:

- поверхня корпусу робочої камери;
- поверхня двигуна компресора.

Зовнішня температура ізоляції не перевищує 45 °С що відповідає СН 245–71. Теплове випромінювання становить $q = 200$ Вт/м² Температура поверхні теплоізоляції контролюється термометром за [25].

Виробничий шум та вібрації

Джерелом появи вібрації є робота компресора та вентиляторів. У джерелі рівень шуму сягає 100–105 дБА. Величина загальної технологічної вібрації на постійних робочих місцях при працюючій установці у виробничих приміщеннях не повинна перевищувати норм.

Шум може тимчасово активувати або постійно придушувати психічні процеси людського тіла. Фізіологічні та біологічні наслідки можуть виникати у вигляді порушення функції слуху та інших аналізаторів, зокрема

вестибулярного апарату, координаційної функції кори головного мозку, нервової системи та травної системи системи кровообігу.

Несподіваний і імпульсний шум може викликати переляк і неадекватну поведінку. Постійний шум може негативно впливати на сенсорні функції, зменшуючи, наприклад, швидкість руху очей, звуження поля зору, що спричиняє зміну сприйняття кольору, дисбаланс, втрату чутливості до болю.

Індивідуальні особливості людини, пов'язані з різними психологічними реакціями на вплив шуму суттєво впливають на його сприйняття. Шум не лише погіршує самопочуття людини і знижує продуктивність праці на 15%, але нерідко призводить до професійних захворювань. Матеріальний збиток від цих хвороб набагато більше, ніж від інших професійних захворювань. У зв'язку з цим боротьба з шумом має не тільки санітарно-гігієнічну, а й величезне техніко-економічне значення. Тому необхідно розробити комплекс технічних, технічних та організаційних заходів для зменшення шуму до нормативних цінностей.

В якості індивідуального засобу захисту органів слуху використовуються протишумові навушники ПНШ–Б [26]. Вони призначені для захисту органів слуху від дії середньо– та високочастотного шуму з рівнем до 115 дБА.

Використання для акустичної обробки цеху звукопоглинальних плит забезпечує зниження рівнів відбитого звуку, а рівні звукового тиску в контрольній точці не перевищують допустимих величин, тобто 65 дБА і відповідає ДСН 3.3.6.037–99 [27].

Освітлення робочої зони

Освітленість на робочих місцях відповідає гігієнічним нормам.

В приміщенні встановлено світлодіодні лампи у кількості 16 штук. Лампа потужністю 12 Вт, тип світла – денний, термін служби становить 50000 годин. Кожна лампа буде давати освітлення $E_{\phi} = 1200$ Лм. Так як $E_{\phi} > E_n = 150$ Лм, отже, освітлення приміщення $\phi - 19200$ Лм відповідає нормам ДБНВ 25.28.2006.

Надзвичайні ситуації для ремонтних або аварійних робіт

Балони призначені для зберігання, перевезення та використання стиснених (азот, повітря, кисень, сірководень), зріджених (аміак, сірчистий ангідрид, бутан) чи розчинених (ацетилен) газів під тиском вищим 0,07 МПа.

Безпечна експлуатація балонів забезпечується:

- необхідною механічною міцністю балонів і належним контролем за їх станом;
- запобіганням помилкового наповнення балонів іншими газами (наприклад, балонів для негорючих газів – горючими; балонів для горючих газів – киснем);
- дотриманням правил наповнення, транспортування, зберігання та використання балонів.

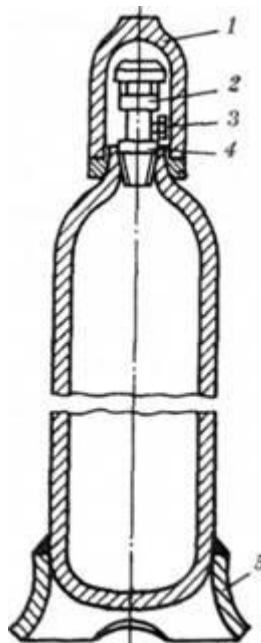
Необхідна механічна міцність циліндрів забезпечується їх якісним виготовленням та періодичним оглядом. Балони для стиснутого, зрідженого та розчиненого газів зварюються (робочий тиск у балоні – до 3 МПа) або безшовними. У процесі експлуатації балони проходять перевірку: огляд внутрішньої (при можливості) та зовнішньої поверхонь балонів; перевірку маси та міцності; гідравлічне випробовування. Огляд балонів здійснюється з метою виявлення на їх стінках корозії, тріщин, вм'ятин та інших пошкоджень для визначення придатності балонів до подальшої експлуатації. Якщо результати огляду незадовільні (виявлено тріщини, вм'ятини, раковини глибиною понад 10 % від номінальної товщини стінки), то балони бракуються.

Тиск випробувального випромінювання та тривалість балонів під таким тиском встановлюються відповідними стандартами (для стандартних балонів) та технічними умовами (для нестандартних), а випробовуваний тиск повинен становити принаймні півтора рази робочий тиск.

Перевірка балонів здійснюється підприємствами-заповнювачами, АЗС та контрольно-пропускними пунктами, які в установленому порядку отримали

дозвіл на це в органах Держгірпромнагляду. Після перевірки, верхня сферична частина кулі штампована і зазначається дата наступної перевірки. Для запобігання помилковому наповненню балонів іншими газами надається відмітний колір та маркування циліндрів. Окрім того, бокові штуцери вентилів балонів (рисунок 3.3), що наповнюються горючими газами, мають ліву різьбу, а балонів, що наповнюються киснем та іншими негорючими газами – праву.

Експлуатація, транспортування та зберігання циліндрів на підприємстві повинно здійснюватися у відповідності до вимог інструкцій, затверджених у встановленому порядку. Працівники, які обслуговують балони, повинні пройти навчання та інструктаж відповідно до чинної нормативної документації. Залишковий тиск газу в балоні повинен бути не менше 0,05 МПа.



1 – ковпак; 2 – вентиль; 3 – штуцер; 4 – заглушка; 5 – башмак.

Рисунок 3.3 – Схема балону

Наповнені балони зберігаються у вертикальному положенні у спеціально обладнаних гніздах, клітках або огорожуються бар'єром для запобігання їхньому падінню. Балони з газом розміщують на відстані не менше 1 м від радіаторів опалення та інших опалювальних приладів і не менше ніж 5 м від

джерел відкритого вогню. Кисневі балони необхідно оберігати від забруднення будь-яким мастилом або жиром, оскільки вони можуть утворити вибухонебезпечну суміш з чистим киснем.

Враховуючи значну масу балонів, особливо тих, що наповнені газом, їх переміщення всередині підприємства повинно здійснюватися на вантажних автомобілях, спеціально адаптованих для цієї мети; У цьому випадку на циліндр повинен бути встановлений захисний ковпак1 (рисунок 3.3).

Пожежна безпека

У процесі виробництва використовується сульфат амонію. Матеріал установки: сталь.

Виходячи з цього, виробництво за пожежонебезпечністю віднесено до категорії В.

Вогнестійкість приміщення відповідає ступеню вогнестійкості П-Па.

Серед причин, що можуть викликати загорання, найбільше ймовірними є такі:

- несправність електроустаткування;
- струми короткого замикання і перевантаження кабелів живлення;
- загорання ізоляції електропроводки.

Запобігання загорання забезпечується такими мірами:

- дотримання технологічних норм і правил експлуатації;
- обмеження в застосуванні відкритого вогню;
- паління тільки у відведених для цього місцях;
- своєчасне проведення інструктажу з техніки безпеки серед обслуговуючого персоналу;
- наявність засобів сигналізації, зокрема, системи електричної пожежної сигналізації (ЕПС) і засобів оперативного зв'язку з пожежною частиною;
- наявність засобів пожежегасіння в безпосередній близькості від установки (пісок, вогнегасники).

При заpalенні автоматизованої системи необхідно спочатку вимкнути систему живлення, ви можете гасити вогонь, якщо його неможливо вимкнути, то електрообладнання може погаситись лише з вуглекислими вогнегасниками або порошковими вогнегасниками (рисунок 3.4). Для гасіння пожеж з відключеним електрообладнанням існує мережа автоматичної пожежної сигналізації та засобів оперативного зв'язку з пожежною службою. В кімнаті є два еваковиходи. Сам цех – це приміщення, яке розташоване на першому поверсі. Ширина шляхів евакуації не менше одного метру, а дверей на шляху евакуації – не менше 0,8 м. Засоби пожежогасіння справні та розміщуються у легко доступних місцях. Аварійний запас протипожежних та спецодегу зберігається в установленому місці відповідно до [28].

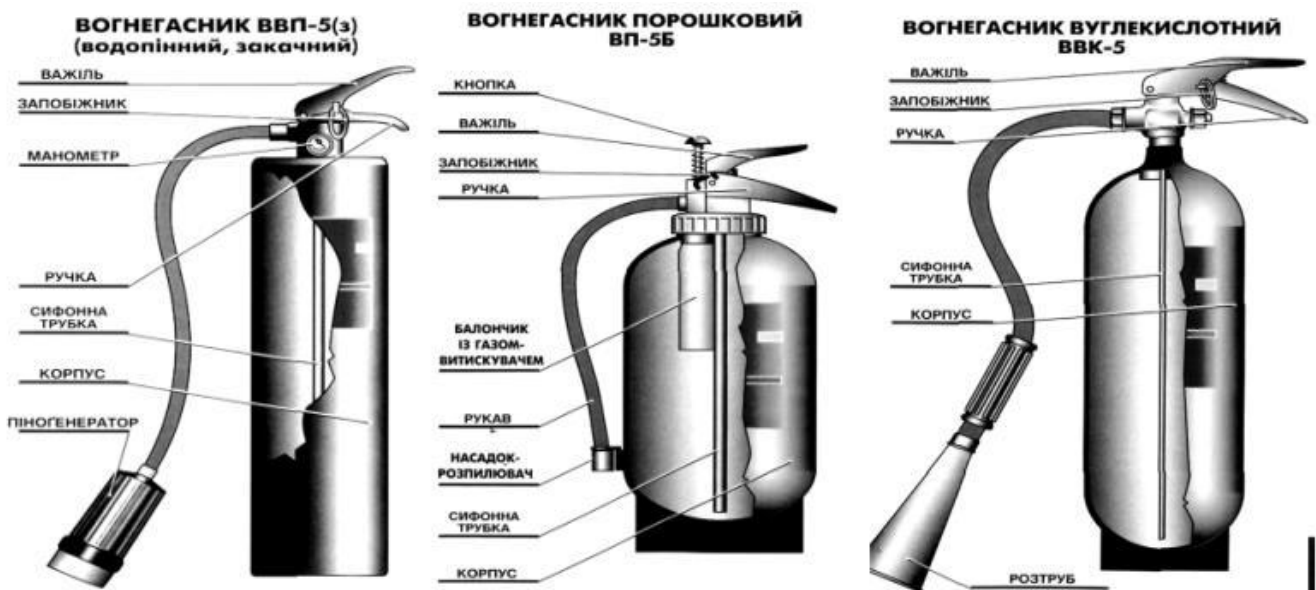


Рисунок 3.4 – Вогнегасники ВВП–5, ВП–5Б, ВVK–5

Для стаціонарного пожежогасіння використовують порошкові вогнегасники ВП–5Б, кількістю 5 шт., кожний з яких накриває площу в 12 м². Автоматичне спрацювання відбувається при $t = 72 \text{ }^\circ\text{C}$ (через 20–25 хв після початку горіння).

Аварійна вентиляція вмикається автоматично при задимленні і має потужність 8V (м³) приміщень.

План евакуації приміщення зображено на рисунку 3.5.

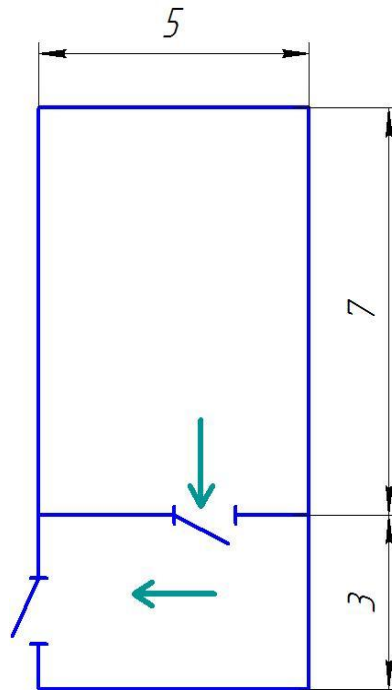


Рисунок 3.5 – План евакуації приміщення

3.3 Методика проведення досліджень

3.3.1 Методика проведення досліджень при вловлюванні без охолодження циклону

Вмикаємо живлення на електрощитові, відкриваємо подачу води на скруббер, далі прокручуємо вакуум-насос та запускаємо його. Вмикаємо калорифер, запускаємо лабораторну установку. Після того як температура на вході в гранулятор досягне 190°C завантажуюмо псевдозріджений шар. Температура на вході в гранулятор має підтримуватися близько 200°C , температура шару має становити 90°C , після цього починаємо подавати робочий розчин. Контролюємо за допомогою U-подібних водяних дифманометрів, щоб перепад тиску на діафрагмі становив 150 мм.вод.ст., а на псевдозрідженому шарі – 240 мм.вод.ст. Витрати робочого розчину контролюємо вентилем на

насосі для підтримання оптимальної температури в 90°C. Витрата повітря контролюється ротаметром і регулюється вентиляем. Вмонтовані термомпари дозволяють фіксувати зміну поля температур всередині апарату гранулятора та циклону. Після виходу установки на режим через кожні 10 хв ємність з пилом відбиралася для подальшого зважування, дані по кількості уловленого пилу фіксувалися у табличку результатів експерименту. Таблиця з результатами досліду представлена у додатку Б (таблиця Б.1). Вимикаємо установку у зворотному режимі.

3.3.2 Методика проведення досліджень при вловлюванні із охолодженням циклону

Вмикаємо живлення на електрощитові, відкриваємо подачу води на скруббер, далі прокручуємо вакуум-насос та запускаємо його. Вмикаємо калорифер, запускаємо лабораторну установку. Після того як температура на вході в гранулятор досягне 150°C завантажуюємо псевдозріджений шар (в якості псевдозрідженого шару використовуємо полікарбонат). Температура на вході в гранулятор має підтримуватися близько 190-200°C, температура шару має становити 70°C, після цього починаємо подавати воду. Контролюємо за допомогою U-подібних водяних дифманометрів, щоб перепад тиску на діафрагмі становив 150 мм.вод.ст., а на псевдозрідженому шарі – 240 мм.вод.ст. Витрати води контролюємо вентиляем на насосі для підтримання оптимальної температури в 70-75°C. Витрата повітря контролюється ротаметром і регулюється вентиляем. Вмонтовані термомпари дозволяють фіксувати зміну поля температур всередині апарату гранулятора та циклону. Відцентровим насосом через систему трубопроводів подається вода в оболонку для охолодження циклону. Після виходу установки на режим через кожні 5 хв ємність з конденсатом відбиралася для подальшого зважування, яку фіксували

у таблиці. Визначали також температуру води після охолодження. Таблиця з результатами дослідів представлена у додатку Б (таблиця Б.2). Вимикаємо установку у зворотному режимі.

3.4 Перевірка адекватності математичної моделі

3.4.1 Перевірка адекватності математичної моделі при вловлюванні без охолодження циклону

Для експериментальної перевірки адекватності математичної моделі вловлювання циклону, а саме кількості вловленого пилу, була виконана серія дослідів на установці (рисунок 3.1).

Кількість пилу визначалася для того, щоб в подальшому визначити на скільки зміниться ефективність вловлювання при охолодженні циклону.

Результати дослідів приведено у графічному вигляді на рисунку 3.2.

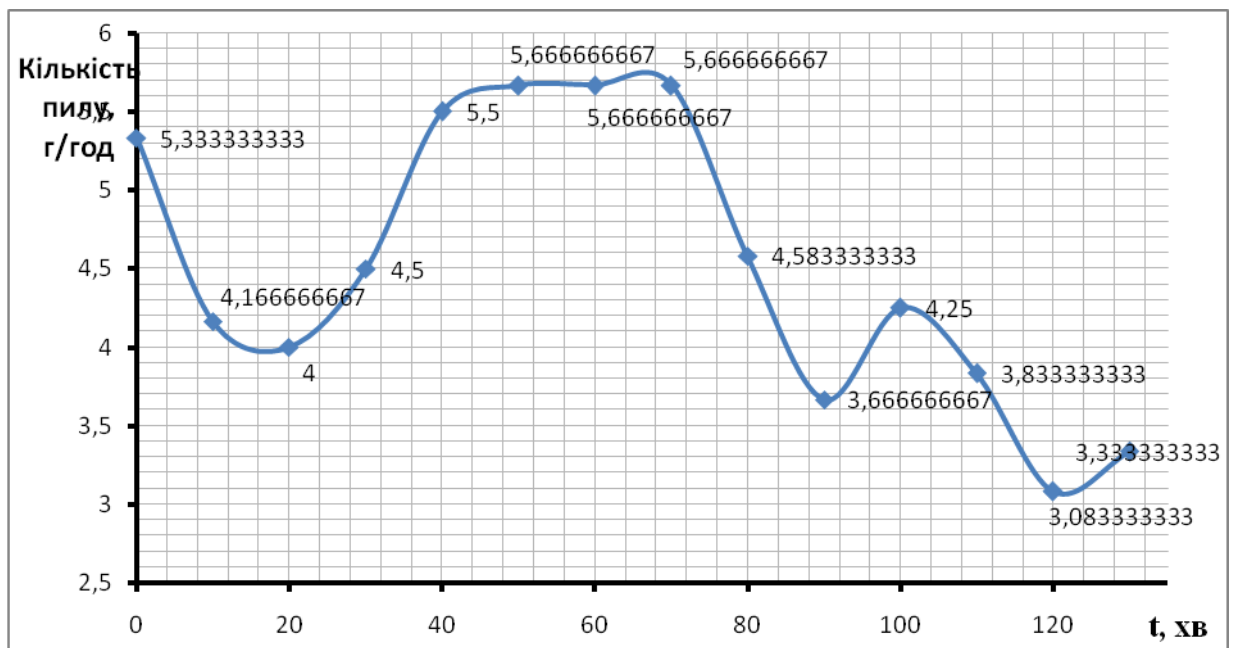


Рисунок 3.2 – Масові витрати кількості пилу пилу

3.4.2 Перевірка адекватності математичної моделі при вловлюванні із охолодженням циклону

Для експериментальної перевірки адекватності математичної моделі при вловлюванні із охолодженням циклону, а саме кількості конденсату, була виконана серія дослідів на установці (рисунок 3.1).

В охолоджуючу оболонку циклону вмонтовано термопари для заміру температури. Також, заміряються, температура на вході в циклон та температура води, яка подається на охолодження циклону.

Досліди проводилися таким чином: псевдозріджений шар (полікарбонат) підігрівався до температури 70-75°C, на нього подавалася вода, яку в подальшому планувалося сконденсувати у циклоні. Фіксували зміну температурного поля при охолодженні циклону. Визначали кількість сконденсованої вологи в циклоні.

Результати дослідів приведено у графічному вигляді на рисунку 3.3 та 3.4.

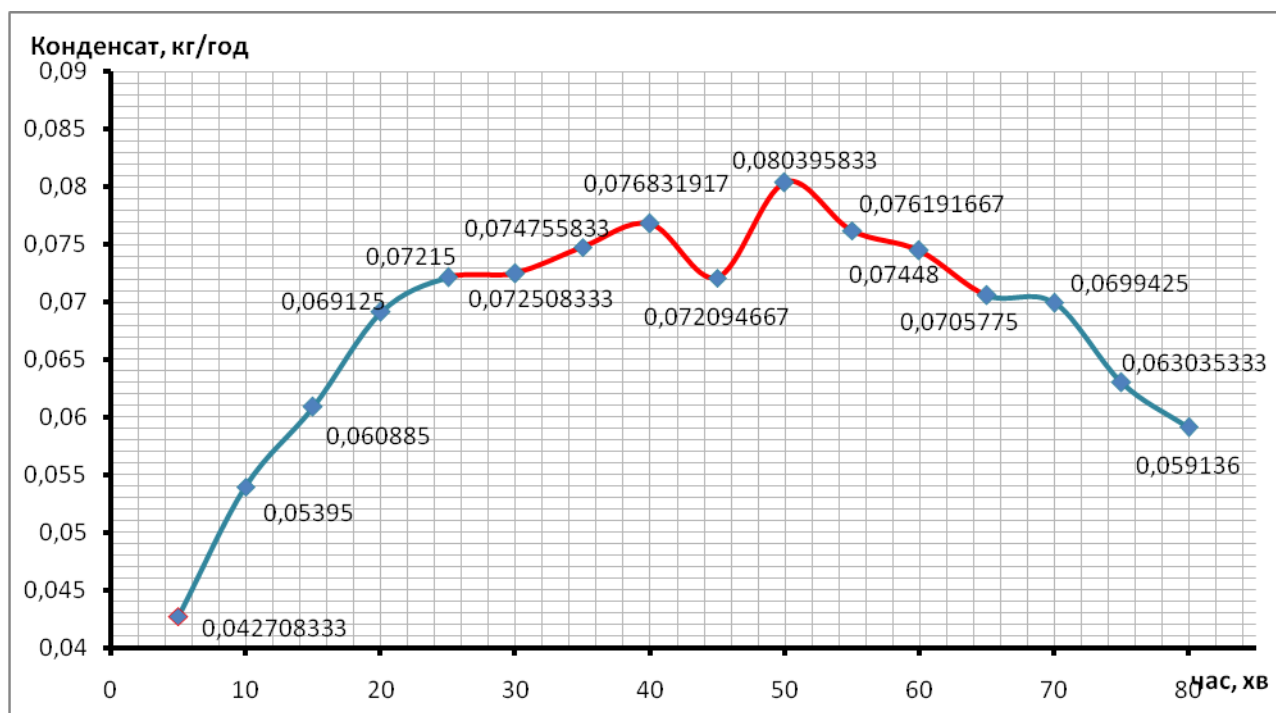


Рисунок 3.3 – Динаміка залежності масових витрат пилу

На наступному графіку показано витрати води, яка подавалася на псевдозріджений шар.

Червоним кольором показано сталий режим роботи установки. Витрати були такі великі тому, що потрібно було підтримувати шар при температурі 70-75°C, щоб не розплавився полікарбонат.

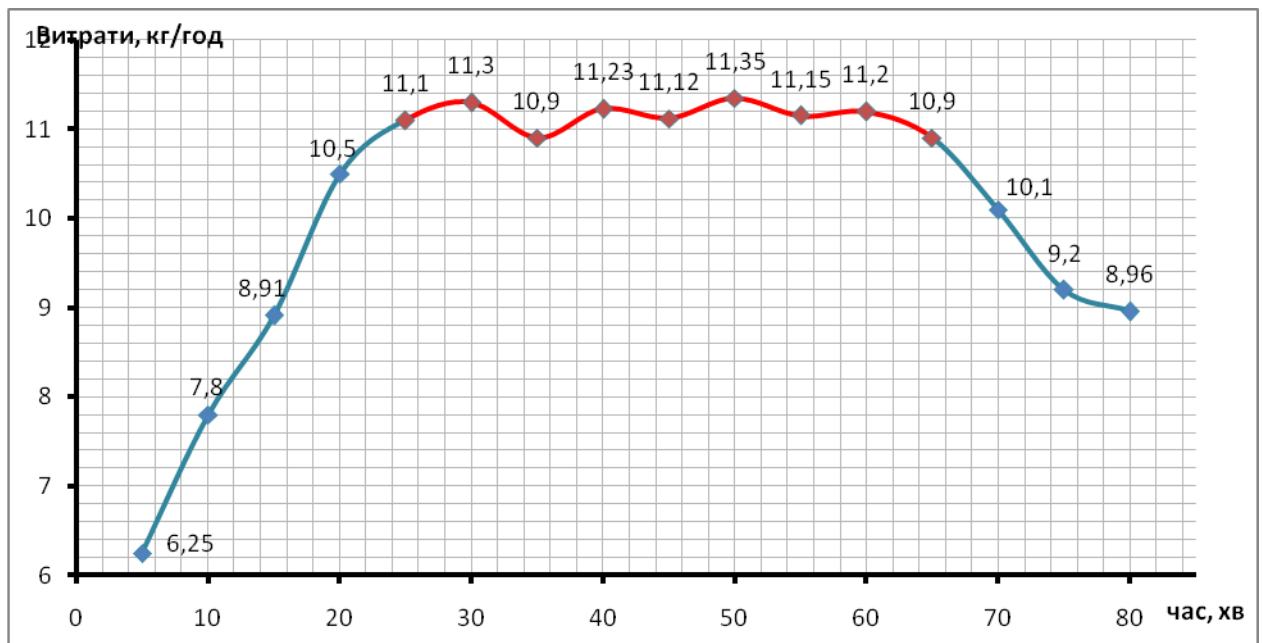


Рисунок 3.4 – Графік залежності витрат води від часу

При охолодженні циклонного апарату ми можемо сконденсувати від 8 до 10% вологи, яка знаходиться у пилоповітряній суміші. Цей показник не великий, але він показує, що ми працюємо у правильному напрямку.

Були також спроби охолодження льодом, але так як лід мав форму кубика, то він недостатньо облягав поверхню циклону. Через це не вдалося досягти достатній перепад температур, щоб досягти конденсації вологи.

Для перевірки адекватності математичної моделі було розраховано теплопередачу через плоску стінку у середовищі QBasicта побудовано поле температур у середовищіGrapher13.

На рисунку 3.5 показано поле температур через плоску стінку.

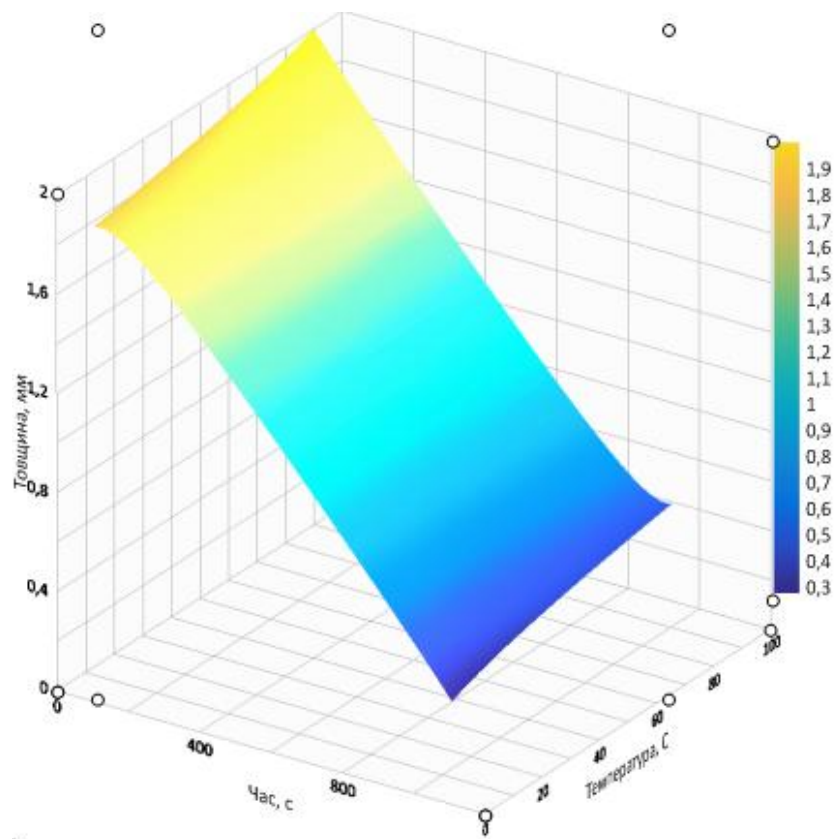


Рисунок 3.5 – Зміна поля температур через стінкуз плином часу

На наступному рисунку показано синім кольором класичне вловлювання циклону, а червоним кольором – вловлювання із охолодженням циклону. Рідина, яка конденсувалася у циклоні коагулювала пил – це підвищило кількість вловленого пилу на 8-10%.

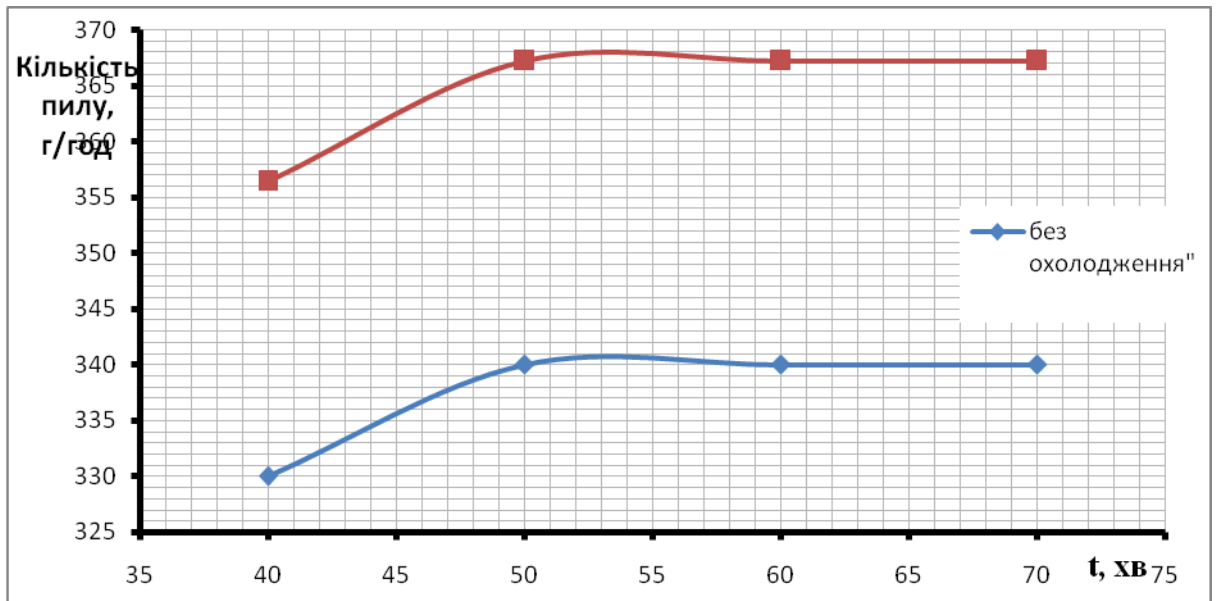


Рисунок 3.6 – Відмінність вловлювання циклону

Але в цього способу також є негативні сторони, які поки не вдалося усунути, а саме налипання пилу на стінках циклону. Так як дослід проводився недовго, то вплив на результати експерименту був не відчутний.

На наступних рисунках показано налипання пилу на стінки циклону.



Рисунок 3.7 – Налипання пилу зі сторони труби для відводу очищеного повітря при температурі шару $T_{ш}=90^{\circ}\text{C}$



Рисунок 3.8 – Налипання пилу зі сторони патрубку для відводу пилу при температурі шару $T_{ш}=90^{\circ}\text{C}$

3.5 Оцінка похибки вимірювань

3.5.1 Обробка результатів прямих вимірювань

Оцінка похибки вимірювань проводимо та розраховуємо за методикою [29]:

Таблиця 3.1 – Конденсат

№	Маса зразку, гр	Середнє значення	Δ	Δ_i
1	42,51		0,01	0,0001
2	42,48		-0,02	0,0004
3	42,49		-0,01	0,0001
4	42,52		0,02	0,0004
5	42,49		-0,01	0,0001

6	42,5		0	0
7	42,51	42,5	0,01	0,0001

Хай деяка випадкова величина x вимірюється n разів в однакових умовах з однаковою точністю. У відповідності із теорією похибок найбільш близьким до істинного значення x_0 вимірюваної величини x є середньоарифметичне значення \bar{x} .

$$\bar{x} = \frac{x_1 + x_1 + \dots + x_n}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (3.1)$$

Як було показано раніше, чим більше число вимірювань, тим ближче середнє значення наближається до істинного. Результати окремих вимірювань в загальному випадку відрізняються від істинного значення. Абсолютні похибки i -того вимірювання:

$$\Delta x_i = x_0 - x_i \quad (3.2)$$

Середня арифметична похибка визначається згідно із співвідношенням:

$$\eta = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\Delta x_i| = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n |\bar{x} - x_i| \quad (3.3)$$

Вона визначає межі в яких лежить більше половини вимірювань (в теорії похибок доведено, що це число рівне 42,5% від всіх вимірювань). Отже значення x_0 з 42,5% ймовірністю потрапляє в інтервал від $\bar{x} - \eta$ до $\bar{x} + \eta$. Тоді результати вимірювань величини x записуються у виді:

$$x_0 = \bar{x} \pm \eta$$

1. Обчислюється середньоарифметичне значення серії з n вимірювань:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i.$$

2. Знаходимо похибки окремих вимірювань $\Delta x = x_i - \bar{x}$.
3. Обчислюються квадрати похибок окремих вимірювань Δx^2 .
4. Якщо одне з вимірювань різко відрізняється за своїм значенням від решти вимірювань, то слід перевірити чи не є воно промахом.
5. Визначається середньоквадратична похибка середнього значення прямих вимірювань:

$$S_x = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.4)$$

Таким чином, для скінченої вибірки дисперсію середнього значення (середньоквадратичним відхиленням середнього значення) розраховують за формулою:

$$S_x = \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (3.5)$$

6. Задаємо значення коефіцієнта надійності $\alpha=0,95$. За допомогою відповідних таблиць для даного значення величини α і n визначають величину коефіцієнта Стюдента $t_\alpha(n)$. Згідно таблиці для $\alpha = 0,95$ і $n=7$ величина коефіцієнта Стюдента $t_\alpha(n) = 2,45$ для обох експериментів Знаходять похибку вимірювань Δx , яка визначається межею довірчого інтервалу: $\Delta x = t_\alpha(n) \cdot S_x$.
7. Якщо величина похибки вимірювань, визначена в п.6, виявиться порівняно малою з величиною похибки приладу, то:

$$\Delta x = \sqrt{(t_\alpha \cdot S_x)^2 + \left(\frac{t_\alpha(\infty)}{3}\right) \cdot (\Delta x_{\text{пр}})^2} \quad (3.6)$$

Для $\alpha=0,95$ $t_\alpha(\infty)=1,96$.

8. Обчислюється відносна похибка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% \quad (3.7)$$

9. Остаточний результат записується у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \Delta x, \varepsilon (\%) \quad (3.8)$$

3.5.2 Розрахунок похибки прямого вимірювання

Середньоарифметичне значення серії з n вимірювань та записується до таблиць 3.1:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i = \frac{(42,51 + 42,48 + 42,49 + 42,52 + 42,49 + 42,5 + 42,51)}{7} = 42,5.$$

Дисперсія середнього значення розраховують за формулою (3.5):

$$\begin{aligned} S_x &= \frac{S_x}{\sqrt{n}} = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} = \\ &= \sqrt{\frac{(42,51 - 42,5)^2 + (42,48 - 42,5)^2 + (42,49 - 42,5)^2 + (42,52 - 42,5)^2 + \\ &\quad + (42,49 - 42,5)^2 + (42,5 - 42,5)^2 + (42,51 - 42,5)^2}{7 *}} = 2,85714 \cdot 10^{-5} \\ &\quad * (7 - 1) \end{aligned}$$

де n – кількість дослідів в кожному експерименті.

Похибку вимірювань:

$$\Delta x = t_{\alpha}(n) \cdot S_x = 2,45 \cdot 2,85714 \cdot 10^{-5} = 6,99 \cdot 10^{-5}.$$

Відносна похибка:

$$\varepsilon = \frac{\Delta x}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{6,99 \cdot 10^{-5}}{42,5} \cdot 100\% = 0,0016\%.$$

Висновок: Було отримано такі результати вимірювань для дослідів $x=42,5 \pm 0,1$, $\varepsilon=0,00016\%$.

Висновок:

Експериментально встановлено динаміку зміну масових витрат при пилу при температурі шару $T_{ш}=95^{\circ}\text{C}$.

Експериментально встановлено динаміку зміни витрат конденсації при роботі на модельній рідині при температурі шару $T_{ш}=95^{\circ}\text{C}$ та температурі охолоджувальної рідини $T_{ок,р}=13^{\circ}\text{C}$.

Експериментально встановлено, що для досягнення середнього значення $T_{поч.}=13^{\circ}\text{C}$ $T_{кін}=88^{\circ}\text{C}$ необхідні витрати води при $\Delta t=75^{\circ}$.

Циклон, що застосовується в даному методі дозволяє збільшити вловлювання в 1,07 рази.

4 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

4.1 Методика розрахунку циклонного апарату з охолодженням

Мета: розрахувати циклон із холодною стінкою для вловлювання пилогазової суміші із частковою конденсацією парів вологи.

Вихідні дані:

Продуктивність повітря по циклону $G_{\text{пов.}}$, м ³ /с;	0,03834 м ³ /с
Температура повітря на вході в циклон $T_{\text{пов.вх.}}$, °С	90°С
Температура води на вході $T_{\text{пов.вх.}}$, °С	3°С
Температура води на виході $T_{\text{пов.вих.}}$, °С	32°С

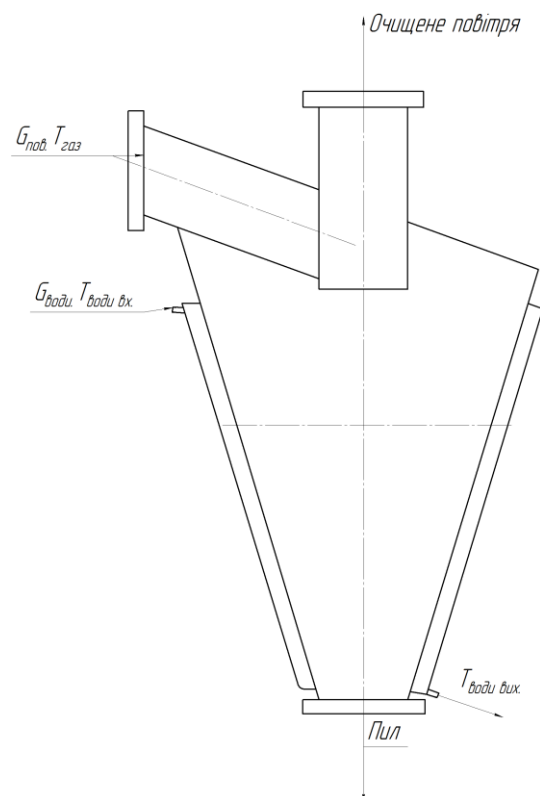


Рисунок 4.1 – Розрахункова схема циклону

Для початку, знаючи геометричні розміри апарату, визначаємо площу поверхні охолодження. Так як циклон циліндро-конічний, то його площа буде складатися з двох частин:

- площа циліндричної частини:

$$S_{\text{ц}} = 2 \cdot \pi \cdot r \cdot h = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,075 \cdot 0,135 = 0,064 \text{ м}^2;$$

- площа конічної частини:

$$S_{\text{к}} = 2 \cdot \pi \cdot l \cdot (R + r) = 2 \cdot 3,14 \cdot 0,23 \cdot (0,075 + 0,022) = 0,07 \text{ м}^2;$$

Загальна площа охолодження:

$$F_p = S_{\text{ц}} + S_{\text{к}} = 0,064 + 0,07 = 0,134 \text{ м}^2.$$

Далі визначаємо критерій Рейнольдса для внутрішнього середовища циклону:

$$Re_1 = \frac{\omega_r \cdot l_1}{\nu_{\text{пов}}} = \frac{21 \cdot 0,15}{22,1 \cdot 10^{-6}} = 1,425 \cdot 10^5,$$

де ω_r – швидкість газу в циклоні, м/с;

l_1 – діаметр циклону, м;

$\nu_{\text{пов}}$ – кінематична в'язкість повітря, м²/с.

Визначаємо критерій Нуссельдта всередині циклону:

$$Nu_1 = 0,28 \cdot Re_1^{0,6} \cdot Pr_1^{0,36} \cdot 1 = 0,28 \cdot (1,425 \cdot 10^5)^{0,6} \cdot 0,693^{0,36} \cdot 1 = 303,523,$$

де Pr_1 – критерій Прандтля всередину циклону, який визначається:

$$Pr_1 = \frac{c_1 \cdot \mu_1}{\lambda_{90}} = \frac{1009 \cdot 21,5 \cdot 10^{-6}}{3,13 \cdot 10^{-2}} = 0,693,$$

де c_1 – теплоємність повітря для заданих умов, кДж/кг·°С;

μ_1 – динамічна в'язкість повітря для заданих умов, Па·с;

λ_{90} – теплопровідність матеріалу при температурі 90°С, Вт/(м·К).

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі всередині циклону Вт/м²·К:

$$\alpha_1 = \frac{Nu_1 \cdot \lambda_{90}}{l_1} = \frac{517,5 \cdot 3,13 \cdot 10^{-2}}{0,15} = 63,335.$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для зовнішнього середовища циклону, з боку охолоджуючої оболонки:

$$Re_2 = \frac{\omega \cdot l_2}{v_{\text{води}}} = \frac{0,01 \cdot 0,02}{1,789 \cdot 10^{-6}} = 111,78,$$

де ω – швидкість води в охолоджувальній оболонці, м/с;

l_2 – відстань від стінки циклону до охолоджувальної оболонки, м;

$v_{\text{води}}$ – кінематична в'язкість води при заданих умовах, м²/с.

Визначаємо критерій Нуссельдта всередині циклону:

$$Nu_2 = 0,28 \cdot Re_2^{0,6} \cdot Pr_2^{0,36} \cdot 1 = 0,28 \cdot 111,78^{0,6} \cdot 1367^{0,36} \cdot 1 = 63,836,$$

де Pr_2 – критерій Прандтля зовні циклону, який визначається:

$$Pr_2 = \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_3} = \frac{4212 \cdot 1788 \cdot 10^{-4}}{0,551} = 1367,$$

де c_2 – теплоємність води для заданих умов, кДж/кг·°С;

μ_2 – динамічна в'язкість води для заданих умов, Па·с;

λ_3 – теплопровідність води при температурі 3°С, Вт/(м·К).

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі зовні циклону Вт/м²·К:

$$\alpha_2 = \frac{Nu_2 \cdot \lambda_3}{l_2} = \frac{63,836 \cdot 0,551}{0,02} = 1759.$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі Вт/м²·К:

$$K = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = \frac{1}{\frac{1}{63,35} + \frac{0,001}{20} + \frac{1}{1759}} = 61,$$

де δ – товщина стінки, м;

λ – теплопровідність сталі, Вт/(м·К).

Визначаємо питому теплоту пароутворення Дж:

$$Q_p = r \cdot m = 2200 \cdot 10^3 \cdot 3,333 \cdot 10^{-3} = 7333,$$

де r – питома теплота пароутворення, Дж/кг;

m – масові витрати, кг/с.

Визначаємо кількість теплоти, яку можна буде відвести від циклону водою. Різниця температур буде дорівнювати:

$$\Delta t = 90 - 13 = 77^\circ\text{C}.$$

Визначаємо кількість теплоти, яку зможемо відвести за допомогою охолоджуючої оболонки:

$$Q = K \cdot F \cdot \Delta t = 61 \cdot 0,134 \cdot 77 = 630 \text{ Дж}$$

Перевіряємо чи зможемо відвести потрібну кількість теплоти:

$$\Delta = Q_p - Q = 7333 - 630 = 6703 \text{ Дж}$$

За результатами обрахунку видно, що ми не зможемо відвести потрібну кількість теплоти. Залишок теплоти ми зможемо відвести додатково подавши воду в циклон. Кількість води буде становити:

$$m_{\text{H}_2\text{O}} = \frac{\Delta}{2200} = \frac{6993}{2200} = 3,12 \text{ кг.}$$

Дана площа не забезпечує потрібну теплопередачу тому потрібно розрахувати площу теплообміну, яка зможе відібрати дану кількість теплоти Q_p :

$$F = \frac{Q}{K \cdot \Delta t} = \frac{7333}{61 \cdot 77} = 1,5 \text{ м}^2$$

Порівнюючи потрібну площу поверхні теплообміну і реально отримаємо:

$$F_p < F$$

$$0,134 < 1,5$$

З цього виходить, що реальна площа в 11 разів за потрібну.

Висновки: встановлено, що для забезпечення різниці температур газів у $\Delta t = 77^\circ\text{C}$ необхідна площа теплообміну $1,5 \text{ м}^2$, що у 11 разів менше чим у запронованій конструкції циклону, тому рекомендується для компенсації площі, що не вистачає подавати у циклон додаткову кількість води. Витрати

ВОДИ ДЛЯ ОХОЛОЖДЕНИЯ СТАНОВЛЯТЬ $m_{\text{ВОДИ}}=3,12$.

5 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1. Опис ідеї проекту

Розроблення стартап-проекту проводиться за методиками [29,30,31,32,33,34,35,36].

В основу розробки стартап-проекту покладено ідею комерціалізації модернізованого циклонного апарату шляхом встановлення щонайменше двох форсунок для розпилення холодної води та встановленням охолоджуючої оболонки. Запропонований циклон суттєво підвищує ефективність пиловловлювання композитного забруднення, яке складається з твердих частинок та водяної пари.

Внаслідок цього було забезпечено підвищення вловлювання циклонного апарату. За час дослідів цей показник сягав +10% до основного вловлювання, хоч це не так багато, але ефект є.

Вирішення задачі дозволить підвищити ефективність процесу вловлювання, тобто генерувати розчин сульфату амонію з гуматами під час очищення повітря – це дозволить зменшити витрати води на етапі змішування сухого розчину з водою. Також це підвищить екологічний ефект процесу за рахунок того, що після скрубера зменшиться кількість шкідливих речовин, що буде подаватися у систему очистки.

Таблиця 5. 1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Новий спосіб очистки промислового повітря	Очищення промислового повітря від композитного забруднення	
		Збільшення екологічного ефекту виробництва та підвищення ефективності очистки промислового повітря

Для визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок Промтехкомплект (конкурент 1) та Пром-вент (конкурент 2) таблиця 5.1.

Таблиця 5.2. – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент 1	Конкурент 2			
1.	Продуктивність, м ³ /год	124	120	125			-
2.	Коефіцієнт вловлювання %	95	90	92			+
3.	Габаритні розміри апарату, м	0,49×0,15×0,175	0,5×0,15×0,15	0,5×0,15×0,15			-
4.	Розмір частинок пилу, мкм	5-20	10	10-15			+
5.	Можливість роботи з охолодженням стінок циклону	Так	ні	Ні			+
6.	Вартість установки, грн	5000	4000	4750			-

На основі порівняння техніко-економічних характеристик, можна зробити висновок про доцільність реалізації даного проекту.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проведено аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту.

Циклон забезпечує стійке протікання процесу очищення запиленого повітря від композитних систем при одержанні органо-мінеральних добрив, необхідний ступінь вловлювання та підтримку необхідних технологічних параметрів процесу.

Опис технологічного процесу очищення запиленого повітря при отриманні органо-мінеральних добрив наведено в пункті 5.1.

Дана технологія очистки промислового повітря використовуються таким чином вперше тому, що традиційно використовують очистку повітря циклоном із подальшою доочисткою у скрубєрі. Аналогів розробленої технології очистки, що дозволяє зменшити навантаження на циклон та не генерувати велику кількість слабокислих стоків які містять мінеральні та органічні аморфні включення – немає.

Таблиця 5.2 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Шлях очистки промислового повітря	Класичний – очистка через циклон із доочисткою у скрубєрі	Дані технології існують. В доробці їх є необхідність.	Так, дані технології доступні.
2	Шлях очистки промислового повітря	Нова технологія – із подачею води в циклон і використанням охолоджуючої оболонки	Дана технологія не існує. В розробці їх є необхідність.	Так, дана технологія доступна.
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: 2 – Із подачею води в циклон і використанням охолоджуючої оболонки.				

Тому, можна з впевненістю сказати про можливість реалізації проекту з впровадженням в лінію виробництва гранульованих добрив, а в подальшому в інші лінії де потрібна очистка промислового повітря.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Для цього спочатку проводився аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку, таблиця 5.2.

Середня норма рентабельності в галузі 18% вища ніж середній банківський відсоток на вкладення 15%. За попереднім оцінюванням можна сказати, що ринок є привабливим для входження.

Таблиця 5.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5
2	Загальний обсяг продаж, млн грн	2
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Фінансові, особистісні, цінові
5	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	18

Визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та сформовано орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи, таблиця 5.5.

Таблиця 5.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
Підвищення ефективності вловлювання при виробництві органічно-мінеральних добрив.	Підприємства, що займаються виготовленням гранульованих добрив.	Потенційна група клієнтів одна, тому відмінностей немає.	- якість, тобто більш ефективна очистка промислового повітря; - економічна ефективність; - екологічна

			ефективність; - ціна.
--	--	--	--------------------------

Після визначення потенційних груп клієнтів проводився аналіз ринкового середовища: складено таблиці факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту, таблиця 5.6, та факторів, що йому сприяють таблиця 5.7. Фактори в таблицях подано в порядку зменшення значущості [48].

Таблиця 5.6 – Фактори загроз

Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
Нестабільність курсу гривні	Можливість подорожчання матеріалів	Можливе підняття ціни продукції (циклону)
Необхідність закупівлі агрегатів за кордоном	Ресурс з якого виготовляються циклони, змінить ціну	Підвищення/пониження ціни на продукт та пошук і створення бази даних альтернативних постачальників
Політичні конфлікти між країнами	Може вплинути на купівлю/продаж товару, або ресурсу необхідного для виготовлення товару	Зміна напрямків імпорту/експорту

Таблиця 5.7 – Фактори можливостей

Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
Доступність ресурсів	Чим нижча ціна на матеріал, тим менша ціна на циклон, а значить у нас вагома перевага перед конкурентами	Невисока ціна на апарат, тобто на сам циклон
Зміниться технологія виготовлення очистки промислового повітря	Модернізування технології	Впровадити нові технологію і змінити вартість товару
Підвищення кваліфікації кадрів	Вихід на рівні науково-технічного прогресу	Можлива подальша модернізація даного процесу очистки
Більша схильність до модернізації, ніж до повного оновлення виробництва	Дешевше зробити модернізацію одного апарату, чим всієї лінії	Збільшення числа клієнтів

Отже, було сформовано можливу реакцію компанії появи нових загроз та можливостей. Після чого проводився аналіз пропозиції: визначалися загальні риси конкуренції на ринку, таблиця 5.8.

Таблиця 5.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції : Монополістична конкуренція	Є безліч компаній, що випускають різноманітну продукцію і конкурують між собою. Вхідні і вихідні бар'єри існують, але невисокі. Товар кожного виробника відрізняється якимись особливостями.	Створення продукції під замовлення.
2. За рівнем конкурентної боротьби: Національна	Створення чогось нового	Створення нового способу очистки промислового повітря
1. За галузевою ознакою: Внутрішньогалузева	Конкуренція за більш вигідні умови виробництва	Удосконалення структури виробництва відповідно до потреб.
4. Конкуренція за видами товарів: Товарно-видова	В створенні товару різних видів (марок, товщини)	Створення товару під замовлення.
5. За характером конкурентних переваг: Цінова	Головним засобом боротьби є ціна	Зменшення ціни (за рахунок зменшення витрат на її компоненти).
6. За інтенсивністю: Марочна	Випуск товару з маркуванням	Підвищення попиту за рахунок марки, з врахуванням екологічності

Загальна оцінка змін має позитивну спрямованість, що свідчить про хороші перспективи діяльності підприємства у згаданій СЗГ.

Після аналізу конкуренції проводився більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю “5 сил” М. Портера [48], таблиця 5.9.

Таблиця 5.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки:	Компанії та виробництва, що виготовляють схожу продукцію	Можливості входження в ринок є, оскільки завод виробник уже знаходиться на ринку	Постачальники лише постачають продукцію, транспортування продукції відбувається своїми силами	Можливо два варіанти, ми диктуємо умови роботи або клієнти (тобто виготовлення циклону під замовлення, але не відходячи від технології)	Ми маємо конкурентну перевагу – це низька ціна, та новий ефективний процес очистки

Можна зробити висновок, що для того щоб проект був конкурентоспроможним на ринку він повинен бути інноваційним та малозатратним щоб подолати всі бар'єри на стадії розвитку. Та з огляду на конкурентну ситуацію на ринку, доведено потенційні можливості існування стартапу.

На основі аналізу конкуренції, таблиця 5.10, а також із урахуванням вимог споживачів до товару, таблиця 5.3, та факторів маркетингового середовища, таблиці 5.4-5.5, визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності [48], таблиця 5.10.

Таблиця 5.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Продуктивність	Підвищення продуктивності при мінімальних затратах
2	Енергоефективність	Збільшили енергоефективність на 10%

3	Висока якість очистки	Дозволяє отримувати сучасний продукт, якому немає аналогів на ринку
4	Екологічність	Безвідходне виробництво

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

α – Ventus

β – Промтехкомплект

γ – Пром-вент

Таблиця 5.11 – Аналіз зміни в прогнозованому збільшенні СЗГ (G)

Параметри	Шкала інтенсивності										
	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5
1. Темп збільшення галузі						$\alpha \beta \gamma$					
2. Приріст числа споживачів					$\alpha \beta$		γ				
3. Динаміка розширення ринку								$\alpha \beta \gamma$			
4. Ступінь оновлення продукції									$\alpha \beta \gamma$		
5. Ступінь оновлення технології					β			$\alpha \gamma$			
6. Рівень насичення попиту							$\alpha \beta \gamma$				
7. Збільшення числа конкурентів							$\alpha \beta \gamma$				
8. Ступінь застаріння продукції					$\alpha \beta \gamma$						
Загальна оцінка змін	+8										

Сильні сторони проекту: унікальність (нова технологія очистки), енергоефективність (економія для виробництва), екологічність (зменшення кількості слабких кислотних викидів), висока якість (тобто якість очистки промислового повітря).

Слабкі сторони проекту: ресурсозалежність (залежність від цін на матеріали), конкурентність (можливо спочатку несприйняття у великих підприємств), невідомість (не прогнозованість ринку).

Таблиця 5.32 - SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Унікальність 2. Енергоефективність 3. Екологічність 4. Висока якість (тобто якість очистки промислового повітря) 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ресурсозалежність 2. Конкурентність 3. Невідомість
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Доступність ресурсів 2. Зміниться технологія виготовлення очистки промислового повітря 3. Підвищення кваліфікації кадрів 4. Більша схильність до модернізації, ніж до повного оновлення виробництва 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1 . Необхідність закупівлі агрегатів за кордоном 2. Політичні конфлікти між країнами 3. Нестабільність курсу гривні

За даним дослідженням в нас посилення сильних сторін за рахунок можливостей.

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів, таблиця 5.14 [48].

Таблиця 5.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	2	3	4
1	Посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей	висока	0,5

Продовження таблиці 5.13

1	2	3	4
2	Мінімізація ринкових загроз за рахунок сильних сторін стартап-проекту	висока	1
3	Нейтралізація слабких сторін за рахунок ринкових можливостей	низька	1
4	Вихід з ринку	низька	0,5

Виходячи з аналізу, таблиця 5.14, в якості альтернативи обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший [48].

5.4 Розроблення ринкової стратегії ринку

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів, таблиця 5.15, [48].

Таблиця 5.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	2	3	4	5	6
	Підприємства, що займаються очисників повітря	Визначатиметься готовністю підприємств піти на додаткові витрати пов'язані з впровадженням чи імплементації	Залежатиме від рівня, темпів роз-витку еконо-міки взагалі і галузей – споживачів	Низька, а концентрація висока	Високі бар'єри входу на ринок

Продовження таблиці 5.14

1	2	3	4	5	6
		ідеї проекту в	зокрема, а		

		промислову діяльність	також рівня і характеру підтримки інноваційного підприємства зі сторони держави		
Які цільові групи обрано: «Промтехкомплект» «Пром-вент» «Ventus» «Кузьмет» «Вент-заводи»					

За результатами аналізу профілю групи споживачів, було визначено цільові групи, таблиця 5.15, для яких пропонується стратегія диференційованого маркетингу [48].

Для роботи в обраних сегментах ринку було сформовано базову стратегію розвитку, таблиця 5.16, [48].

Таблиця 5.15 – Визначення базової стратегії розвитку

Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
Ринкове позиціонування.	Диференціація структури маркетингу.	Передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від товарів конкурентів. Така відмінність може базуватися на об'єктивних або суб'єктивних, відчутних і невідчутних властивостях товару, бути реальною або уявною.	Стратегія диференціації.

Отже, для роботи в обраних сегментах ринку було обрано стратегію диференціації, яка дозволяє компанії домогтись більшої рентабельності за

рахунок того, що ринок готовий прийняти більш високу ціну (цінову премію бренду).

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки, таблиця 5.17, [48].

Таблиця 5.16– Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
Так	Передбачається розвиток ринку	Ні	Стратегія наслідування лідера

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту, таблиця 5.3, а також в залежності від обраної базової стратегії розвитку, таблиця 5.16, та стратегії конкурентної поведінки, таблиця 5.17, розроблено стратегію позиціонування, таблиця 5.18, що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельний проект [48].

Таблиця 5.17– Визначення стратегії позиціонування

Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту
Підвищення продуктивності, енергоефективності і та якості отриманого продукту	Стратегія диференціації	Продуктивність, енергоефективність, якість вихідного продукту, екологічність

В результаті виконання даного підрозділу було узгоджено систему рішень щодо ринкової поведінки стартап-компанії, яка визначає напрям роботи стартап-компанії на ринку.

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 5.19 підсумовано результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару [48].

Таблиця 5.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
Підвищення продуктивності, енергоефективності та якості отриманого продукту	Продуктивність, енергоефективність, якість вихідного продукту, екологічність	Продуктивність, енергоефективність, якість вихідного продукту, екологічність

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару.

Таблиця 5.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Створення нового способу очистки промислового повітря від полідисперсного забруднення, який дасть змогу підвищити ефективність вловлювання та збільшити екологічні показники процесу.
II. Товар у реальному виконанні	Виготовлення модернізованого циклонного апарату, який дасть створити новий процес очистки промислового повітря. Цей процес буде мати вищі екологічні показники, ніж класичний процес очистки.
III. Товар із підкріпленням	Створення нового процесу

Даний циклон захищено патентом України на корисну модель №123260 від 26.02.2018 року.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз

рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 5.21). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 5.4 – Визначення меж встановлення ціни

Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
Відповідно до принципу дії ціна варіюється від 5000-6800 грн	Аналоги на порядок дорожчі тому, що там потрібно встановлювати комплекс із агрегатів	Промисловий ринок залежить від замовлення товару	Ціна на товари нижча ніж в конкурентів

При визначенні оптимальної системи збуту, було прийнято рішення, що збут проводитиметься власними силами чи з залученням фахового посередника.

Таблиця 5.5 – Формування системи збуту

Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
Закупівля в роздріб	Якість товару, потрібні характеристики	Вузька	Власні сили

Останньою і основною складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів, таблиця 5.23, [48].

Таблиця 5.22 – Концепція маркетингових комунікацій

Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
Цільові клієнти орієнтовані на використання вузько-спеціалізованих комунікацій, що визначаються галузевими особливостями їх приналежності.	Інтернет, виставки, семінари, друкована продукція.	ua-made.com.ua — Каталог Українських виробників	Привернути увагу до унікальності ідеї стартапу	-

Встановлено, що використання модернізованого циклонного апарату дасть змогу сконденсувати до 10% вологи, яка знаходиться у пилоповітряній суміші. Це зможе покращити екологічний ефект процесу, зменшити навантаження на скрубер та підвищити економічність процесу.

Висновки:

1. Визначено сильні, слабкі та нейтральні характеристики розробленого проекту, проведено порівняння техніко-економічних характеристик з аналогічними апаратами найбільш популярних торгових марок, що дозволило нам зробити попередні висновки щодо доцільності реалізації даного проекту;

2. Обрано стратегію посилення сильних сторін за рахунок використання ринкових можливостей, так як імовірність отримання ресурсів найбільша, а строк реалізації найменший;

3. Ефективність використання модернізованого циклонного апарату свідчить про значний прибуток, а відповідно і наявність попиту;

4. Наявність попиту, що визначається потребою підвищення продуктивності, енергоефективності та якості отриманого продукту, свідчить про можливість ринкової комерціалізації проекту;

5. Маркетингові дослідження обраного сегменту ринку, оцінки рівня та динаміки конкуренції в базовій та спорідненій галузях, дозволяють стверджувати про перспективи створення та розвитку стартап-проекту.

ВИСНОВКИ

1. Дисертація спрямована на вирішення важливої науково-технічної задачі – підвищення екологічної безпеки процесів при виробництві гранульованих органо-мінеральних добрив шляхом встановлення циклону з охолодженою для часткової конденсації парів та компактного вловлювання частинок пилу менше 10 мкм.
2. Обґрунтовано фізичну модель процесу уловлювання і застосування часткової конденсації в циклонах.
3. Обрано математичну модель процесу процесу уловлювання при застосуванні циклону з охолодженням.
4. Розроблено методику експериментальних досліджень, та модернізовано експериментальну установку.
5. Експериментально визначено, що ефективне вловлювання в циклоні з охолодженою стінкою доцільно проводити в циклонах конічної форми і збільшеної поверхні теплообміну. В якості теплоносія доцільно застосувати заохолоджену воду.
6. Результати дослідів зображено у загальному вигляді в залежностях, які було покладено в основу методики розрахунку промислового апарату.
7. Розроблено алгоритм розрахунку та складальне креслення промислового апарату.
8. Результати дисертаційної роботи можуть бути використані при реалізації процесів сушіння і гранулювання по замкнутій схемі (повна або часткова конденсація парів розчину, що випаровуються в апараті).
9. За результатами досліджень опубліковано 2 статті у фахових виданнях України, опубліковано 4 тези доповідей до міжнародних науково-

практичних конференцій студентів, аспірантів і молодих вчених, отримано 1 патент на корисну модель України.

ВЫВОДЫ

1. Диссертация направлена на решение важной научно-технической задачи - повышение экологической безопасности процессов при производстве гранулированных органо-минеральных удобрений путем установления циклона с охлажденной для частичной конденсации паров и компактного улавливания частиц пыли меньше 10 мкм..
2. Обоснованно физическую модель процесса улавливания и применения частичной конденсации в циклонах.
3. Избран математическую модель процесса улавливания при применении циклона с охлаждением.
4. Разработана методика экспериментальных исследований, и модернизировано экспериментальная установка.
5. Экспериментально установлено, что эффективное улавливание в циклоне с охлажденной стенкой целесообразно проводить в циклонах конической формы и увеличенной поверхности теплообмена. В качестве теплоносителя целесообразно применить захлажденную воду.
6. Результаты опыта изображено в общем виде в зависимостях, которые были положены в основу методики расчета промышленного аппарата.
7. Разработан алгоритм расчета и сборочный чертеж промышленного аппарата.
8. Результаты диссертационной работы могут быть использованы при реализации процессов сушки и гранулирования по замкнутой схеме (полная или частичная конденсация паров раствора испаряются в аппарате).
9. По результатам работы опубликованы две статьи в профессиональных изданиях Украины, четыре тезиса докладов к международным научно-практическим конференциям студентов, аспирантов и молодых ученых, получено 1 патент на полезную модель Украины.

CONCLUSIONS

1. The dissertation is aimed at solving an important scientific and technical problem - increasing the ecological safety of processes in the production of granular organomineral fertilizers by installing a cyclone cooled for partial condensation of vapors and compact digging of dust particles less than 10 microns. The physical model of the process of formation of liquid systems for the production of humic-mineral composites based on their interaction was selected.

2. The physical model of the process of capture and application of partial condensation in cyclones is substantiated.

3. A mathematical model of the process of the capture process using a cyclone with cooling has been selected.

4. The method of experimental research has been developed, and the experimental installation has been modernized..

5. It has been experimentally determined that effective capture in a cyclone with a cooled wall should be carried out in the cyclones of the conical shape and the increased heat transfer surface. As a coolant, it is advisable to use desalted water.

6. The results of the experiment are depicted in general terms in dependencies, which were the basis of the methodology for calculating the industrial apparatus.

7. The algorithm of calculation and assembly drawing of the industrial apparatus is developed.

8. The results of the dissertation work can be used in the implementation of drying and granulation processes in a closed circuit (full or partial condensation of vapor of the solution evaporating in the apparatus).

9. According to the results of the research, 2 articles were published in professional editions of Ukraine, 4 theses of reports were submitted to the international scientific and practical conferences of students, postgraduates and young scientists, 1 patent for the utility model of Ukraine was received.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Орленко А. Ю., Степанюк А. Р. Процес конденсації вологи у модернізованому циклоні за допомогою відведення теплоти // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2018. — №7(47), 1 том, с.70-72.
2. Орленко А.Ю., Степанюк А.Р. Обґрунтування методу та способу видалення композитних забруднень при виробництві органічних добрив. // Збірник тез XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання». - с.40-41.
3. <https://studfiles.net/preview/5199573/page:11>
4. http://medu.pp.ua/gigiena-sanepidkontrol_733/ochistka-gazov-paroobraznyih-gazoobraznyih.html
5. <http://eco.com.ua/content/vikoristannya-prirodoohoronnih-tehnologiy-pri-mehanichniy-obrobci-metaliv>
6. <https://metallurgy.zp.ua/gazoochistnye-ustrojstva-i-dymososy/>
7. <http://helpiks.org/7-60162.html>
8. http://posibnyky.vntu.edu.ua/prirodoohoronni_tehnologii/5-2.html
9. Створення пиловловлювачів для полідисперсного пилу / В. В. Батлук, В. А. Батлук, М. В. Басов // Наукові записки [Української академії друкарства]. - 2009. - № 2. - С. 181-187.
10. Шляхи забезпечення екологічної безпеки промислових об'єктів/ Луценко М.М., Кулик М.І.// Журнал «Комунальне господарство міст». випуск 120(1).- 2015.

11. Патент №80404 (UA), МПК(2006.01) В04С 5/107. Циклонний апарат / Д.А. Русавський(UA), А.Р. Степанюк(UA), І.О. Смілян(UA); – Заявл. 13.12.2012; Опубл.27.05.2013 – Бюл.№10.
12. Патент №70676 (UA), МПК(2006.01) В04С 5/107. Розкручувач потоку циклонного апарату / В.А. Подолянець(UA), А.Р. Степанюк(UA), І.О. Смілян(UA); – Заявл. 08.11.2011; Опубл.25.06.2012 – Бюл.№12.
13. Патент №102359 (UA), МПК(2015.01)В01D/4512 (2006.01) В04С 3/00. Циклон / О.В. Арди́ковський(UA), А.Р. Степанюк(UA); – Заявл. 29.04.2015; Опубл.26.10.2015 – Бюл. № 20.
14. <https://studfiles.net/preview/5462143/page:34/>
15. <http://medbib.in.ua/ochistka-gazov-aerozoley.html>
16. Ермолаева В.А., Петрова Е. Выбор эффективного метода очистки газообразных выбросов как составляющая экологической безопасности // Современные наукоемкие технологии. - 2008. - № 2 - С. 88-89.
17. Патент №123260 (UA) МПК (2017.01) В04С 3/00. Циклон/Я.М. Корнієнко, А.Ю. Орленко, А.Р. Степанюк(UA); – Заявл. 15.06.2017; Опубл.26.02.2018 – Бюл.№4.
18. Ушаков С.Г., Зверев Н.И., Инерционная сепарация пыли. М., «Энергия», 1974, 116с.
19. Корнієнко Я.М., Лукач Ю.Ю., Мікульонок І.О., Ракицький В.Л., Рябцев Г.Л., Процеси та обладнання хімічної технології: підруч. У 2 ч., 1ч.–К.: НТУУ «КПІ», 2011. с. 18, 45.
20. Исаченко В.П., Осипова В.А., Сукомел А.С., Теплопередача. Учебник для вузов, Изд. 3-е, перераб. и доп. М., «Энергия», 1975, с.29-31.
21. СНиП 2.09.02–85. Строительные нормы и правила. Производственные здания.
22. СНиП 2.04.05–91. Строительные нормы и правила. Отопление, вентиляция и кондиционирование.

23. ГОСТ 12.3.018–79 Системы вентиляционные методы аэродинамических испытаний
24. ГОСТ 4640–76. Вата минеральная. Технические условия
25. ГОСТ 2823–73. Термометры стеклянные технические. Технические условия.
26. ГОСТ 12.4.041–89. Средства индивидуальной защиты органов дыхания фильтрующие. Общие технические требования.
27. ДСН 3.3.6.037–99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
28. СНиП 2.09.02–85 Производственные здания.
29. Б.А. Сусь, А.І. Лад. Фізичні вимірювання і обробка їх результатів. Навчальний посібник для самостійної роботи курсантів і студентів. – Київ: ВІТІ, 2017.
30. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.
31. Форсайт економіки України: середньостроковий (2015–2020 роки) і довгостроковий (2020–2030 роки) часові горизонти / наук. керівник проекту акад. НАН України М. З. Згуровський // Міжнародна рада з науки (ICSU); Комітет із системного аналізу при Президії НАН України; Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»; Інститут прикладного системного аналізу НАН України і МОН України; Світовий центр даних з геоінформатики та сталого розвитку. — Київ : НТУУ «КПІ», 2015. — 136 с. ISBN 978-966-622-716-7.
32. Yudina N.V. Methods of the Startup-Project Developing Based on ‘the Four-Dimensional Thinking’ in Information Society // Marketing and Management of innovations. – 3’2017. – P.245-256.-DOI:10.21272/mmi.2017.3-23 Access mode :<http://mmi.fem.sumdu.edu.ua/journals/2017/3/245-256>.

33. Юдіна Н.В. Міждисциплінарні платформи стартап-проектів [Електронний ресурс] // Міждисциплінарні дискусії : Матеріали науково-теоретичного семінару «Міждисциплінарні дослідження: теоретико-методологічні виміри», 5 грудня 2017 р. – Київ, Київський національний університет імені Тараса Шевченка Інститут міжнародних відносин Навчально-науковий центр «Синтез». – 2017. – С. 20-24. - Режим доступу [http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20\(1\).pdf](http://mail.iir.edu.ua/uploads/files/tezi%20seminar%20synthesis%205%2012%202017%20final%20(1).pdf).

34. Юдіна Н. В. Визначення циклічних залежностей в економіці України на основі аналізу окремих макроекономічних показників. Економічний Вісник НТУУ «КПІ». №13(2016). <http://ev.fmm.kpi.ua/article/view/80084/75643>.

35. Юдина Н. В. Антикризисные маркетинговые инструменты инновационного развития предприятий / Н.В. Юдина // Маркетинг и финансы. – 2014. – Т. 1. – С. 60– 72.

36. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127. – Режим доступу :http://futuolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

37. Юдіна Н.В. Управління майбутнім на основі концепції інноваційного розвитку // Антикризове управління економікою України: нові виклики. Матеріали III Міжнародної науково-практичної конференції (Київ, КНЕУ ім. В.Гетьмана, 15-17 грудня 2015 року). – 2015. - С. 124-127.– Режим доступу:http://futuolog.com.ua/blog_konferencia_kneu_2015_12_15.phtml.

ДОДАТОК А

Таблиця ідентифікаторів та програма для розв'язання математичної моделі процесу

ДОДАТОК А. ТАБЛИЦЯ ІДЕНТИФІКАТОРІВ ТА ПРОГРАМА ДЛЯ
РОЗВ'ЯЗАННЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ПРОЦЕСУ

Таблиця Б.1 – Ідентифікатори програми

Ідентифі- катор	Позна- чення	Одиниця вим-ня	Найменування
1	2	3	4
A0	α	Вт/(м ² ·К)	Коефіцієнт тепловіддачі
A	a	м ² /с	Коефіцієнт температуропровідності
Cpr	$c_{пр}$	Дж/(кг·К)	Приведена теплоємність матеріалу
D	–	с	Заданий час спостереження за процесом
Eps	ε	–	Критерій фазового перетворення
Lam	λ	Вт/(м·К)	Теплопровідність матеріалу
q	–	Вт/м ²	Теплота
q1	–	Вт/м ²	Сток тепла при фазових перетвореннях
q2	–	Вт/м ²	Дифузійна складова переносу вологи
r	r	Дж/кг	Прихована теплота пароутворення
Tau	τ	с	Час
Tet	θ	°С	Температура всередині шару матеріалу
Teta	θ	°С	Температура в циклоні матеріалу
Tos	T_c	°С	Температура сушильного агента

Програма для розв'язання математичної моделі

```
program TeplMaso;
uses Crt, Graph, Serv, Groms;
const
  A0:real=15;
r:real=-2.2e6;
  Delta:real=0.01;
  D:real=7200;
  Ks:integer=50;
m:integer=5;
  Tos:real=70;
  Uos:real=0.001;
  Nout:integer=1;
  Xout:real=0.005;
  B2:real=0.995;
  Kl:real=0;
  U0:real=0.66;
var Hx, Dt, Tau, B3:real;
    Teta, U:Coefr;
    Mo:Coefl;
    Nx:integer;

function Am(U:real):real;
begin
  Am:=(-0.0821+2.218*U)*1e-6;
end;

function Lam(U:real):real;
begin
  Lam:=0.15+Kl*U;
end;

function Ro(U:real):real;
begin
  Ro:=1632-721*U;
end;

function Cpr(U:real):real;
begin
  Cpr:=1232+4370*U;
end;
```

```

function A(U:real):real;
begin
  A:=Lam(U)/(Ro(U)*Cpr(U));
end;

function B0(U:real):real;
begin
  B0:=Lam(U)/(Lam(U)+Hx*A0);
end;

function B1(U:real):real;
begin
  B1:=1-B0(U);
end;

function Eps(U:real):real;
begin
  Eps:=0.6165-0.7923*U;
end;

function q1(U:real):real;
begin
  q1:=Tau*R/Cpr(U)*Eps(U)*Am(U)/sqr(Hx);
end;

function q2(U:real):real;
begin
  q2:=Am(U)*Tau/sqr(Hx);
end;

procedure Step;
var s:integer; Tet,Un:Coeifr; q:real;
begin
  for s:=1 to m-1 do
  begin
    q:=A(U[s])*Tau/sqr(Hx);
    Tet[s]:=Teta[s]+q*(Teta[s-1]-
    2*Teta[s]+Teta[s+1])+q1(U[s])*(U[s-1]-2*U[s]+U[s+1]);
    Un[s]:=U[s]+q2(U[s])*(U[s-1]-2*U[s]+U[s+1]);
  end;
  Tet[0]:=B0(U[s])*Tet[1]+B1(U[s])*Tos;
  Tet[m]:=Tet[m-1];
  Un[0]:=B2*Un[1]+B3*Uos;

```

```

    Un[m]:=Un[m-1]; Tet[-1]:=m; Un[-1]:=m;
    Teta:=Tet; U:=Un;
end;

procedure FormMo;
var s,z:integer;
begin
    Hx:=Delta/(2*m); Dt:=D/L; Tau:=Dt/Ks; Teta[-1]:=m;
    U[-1]:=m; B3:=1-B2;
    for s:=0 to m do
    begin
        Teta[s]:=20;
        U[s]:=U0;
    end;
    Mo[-1]:=L; Mo[L+1]:=Dt; Nx:=round(Xout/Hx);
    case Nout of
        1: Mo[0]:=Teta[Nx];
        2: Mo[0]:=U[Nx];
    end;
    for z:=1 to L do
    begin
        for s:=1 to Ks do Step;
        case Nout of
            1: Mo[z]:=Teta[Nx];
            2: Mo[z]:=U[Nx];
        end;
    end;
end;

procedure ParamT;
var J1:char;
    T20:string[25];
begin
    repeat
        PutA; Ou('0-ex,1-A0,2-Delta,3-Tos,4-B2,5-Uos,6-R,7-Kl');
        Str(A0:1:3, T10); Ts:='A0='+T10;
        Str(Delta:1:3, T10); Ts:=Ts+', Delta='+T10;
        Str(Tos:1:1, T10); Ts:=Ts+', Tos='+T10;
        Str(B2:1:4, T20); Ts:=Ts+', B2='+T20;
        Str(Uos:1:4, T20); Ts:=Ts+', Uos='+T20;
        Str(R:1:1, T10); Ts:=Ts+', R='+T10;
        Str(Kl:1:3, T10); Ts:=Ts+', Kl='+T10;
        Info; J1:=ReadKey;
    until J1=#0;
end;

```



```

case J1 of
  '1': Our('A0', A0);
  '2': Our('Delta', Delta);
  '3': Our('Tos', Tos);
  '4': Our('B2', B2);
  '5': Our('Uos', Uos);
  '6': Our('R', R);
  '7': Our('Kl', Kl);
end;
until J1='0';
end;

procedure DemGr;
var J1:char; s:integer; y:real;
begin
repeat
  PutA; Ou('0-c');
  Str(Nout, T10);  Ts:='Nout='+T10;
  Str(Xout:1:3, T10); Ts:=Ts+', Xout='+T10;
  Str(m, T10);    Ts:=Ts+', m='+T10;
  Str(D:1:3, T10);  Ts:=Ts+', D='+T10;
  Str(Ks, T10);    Ts:=Ts+', Ks='+T10;
  Str(c, T10);    Ts:=Ts+', c='+T10;
  Str(U0:1:2, T10); Ts:=Ts+', U0='+T10;
  Info; J1:=ReadKey;
case J1 of
  '1': if Nout=1 then Nout:=2 else Nout:=1;
  '2': Our('Xout', Xout);
  '3': Oui('m', m);
  '4': Our('D', D);
  '5': Oui('Ks', Ks);
  '6': begin
      FormMo;
      Xmin:=0; Xmax:=D; Ymin:=0; Ymax:=0;
for s:=0 to L do
begin
y:=Mo[s]; if y<Ymin then Ymin:=y;
if y>Ymax then Ymax:=y;
end;
X0Y0(false); ClearDevice; SystCoor; Graphic(Mo, c);
end;
  '7': Oui('c', c);
  '8': Our('U0', U0);

```

```
'9': begin
    FormMo; Graphic(Mo, c);
end;
end;
until J1='0';
end;
```

```
begin
c:=15;
repeat
    PutA; Ou('Esc-ex,1-ParamT,2-DemGr,3-Groms');
    J:=ReadKey;
case J of
    '1': ParamT;
    '2': DemGr;
    '3': Service;
end;
until J=#27;
CloseGraph;
end.
```

ДОДАТОК Б

Таблиця результатів експериментів

час /хв	1/год	Твх	Тшару	Твхід. Циклон	Т охол рід	Витрати, кг		Конденсат
5	0,083	155	64	59	13	6,25	0,520833	0,04270833
10	0,167	175	69	64	14	7,8	0,65	0,05395
15	0,250	189	74	69	17	8,91	0,7425	0,060885
20	0,333	199	77	72	19	10,5	0,875	0,069125
25	0,417	210	75	70	22	11,1	0,925	0,07215
30	0,500	208	76	71	21	11,3	0,941667	0,07250833
35	0,583	209	72	67	22	10,9	0,908333	0,07475583
40	0,667	210	73	68	22	11,23	0,935833	0,07683192
45	0,750	212	71	66	21	11,12	0,926667	0,07209467
50	0,833	211	73	68	23	11,35	0,945833	0,08039583
55	0,917	208	70	65	21	11,15	0,929167	0,07619167
60	1,000	209	72	67	22	11,2	0,933333	0,07448
65	1,083	210	73	68	21	10,9	0,908333	0,0705775
70	1,167	205	72	67	23	10,1	0,841667	0,0699425
75	1,250	198	70	65	21	9,2	0,766667	0,06303533
80	1,333	191	70	65	22	8,96	0,746667	0,059136

Результати вловлювання із охолодженням циклону

t,хв	Тш, °С	Твх, °С	Пил, г	пил+волога,г
0	92,7	192	320	
10	97,2	207,4	250	
20	96,6	206,4	240	259,2
30	97,1	202,1	270	291,6

40	97,3	196,5	330	356,4
50	97,7	191,7	340	367,2
60	98	187,4	340	367,2
70	96,3	183	340	367,2
80	99	181	275	297
90	97,1	180,4	220	237,6
100	102	181,4	255	275,4
110	91,3	180	230	248,4
120	85,7	181,3	185	199,8
130	86,6	181,5	200	

Результати вловлювання без охолодження циклону та із подачею води всередину

ДОДАТОК В

Програма розрахунку циклонного апарату з охолодженням

Розрахунок площі поверхні охолодження:

$$l1 := 0.23$$

$$r2 := 0.075$$

$$R1 := 0.075$$

$$h2 := 0.135$$

$$r1 := 0.022$$

$$S1 := \pi \cdot l1 \cdot (R1 + r1) = 0.07$$

$$S2 := 2 \cdot \pi \cdot r2 \cdot h2 = 0.064$$

$$S_{sym} := S1 + S2 = 0.134 \text{ м}^2$$

Визначаємо критерій Рейнольдса для середовища всередині циклону:

$$\omega_{gas} := 13.7 \frac{\text{м}}{\text{с}}$$

$$l1 := 0.365$$

$$\nu_{rov} := 22.1 \cdot 10^{-6}$$

$$Re1 := \frac{\omega_{gas} \cdot l1}{\nu_{rov}} = 2.263 \times 10^5$$

Визначаємо критерій Нусельта всередині циклону
(дані для повітря):

$$c1 := 1009$$

$$\lambda_{90} := 3.13 \cdot 10^{-2}$$

$$\mu1 := 21.5 \cdot 10^{-6} \quad +$$

$$Pr1 := \frac{c1 \cdot \mu1}{\lambda_{90}} = 0.693$$

$$\text{Nu1} := 0.28 \cdot \text{Re1}^{0.6} \cdot \text{Pr1}^{0.36} \cdot 1 = 400.51$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_1 := \frac{\text{Nu1} \cdot \lambda_{90}}{l_1} = 34.345$$

Визначаємо Критерій Рейнольдса для зовнішнього середовища:

$$\nu_{\text{вода}} := 1.789 \cdot 10^{-6}$$

$$l_2 := 0.365$$

$$\omega := 0.01$$

$$\text{Re2} := \frac{\omega \cdot l_2}{\nu_{\text{вода}}} = 2.04 \times 10^3$$

Визначаємо критерій Нусельта ззовні циклону: Властивості для води при $t=0$ C

$$c_2 := 4212$$

$$\lambda_{15} := 0.551$$

$$\mu_2 := 1788 \cdot 10^{-4}$$

$$\text{Pr2} := \frac{c_2 \cdot \mu_2}{\lambda_{15}} = 1.367 \times 10^3$$

$$\text{Nu2} := 0.28 \cdot \text{Re2}^{0.6} \cdot \text{Pr2}^{0.36} \cdot 1 = 364.604$$

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі:

Визначаємо коефіцієнт тепловіддачі:

$$\alpha_2 := \frac{\text{Nu}_2 \cdot \lambda_{15}}{l_2} = 550.402$$

Визначаємо коефіцієнт теплопередачі:

$$\delta := 0.001 \quad \lambda := 20$$

$$K := \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta}{\lambda} + \frac{1}{\alpha_2}} = 32.276$$

Визначаємо питому теплоту пароутворення:

$$r := 2200 \cdot 10^3$$

$$m := \frac{12}{3600} = 3.333 \times 10^{-3}$$

$$Q_p := r \cdot m = 7.333 \times 10^3$$

Визначаємо кількість теплоти яку можна буде відвести від циклону водою:

$$F := S_{\text{sym}} = 0.134$$

$$\Delta t := 90 - 15 = 75$$

$$Q := K \cdot F \cdot \Delta t = 323.659$$

$$\Theta := \frac{Q}{K \cdot F} = 75$$

За результатами обрахунку видно, що ми зможемо відвести потрібну кількість теплоти:

$$\Delta := Q_p - Q = 7.01 \times 10^3$$

$$\Delta \rightarrow 7009.6739935664691 \quad \text{Дж залишок теплоти}$$

$$mm := \frac{\Delta}{2200} = 3.186 \quad \text{л води потрібно подати в циклон щоб сконденсувати вологу}$$

Визначаємо точку роси:

$$\text{RH} := 0.6$$

$$T_t := 90$$

+

$$\Psi := \frac{17.27 \cdot T_t}{237.7 + T_t} + \ln(\text{RH}) = 4.232$$

$$T_{\text{rs}} := \frac{237.7 \cdot \Psi}{17.27 - \Psi} = 77.161$$

ДОДАТОК Г

**Перелік та копії опублікованих праць за результатами магістерської
дисертації**

Статті:

1. Орленко А. Ю., Степанюк А. Р. Обґрунтування способу видалення композитних забруднень при виробництві органічних добрив // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2018. — №4(44), 1том, с.60-63.
2. Орленко А. Ю., Степанюк А. Р. Процес конденсації вологи у модернізованому циклоні за допомогою відведення теплоти // Міжнародний науковий журнал "Інтернаука". — 2018. — №7(47), 1том, с.70-72.

Патенти:

1. Патент №123260 (UA) МПК (2017.01) B04C 3/00. Циклон/Я.М. Корнієнко, А.Ю. Орленко, А.Р. Степанюк(UA); – Заявл. 15.06.2017; Опубл.26.02.2018 – Бюл.№4.

Тези:

1. Орленко А.Ю., Степанюк А.Р. Обґрунтування використання мінеральних добрив на основі сульфату амонію та гумінових мінеральних добавок.// Збірник тез XI міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».- с.46-47.
2. Орленко А.Ю., Степанюк А.Р. Обґрунтування методу та способу видалення композитних забруднень при виробництві органічних добрив. // Збірник тез XII міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».-с.40-41.
3. Орленко А.Ю., Степанюк А.Р. Обґрунтування методу та способу видалення композитних забруднень при виробництві органічних добрив. // Збірник тез XIII міжнародної науково-практичної

конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».-с.48-49.

4. Орленко А.Ю., Степанюк А.Р. Математична модель процесу уловлювання багатокomпонентних систем при одержанні гуміново–мінеральних композитів. // Збірник тез XIV міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів і молодих вчених «Ресурсоенергозберігаючі технології та обладнання».-с.48-49.