

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

КАФЕДРА ТЕПЛОЕНЕРГЕТИКИ ТА ГІДРОЕНЕРГЕТИКИ

Кваліфікаційна робота

___ другий магістерський ___
(рівень вищої освіти)

на тему: «Дослідження процесів очищення вихровими апаратами відхідних газів теплоенергетичних установок металургійних підприємств України»

Виконав: студент __ II __ курсу,
групи _ 8.1441-дн _
спеціальності _ теплоенергетика _
освітньої програми _ теплоенергетика _
Лагутін Роман Вікторович
(ініціали та прізвище)

Керівник доц. каф., к.т.н. Карпенко Г.В.
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

Рецензент доц., к.т.н. Радченко В.В.
(вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)


Запоріжжя
2022 р.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНІ

ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Кафедра Теплоенергетики та гідроенергетики
Рівень вищої освіти другий магістерський
Спеціальність 144 Теплоенергетика
Освітня програма Теплоенергетика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри 

«05» грудня 2022 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТОВІ

Лагутін Роман Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1 Тема роботи (проекту) «Дослідження процесів очищення вихровими апаратами відхідних газів теплоенергетичних установок металургійних підприємств України»

Керівник роботи Карпенко Ганна Володимирівна, канд. техн. наук

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «02» липня 2022 року № 598-с

2 Строк подання студентом роботи 05.12.2022р.



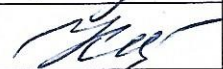

3 Вихідні дані до роботи: діаметр циклону, 400 мм; діаметр вихлопної труби, 240 мм; висота циліндричної частини, 904 мм; висота центральної труби, 800 мм; розмір вхідного патрубка, 264/104.

4 Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): 1. Системи очищення димових газів. 2. Дослідження потужностей циклону програмним методом SolidWorks Flow Simulation. 3. Математична модель фільтрування запиленого повітря у циклоні. 4. Модель досліджуваного апарату. 5. Перевірка даних. 6. Симуляція запиленого повітря. 7. Дослідження потужностей циклону для потоків високих температур. 8. Статистична обробка даних.

5 Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): Титульний аркуш, мета та завдання роботи, класифікація очисних

апаратів, модель циклону, комп'ютерна симуляція потоку всередині циклону, залежність теплоенергетичних показників повітря від його температури.

6 Консультанти розділів роботи

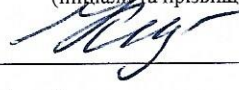
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1	Карпенко Г.В., доц. каф. ТГЕ		
Розділ 2	Карпенко Г.В., доц. каф. ТГЕ		

7 Дата видачі завдання _____

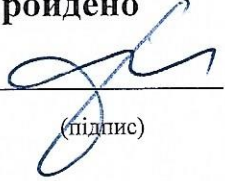
КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Аналіз засобів промислової очистки відхідних газів та конструкцій очисних апаратів	30.09.2021	
2	Опис робочої моделі циклону та переконання у адекватності отриманих показників	07.10.2021	
3	Експериментальні дослідження очищення повітря від відходів сублімації цинку при різних температурах середи.	21.11.2022	

Студент  Р.В. Лагутін
(підпис) (ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)  Г.В. Карпенко
(підпис) (ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер  С.Є. Чижов
(підпис) (ініціали та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Лагутін Р.В. «Дослідження процесів очищення вихровими апаратами відхідних газів теплоенергетичних установок металургійних підприємств України».

Кваліфікаційна випускна робота для здобуття ступеня вищої освіти магістра за спеціальністю 144 «Теплоенергетика». Науковий керівник - канд. техн. наук, доц. Карпенко Г.В. Інженерний навчально-науковий інститут ім. Ю.М. Потебні Запорізького національного університету. Кафедра теплоенергетики та гідроенергетики, 2022 р.

Здійснено аналіз очисних апаратів та особливостей їх методів очистки. Розглянуті переваги вихрових апаратів та виявлені їх недоліки на основі вимог, що висуваються при роботі на теплоенергетичних підприємствах. Побудована комп'ютерна модель циклону за заданими параметрами у програмі SolidWorks та проведена перевірка на збіжність теоретично отриманими програмою даних з реальними розрахунками. Переконались у якості симуляції запиленого потоку усередині циклону та провели ряд експериментів з різними температурами очищувального повітря. Отримані залежності якісних показників повітря в залежності від його температури та як саме це впливає на ефективну роботу циклону.

Ключові слова: СУХЕ ОЧИЩЕННЯ, ОСАДЖЕННЯ, ЦИКЛОНИ, АДІАБАТИЧНА СТІНКА, АЕРОДИНАМІЧНИЙ ОПІР, ВЕЛЬЦ-ПРОЦЕС

Список публікацій магістранта:

1. Лагутін Р.В., Чейлитко А.О. Сучасні апарати і пристрої для очищення низьконапірних потоків газу теплотехнічних установок. Дослідження шляхів очищення низьконапірних потоків газу теплотехнічних установок. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: зб. тез доп. І всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 19-21 жовт. 2021р. С. 51-52.

2. Лагутін Р.В., Чейлитко А.О., Карпенко Г.В. Дослідження процесів очищення вихідних газів теплоенергетичних установок та прикладі вихрових апаратів. Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України: зб. тез доп. ІІ всеукр. наук.-практ. конф., м. Запоріжжя, 19-21 жовт. 2022р. С. 48-50.

3. Лагутін Р.В., Чейлитко А.О. Покращення очистки димових газів вихровими апаратами теплоенергетичних установок. Молода Наука-2022: Том 5, м. Запоріжжя, 18-22 квіт. 2021р. С. 220-221.

ANNOTATION

Lahutin R.V. «Research of processes of Vortex Devices Purification of Exhaust Gases of Thermal Power Plants of Metallurgical Enterprises of Ukraine».

Qualifying thesis for obtaining a master's degree in specialty 144 "Heat power engineering". Research supervisor - candidate. technical of Science, Assoc. Karpenko G.V. Engineering Educational and Scientific Institute named after Yu.M. Potebnya of Zaporizhzhya National University. Department of Thermal Power Engineering and Hydro. Power Engineering, 2022.

Made an analysis of cleaning devices and the features of their cleaning methods. Overlooked the advantages of vortex devices and their disadvantages that may appear while it at thermal power plants. A computer model of the cyclone was built according to specified parameters in the SolidWorks program and compared its data to the real ones. Checked the quality of the simulation of the dusty flow inside the cyclone and made a number of experiments with different temperatures of the cleaning air. Obtained the dependence of air quality indicators on its temperature and how exactly this affects the effectiveness of the cyclone.

Key words: DRY CLEANING, SEDIMENTATION, CYCLONES, ADIABATIC WALL, AERODYNAMIC DRAG, WAELTZ PROCESS

List of undergraduate publications:

1. Lahutin RV, Cheilytko AO. Modern devices for cleaning low-pressure gas flows of heat engineering installations. Research on ways of cleaning low-pressure gas flows of heat engineering installations. Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine: coll. theses add. I All-Ukrainian science and practice conference, Zaporozhye, October 19-21, 2021. P. 51-52.

2. Lahutin RV, Cheilytko AO, Karpenko GV. Research of processes of purification of exhaust gases of thermal power plants on example of vortex devices. Current issues of sustainable scientific, technical and socio-economic development of the regions of Ukraine: coll. theses add. II All-Ukrainian science and practice conference, Zaporozhye, October 19-21, 2022. P.48-50.

3. Lahutin RV, Cheilytko AO. Improvement of cleaning of flue gases by vortex devices of thermal power plants. Young Science-2022: Vol.5, Zaporozhye, April 18-22, 2022. P. 220-221.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1 Системи очищення димових газів	11
1.1 Апарати сухого механічного очищення газів	12
1.1.1 Пилоосаджувальні камери	12
1.1.2 Інерційні пиловловлювачі	13
1.1.3 Циклони	18
1.2 Фільтруючі апарати	21
1.3 Електрофільтри	23
1.4 Апарати мокрого очищення газу	24
РОЗДІЛ 2 Дослідження потужностей циклону програмним методом SolidWorks Flow Simulation	30
2.1 Математична модель фільтрування запиленого повітря у циклоні	
2.2 Модель досліджуваного апарату	33
2.3 Перевірка даних	34
2.4 Симуляція запиленого повітря	39
2.5 Дослідження потужності циклону для потоків високих температур	
2.5.1 Четверта секція	43
2.5.2 Третя секція	48
2.5.3 Друга секція	53
2.5.4 Перша секція	58
2.6 Статистична обробка даних	63
РОЗДІЛ 3 Економічна частина	73
3.1 Організація виконання науково-дослідної роботи	73
3.1.1 Планування етапів науково-дослідної роботи	73
3.1.2 Визначення трудомісткості виконання НДР	74
3.1.3 Визначення числа виконавців	76
3.1.4 Розрахунок тривалості етапів НДР	

3.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи	78
3.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження технологічних факторів	78
3.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали	78
3.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію устаткування	80
3.2.3 Розрахунок затрат на електроенергію	81
3.2.4 Розрахунок заробітної плати і відрахувань	82
3.2.5 Накладні витрати	86
3.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи	86
ВИСНОВКИ	88
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	89

ВСТУП

Актуальність роботи. Незважаючи на спроби багатьох металургійних підприємств зменшити пагубний вплив свого підприємства на екологію за рахунок модернізації або повного виключення з виробництва найбільш небезпечних приладів, їх вплив залишається дуже значним, адже потрібність у виробництві з кожним роком лише зростає.

Головною проблемою підприємств України є їх монополія на деякі металопрокатні вироби, які потребують великих витрат на виробництво сировини, спалення якої призводить до значних викидів димового газу у слабо очищеному виді. На підприємствах вже задіяні чисельні циклони, які намагаються виправити це положення, але їх експлуатація у свою чергу є дуже затратним та економічно не вигідним, тому вони працюють не завжди.

Вплив димового газу на атмосферу неможливо і далі ігнорувати, адже з кожним роком парниковий ефект стає все дедалі відчутним, що вже навіть взимку може бути тепло. Це також впливає на таїння льодовиків, що збільшує рівень води на планеті та його швидшого нагрівання. Головним чинником таких змін є викиди вуглекислого газу та водяного пару, який є головним парниковим газом на Землі.

Якщо брати не тільки атмосферні явища, але й ті, що впливають на самих людей, при спалюванні палива, в залежності від його різновиду: вугілля, природний газ чи нафта, у повітря потрапляють також й різні забруднюючі речовини, такі як сажа, окис азоту або окис сірки. Їх присутність у житті людей може призвести до невіправних змін у організмі, а саме онкологічних захворювань, як у дорослих, так і у дітей, та число хворих з кожним роком лише збільшується.

Особливо зараз, коли російські ракети загрожують громадській інфраструктурі та підприємствам та призводять до значних їх пошкоджень, кількість шкідливих викидів збільшилась. У майбутньому, підприємствам доведеться повертатися на ринок з гіршим станом навколишньої середовища, а

отже і ефективність очищення газів повинно бути значно кращим аби наздогнати головну ціль людства - покращити якість його життя.

Об'єкт дослідження – вихрові апарати теплоенергетичних установок металургійних комбінатів України.

Предмет дослідження – позбавлення відхідних газів продуктів горіння.

Мета роботи – вдосконалити існуючі системи очищення димових газів на прикладі вихрових апаратів шляхом оптимізації їх режимів роботи.

Задачі дослідження. Для досягнення поставленої мети в роботі вирішуються наступні задачі:

- аналіз літературних джерел за тематикою дослідження;
- дослідження загальних процесів роботи вихрових апаратів з очищення відхідних газів;
- знаходження оптимальних способів вдосконалення очистки.

Методи та засоби дослідження. У роботі використовувались стандартні методи основані на класичних законах аеродинамічного тепломасообміну та технічної динаміки. Поставлені задачі вирішувались шляхом складання комп'ютерної моделі циклону у програмі SolidWorks та симуляції процесів її очищення у SolidWorks Flow Simulation.

Наукова новизна отриманих результатів. В магістерській роботі вперше:

1. Встановлено вплив температури повітря на ефективність його очищення циклонними апаратами і визначені залежності інших його технічних показників.
2. Розроблено математичну модель руху повітря у закрученому просторі.
3. Встановлено закономірності, що дозволять передбачити поведінку частинок пилу у гарячому потоці та покращити якість їх очищення.

Практична цінність роботи. З практичної точки зору відокремлення відхідних матеріалів призведе до покращення якості їх очистки, що дасть

більш широкий вибір для подальшого їх використання, та зменшить їх вплив на довкілля.

Апробація роботи. Результати роботи представлені на I та II Всеукраїнській науково-практичній конференції здобувачів вищої освіти, аспірантів та молодих вчених «Актуальні питання сталого науково-технічного та соціально-економічного розвитку регіонів України» 19-21 жовтня 2021р, 2022 р., загальноуніверситетській конференції студентів, аспірантів, докторантів і молодих вчених «Молода Наука-2022» та XVIII Міжнародній наук.-практичній конференції «Новини наукових ідей» 20-22 жовтня 2022р.

Структура та обсяг роботи. Магістерська робота включає вступ, 3 розділи, висновки та перелік джерел посилань з 21-ї позиції. Загальний обсяг складає 90 сторінок, у тому числі 37 ілюстрацій та 17 таблиць.

РОЗДІЛ 1 СИСТЕМИ ОЧИЩЕННЯ ДИМОВИХ ГАЗІВ

Пилоловлювання засноване на використанні одного або декількох механізмів осаджування зважених в газі частинок. У числі основних механізмів слід виділити:

- гравітаційне осадження;
- інерційне осадження;
- осадження під дією відцентрової сили;
- осадження внаслідок зачеплення(торкання);
- електричне осадження.

Гравітаційне осадження відбувається в результаті вертикального осадження частинок під дією сил тяжіння при проходженні їх через газоочисний апарат.

Інерційне осадження відбувається в тому випадку, коли маса і швидкість частинок пилу забезпечують достатню інерцію руху для виділення частинок з потоку газу при різкій зміні лінії струму газу.

Осадження під дією відцентрової сили відбувається при криволінійному русі запиленого потоку газу, що зумовлює виникнення відцентрових сил, під дією яких частинки виділяються з потоку газу і відкидаються на поверхню осадження газоочисного апарату.

Зачеплення (торкання) частинок пилу відбувається в тому випадку, коли відстань від центру частинок пилу до перешкоди, яку обтікає газовий потік, дорівнює або менше радіуса частинки.

Електричне осадження відбувається внаслідок іонізації газового потоку, що призводить до придбання частинками пилу певного електричного заряду достатнього для виділення частинок з потоку газу під дією електричного поля і спрямованого руху частинок до поверхні газоочисного апарату, що має протилежний заряд [1].

У числі найбільш застосовуваних пиловловлювачів можна виділити чотири класи [3]:

- апарати сухого механічного очищення газу;
- апарати мокрого очищення газу;
- апарати для очищення газу фільтрацією(фільтри);
- апарати для очищення газу в електричному полі (електрофільтри).

Залежно від кінцевого вмісту пилу в газі, що проходить очищення розрізняють такі види пиловловлювачів:

- апарати грубого очищення газу (кількість пилу на виході понад 1 г/м³);
- апарати середнього очищення газу (кількість пилу на виході 0,1–1 г/м³);
- апарати тонкого очищення газу (кількість пилу на виході до 0,1 г/м³).

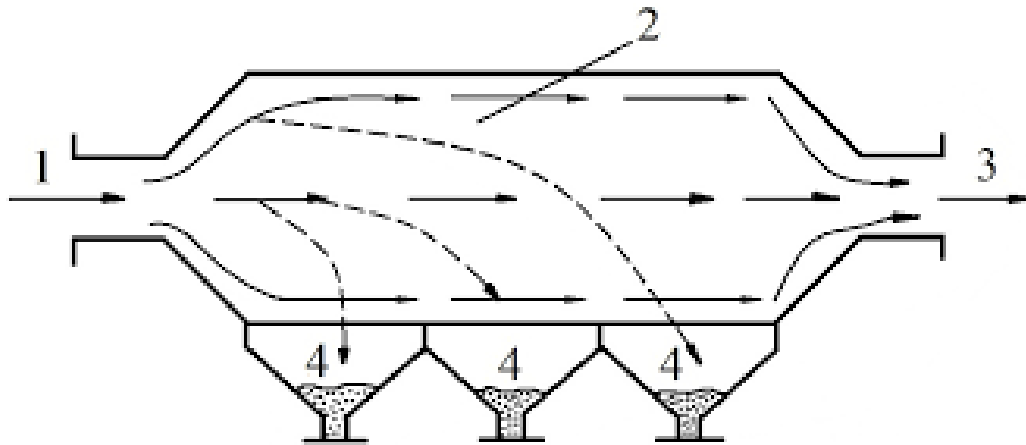
1.1 Апарати сухого механічного очищення газів

В апаратах сухого механічного очищення пиловловлювання досягається виключно механічним впливом на пил внаслідок гравітаційних, інерційних і відцентрових сил. У більшості випадків ці сили діють на частинки пилу спільно. Тим не менш, для окремих апаратів сухого механічного очищення один із впливів може переважати, що дозволяє за цією ознакою виділити наступні групи апаратів сухого очищення: пилоосаджувальні камери, інерційні пиловловлювачі та циклони [4].

1.1.1 Пилоосаджувальні камери

Пилоосаджувальні камери застосовують для попереднього грубого очищення газів від пилу порівняно великих розмірів (>50-100 мкм).

Виділення частинок пилю з газу здійснюється тут внаслідок гравітації. (рисунок 1.1).



1 – підвід запиленого газу; 2 – робочий об'єм пилоосаджувальної камери; 3 – відвід очищеного газу; 4 – бункера для збору і відводу уловленої пилю

Рисунок 1.1 – Конструкція пилоосаджувальної камери

Перевагою пилоосаджувальних камер є простота конструкції. Недоліком – громіздкість. Для гравітаційного осаджування пилю необхідно досить тривале перебування пилю в камері, а отже невеликі швидкості газу, що збільшує поперечний переріз пилоосаджувальної камери і розміри камери в цілому.

1.1.2 Інерційні пиловловлювачі

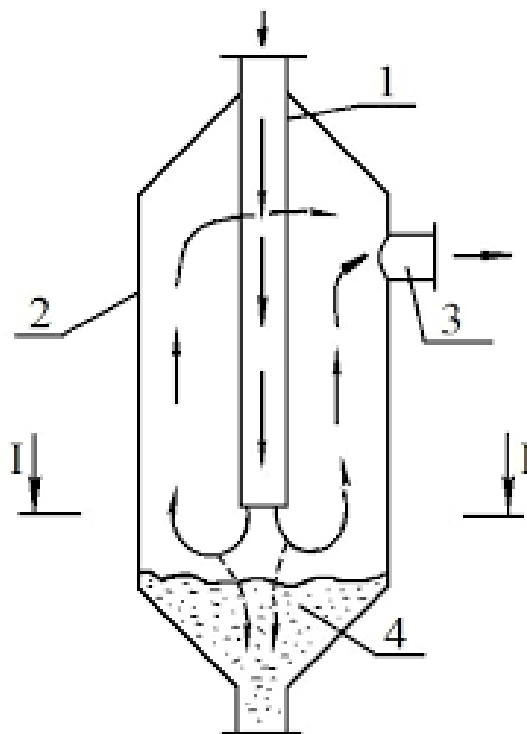
В інерційних пиловловлювачах поряд з гравітаційними силами велике значення в осадженні пилю набуває інерція руху частинок. Для цього в пилоосаджувальному апараті забезпечується різка зміна напрямку руху потоку газу. Пилові частинки прагнуть в силу інерції зберегти напрямок руху газу і при зміні напрямку випадають з потоку.

Інерційні пиловловлювачі відрізняються між собою в залежності від конструктивного рішення, що забезпечує зміну напрямку потоку газу.

Наприклад:

- з центральним підведенням газу (радіальні пиловловлювачі);
- з боковим підведенням газу;
- з вертикальною перегородкою;
- з жалюзійними решітками.

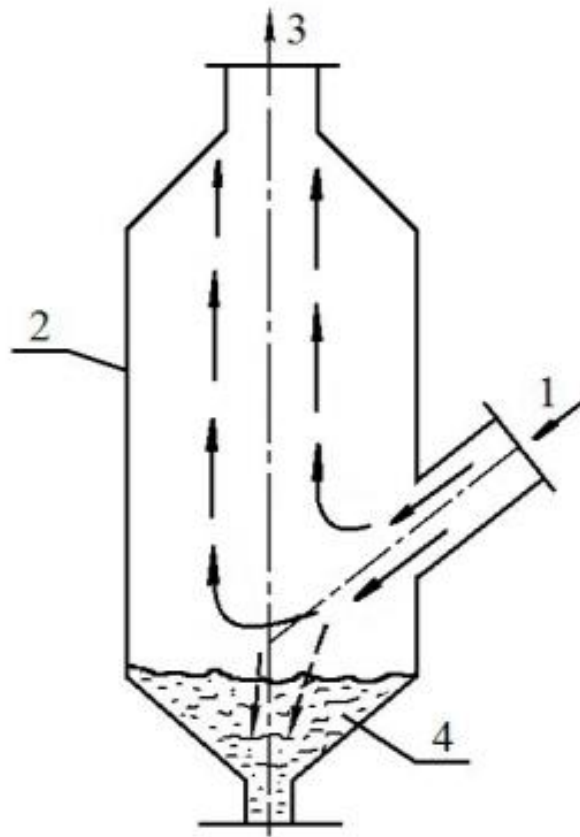
В інерційному пиловловлювачі з центральним підведенням газу потік запиленого газу, що надходить через центральну трубу, робить поворот на 180° і розподіляється в кільцевому перерізі пиловловлювачі (рисунок 1.2).



1 – центральний підвід запиленого газу; 2 – циліндричний корпус пиловловлювача; 3 – відвід очищеного газу; 4 – бункер для збору і видалення вловленої пилу

Рисунок 1.2 – Інерційний пиловловлювач з центральним підведенням газу

В інерційному пиловловлювачі з боковим підведенням газу зміна напрямку потоку газу досягається розміщенням патрубків для підведення газу в нижній частині корпусу пиловловлювача (рисунок 1.3). При цьому підведення газу здійснюється в верхній частині пиловловлювача, що викликає різкий поворот газу в нижній частині в сторону виходу й інерційне відділення частинок пилу.

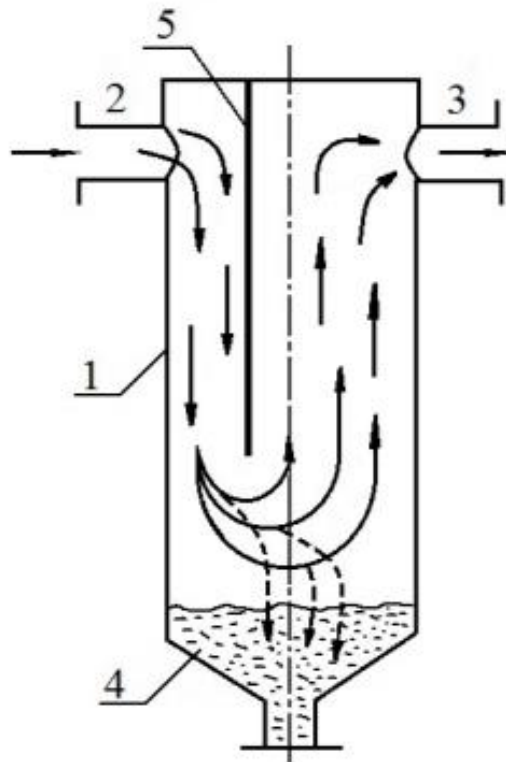


1 – бічний підвід запиленого газу; 2 – циліндричний корпус пиловловлювача; 3 – відвід очищеного газу; 4 – бункер для збирання пилу

Рисунок 1.3 – Інерційний пиловловлювач з боковим підведенням газу

Зміна напрямку потоку і ефективності інерційного відділення пилу залежить тут від кута нахилу вхідного патрубку до осі вертикального корпусу пиловловлювача. Залежно від швидкості входу газу в корпус пиловловлювача кут нахилу патрубка змінюється в межах 30-60°.

В інерційному пиловловлювачі з вертикальною перегородкою (рисунок 1.4) зміна напрямку потоку газу і ступінь уловлювання пилу визначається положенням перегородки стосовно входу газу в пиловловлювач.

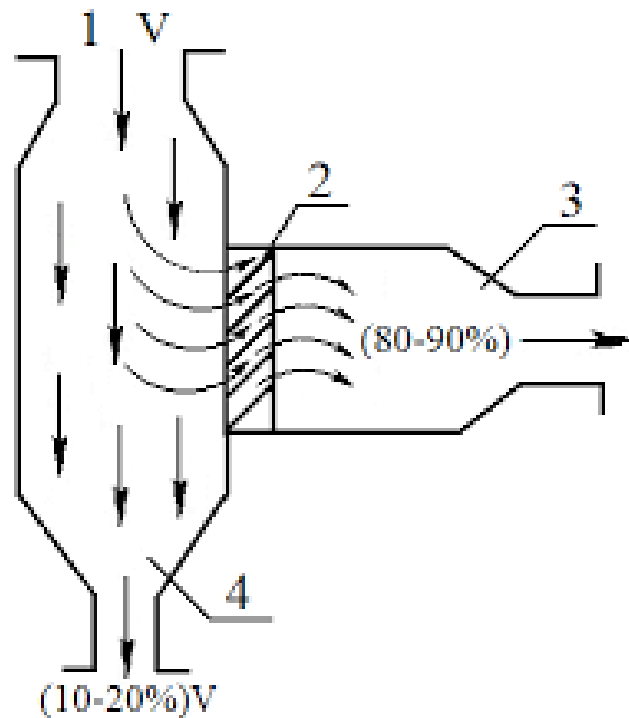


1 – циліндричний корпус; 2 – вхід газу; 3 – вихід газу; 4 – бункер для збору пилу; 5 – вертикальна перегородка.

Рисунок 1.4 – Інерційний пиловловлювач з вертикальною перегородкою

Зміщення перегородки в сторону вхідного патрубка забезпечує зниження швидкості газу перед вихідним патрубком, що сприяє не тільки інерційному, але й гравітаційному осадженню пилу.

До числа інерційних пиловловлювачів відносяться також жалюзійні пиловловлювачі (рисунок 1.5), які зазвичай виконують функцію концентраторів пилу, що полегшує подальше очищення газу.



1 – вхід запиленого газу; 2 – жалюзійні решітки; 3 – вихід більшої частини газу зі зниженою концентрацією пилу; 4 – вихід меншої частини газу з підвищеною концентрацією пилу.

Рисунок 1.5 – Жалюзійний пиловловлювач

В жалюзійних пиловловлювачах потік запиленого газу розділяється на дві частини. Більша частина газу (80-90%) відводиться примусовою тягою в бічний газохід через жалюзі і частково звільняється від пилу. У меншій частині газу, що проходить повз жалюзі (10-20%), концентрація пилу збільшується: по-перше, внаслідок інерції руху пилу при повороті газу в жалюзійній решітці, і, по-друге, внаслідок відображення частинок пилу при

ударі об жалюзійну решітку. Жалюзійні решітки застосовують для концентрації пилу більше 20 мкм.

Недоліком жалюзійних пиловловлювачів є абразивний знос решіток і відкладення пилу всередині решіток.

1.1.3 Циклони

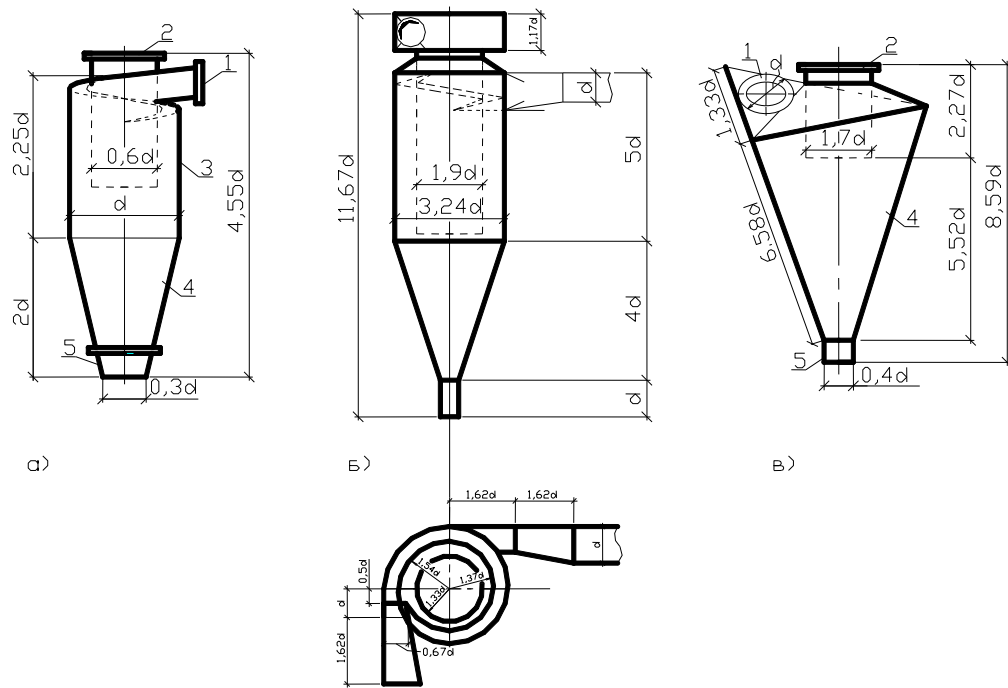
З інерційних апаратів найбільшого поширення набули циклони як більш ефективні і менш дорогі пиловловлювачі для грубої очистки газів, що видаляються. Цей вид пиловловлювача значно відрізняється від пилоосаджувальних камер як в конструктивному відношенні, так і за принципом дії.

Циклони набули широкого поширення і застосовуються для затримування стружок, тирси та металевих пилю. Запилене повітря підводиться вентилятором в верхню частину зовнішнього циліндра циклону (рисунок 1.6).

В циклоні повітря приймає обертальний рух, внаслідок чого розвивається відцентрова сила, відкидаються механічні домішки до стінок, звідки вони скочуються в нижню частину циклону, що має форму усіченого конуса. Очищене повітря через внутрішній циліндр циклону, так звану вихлопну трубу, виходить назовні. Нижня частина циклону періодично очищується [5].

Відмінною особливістю найпоширенішого циклону ЦН НПОгазу, (рисунок 1.6 а) є похилий вхідний патрубок, який встановлюють під кутом 11° (ЦН-11), 15° (ЦП-15) і 24° (ЦН-24).

Крім циклонів НПОгазу досить широке застосування отримали також циклони типу ЛПОТ і СІОТ (рис. 1.6 б і 1.6 в).



а) відцентровий пиловідокремлювач-циклон; б) циліндричний циклон ЦН; в) - циклон ЛІОТ; г) циклон СІОТ;

1, 2 – вхідний і вихідний патрубки; 3 – циліндрична частина циклону; 4 – конус; 5 – пиловідвідний патрубок; 6 – равлик, який розкручується.

Рисунок 1.6 – Основні типи циклонів

В циклоні ЛІОТ відділення пилу від повітря відбувається з використанням відцентрових сил, що виникають в обертовому потоці запиленого повітря, що опускається по гвинтовій лінії. Частинки пилу віджимаються до стінок і спускаються вниз. Повітря, яке пройшло очистку, виходить через центральну трубу. Ефективність очищення до 85 %.

Крім звичайних циклонів в промислових підприємствах застосовуються групи з 2, 3, 4 циклонів. На теплових станціях для попереднього очищення в комплексі з іншими методами золовловлювання встановлюють мультициклони (рисунок 1.7) [8].

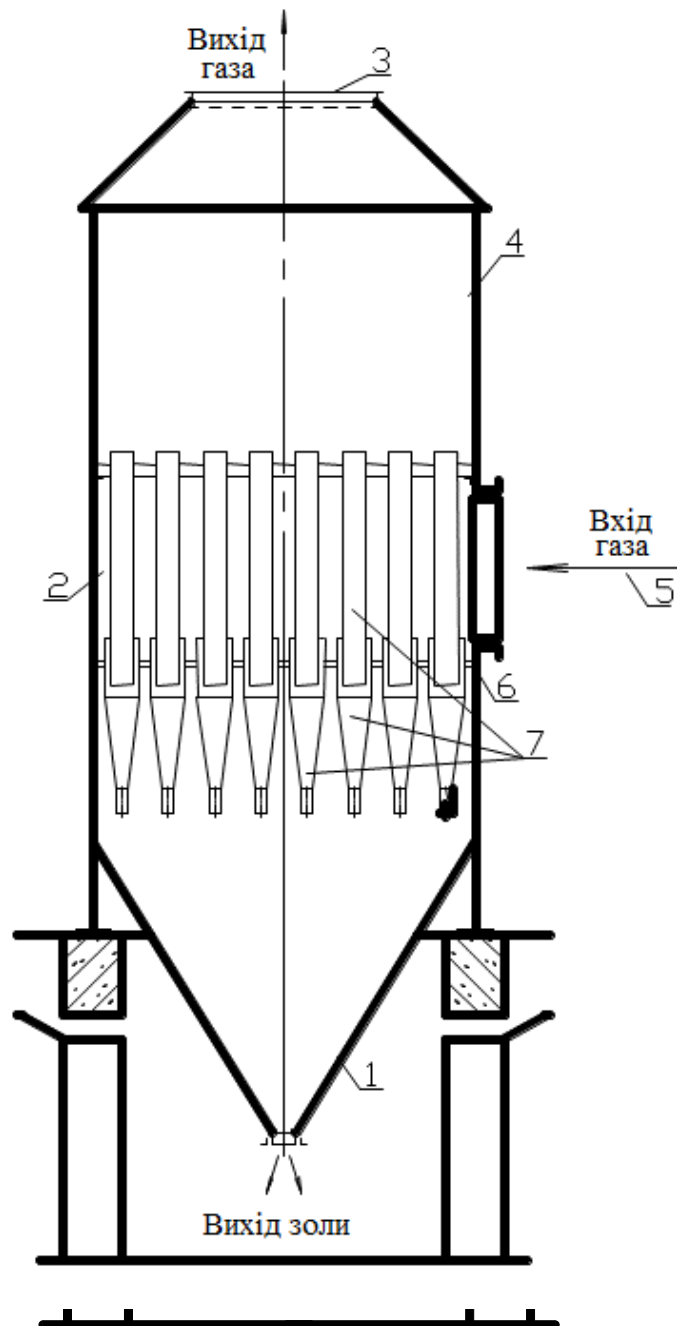


Рисунок 1.7 - Схема мультициклону

Мультициклон являє собою об'єднання в одному агрегаті багатьох маленьких циклонів діаметром 300 - 400 мм із загальною подачею в них забрудненого повітря і загальним бункером для золи, яка осіла. У мультициклоні затримується до 65 – 70 % золи.

Перевагою циклонів є:

- відсутність рухомих частин в апараті;
- надійне функціонування при температурах газів майже до 500 С;
- можливість вловлювання абразивних матеріалів при захисті спеціальним покриттям внутрішньої поверхні;
- простота виготовлення конструкції;
- незалежність роботи апарату від тиску газу;
- незалежність фракційної ефективності очищення від зростання запиленості газів;
- висока продуктивність при порівняно низькій вартості.

Недоліком є те, що значний гідравлічний опір 1250...1500 Па вискоефективних циклонів призводить до поганого вловлювання частинок розміром менше 5 мкм.

1.2 Фільтруючі апарати

Для середнього і тонкого очищення запиленого повітря з успіхом застосовують матерчаті фільтри, наприклад рукавний фільтр, схема якого показана на рисунку 1.8.

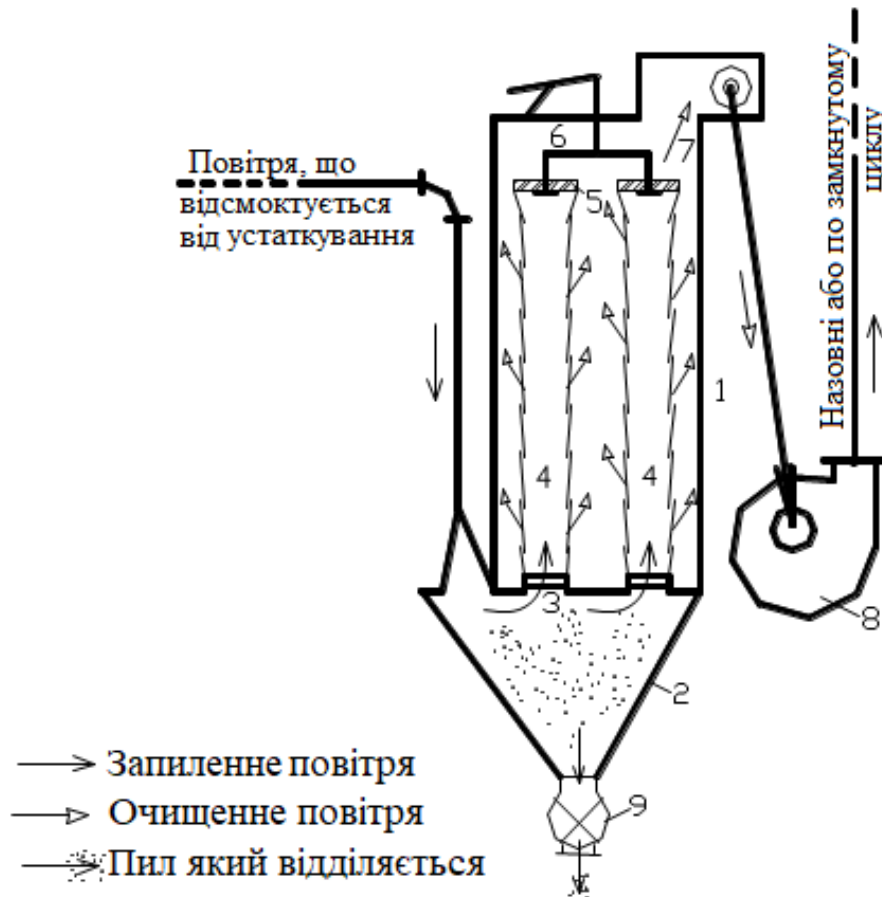
У рукавних фільтрах зі струменевою продувкою уздовж рукава вгору і вниз переміщається порожнисте кільце зі щілиною шириною 0,2–2 мм.

Стиснене повітря, що виходить через кільцеву щілину під тиском 500–600 кПа і зі швидкістю 10 – 30 м/с, руйнує шар пилу, що осів всередині рукава.

Рукавні фільтри, набули поширення в багатьох галузях промисловості і особливо в тих, де пил міститься в очищеному повітрі, представляє цінний продукт виробництва (дорогоцінні метали, борошно, цукор та інше). Вони використовуються для очищення неагресивних, не схильних до злипання й утворення вибухонебезпечних сумішей та конденсату газопилових сумішей від твердих частинок при температурі до 300 °С [9].

Як фільтрувальні матеріали використовуються тканини:

- з натуральних волокон (бавовна, льон, вовна, шовк);
- з синтетичних волокон (капрон, лавсан, нітрон, тефлон, оксалон і інші тканини);
- з склотканини.



1 – металевий корпус; 2 – конічна частина корпусу для збору відокремлюваного пилу; 3 – днище з отворами для рукавів; 4 – рукави з ворсистого матеріалу; 5 – заглушки рукавів; 6 – струшуючий механізм; 7 – отвір для виходу очищеного повітря; 8 – вентилятор; 9 – шлюзовий затвор.

Рисунок 1.8 – Схематичний розріз всмоктуючого матерчатого рукавного фільтра

До тканин пред'являються наступні загальні вимоги:

- 1) забезпечення високого ступеня вловлювання при відносно невисокому гідравлічному опорі;
- 2) тривалий термін служби, який визначається механічними властивостями тканини, а також її хімічної і термічної стійкістю при робочих умовах;
- 3) можливо низька вартість.

1.3 Електрофільтри

Крім розглянутих видів обеспилюючого обладнання слід відзначити електрофільтри і ультразвукові пиловловлювачі. Принцип дії електрофільтру заснований на тому, що пилові частинки, проходячи з повітрям через електричне поле, отримують заряди і, притягуючи, осідають на електродах, з яких потім видаляються механічним способом [10]. На загальний ступінь очищення в електрофільтрах суттєво впливає електронний вітер. Електронний вітер створюється іонами газу з полярністю, що протилежна полярності корону вального електрода. Ці іони утворюються під впливом крони і є одночасно її частиною. Внаслідок передавання кількості руху від іонів газу, що рухаються в електростатичному полі, обертовим частинкам газу між електродами, який називається електронним або іонним вітром. Швидкість електронного вітру в апаратах 0,3 ... 0,6 м/с, а найбільша локальна швидкість може досягати 3 м/с.

Ступінь очищення в електрофільтрі визначається способом і режимом регенерації електродів. В сухих електрофільтрах для видалення пилу з осаджувальних та коронувальних електродів застосовується пружинно-кулачкова, ударно-молоткова, магнітно-імпульсна та вібрацій система струшування. Для видалення осаджених твердих частинок в мокрих електрофільтрах використовують безперервне або періодичне промивання електродів з подачею на них необхідної кількості промивної води, що змиває осаджений пил.

В ультразвукових пиловловлювачах використовується здатність пилових частинок під дією потужного звукового потоку до коагуляції, тобто до згортання в пластівці, що дуже важливо для уловлювання з повітря аерозолів. Ці пластівці випадають в бункер. Звуковий ефект створюється сиреною. Сирени, які випускаються, можуть бути застосовані в пилоочисних установках продуктивністю до 15000 м³/год..

1.4 Апарати мокрого очищення газу

Інтерес представляють пиловловлювачі мокрого типу, які відрізняються гарною ефективністю. До них відносяться відцентрові скрубери, циклони-промивачі, пиловловлювачі Вентурі, пінні пиловловлювачі та інші.

Сили інерції, що діють на частинку пилу й краплини рідини при їх зближенні, залежить від маси частинок й краплинок та швидкості їх руху. Частинки пилу менше 1 мкм не мають достатньої кінетичної енергії і при зближенні обгинають краплинки, тобто не вловлюються рідиною. Броунівський рух характерний для частинок менше 1 мкм.

Значної ефективності очищення газових викидів від пилу за рахунок броунівського руху можна досягти шляхом зменшення швидкості руху газового потоку.

Вловлювання пилу в апаратах мокрого очищення газу відбувається в основному двома способами: захоплення частинок пилу краплями і захоплення частинок пилу плівкою рідини [11].

Відповідно до першого способу, пиловий потік промивають рідиною, яка диспергує: частинки пилу захоплюються краплями рідини і осідають. При цьому одночасно можливо випаровування крапель зрошувальної рідини або конденсація парів з газового потоку, а частинки пилу можуть служити ядрами конденсації пари. Завдяки цьому конденсаційному ефекту значно поліпшуються умови для осадження частинок пилу.

В апаратах, що працюють за другим способом очищення газу, вловлювання пилу відбувається шляхом подачі пилогазового потоку на поверхню рідини, або на змочену рідиною стінку апарату, або плівку газових бульбашок в рідині.

Циклон з водяною плівкою (рисунок 1.9) являє собою циліндр з листової сталі з нижнім підведенням забрудненого повітря. У верхній частині циліндра вода, що витікає через сопла, встановлені на кільцевому трубопроводі, омиває внутрішню частину циліндра. Витрата води 0,2 - 0,3 кг на 1м³ повітря, що очищається. Швидкість у вхідному патрубку 18 - 20 м/с. Ефективність очищення 99 % [12].

У загальному випадку при падінні крапель води під дією сил гравітації в робочому просторі апарату швидкість кінематичної коагуляції частинок пилу з газового потоку визначається за рівнянням

$$N_{\text{кін}} = \eta_3^1 \frac{\pi d_k^2}{4} \omega_0 Z,$$

де $N_{\text{кін}}$ - число частинок пилу, захоплених краплею за 1 с;

η_3^1 - коефіцієнт захоплення;

d_k - діаметр краплі диспергованої рідини, м;

ω_0 - швидкість руху краплі щодо частки пилу, м/с;

Z - концентрація пилу

Залежно від способу диспергування рідини мокрі газоочисні апарати ділять на три групи:

1) форсункові скрубери, де діопергіровання (розсіювальння) рідини здійснюється за допомогою форсунок, за рахунок енергії насоса;

2) скрубери Вентурі, в яких дроблення рідини здійснюється за рахунок енергії турбулентного потоку;

3) динамічні газопромивачі, де розбризкування рідини здійснюється за рахунок механічної енергії ротора.

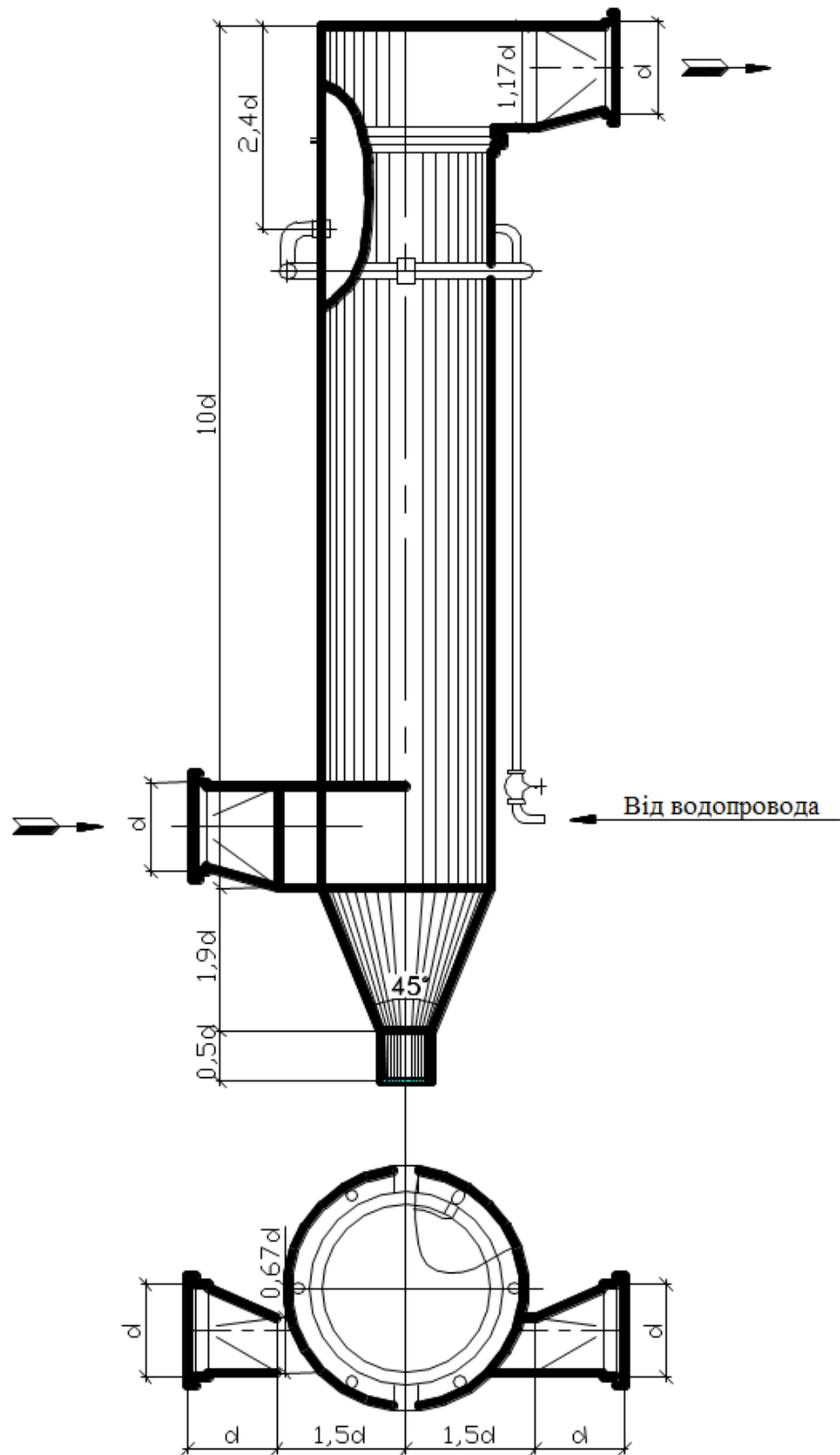


Рисунок 1.9 – Циклон з водяною плівкою

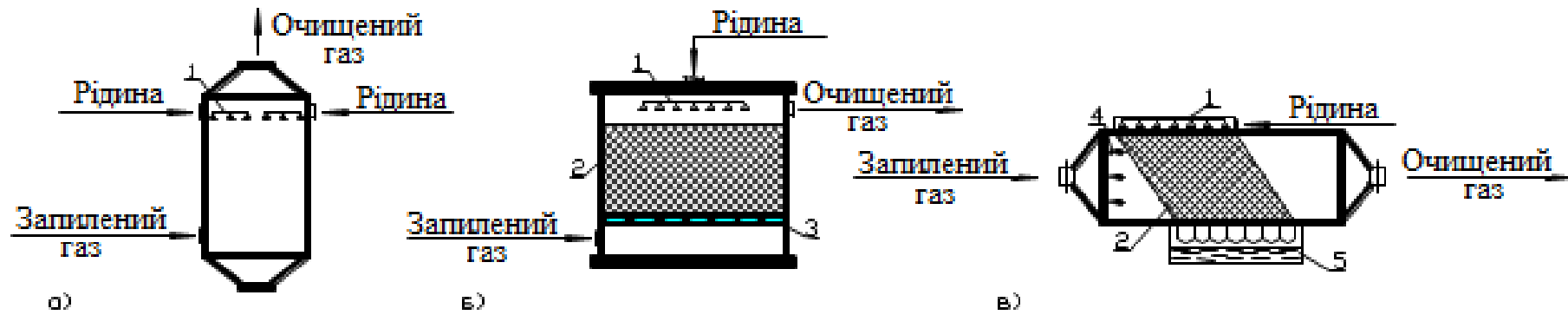
Пилоочищення рідиною реалізується в мокрих газопромівачах та барботажних скруберах. Їх перевага полягає:

- в невеликій вартості при високій ефективності;
- в можливості очищення газів при високій температурі та вологості вловлюваного пилу, а також при небезпеці загорань і вибухів очищених газів;
- в можливості разом з пилом вловлювати пароподібні та газоподібні компоненти;
- в можливості очищення газів від частинок розміром 0,1 мкм;
- в значній продуктивності, що знаходиться в межах 100...200 тис.м³/год..

Недоліками є:

- необхідність переробки шламу;
- можливість виносу краплин рідини та осадження їх разом з пилом в газоходах та димососах;
- необхідність захищати антикорозійними матеріалами апаратуру та комунікації в разі очищення агресивних газів.

Порожнинні і насадкові апарати. Порожнинні апарати призначені для очищення газу від достатньо великих частинок пилу (розмірами більше 5 мкм) та їх охолодження. Насадкові апарати використовуються для уловлювання тонкого пилу у вигляді туманів, добре розчиненого пилу, а також при спільному протіканні процесів пиловловлювання, охолодженні газів та абсорбції. У цих апаратах газ, який очищується, пропускається через потік рідини, яка розпилюється, розбризкується або стікає по насадці (рисунки 1.10). При цьому частинки пилу захоплюються потоками промивної рідини і осідають в апараті, а очищені газ виводяться в атмосферу [13].



а) порожнистий скрублер; б) протиточний насадок скрублер; в) насадок скрублер з поперечним зрошенням; 1 – зрошувальний пристрій; 2 – насадка для вловлювання крапель; 3 – опорна решітка; 4 – форсунки; 5 – шламозбірник

Рисунок 1.10 – Порожнинні та насадкові газопромивачі

У порожнинних скруберах промивку газу здійснюють шляхом розбризкування рідини назустріч очищеному потоку, який рухається і рідше – по ходу або поперек руху газу. Для зрошення скруберів застосовують форсунки грубого розпилювання. Висока ефективність очищення газів досягається в тому випадку, якщо промивна рідина розпилюється з утворенням крапель розміром 0,5 – 1 мм.

Висновки до розділу 1:

1. Загалом виділяють п'ять головних засобів очищення вихідних газів: гравітаційним осадженням, інерційним осадженням, осадженням під дією відцентрових сил, осадженням внаслідок зачеплення та електричним осадженням. Кожен з цих методів має переваги та недоліки та при грамотному їх комбінуванні цих недоліків можна позбавитись.

2. Основними очисними приладами, які найчастіше зустрічаються на підприємствах в Україні, вважаються пилоосаджувальні камери, інерційні апарати та циклони. Кожен з перелічених приладів має різні варіації які об'єднують в собі один чи декілька інших очисних методів.

3. Найпопулярнішим вважаються циклони саме за їх високу ефективність та простоту. В них виділяють лише один великий недолік – високий гідравлічний опір, що створюється рухом рідини всередині, завдяки ньому, ці апарати не здатні затримувати частинки пилу розміром до 5 мкм.

РОЗДІЛ 2

ДОСЛІДЖЕННЯ ПОТУЖНОСТЕЙ ЦИКЛОНУ ПРОГРАМНИМ МЕТОДОМ SOLIDWORKS FLOW SIMULATION

2.1 Математична модель фільтрування запиленого повітря у циклоні

Для моделювання аеродинамічних особливостей течій повітря у циклоні використовується рівняння Нав'є-Стокса, яке детально описано у статті [20]. У ній рівняння приймає такий вигляд:

$$\begin{cases} u \frac{\delta u}{\delta x} + v \frac{\delta u}{\delta r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta x} + \frac{\mu}{\rho} \Delta u \\ u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta r} - \frac{w^2}{r} = -\frac{1}{\rho} \frac{\delta P}{\delta r} + \frac{\mu}{\rho} \left(\Delta u - \frac{v}{r^2} \right) \\ u \frac{\delta w}{\delta x} + v \frac{\delta w}{\delta r} + v \frac{w}{r} = \frac{\mu}{\rho} \left(\Delta w - \frac{v}{r^2} \right) \end{cases}$$

де $\Delta = \frac{\delta^2}{\delta x^2} - \frac{\delta^2}{\delta r^2} + \frac{1}{r} \frac{\delta}{\delta r}$ - оператор Лапласа;

u, v, w - осьова, радіальна і окружна компоненти вектора швидкості;

P – тиск;

μ, ρ – динамічний коефіцієнт в'язкості та щільність рідини.

Для визначення семи невідомих u, v, w, P, μ, ρ, T отримали систему семи рівнянь, які складають замкнуту систему рівнянь руху в'язкого газу. Зазначимо при цьому, що для в'язкого газу повинні також виконуватися такі припущення:

а) газ є „ньютонівським” середовищем, тобто має місце узагальнений закон Ньютона про лінійний зв'язок між тензором напружень P і тензором швидкостей деформації S :

$$P = 2\mu S - (p + \frac{2}{3}\mu \operatorname{div}V)E,$$

б) коефіцієнти теплоємності c_p і c_v , а значить і їх відношення k , не залежить від абсолютної температури газу і є фізичними константами газу.

с) коефіцієнт теплопровідності газу λ пропорційний динамічному коефіцієнту в'язкості μ , так що число Прандтля $\sigma = \frac{\mu c_p}{\lambda}$ розглядається як фізична постійна газу, тобто $\sigma = \text{const}$.

Припустимо, що число Рейнольдса Re буде меншим за деяке критичне значення $Re_{кр}$ ($Re < Re_{кр}$), тобто розглядається ламінарний рух середовища.

Для отримання розв'язку в конкретній області при інтегруванні системи диференціальних рівнянь потрібно задати початкові та граничні умови.

Початкові умови:

$$t = 0; x(0) = x_0, y(0) = y_0, z(0) = z_0, dx/dt = dy/dt = dz/dt = 0.$$

Геометричні умови:

$$r \in (0; R), x \in (0; L),$$

де R – радіус камери циклона;

L – довжина камери циклона.

Швидкість потоку повітря у вхідному патрубку V , як правило знаходиться у межах $V=2-5$ м/с в залежності від конструкції циклона та технологічних параметрів процесу циклонування.

Температуру повітряного потоку у початковий момент часу вважаємо рівною температурі зовнішнього середовища $T=T_{\text{зс}}$, а значення тиску визначається аеродинамічною характеристикою циклону.

Граничні умови залежать від форми циклона та від особливостей його функціонування. Найпростіший вид граничних умов – умови прилипання і непроникності потоку повітря на поверхнях, тож знехтуємо теплообміном між стінками апарата і довкіллям. Також вважається, що статичний тиск на виході з вихлопної труби циклона дорівнює атмосферному (при нормальних умовах $P = 101325$ Па). За методикою [22]:

Поверхню циклона можна умовно поділити на п'ять вертикальних (I-V) і 3 горизонтальні (VI-VIII) ділянки (рисунок 2. 1).

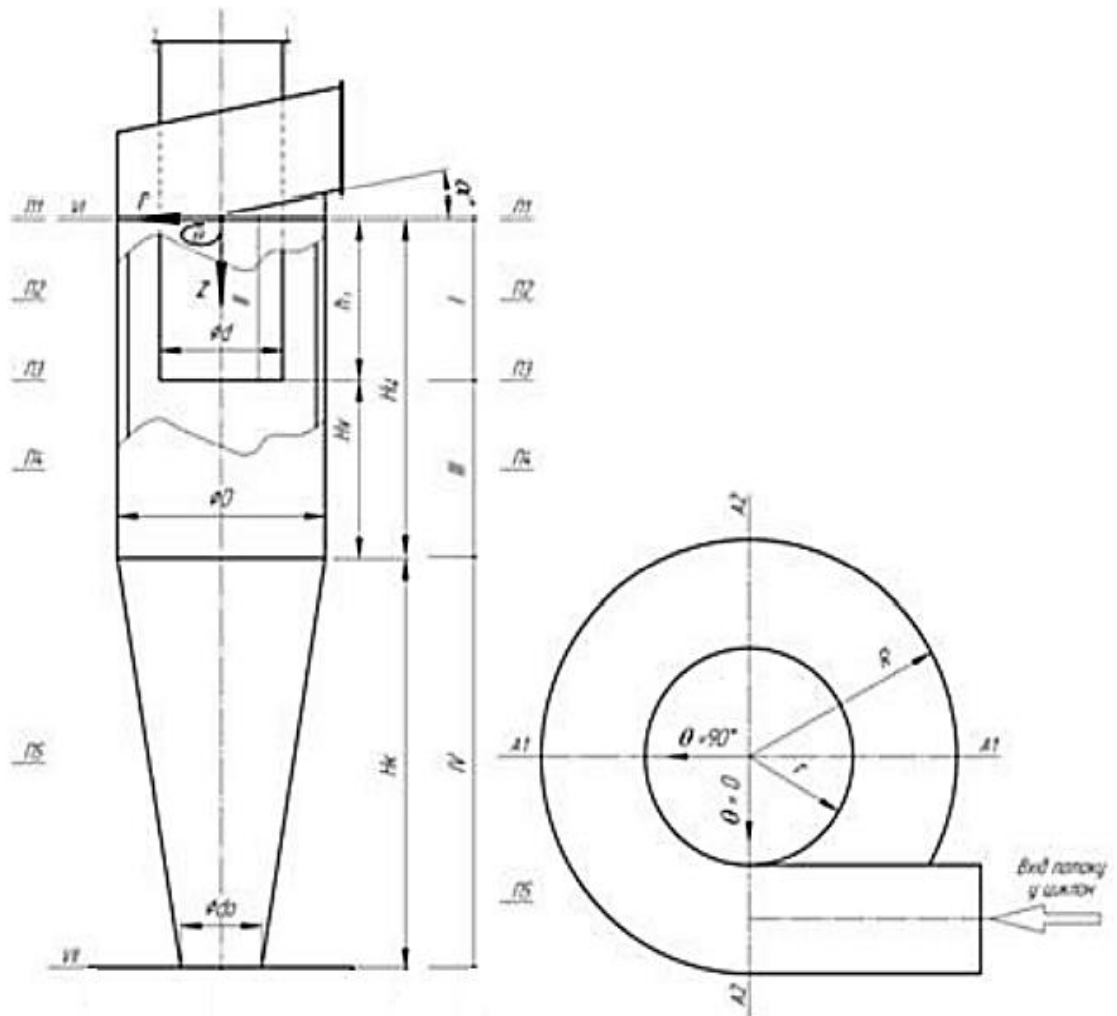


Рисунок 2.1 – Основні ділянки циклона щодо граничних умов

Ділянка I – простір між вихлопною трубою та циліндричною частиною апарата. Вона обмежена двома циліндричними поверхнями: $r=d/2$ та $r=D/2$ де d – діаметр вихлопної труби, D – діаметр циліндричної частини циклона. Величина z може набувати значення з діапазону $(0; h_3)$.

Ділянка II – простір всередині вихлопної труби: $r=d/2, 0 \leq z \leq h_3$.

Ділянка III – простір, який розміщений між нижнім краєм вихлопної труби та початком конічної частини. Її границя $r = D / 2; h_3 \leq z \leq h_{\text{ц}}$.

Ділянка IV – конічна частина апарата. Тут значення r зменшується від $r=D/2$ (при $z=h_{\text{ц}}$) до $r=d_0/2$ (при $z=h_{\text{ц}}+h_{\text{к}}$). Тому значення r слід розглядати як функцію від z , а саме, $r = \frac{D-d_0}{2h_{\text{к}}}z + \frac{D(h_{\text{к}}+h_{\text{ц}})-d_0h_{\text{ц}}}{2h_{\text{к}}}$, $h_{\text{ц}} \leq z \leq (h_{\text{к}}+h_{\text{ц}})$.

На **горизонтальній площині V** (рисунок 2.1): $d/2 < r < D/2; z = 0$.

При $0 < r < d/2; i z=0$ повітряний потік поводитьсь відповідно до закону твердого тіла [23], тобто $V_{\gamma}=\omega r$. На основі досліджень, які представлені у роботах [24] будемо вважати V_z сталим у перерізі вихлопної труби, а значення радіальної складової – рівним нулю. Тоді: $V_z = 4Vab/\pi d^2$, де a, b – відповідно довжина і ширина вхідного патрубку циклона і $V_x=0$.

На **горизонтальній площині VI** (рисунок 2.1): $\frac{d_0}{2} < r < \frac{d_1}{2}; z = h_{\text{к}} + h_{\text{ц}}$.

Записані співвідношення представляють собою повну систему залежностей для дослідження руху повітря в циклоні.

2.2 Модель досліджуваного апарату

Досліджувана модель циклону ЦН-15 побудована згідно геометричних розмірів (таблиця 2.1) реального апарату, дослідженого у [14]. Представлені дані гідродинамічного опору (рисунок 2.2) порівняні між показниками реальної установки та комп'ютерної моделі.

Таблиця 2.1 – Параметри циклону ЦН-15

Параметри	ЦН-15
Діаметр циклона, мм	400
Діаметр вихлопної труби, мм	240
Висота циліндричної частини, мм	904
Висота центральної труби, мм	800
Розмір вхідного патрубку, мм	264/104

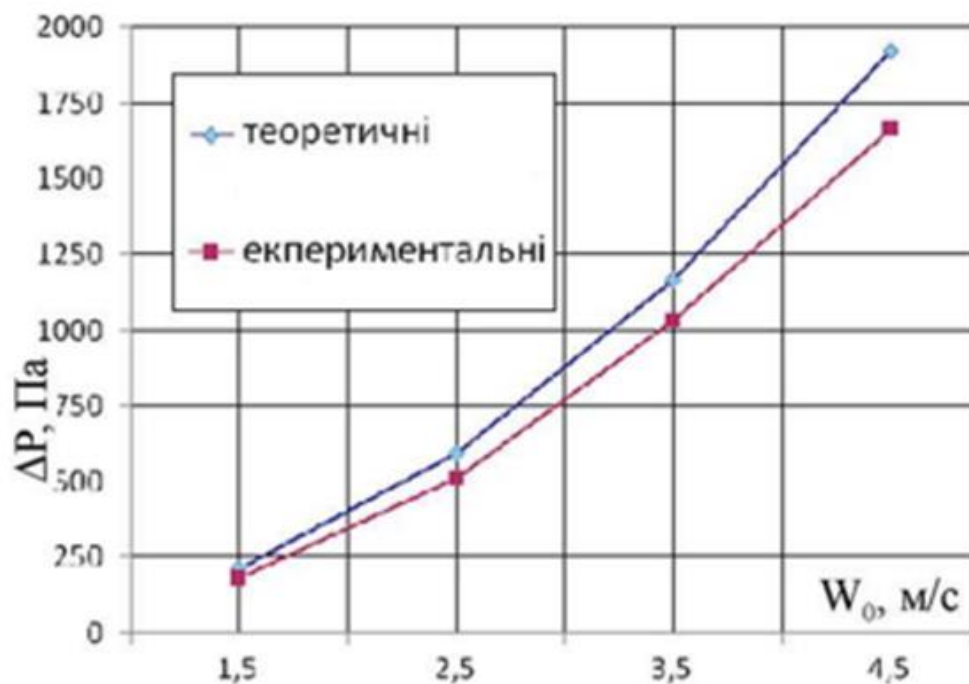


Рисунок 2.2 – Гідравлічний опір циклону ЦН-15

Побудова власної комп'ютерної моделі допоможе переконатись у якості наведених даних та правильності побудованої моделі.

2.3 Перевірка даних

Використовуючи наведені дані (таблиця 2.1) за допомогою комп'ютерної програми SolidWorks була побудована модель вихрового

апарату ЦН-15. Узятий циклон користується популярністю через його високу ефективність та простоту, що робить його найдешевшим серед аналогів.

У якості експериментальної рідини було взяте повітря при нормальних умовах:

$P_0 = 101325$ Па – атмосферний тиск за нормальних умов;

$T_0 = 293\text{K} = 20^\circ\text{C}$ – температура повітря за нормальних умов;

$\rho = 1,2$ кг/м³ – густина повітря;

$W = 4,5$ м/с – швидкість потоку на вході.

Повітря, поступаючи усередину циклону через вхідний патрубок під кутом 15° , завдяки відцентровій силі закручується та опускається під силою тяжіння донизу. Поступово втрачаючи тиск (рисунок 2.3) та первинну швидкість (рисунок 2.5), повітря потрапляє до конусної частини циклону де змінює свій напрям руху майже на 180° та через вихлопну трубу виходить з циклону.

В умовах адіабатичної стінки цей процес проходить без зміни температури повітря (рисунок 2.4).

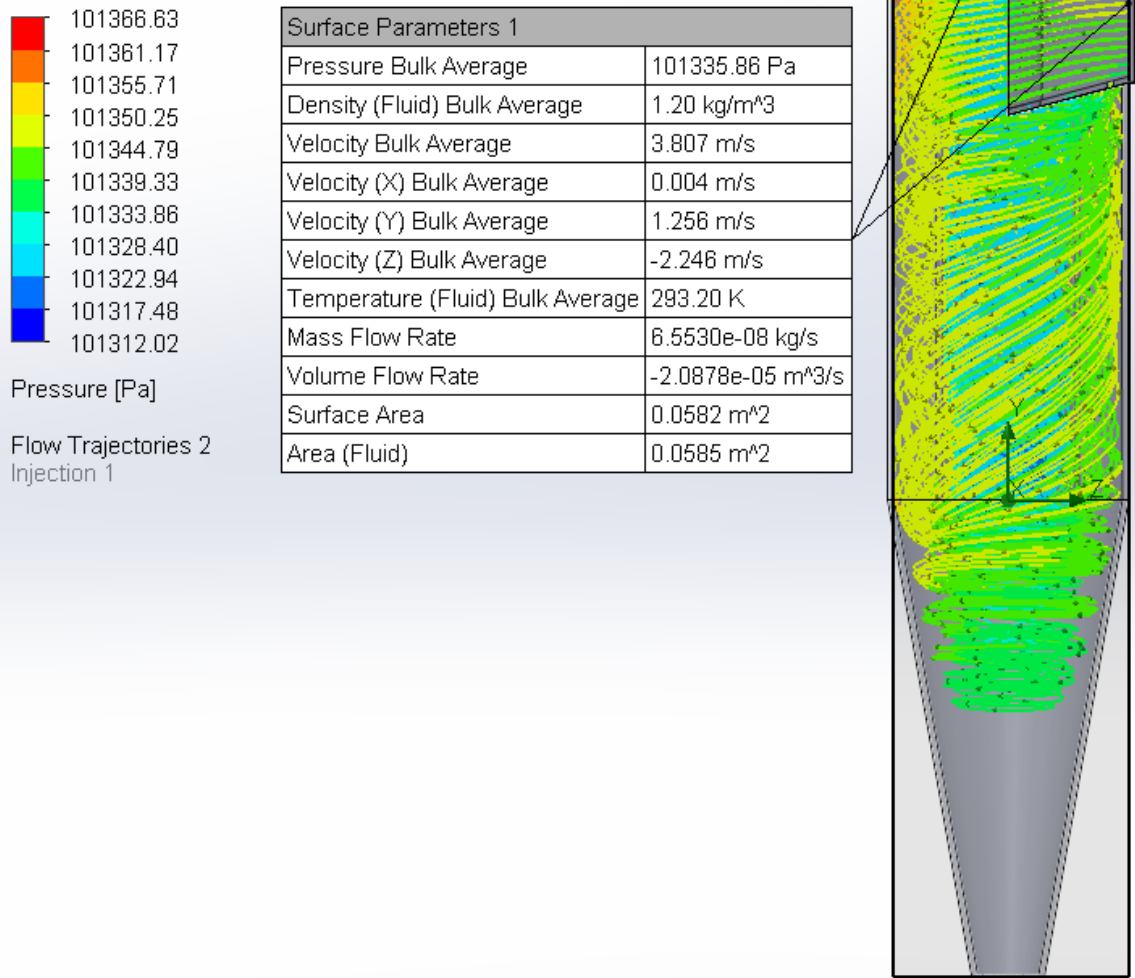
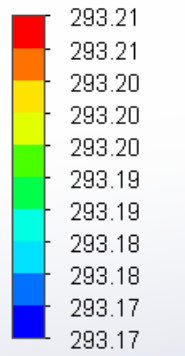


Рисунок 2.3 – Зміна тиску повітря



Temperature [K]

Flow Trajectories 2
Injection 1

Surface Parameters 1	
Pressure Bulk Average	101335.86 Pa
Density (Fluid) Bulk Average	1.20 kg/m ³
Velocity Bulk Average	3.807 m/s
Velocity (X) Bulk Average	0.004 m/s
Velocity (Y) Bulk Average	1.256 m/s
Velocity (Z) Bulk Average	-2.246 m/s
Temperature (Fluid) Bulk Average	293.20 K
Mass Flow Rate	6.5530e-08 kg/s
Volume Flow Rate	-2.0878e-05 m ³ /s
Surface Area	0.0582 m ²
Area (Fluid)	0.0585 m ²

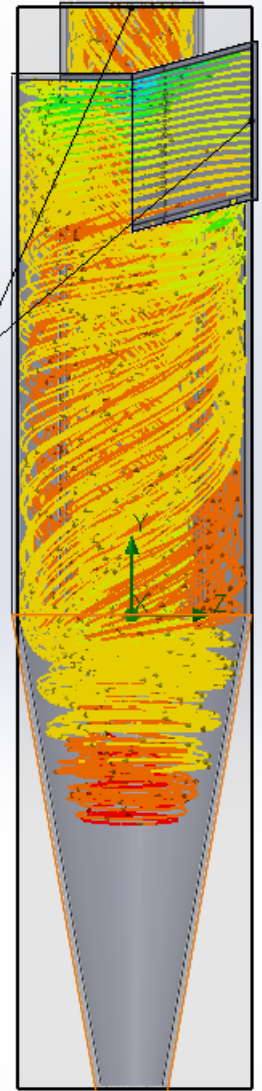


Рисунок 2.4 – Зміна температури повітря

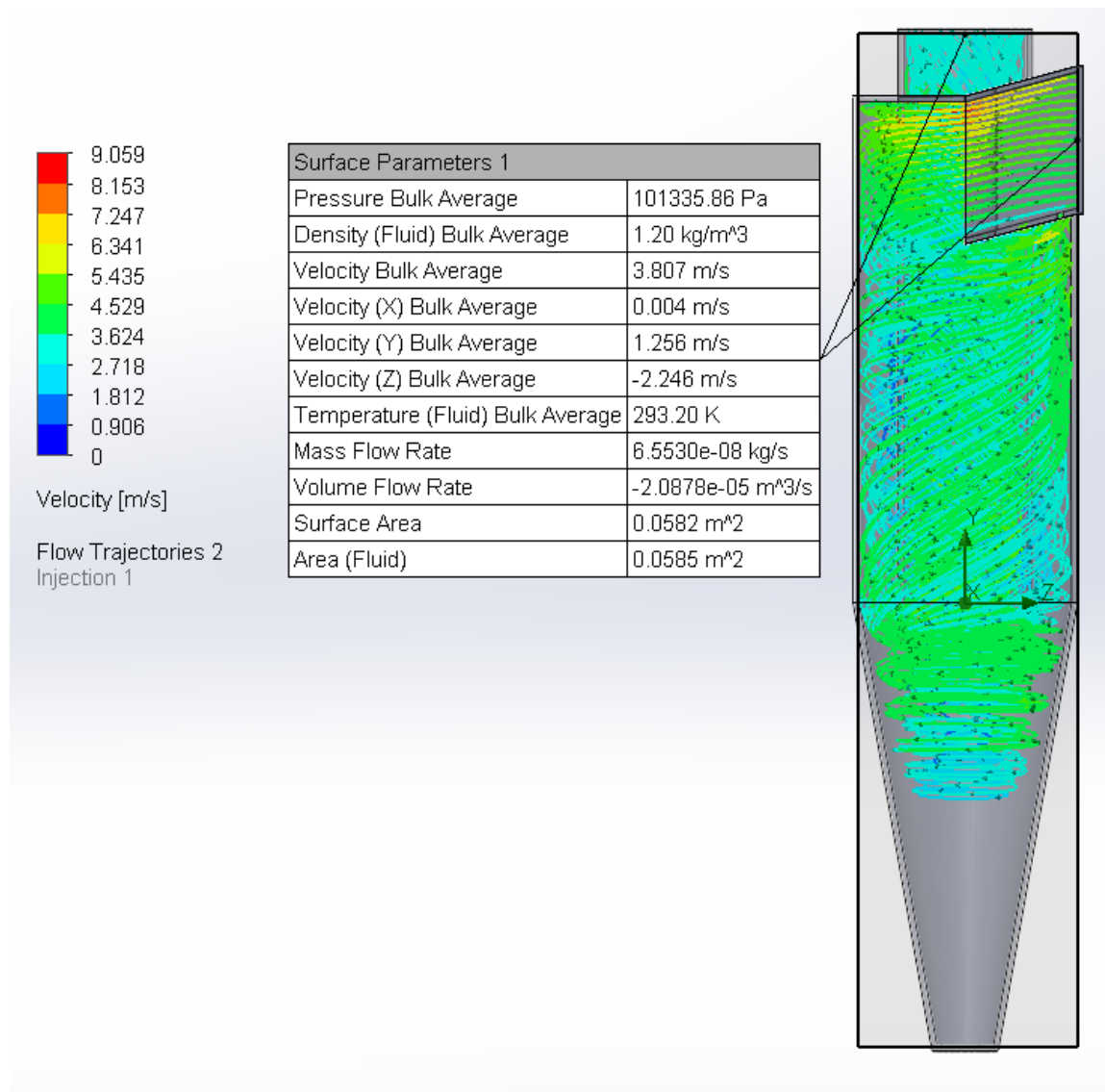


Рисунок 2.5 – Зміна швидкості руху повітря

Для виконання експерименту використовувалась функція SolidWorks Flow Simulation, яка дозволила наглядно відобразити рух повітря усередині циклону та простежити за змінами його параметрів при початкових нормальних умовах. Результати досліджень занесені у таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Температура повітря 20°C

Параметри	Мінімальні	Максимальні	Середні
Тиск, Па	101323,75	101364,84	101332,62
Густина, кг/м ³	1,20	1,20	1,20
Швидкість, м/с	1,93	4,5	3,52

Використовуючи отримані дані ми маємо можливість розрахувати аеродинамічний опір циклону та порівняти його з результатом попередніх досліджень (рисунок 2.2):

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 155 \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1883,25 \text{ Па,}$$

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{\text{м}} + K_3 = 155,$$

де $\zeta_{\text{м}}=155$ – коефіцієнт місцевого опору циклону;

$K_1 = 1$ – поправочний коефіцієнт на вплив діаметра циклона;

$K_2 = 1$ (для запиленості 0);

$K_3 = 0$ (для одиночного) – поправочний коефіцієнт, що враховує групове компонування циклона.

Порівнявши аеродинамічні опори отримані у SolidWorks та експерименті [14] можна сказати, що розрахунки нічим не відрізняються один від одного. Це свідчить про ефективність комп'ютерного моделювання та дозволяє й далі проводити досліди зі збільшенням початкової температури повітря задля дослідження ефективності роботи цього циклону при надвисоких температурах.

2.4 Симуляція запиленого повітря

У разі використання циклонних очищувальних апаратів на теплоенергетичних підприємствах їм доведеться зіштовхнутись не тільки з запиленістю газів, але й з їх високими температурами, що значною мірою впливають на якість очистки.

У якості розглянутого теплоенергетичного процесу запропонований вельц-процес – один з найпрогресивніших шляхів переробки відходів металургійного виробництва пірометалургійним методом, у обертовій

трубчастій печі [16, 17]. Він відрізняється універсальністю процесу, простотою обслуговування, безперервністю, можливістю установки великорозмірних печей і механізації процесу, значним терміном експлуатації.

Розробка вельц-процесу екологічно корисна і економічно виправдана. Він може бути застосований у промисловому масштабі для вилучення ряду кольорових металів: цинку, свинцю, кадмію, індію, олова, ртуті, миш'яку, сурми, молібдену та ін. Частина цих металів сублімується у вигляді парів металів (цинк, кадмій, ртуть), деякі у вигляді сульфідів (олово, миш'як, молібден), хлоридів (індій), оксидів (сурма, миш'як). Цінні метали також можливо сублімувати переганяючи у вельц-печах, наприклад срібло.

У високотемпературній зоні металургійних реакцій свинець та цинк сублімуються, переходячи в пароподібний стан, і окислюються над шаром шихти. Ендотермічні реакції відновлення оксидів, головним чином цинку, суміщені в часі з екзотермічними реакціями окислення відновлених субліматів [18, 19].

Основним пилом, що виходить з вельц-печі, вважаються частинки цинку розміром від 1 до 50 мкм. Беручи повітря за приклад відхідних газів у печі воно потрапляє у рекуператор де підігріває щойно взяте повітря при нормальних температурах.

Розглянутий у дисертації [15] рекуператор складається з чотирьох петлевих секцій кожна з яких підігріває повітря до значень: відповідно. Доцільно використовувати ці температури також у якості прикладу гарячого запиленого повітря.

Сухі інерційні очисні апарати використовуються у більшості для захвату часток розміром від 10 мкм, про що свідчать багато публікацій та експериментів на цю тему та що підтверджує програма SolidWorks Flow Simulation (рисунок 2.6).

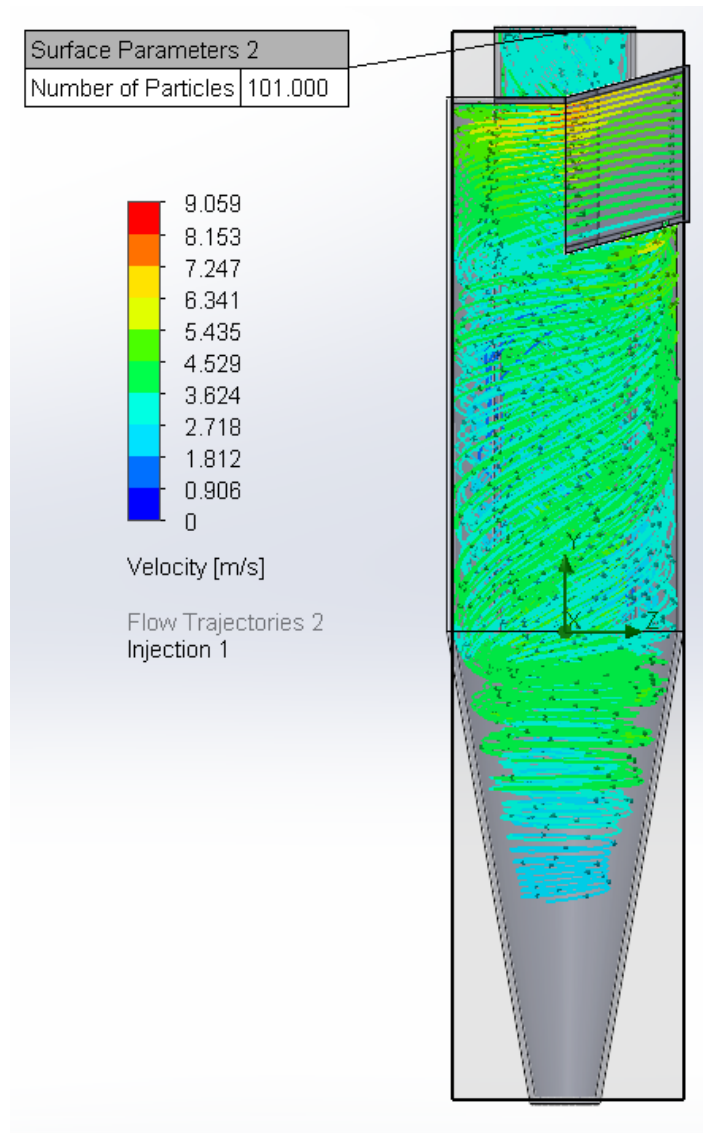


Рисунок 2.6 – Тенденція руху частинок пилу розміром до 10 мкм

Пропускаючи крізь циклон ЦН-15 частинки розміром до 10 мкм зі швидкістю потоку 4,5 м/с рушійна сила повітря занадто потужна та підхоплює всі частинки за собою, а відцентрова сила, що повинна затримувати їх на стінках циклону, не виконує своїх функцій. При ста запускених через вхідний патрубок симульованих частинок цинку всі сто з них опинились на виході з вихідної труби, на що вказує лічильник поверхневих параметрів. Це лише в котрий раз підтверджує, що циклони подібного типу не ефективні при тонкій очистці.

З іншого боку при розмірах частинок від 10 мкм циклони показують значно кращий результат (рисунок 2.7). Зі ста симульованих часток лише 5

захопились повітрям та потрапили у вихідний патрубок. Це вказує на здатність циклону до грубої очистки та забезпечення потрібної ефективності у розмірі 95%.

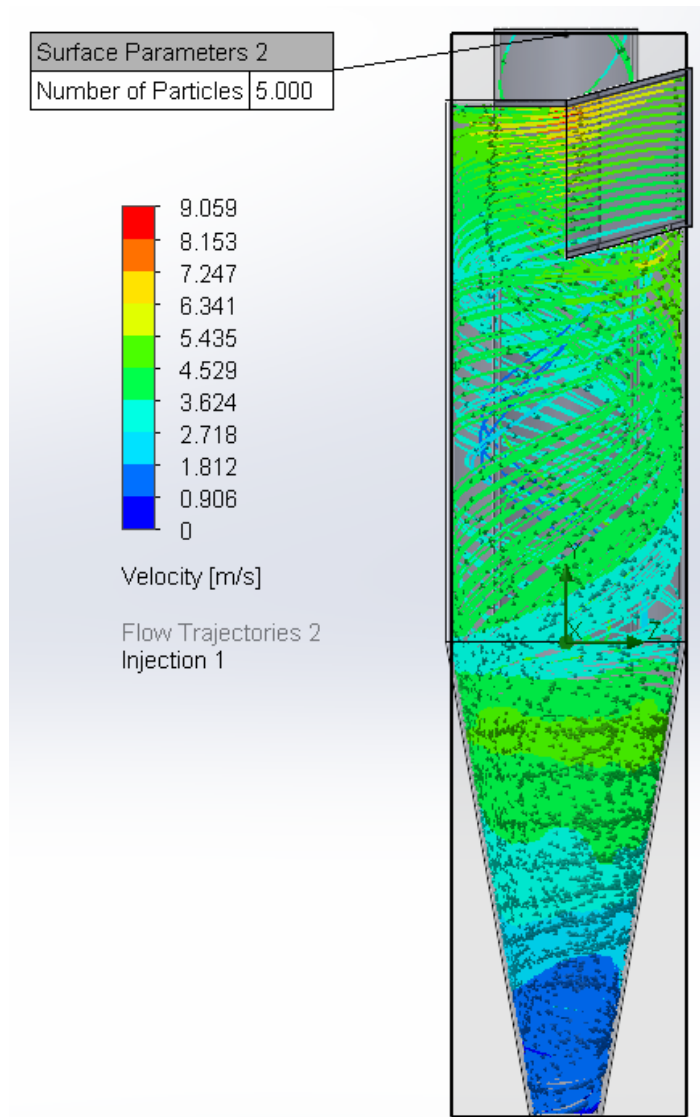


Рисунок 2.7 – Тенденція руху частинок пилу розміром від 10 мкм

Додавання до робочого простору пилу впливає не лише на характер поведінки потоку але й змінює коефіцієнт гідравлічного опору циклону:

$$\zeta_{\text{ц}} = K_1 \cdot K_2 \cdot \zeta_{\text{м}} + K_3 = 140,275,$$

де $K_2 = 0,905$ (для запиленості 50 г/м³) – поправочний коефіцієнт на вплив запиленості газу.

Також змінюється й загальний аеродинамічний опір:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 140,275 \cdot \left(\frac{1,2 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1704,34 \text{ Па}$$

Видне чітко погіршення значення опору, характерне для запиленого потоку. Це лише в котрий раз вказує на правдивість результатів отриманих програмним методом та підтверджує доцільність використання комп'ютерного програмування задля вирішення питань моделювання у теплоенергетиці.

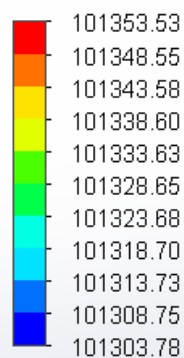
2.5 Дослідження потужності циклону для потоків високих температур

У якості експерименту були проведені заміри температур повітря підігрітого у різних секціях рекуператора відхідними газами з вельц-процесу. Значення взяті у порядку зростання від четвертої секції до першої.

2.5.1 Четверта секція

Проходячи різні секції рекуператора повітря нагрівається по різному. Обрані температури найкраще дозволять визначити залежність від їх збільшення. Доходячи до четвертої, останньої, секції рекуператора, відхідні гази втрачають значну кількість отриманого у печі тепла та нагрівають повітря лише до 58,57°C.

Виходячи з рекуператора газ, у нашому випадку повітря, потрапляє до очищувального апарату, тобто циклону, та потрапляю у зону закручення. Відразу помітно, що для температур більших за нормальну діапазон тиску хоча й залишається на відносно однаковій різниці максимуму та мінімуму знизився на десять пунктів (рисунок 2.8). Це вказує на більшу розрідженість повітря при його відхиленні від нормального стану.



Pressure [Pa]

Flow Trajectories 1
Injection 1

Surface Parameters 1	
Pressure Bulk Average	101325.80 Pa
Density (Fluid) Bulk Average	1.06 kg/m ³
Velocity Bulk Average	3.791 m/s
Velocity (X) Bulk Average	0.006 m/s
Velocity (Y) Bulk Average	1.252 m/s
Velocity (Z) Bulk Average	-2.248 m/s
Temperature (Fluid) Bulk Average	331.77 K
Mass Flow Rate	3.3115e-09 kg/s
Volume Flow Rate	-2.1351e-05 m ³ /s
Surface Area	0.0582 m ²
Area (Fluid)	0.0585 m ²

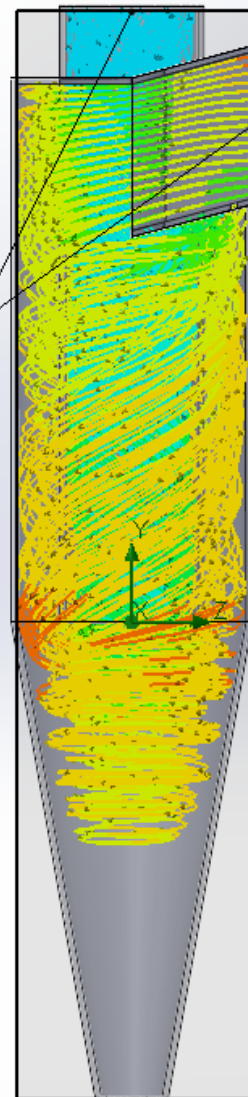


Рисунок 2.8 – Зміна тиску повітря

Та як і в першому випадку при нормальних умовах (рисунок 2.4) зі збільшенням температури (рисунок 2.9) не змінюється тенденція ізотермічного процесу, адже циклон залишається ізольованим, а значить не втрачає внутрішнє тепло.

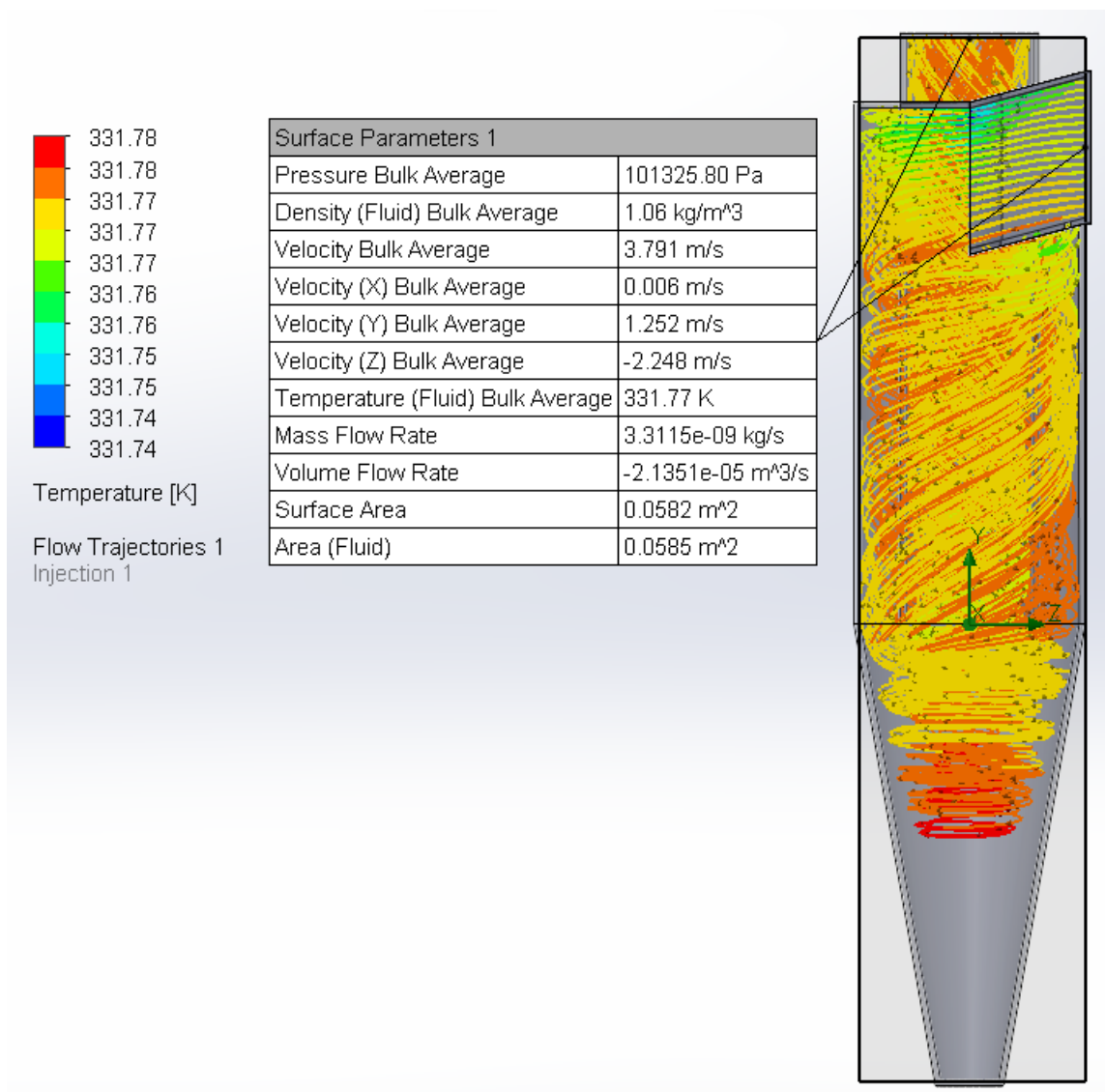


Рисунок 2.9 – Зміна температури повітря

Зміна швидкості потоку при однакових початкових значеннях також залишається рівномірною незважаючи на підвищення температури (рисунок 2.10).

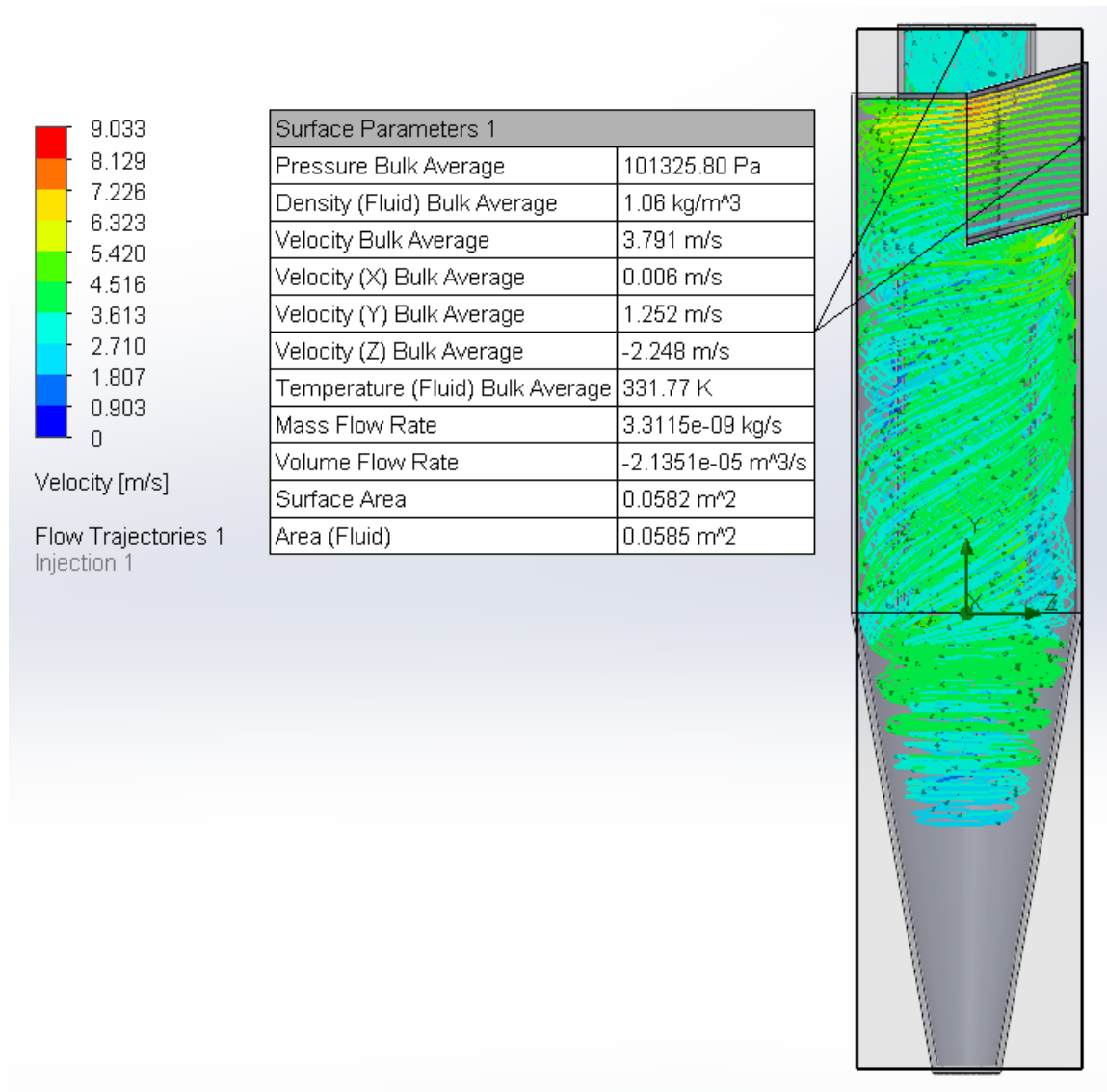


Рисунок 2.10 – Зміна швидкості повітря

Дивлячись на отримані програмою дані (таблиця 2.3) можна більш детально сказати як саме змінились характеристики повітря: коливання максимумів та мінімумів тиску, зниження параметру густини потоку та незначного збільшення мінімального значення швидкості.

Таблиця 2.3 – Температура повітря – 58,57°C

Параметри	Мінімальні	Максимальні	Середні
Тиск, Па	101314,41	101352,04	101322,41
Густина, кг/м ³	1,06	1,06	1,06
Швидкість, м/с	1,95	4,5	3,5

Використовуючи оновлені дані розрахуємо аеродинамічний опір незапиленого циклону:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 155 \cdot \left(\frac{1,06 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1663,53 \text{ Па}$$

Зі збільшенням температури повітря, що проходить крізь циклон, видна чітко виражена залежність між температурою та густиною повітря. Як наслідок ми маємо зниження аеродинамічного опору та ефективності очистки. Про це свідчить й симуляція програми SolidWorks Flow Simulation (рисунок 2.11).

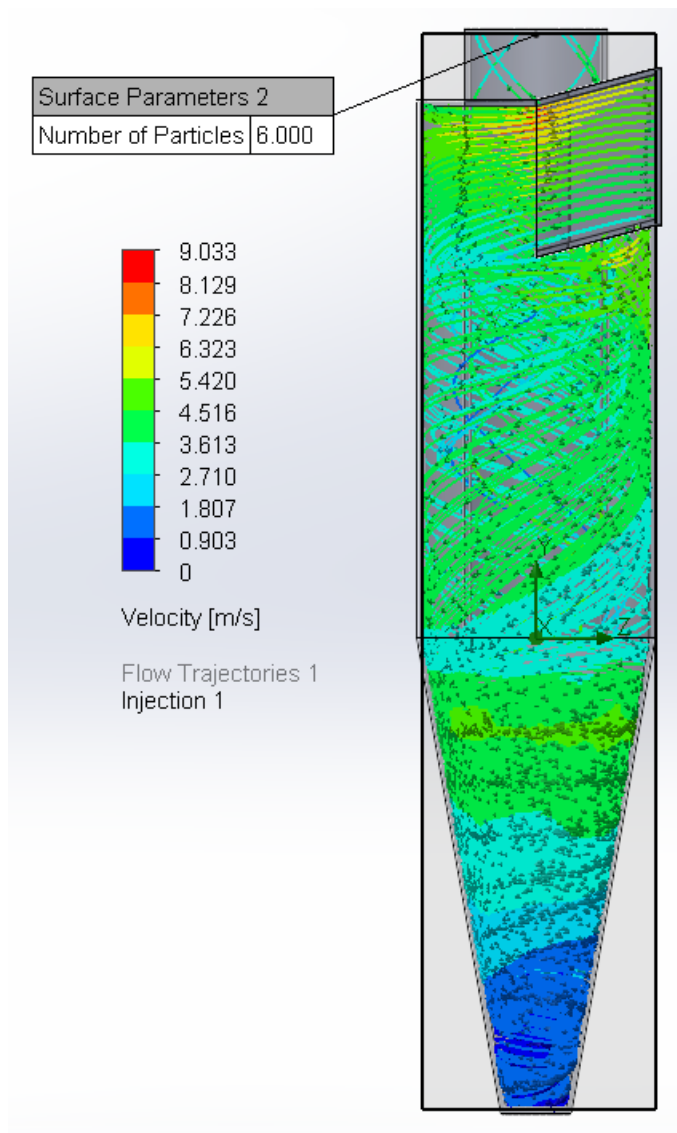


Рисунок 2.11 – Тенденція руху частинок пилу розміром 10 мкм

Аеродинамічний опір запиленого потоку:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 140,275 \cdot \left(\frac{1,06 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1505,5 \text{ Па}$$

Циклону вдається ефективно затримувати частинки розміром від 10 мкм, показуючи якість очистки у 94%. Починається продивлятися тенденція до погіршення затримувальної дії навіть таких великих частинок як 10 мкм.

2.5.2 Третя секція

На виході з третьої секції рекуператора повітря має температуру 126,99°C. Зі збільшенням температури майже на 40°C ми побачили незначні зміни у ефективності та все ж вони були негативні, а значить з подальшим її збільшенням, у цей раз майже вдвічі, властивості повітря повинні погіршитись.

Як і у минулих експериментах (рисунок 2.12) по ходу циліндрового руху повітря його тиск, залежно від простору у якому він циркулює, залишається приблизно на одному рівні за тією лише різницею, що сам тиск дещо менше. Тобто продовжується тенденція де знижується нижній поріг тиску, але разом з ним зменшується й верхній, роблячи перепад тиску все дедалі більш незначним.

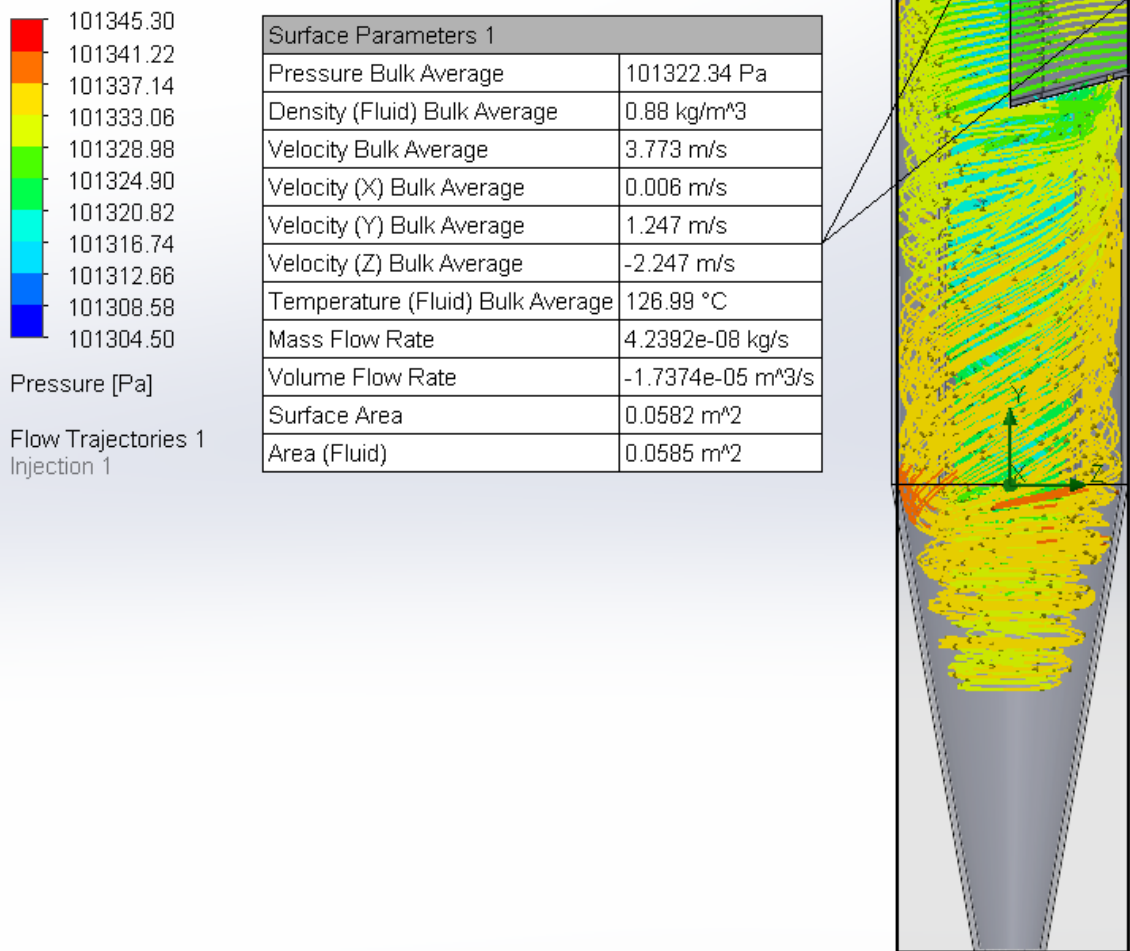


Рисунок 2.12 – Зміна тиску повітря

Підтверджуючи сутність ізотермічного процесу (рисунок 2.13) тепловий потік залишається незмінним за умовами адіабатичності стінок.

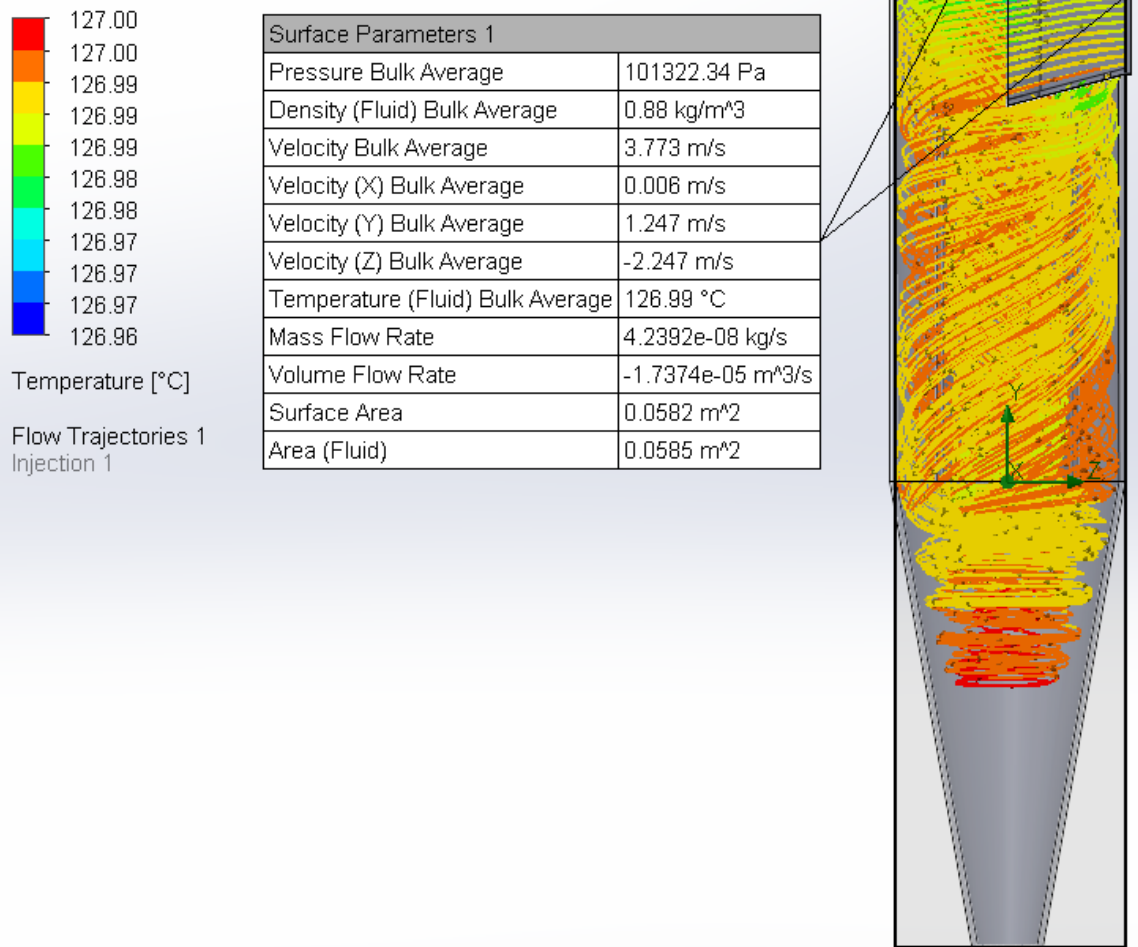


Рисунок 2.13 – Зміна температури повітря

Швидкість повітря (рисунок 2.14) так само показує незначну залежність від температури потоку, збільшуючи свій нижній поріг на незначні 0,03 м/с.

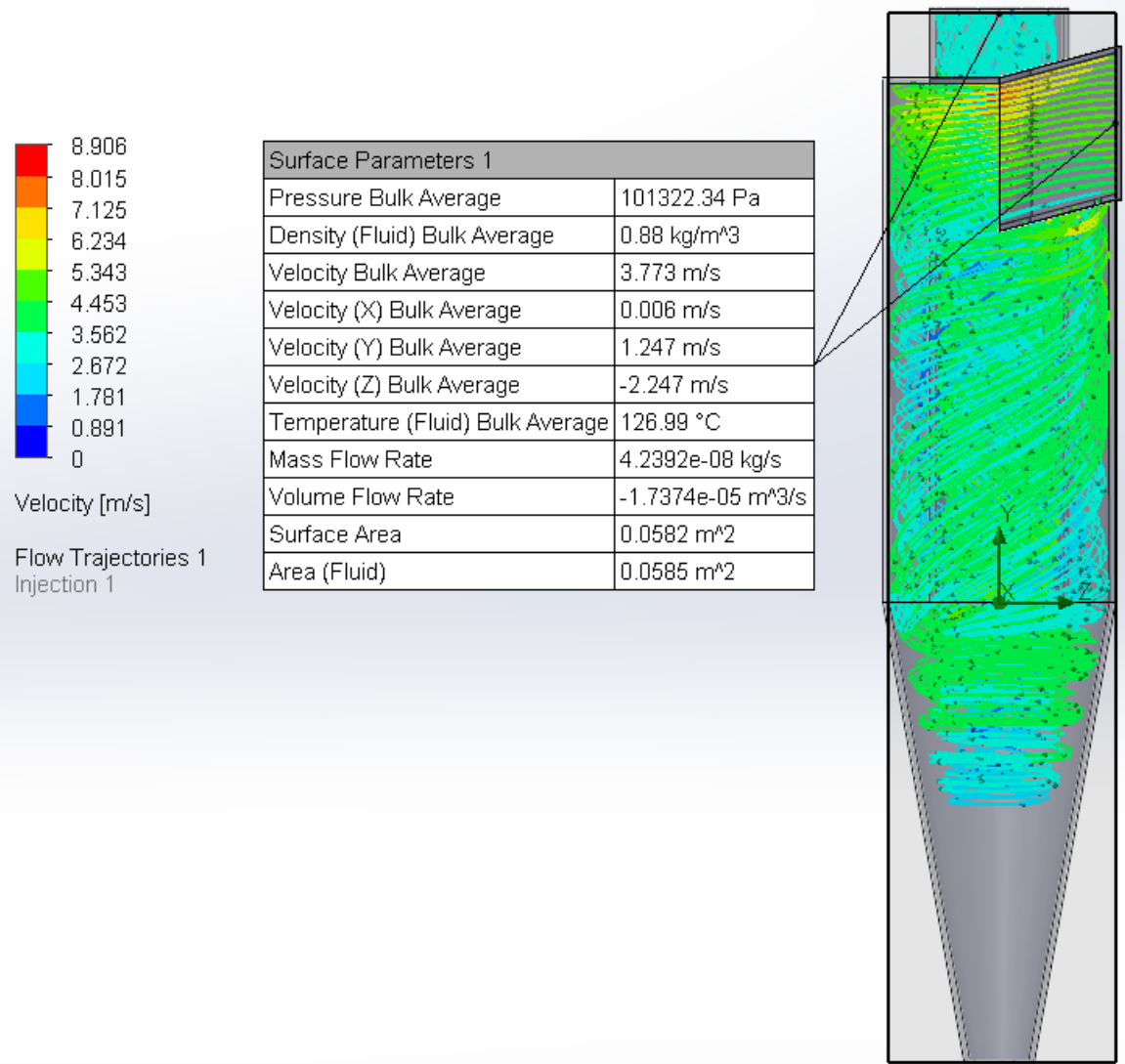


Рисунок 2.14 – Зміна швидкості повітря

Винесені програмою дані (таблиця 2.4) продовжують вказувати на зниження коливання максимумів та мінімумів тиску, параметру густини потоку та на незначне збільшення мінімального значення швидкості.

Таблиця 2.4 – Температура повітря – 126,99 °C

Параметри	Мінімальні	Максимальні	Середні
Тиск, Па	101313,02	101344,06	101319,56
Густина, кг/м ³	0,88	0,88	0,88
Швидкість, м/с	1,98	4,5	3,49

Аеродинамічний опір циклону:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 155 \cdot \left(\frac{0,88 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1381,05 \text{ Па}$$

Опір циклону продовжує стрімко падати зі збільшенням температури повітря, що проходить крізь нього, як і його якість очищення (рисунок 2.15).

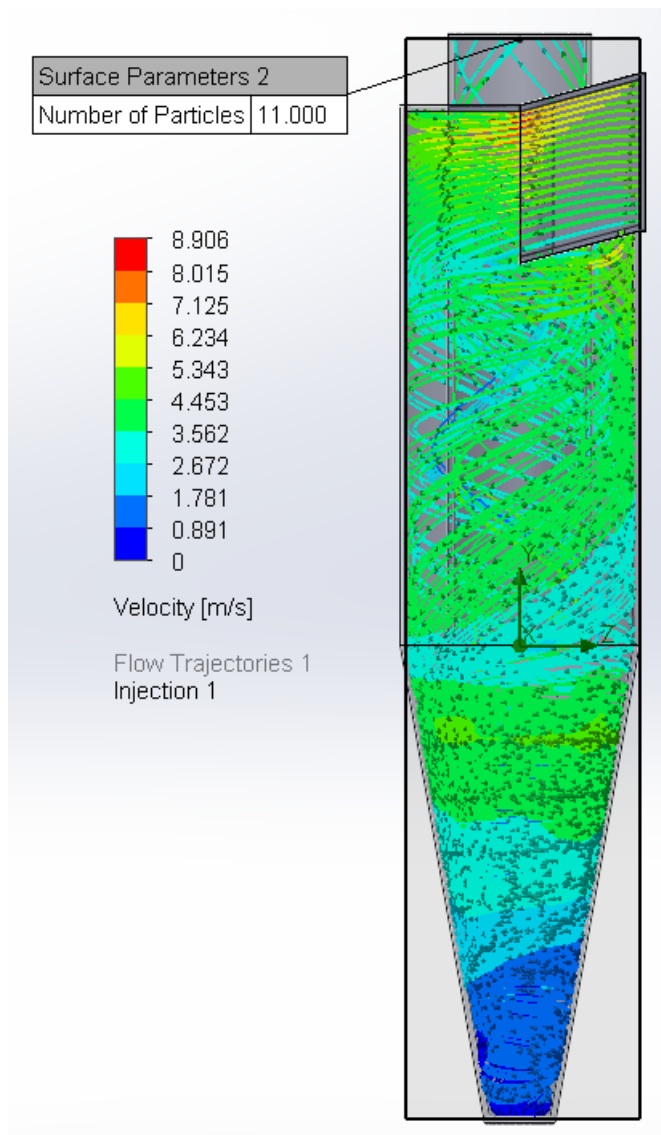


Рисунок 2.15 – Тенденція руху частинок пилу розміром 10 мкм

Дедалі менша кількість частинок залишається на дні конічної частини циклону. Зі 100-а симульованих частинок пилу, 89 не потрапили до виходу, що все ще вважається задовільним результатом та нажаль на грані

допустимого, адже моделювання проходить при ідеальних умовах в той час як на реальному стенді таких умов досягти дуже важко.

Аеродинамічний опір запиленого потоку:

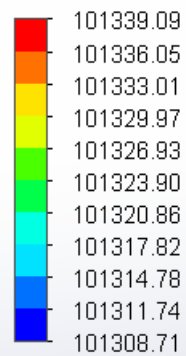
$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 140,275 \cdot \left(\frac{0,88 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1249,85 \text{ Па}$$

При температурі повітря 126,99°C, ефективність очищення циклону для великих часток склало 89%, що на 5% менше за попереднє значення, підтверджуючи тенденція до погіршення ефективності праці циклону зі збільшенням температури повітря.

2.5.3 Друга секція

Друга секція дозволяє підігріти повітря до ще більш високих значень – 232,15°C. Це значення перевищує початкову температуру повітря майже в 11 разів та дозволить ще чіткіше побачити різницю у порівнянні із першим експериментом.

Залежність тиску (рисунок 2.16) так само поступово звужує різницю максимального та мінімального значення, а саме: верхня границя підвищення тиску опустилась більш ніж на 20 Па, у той час коли мінімальна – опустилась лише на 4 Па. Загальна тенденція тиску до спаду протягом усього руху зберігається показуючи значно менші коливання, що може лише сприятливо впливати на внутрішню цілісність апарату та забезпечити її більш стабільну роботу.



Pressure [Pa]

Flow Trajectories 1
Injection 1

Surface Parameters 1	
Pressure Bulk Average	101320.57 Pa
Density (Fluid) Bulk Average	0.70 kg/m ³
Velocity Bulk Average	3.749 m/s
Velocity (X) Bulk Average	0.007 m/s
Velocity (Y) Bulk Average	1.242 m/s
Velocity (Z) Bulk Average	-2.250 m/s
Temperature (Fluid) Bulk Average	232.15 °C
Mass Flow Rate	3.3903e-08 kg/s
Volume Flow Rate	-1.4073e-05 m ³ /s
Surface Area	0.0582 m ²
Area (Fluid)	0.0585 m ²

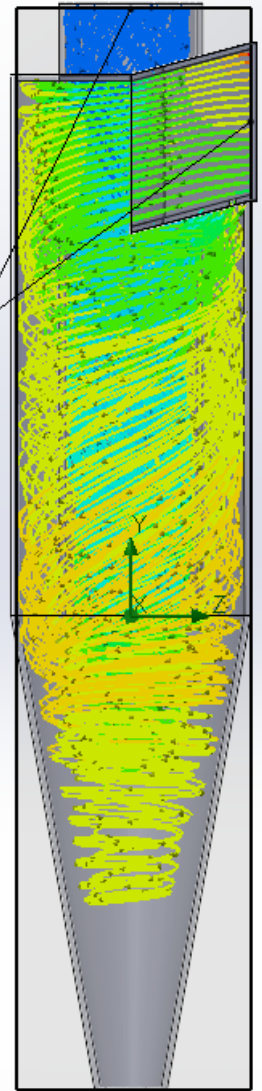


Рисунок 2.16 – Зміна тиску повітря

Температура потоку (рисунок 2.17) залишається без змін, а його коливання настільки незначне, що не враховується.

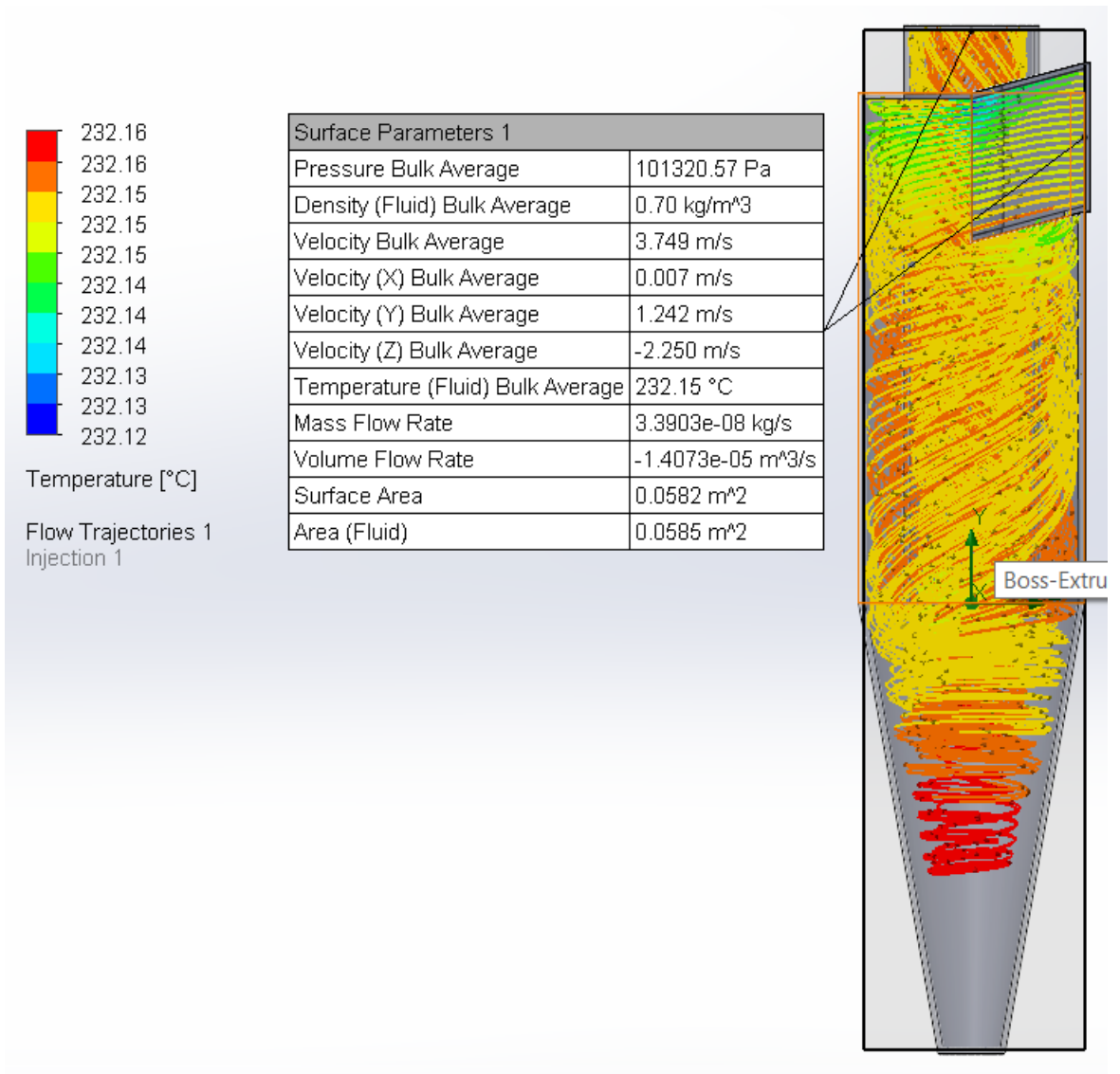


Рисунок 2.17 – Зміна температури повітря

Виходячи з залежності швидкості (рисунок 2.18), повітря, при температурі 232,15°C, має дуже рівномірну швидкість протягом усього свого руху та лише перед тим як піти угору трішки сповільнюється аби змінити напрямок свого руху. Загальні ж втрати у швидкості зі збільшенням температур з кожним разом стають дедалі меншими.

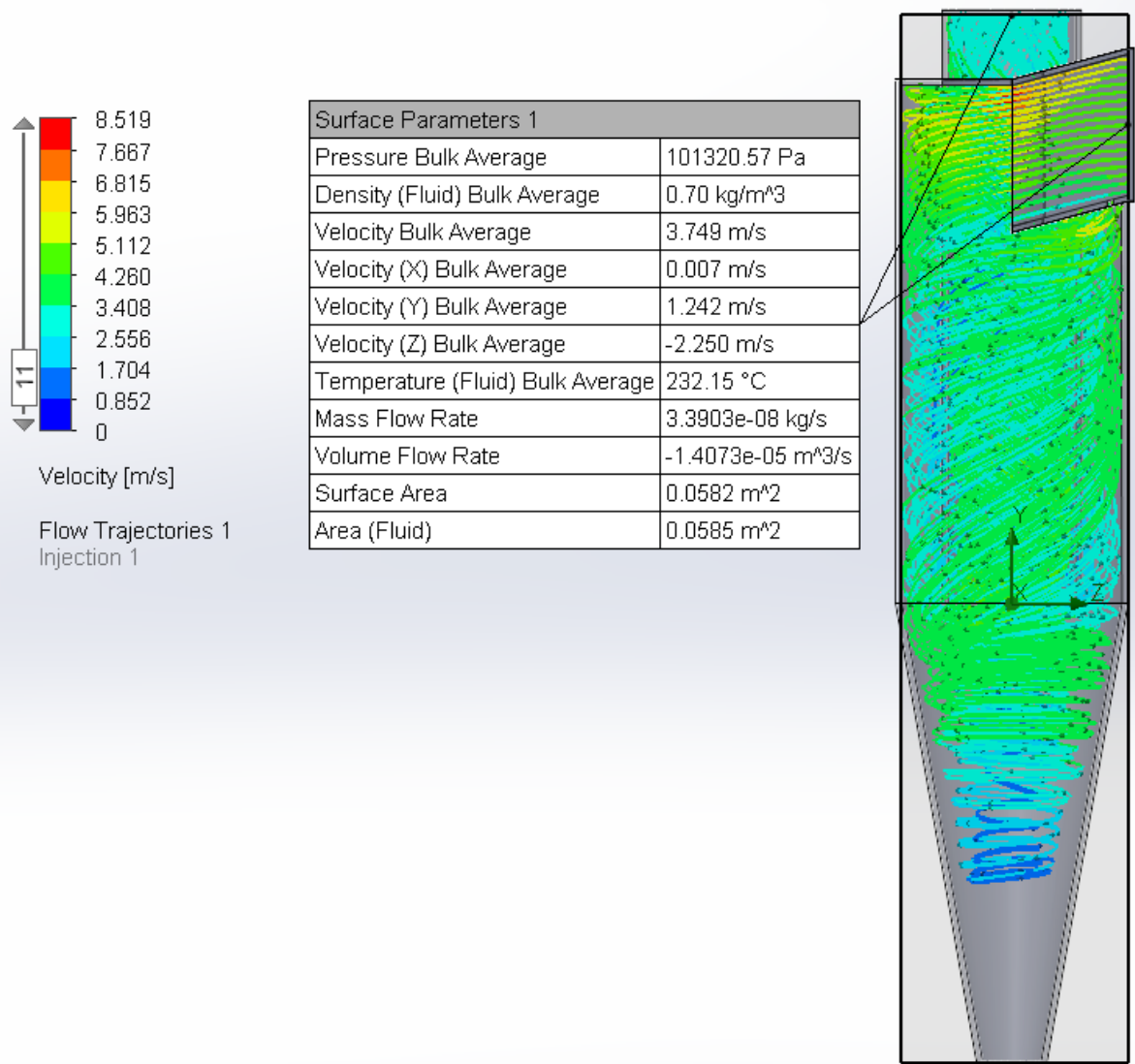


Рисунок 2.18 – Зміна швидкості повітря

Винесені дані (таблиця 2.5) лише підтверджують усі висновки, що були зроблені раніше, та вказують на продовження знайдених тенденцій.

Таблиця 2.5 – Температура повітря – 232,15°C

Параметри	Мінімальні	Максимальні	Середні
Тиск, Па	101313,02	101338,10	101318,32
Густина, кг/м ³	0,69	0,69	0,69
Швидкість, м/с	2,03	4,5	3,47

Аеродинамічний опір циклону:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 155 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 1098,56 \text{ Па}$$

Входячи в зону постійного кругового руху при однаковому початковому тиску, атмосферному – 101325 Па, та однаковій швидкості – 4,5 м/с на зміну цих параметрів впливає лише задана температура, що в свою чергу змінює густину потоку. З кожною секцією рекуператора, вона несе лише негативний вплив на роботу циклону, а саме на якість його очищення (рисунок 2.19).

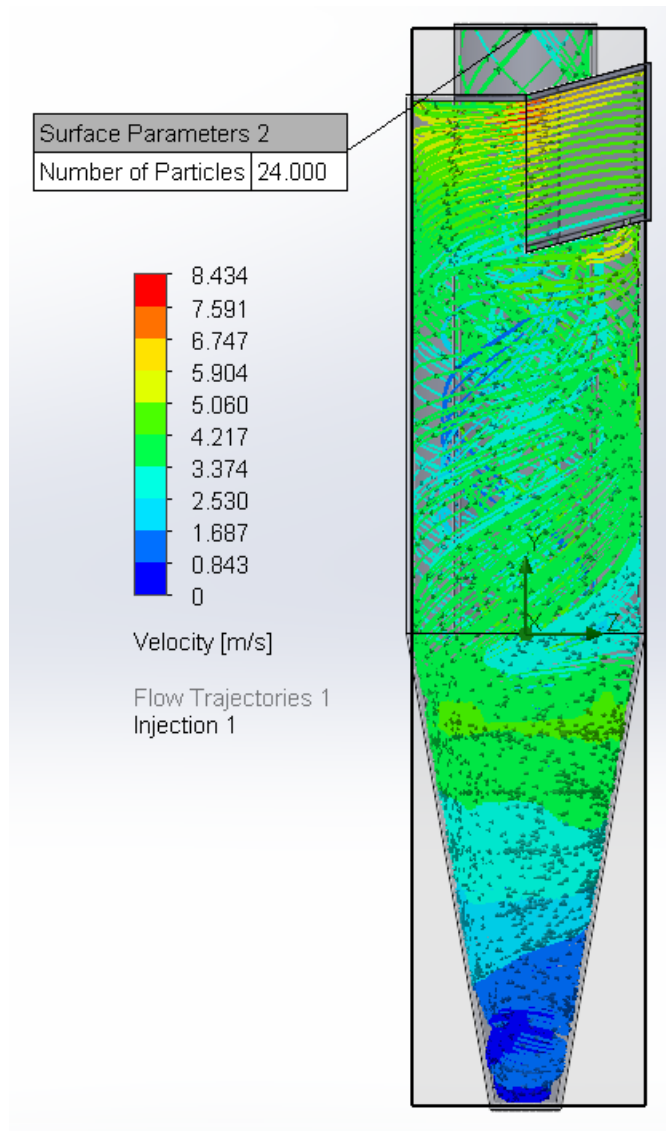


Рисунок 2.19 – Тенденція руху частинок пилу розміром 10 мкм

Аеродинамічний опір запиленого потоку:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 140,275 \cdot \left(\frac{0,7 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 994,2 \text{ Па}$$

При аеродинамічному опорі майже 1000 Па, що повинно було б покращити показники циклону, він продовжує виходити з області допустимої якості очистки, що потрібні підприємствам, які переймаються за навколишнє середовище. При температурі повітря 232,15°C цей апарат здатен затримати лише 76% частинок, нагрів остаток до температур близьких до своєї власної та викинувши в атмосферу. У порівнянні з попереднім експериментом це значення втратило 13%.

2.5.4 Перша секція

Перша секція знаходиться найближче до печі та отримує повітря яке тільки виходить з печі та має температуру 482,46°C. Це значення більше нормального у 24 рази та може насправді вважатись показником надвисоких температур.

Незважаючи на залежність минулих експериментів, а саме значне зниження верхньої границі тиску, у цьому експерименті (рисунок 2.20) переважно змінюється саме нижня границя, підіймаючи її майже на 10 пунктів. Продовжуючи залежність меншого перепаду тиску від температури видна зміна властивостей повітря, а саме зниження його здатності до розріджування.

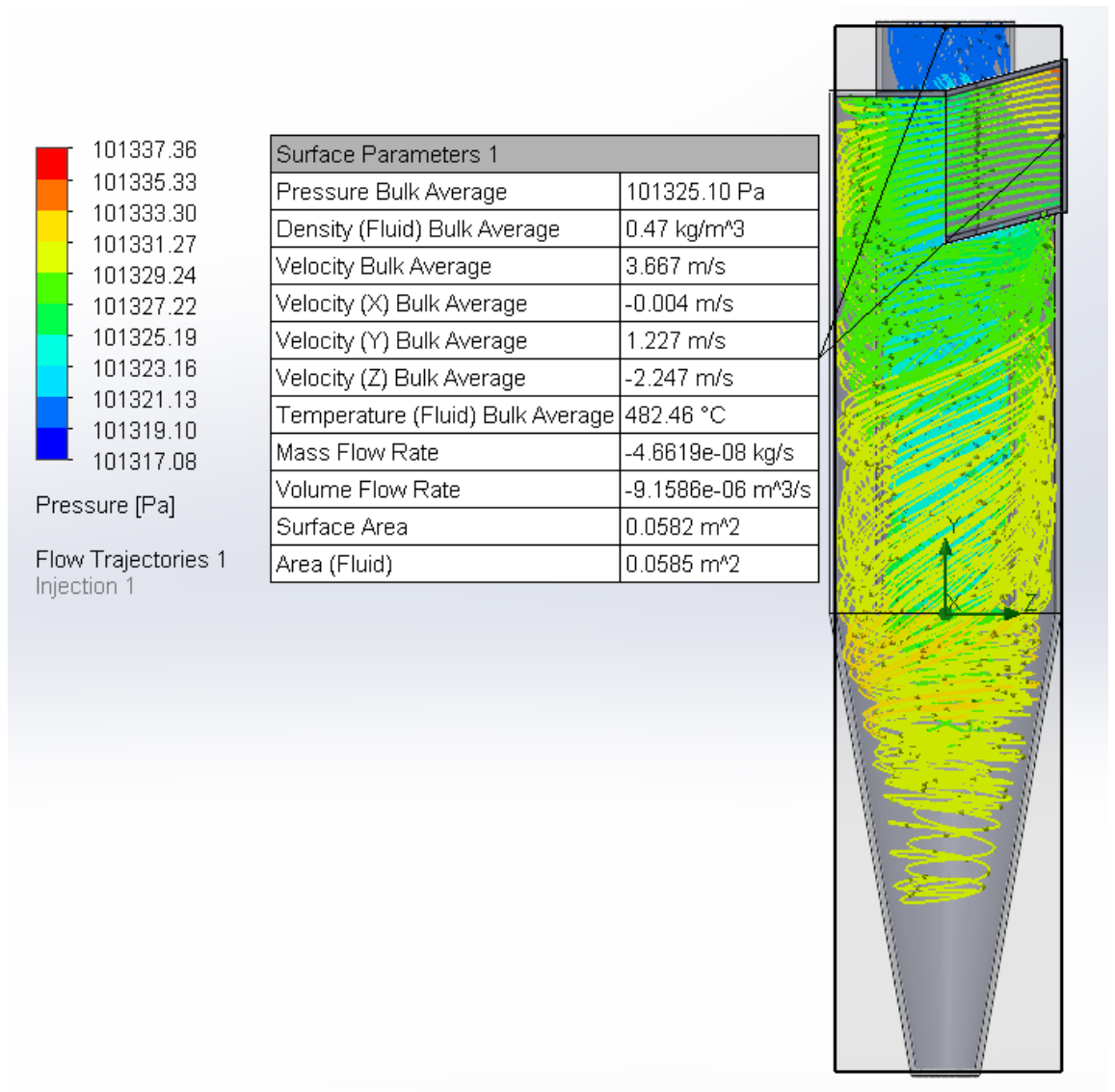


Рисунок 2.20 – Зміна тиску повітря

Перетин верхньої температурної границі ніяк не вплинув на ізотерму процесу (рисунок 2.21) та коливання температури залишилось незначним.

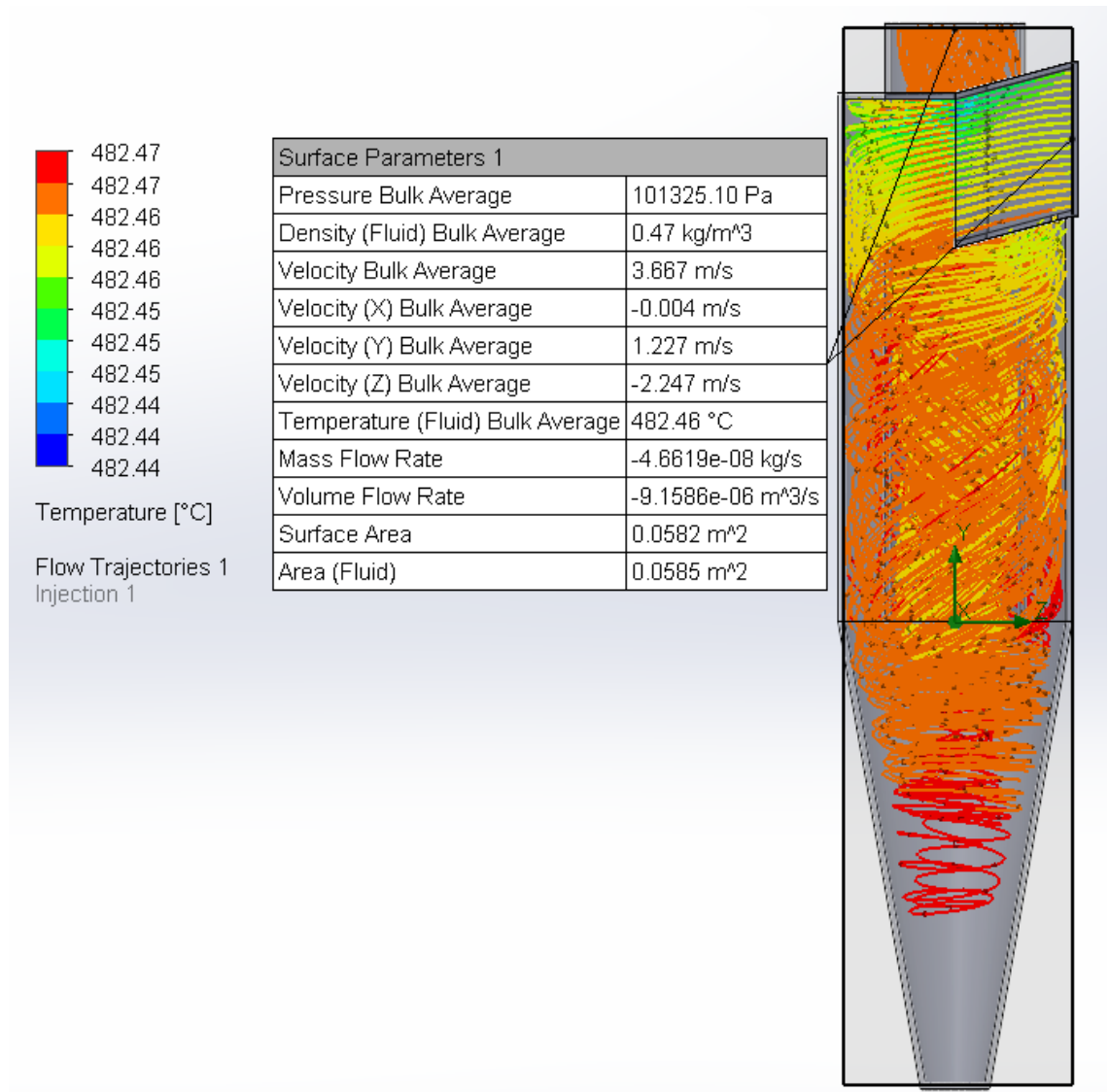


Рисунок 2.21 – Зміна температури повітря

В експерименті (рисунок 2.22) також зберігається постійність швидкості повітря протягом його шляху у циклоні зі зменшенням нижнього порогу його коливань.

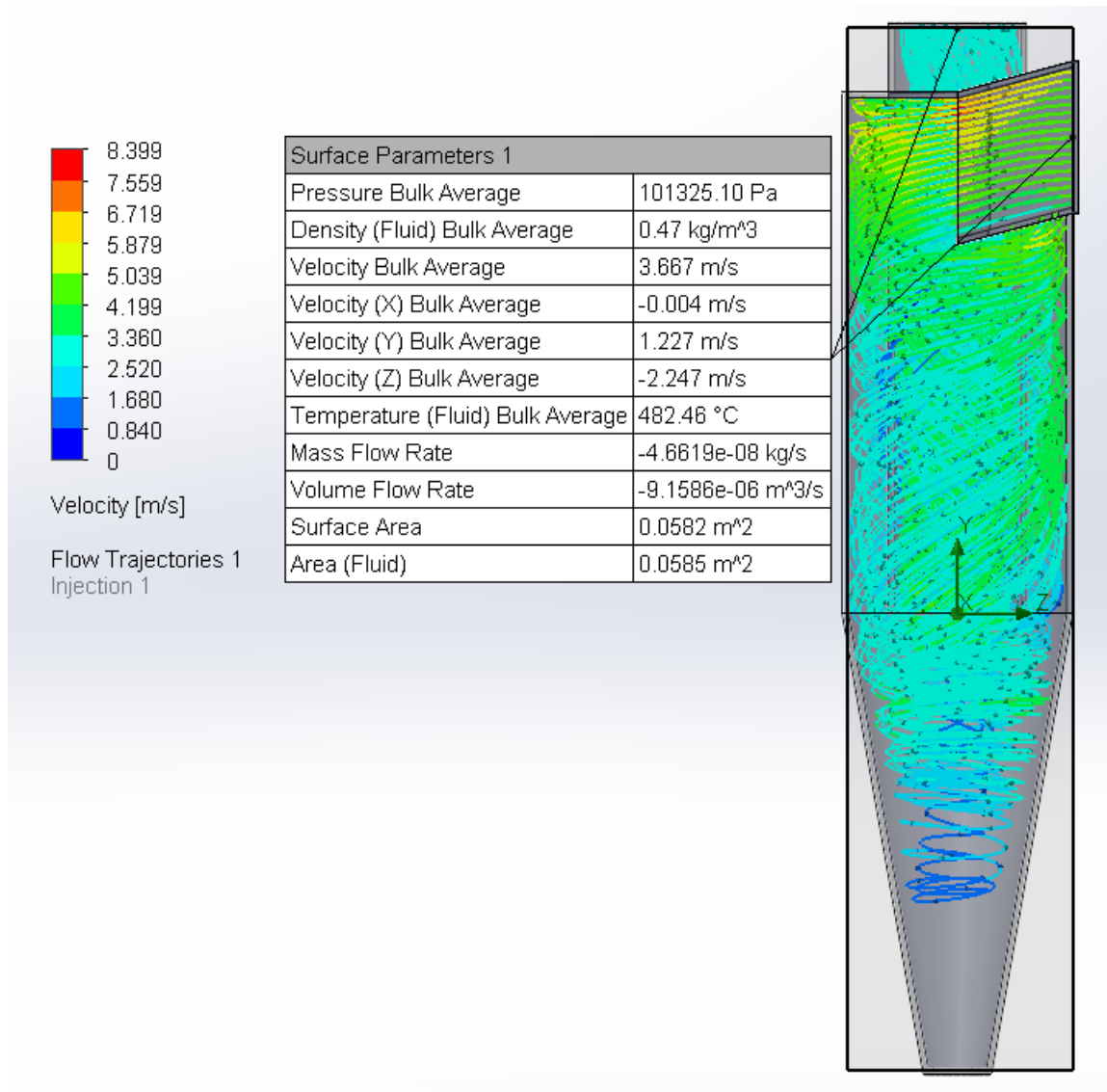


Рисунок 2.22 – Зміна швидкості повітря

Усі висновки підтверджують також і винесені програмою дані (таблиця 2.6). Досить чітко видно, що різниця між граничними значеннями параметрів з кожним градусом стає все менше, так само як і знижується густина потоку.

Таблиця 2.6 – Температура повітря – 482°C

Параметри	Мінімальні	Максимальні	Середні
Тиск, Па	101320,35	101336,69	101323,68
Густина, кг/м ³	0,46	0,46	0,46
Швидкість, м/с	2,17	4,5	3,4

Аеродинамічний опір циклону:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 155 \cdot \left(\frac{0,47 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 737,6 \text{ Па}$$

Значення опору знизилось майже у 3 рази в порівнянні з початковим експериментом та показує значення менше за значення запиленого потоку для 232,15°C. Також можна припустити, що загальна ефективність циклону ще більше зменшиться, навіть не перевіряючи дані представлені програмою (рисунок 2.23).

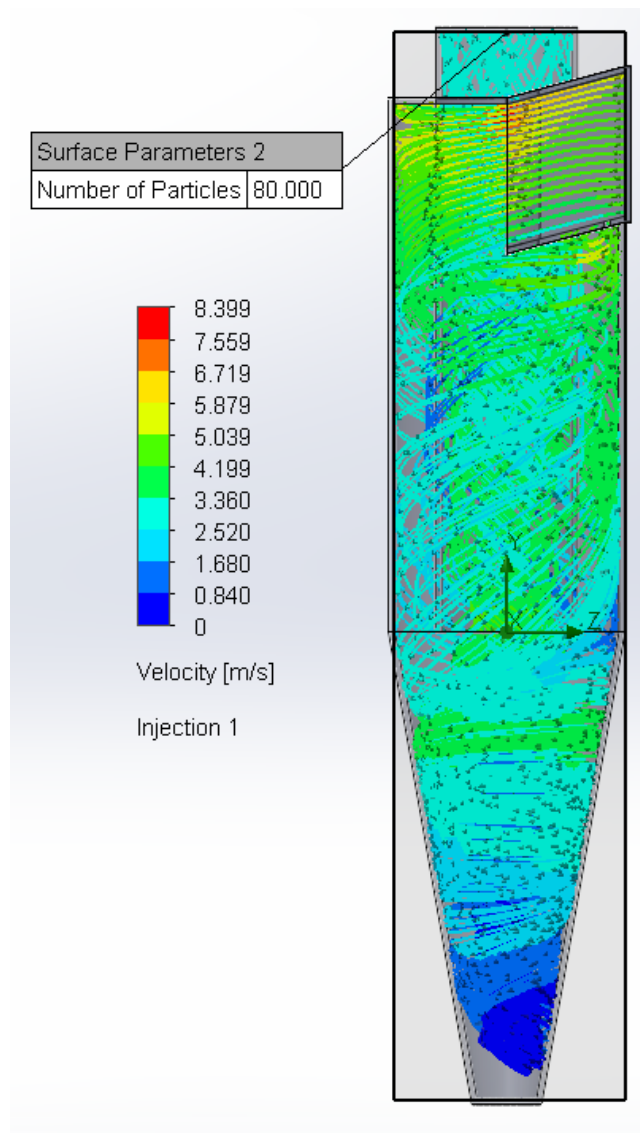


Рисунок 2.23 – Тенденція руху частинок пилу розміром 10 мкм

Аеродинамічний опір запиленого потоку:

$$\Delta P = \zeta_{\text{ц}} \left(\frac{\rho W^2}{2} \right) = 140,275 \cdot \left(\frac{0,47 \cdot 4,5^2}{2} \right) = 667,53 \text{ Па}$$

Досягнувши температури потоку 482°C циклон погіршив свою ефективність на 80% в порівнянні з початковим експериментом пропускаючи навіть частинки розміром 10 мкм. Лише 20% від їх загальної кількості затримувались унизу. Найгірше те, що проходячи крізь циклон частинки також не втрачають надану у печі температуру та з нею проходять далі, а отже впливають на подальші секції у які потрапляють разом з повітрям, та якщо вони у такому стані потраплять в атмосферу то нанесуть значний удар по навколишньому середовищу.

2.6 Статистична обробка результатів експерименту

Сукупність всіх можливих значень параметрів досліджуваного процесу утворює певну генеральну сукупність. При проведенні досліджень були доступні тільки окремі вибірки з цієї сукупності. Будь-яке значення шуканого параметра, що обчислене на основі обмеженої кількості дослідів, завжди містить елементи випадковості. Тому, з метою встановлення коректності та достовірності результатів експериментальних досліджень всі матеріали були оброблені методами математичної статистики. За обчисленими характеристиками окремих дослідів оцінювали параметри досліджуваного процесу в цілому. До таких характеристик відносяться математичне сподівання вимірюваної величини, дисперсія і середнє квадратичне відхилення. Для їх обчислення використовували величини основних характеристик вибірок. При проведенні досліджень обчислювали такі числові характеристики [21]:

1. Середнє арифметичне спостережених значень:

$$\bar{x} = \frac{l}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i,$$

де x_i – поточне значення $i=1,2,\dots,n$;

n – кількість спостережень.

2. Зважене середнє \bar{x} :

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

Серед яких також були характеристики розсіювання:

3. Дисперсія S^2 :

$$S^2 = \frac{l}{n} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 ;$$

4. Середнє квадратичне відхилення S :

$$S = \sqrt{S^2};$$

5. Середнє відхилення d :

$$d = \frac{l}{n} \cdot \sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|.$$

Після визначення середнього відхилення й дисперсії найбільш відмінні від середнього значення результати вимірювань перевіряли на достовірність за критерієм Стюдента, t_c .

Якщо обчислена величина t_c за формулою

$$t_c = \frac{|x_0 - \bar{x}|}{S}$$

більша від критичної, то такий результат x_0 вважають помилковим і відкидають як хибний. Імовірність попадання в критичну область g % називають рівнем значимості. В розрахунках приймали $g = 95\%$. Значення t при різних об'ємах вибірки n вказані в таблиці 2.7:

Таблиця 2.7 – Значення t_c – критерію Стюдента

n	3	6	8	10	15	20	25	120
t	4,30	2,57	2,36	2,25	2,14	2,09	2,06	1,98

Після відкидання промахів обчислюють нові значення \bar{x} і S .

Середнє значення одного й того ж параметра із різних вибірок буде мати різну величину, тобто воно теж має свою дисперсію. Дисперсія середнього:

$$\delta_{\bar{x}}^2 = \frac{\delta^2}{n} \text{ або } S_{\bar{x}}^2 = \frac{S^2}{n}.$$

Середнє квадратичне відхилення середнього арифметичного спостережених значень \bar{x} наближено, при великих n , вважають рівним $\frac{S}{\sqrt{n}}$, і результат серії вимірювання, як правило, записують у вигляді:

$$x = \bar{x} \pm \frac{S}{\sqrt{n}}$$

Крім цих оцінок часто застосовують ще й коефіцієнт варіації:

$$\zeta = \frac{S}{\bar{x}} \cdot 100\%,$$

і показник точності середнього значення:

$$\xi = \frac{S_{\bar{x}}}{\bar{x}} \cdot 100\% = \frac{S}{\sqrt{n}} \cdot \frac{100\%}{\bar{x}} = \frac{\zeta}{\sqrt{n}}$$

Середнє арифметичне спостережених значень \bar{x} відрізняється від істинного значення x вимірюваного параметра на величину похибки $\pm\Delta$, а істинне значення з деякою імовірністю P знаходиться в межах:

$$\bar{x} - \Delta \leq x \leq \bar{x} + \Delta.$$

Імовірність P знаходження дійсного значення, що дорівнює математичному сподіванню, в межах називають довірчою імовірністю або рівнем достовірності, а ці границі – 100% довірчими інтервалами. Чим більші довірчі інтервали, тим вище ймовірність існування в них дійсного значення. Якщо похибку Δ виразити в долях $S_{\bar{x}}$, прийнявши $\Delta = tS_{\bar{x}}$, довірчі інтервали можна записати у вигляді:

$$\bar{x} - tS_{\bar{x}} \leq x \leq \bar{x} + tS_{\bar{x}},$$

де t – величина, що залежить від довірчої імовірності P .

Таблиця 2.8 – Значення t_c – критерію Стюдента

P	0,997	0,990	0,980	0,954	0,950	0,900	0,800	0,700
t_c	3,00	2,58	2,33	2,00	1,96	1,67	1,25	1,04

Із таблиці 2.8 визначаємо, що з імовірністю $P=0,997$, істинний результат практично лежить у довірчому інтервалі:

$$\bar{x} - 3S_{\bar{x}} \leq x \leq \bar{x} + 3S_{\bar{x}}.$$

В цьому полягає суть правила «трьох сигм».

Щоб середнє вимірюваної величини відрізнялось з довірчою імовірністю P від дійсного значення не більше, ніж на величину Δ , необхідно число вимірювань у кожному досліді брати не меншим n , де

$$n = \frac{t_c^2 S^2}{\Delta^2}.$$

Величину S^2 обчислюють за результатами попереднього випробування з великим числом вимірювань. Величину t_c вибирали з таблиці 2.8 за заданою довірчою імовірністю P [21].

Отримані експериментальні дані зібрані у таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Експериментальні дані

Температура	Перепад тиску		Густина повітря	Швидкість		Аеродинамічний опір	
	Мінімум	Максимум		Мінімум	Максимум	Чистий потік	Запилений потік
20	101323,75	101364,84	1,2	1,93	4,5	1883,25	1789,08
58	101314,4	101352,04	1,06	1,95	4,5	1663,53	1505,5
127	101313,03	101344,07	0,88	1,99	4,5	1381,05	1249,85
232	101313,027	101338,1	0,7	2,031	4,5	1098,56	994,2
482	101320,35	101336,7	0,46	2,17	4,5	737,6	667,53

Виконавши обробку отриманих експериментальних даних отримано декілька залежностей, підтверджуючих те, на що було вказано раніше, а саме: перепад тиску (рисунок 2.24), зниження густини повітря (рисунок 2.25), незначне пониження розходження швидкостей (рисунок 2.26) та різницю між аеродинамічним опором чистого та запиленого потоків (рисунок 2.27).

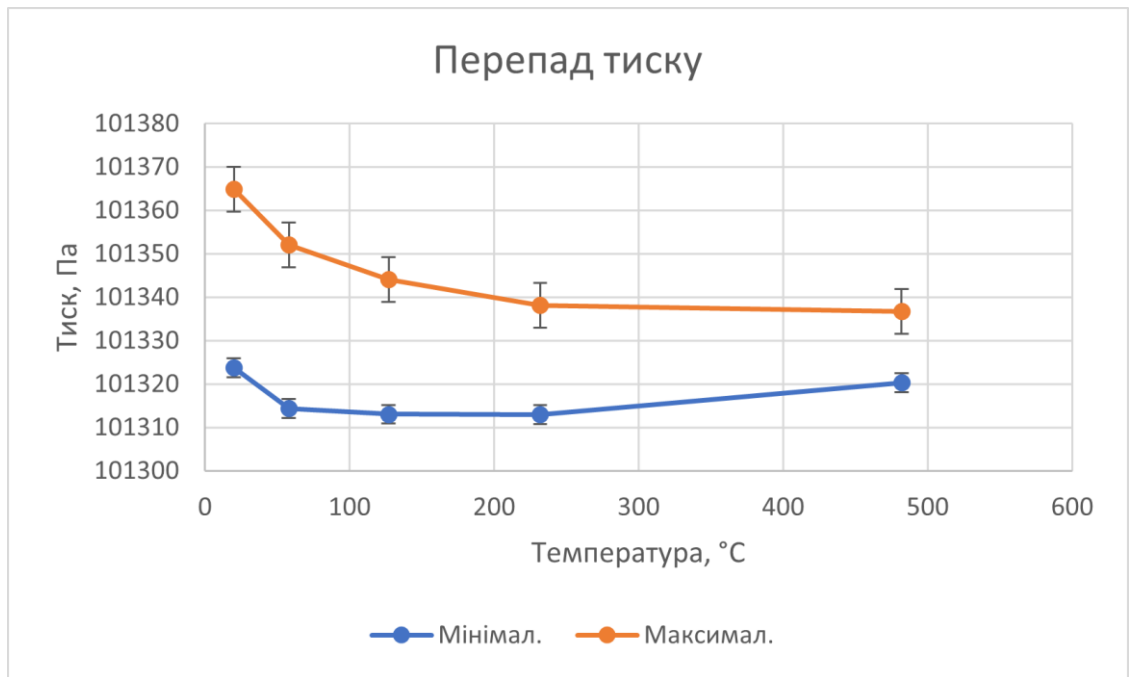


Рисунок 2.24 – Перепад тиску

Збільшуючи температуру повітря до 100°C варіативність тиску, з яким він впливає на циклонний апарат, залишалась більш-менш незмінною. Після того як була досягнута температура у 200°C почались розбіжності між стрімкістю падіння верхньої границі тиску та неочікуваним ростом його нижньої границі.

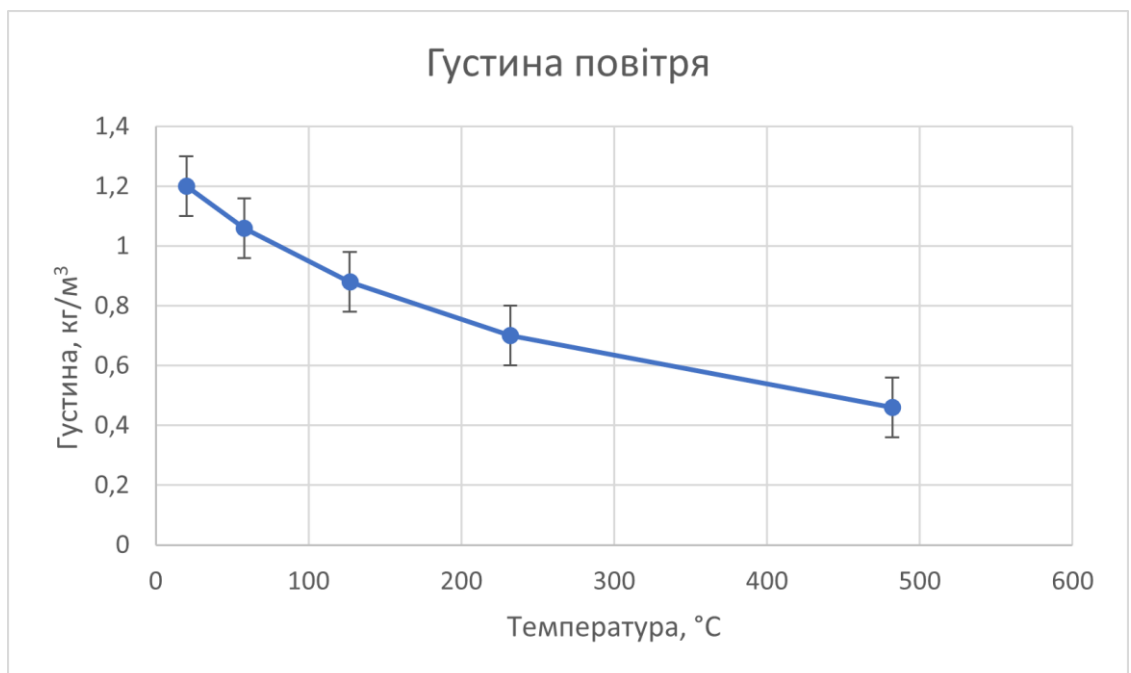


Рисунок 2.25 – Залежність густини повітря від температури

Також збільшення температури повітря мало вплив і на його густину, тим самим роблячи його все дедалі легшим. Цей фактор також вплинув на його здатність виштовхнути з потоку частинки пилу, зробив використання сильно нагрітого повітря у сухих очисних апаратах неефективним.

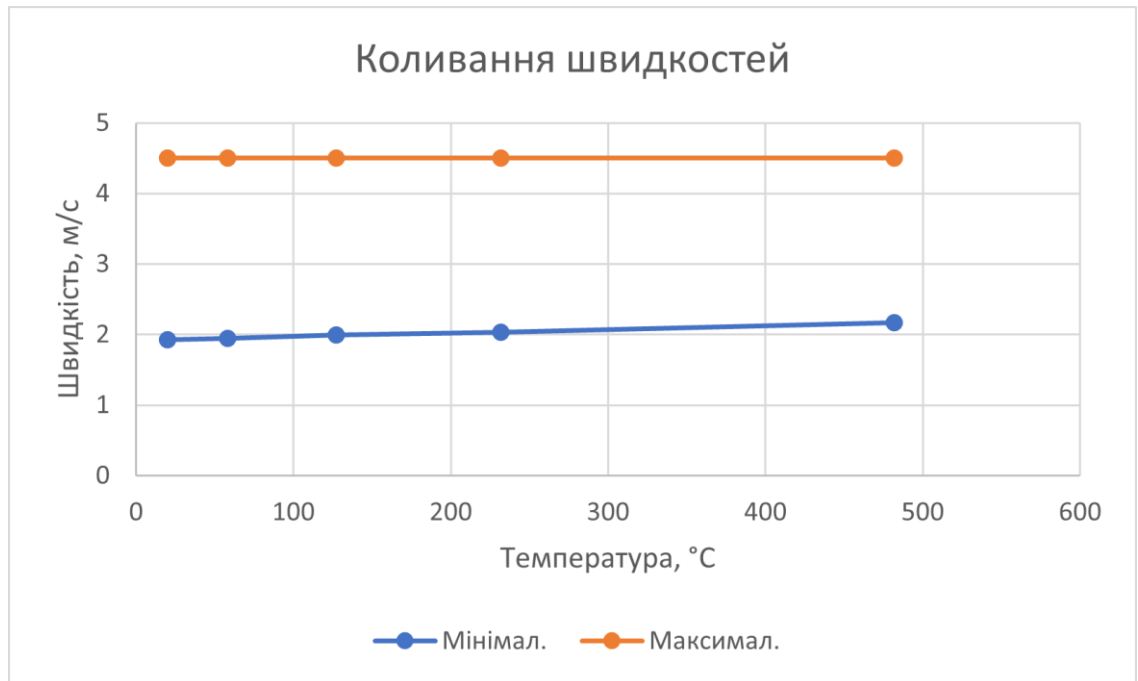


Рисунок 2.26 – Коливання швидкостей

Між тим залежність швидкості від температури не втрачало свого потенціалу, а маленькими шажками набувало. Проходячи по циклону потік безумовно втрачає і набуває швидкість – це зумовлено конструкцією самого апарату та динамікою відцентрового руху, але підвищення температури потоку здатне знизити падіння мінімального значення швидкості, хоча й незначно.

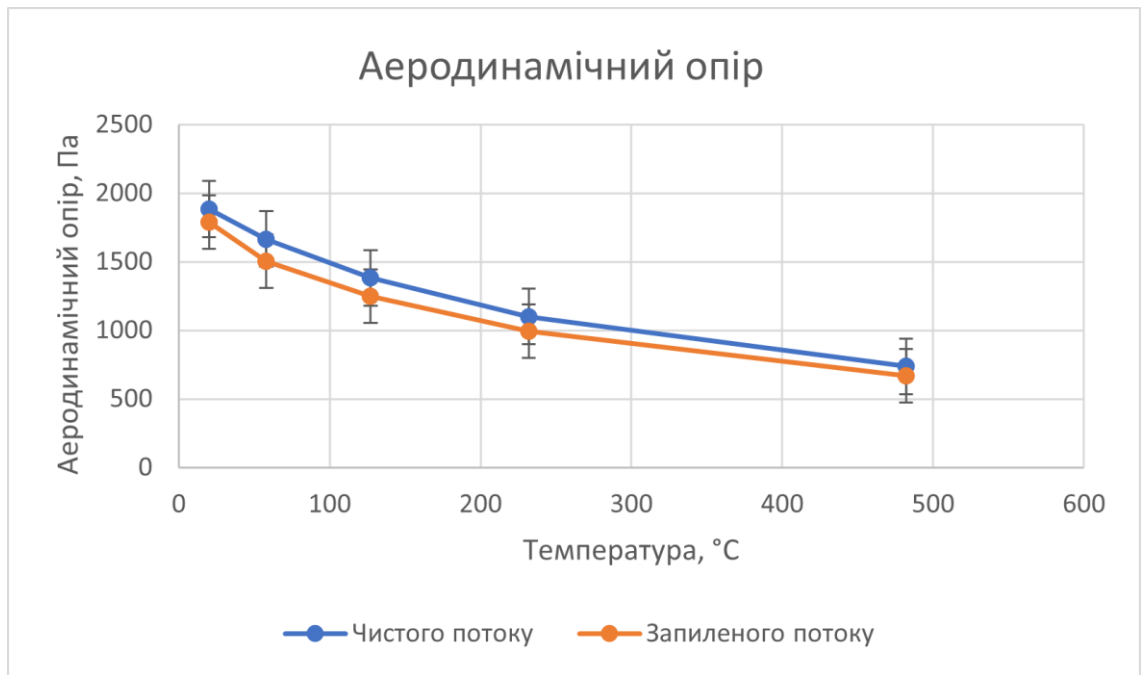


Рисунок 2.27 – Аеродинамічний опір чистого та запиленого потоків

Падіння гідравлічного опору від температури має рівномірну залежність як для чистого, так і для запиленого потоку, відрізнившись лише на самому початку до температури 58°C. Від цього опору залежить чи зможе утримати потік всередині себе частинки пилу та, як показує залежність, його здатність до цього з кожним градусом стає все менше.

Висновки до розділу 2:

1. Програмні потужності SolidWorks задовільняють усім теплоенергетичним потребам та можуть використовуватись задля проектування, моделювання та перевірки існуючих теплоенергетичних установок.

2. Здатність циклону до затримування частинок пилу напряму залежить від температури рідини, що очищується. Зі збільшенням температури ефективність апарату падає разом з його аеродинамічним опором.

При температурі 20°C значення опору у циклоні складало 1789,08 Па та це не заважало йому затримувало 95% частинок розміром від 10 мкм. Крім

того ця температура показала, що циклон даної моделі не здатен затримувати частинки розміром до 10 мкм та потребує вдосконалення.

При температурі 58,57°C значення опору знизилось до 1505,5 Па та хоча різниця опорів здається великою, вона майже не вплинула на значення ефективності циклону – 94%, для частинок розміром від 10 мкм.

При температурі 126,99°C аеродинамічний опір циклону дорівнював 1249,85 Па. Незважаючи на рівномірну втрату опору, а саме ≈ 250 Па, ефективність циклону знижується більш стрімко та дорівнює 89%.

При температурі 232,15°C опір циклону знизився до 994,2 Па погіршуючи також і його ефективність – 76%.

Досягнув температури 482,46°C загальний опір циклону втратив 2/3 свого початкового значення та зупинився на 667,53 Па. Перетнувши лінію перегрітого повітря ефективність циклону склала лише 20%.

РОЗДІЛ 3 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

3.1 Організація виконання науково-дослідної роботи

3.1.1 Планування етапів науково-дослідної роботи

Планування науково-дослідної роботи (НДР) включає визначення складу і послідовності виконання етапів і робіт по ним, їх трудомісткості, тривалості і календарних термінів виконання.

Дослідження впливу температури середи на процес його очищення дозволить збільшити якість очистки, покращить показники переробки на підприємстві та зменшить негативний вплив на навколишнє середовище. При проведенні дослідження можна виділити наступні етапи (таблиця 3.1).

Таблиця 3.1 – Перелік етапів НДР по дослідженню впливу температури середи на процес її очищення

Номер етапу	Етап НДР	Зміст етапу
1	2	3
1	Літературний огляд і постановка завдання дослідження	1.1 Видача завдання. 1.2 Збір, вивчення, аналіз інформації по вітчизняним і зарубіжним джерелам. 1.3 Узгодження і затвердження мети і завдання дослідження. 1.4 Виявлення можливих напрямів дослідження. 1.5 Затвердження програми дослідження. 1.6 Підбір складу виконавців.
2	Теоретичні дослідження	2.1 Огляд існуючих методів очистки. 2.2 Огляд апаратів працюючих на існуючих методах очистки та виділення серед них вихрових апаратів на прикладі циклонів. 2.3 Розробка методики дослідження.

Продовження таблиці 3.1

1	2	3
3	Експериментальні дослідження	<p>3.1 Перевірка сходи мості даних отриманих програмним методом та на реальному стенді.</p> <p>3.2 Проведення експерименту із запиленням повітрям, на якість очищення нормального повітря.</p> <p>3.3 Дослідження впливу різних температур на якість очищення.</p> <p>3.4 Уособлення залежностей отриманих при дослідженнях.</p>
4	Узагальнення і оцінка результатів дослідження	<p>4.1 Аналіз і статистична обробка отриманих даних проведеного дослідження.</p> <p>4.2 Розробка пропозицій і рекомендацій для подальшого впровадження.</p> <p>4.3 Оформлення звіту досліджень.</p>
5	Заключний	<p>5.1 Приймання науково-дослідної роботи.</p> <p>5.2 Захист науково-дослідної роботи.</p>

3.1.2 Визначення трудомісткості виконання НДР

Для визначення трудомісткості запланованих робіт найчастіше застосовується метод ймовірнісних оцінок. Його суть полягає в тому, що безпосередній виконавець робіт оцінює максимальну $T_{\max,i}$ і мінімальну $T_{\min,i}$ трудомісткість роботи. На основі цих оцінок визначається очікувана трудомісткість $T_{\text{оч},i}$ (чол-діб) робіт по формулі (3.1)

$$T_{\text{оч},i} = \frac{3T_{\min,i} + 2T_{\max,i}}{5}, \quad (3.1)$$

При визначенні трудомісткості роботи, згідно таблиці 3.1, приймаємо наступну оцінку

Номер етапу	T_{\max}	T_{\min}
1	10	6
2	9	5
3	29	22
4	11	8
5	7	5

Визначаємо трудомісткість першого етапу:

$$T_{\text{оч},1} = \frac{3 \cdot 6 + 2 \cdot 10}{5} = \frac{38}{5} = 7,8; \text{ приймаємо } T_{\text{оч},1} = 8 \text{ чол-діб.}$$

Визначаємо трудомісткість другого етапу:

$$T_{\text{оч},2} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 9}{5} = \frac{33}{5} = 6,6; \text{ приймаємо } T_{\text{оч},2} = 7 \text{ чол-діб.}$$

Визначаємо трудомісткість третього етапу:

$$T_{\text{оч},3} = \frac{3 \cdot 22 + 2 \cdot 29}{5} = \frac{124}{5} = 24,8; \text{ приймаємо } T_{\text{оч},3} = 25 \text{ чол-діб.}$$

Визначаємо трудомісткість четвертого етапу:

$$T_{\text{оч},4} = \frac{3 \cdot 8 + 2 \cdot 11}{5} = \frac{46}{5} = 9,1; \text{ приймаємо } T_{\text{оч},4} = 9 \text{ чол-діб.}$$

Визначаємо трудомісткість п'ятого етапу:

$$T_{\text{оч},5} = \frac{3 \cdot 5 + 2 \cdot 7}{5} = \frac{29}{5} = 5,8; \text{ приймаємо } T_{\text{оч},5} = 6 \text{ чол-дїб.}$$

3.1.3 Визначення числа виконавців НДР

Для виконання дослідницької роботи приймається наступний склад виконавців. У таблиці 3.2 наведена кількість виконавців необхідних для виконання НДР.

Таблиця 3.2 – Кількість виконавців НДР

Номер етапу	Виконавець НДР	Кількість виконавців, P_i , чол.
1	Лаборант	1
2	Старший лаборант, лаборант	2
3	Старший лаборант, лаборант	2
4	Старший лаборант, лаборант	2
5	Старший лаборант, лаборант	2

Таким чином, для виконання дослідницької роботи потрібно:

- для першого етапу потрібно 1 спеціаліст, $P_1 = 1$;
- для другого етапу потрібно 2 спеціаліста, $P_2 = 2$;
- для третього етапу потрібно 4 спеціаліста, $P_3 = 2$;
- для четвертого етапу потрібно 2 спеціаліста, $P_4 = 2$;
- для п'ятого етапу потрібно 2 спеціаліста, $P_5 = 2$.

3.1.4 Розрахунок тривалості етапів НДР

Тривалість етапів дослідження $t_{\text{оч},i}$ розраховується по формулі (3.2)

$$t_{\text{оч},i} = \frac{T_{\text{оч},i}}{P_i \cdot K_{\text{вн}i}}, \quad (3.2)$$

де $T_{\text{оч},i}$ – очікувана трудомісткість виконання даної роботи, чол-діб;
величина $T_{\text{оч},i}$ обирається згідно розрахунку за рівнянням (3.1)

P_i – кількість виконавців, чол.; величина P_i обирається згідно таблиці
3.2;

$K_{\text{вн}}$ – коефіцієнт виконання норми (приймається $K_{\text{вн}}=0,97$)

Тривалість 1 етапу:

$$t_{\text{оч},1} = \frac{8}{1 \cdot 0,97} = 8,25; \text{ приймаємо } t_{\text{оч},1}=8 \text{ діб};$$

Тривалість 2 етапу:

$$t_{\text{оч},2} = \frac{7}{2 \cdot 0,97} = 3,6; \text{ приймаємо } t_{\text{оч},2}=4 \text{ доби};$$

Тривалість 3 етапу:

$$t_{\text{оч},3} = \frac{25}{4 \cdot 0,97} = 6,44; \text{ приймаємо } t_{\text{оч},3}=6 \text{ діб};$$

Тривалість 4 етапу:

$$t_{\text{оч},4} = \frac{9}{2 \cdot 0,97} = 4,64; \text{ приймаємо } t_{\text{оч},4}=5 \text{ діб};$$

Тривалість 5 етапу:

$$t_{\text{оч},5} = \frac{6}{2 \cdot 0,97} = 3,09; \text{ приймаємо } t_{\text{оч},5}=3 \text{ доби}.$$

3.1.5 Побудова стрічкового графіка проведення науково-дослідної роботи

При невеликій кількості робіт по етапах і виконавців, основним документом планування виконання НДР є стрічковий графік.

Відрізком горизонтальної прямої показується тривалість етапу роботи від першого до останнього дня роботи. Згідно розрахункам, виконаним у розділі 3.1.4, загальна тривалість робіт склала 26 днів. За розрахованими даними будуємо стрічковий графік, який наведено у таблиці 3.3.

3.2 Розрахунок кошторису витрат на проведення дослідження технологічних факторів

Кошторисну калькуляцію складають на весь об'єм робіт по темі. Для визначення витрат для проведення дослідження необхідно розрахувати:

- витрати на основні матеріали;
- витрати на заробітну плату;
- витрати на амортизацію використаного устаткування;
- витрати на електроенергію;
- накладні витрати.

3.2.1 Розрахунок витрат на основні матеріали

У дану статтю включаються всі витрати на придбання матеріалів, виробів і напівфабрикатів, необхідних для безпосереднього виконання роботи по темі з урахуванням транспортно-заготовчих витрат.

Транспортно-заготовчі витрати $S_{тр.з}$ складають 2 % від сумарних витрат на основні матеріали і розраховуються по формулі (3.3)

$$S_{тр.з} = \sum S_m \cdot 0,02, \quad (3.3)$$

де S_m – сумарні витрати на основні матеріали, грн.

Таблиця 3.3 – Стрічковий графік проведення науково-дослідної роботи

Етапи	Трудомісткість, чол-дів	Кількість виконавців, чол.	Тривалість етапів, дів	Виконання робіт по робочих днях																									
				1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
1	8	1	8	■	■	■	■	■	■	■																			
2	7	2	4							■	■	■	■																
3	25	4	6											■	■	■	■	■	■										
4	9	2	5																	■	■	■	■	■					
5	6	2	3																								■	■	■

Сумарні витрати на основні матеріали при виконанні НДР наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Розрахунок вартості матеріалів по науково-дослідній роботі

Найменування матеріалів	Одиниця вимірювання	Кількість	Ціна за одиницю, грн.	Всього витрат, грн.
Персональний комп'ютер	шт.	1	4000	4000
Змішувальна машина	шт.	1	250000	250000
Графітована пил	кг	24	270	6480
Нафтовий кокс	кг	40	65	2600
Кам'яновугільний пек	кг	16	80	1280
Разом				264360
Транспортно-заготівельні витрати, у розмірі 2%	–	–	–	5287,2
Разом				269647,2

3.2.2 Розрахунок витрат на амортизацію устаткування

Витрати на амортизацію ($S_{ам}$) використаного при дослідженнях устаткування визначаються по формулі

$$S_{ам} = \sum_{i=1}^N \frac{\alpha_{ам,i}}{100} \cdot K_{уст,i} \cdot \frac{T_{вик,i}}{T_{можл,i}}, \quad (3.4)$$

де $\alpha_{ам,i}/100$ - норма амортизаційних відрахувань для даного виду устаткування або приладу;

$K_{уст,i}$ - вартість устаткування або приладу і-го вигляду, грн;

$T_{\text{вик},i}$ - тривалість використання даного i -го виду устаткування або приладу в дослідницькій роботі, год.;

$T_{\text{можл},i}$ - можливе число годин використання i -го виду устаткування або приладів на протязі року;

N – кількість устаткування, шт..

При однозмінній роботі $T_{\text{можл},i}$ приймається 2000 годин.

Розрахунок витрат на амортизацію устаткування і приладів приведений у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Витрат на амортизацію устаткування

Найменування устаткування	К-ть одиниць	Ціна за одиницю, грн.	Норма амортизації, %	Тривалість використання, год.	$S_{\text{ам}}$, грн.
Персональний комп'ютер	1	4000	15	55	16,5
Змішувальна машина	1	250000	15	24	450
Разом					466,5

3.2.3 Розрахунок затрат на електроенергію

Вартість електроенергії (S_e) витраченої на проведення дослідження визначають по формулі

$$S_e = \sum_{i=1}^N T_e \cdot N_{a,i} \cdot T_{\text{вик},i} \cdot m_i, \quad (3.5)$$

де T_e - тариф за кожен споживаний кВт·год., грн;

$N_{a,i}$ - середня споживана потужність i -го виду устаткування, кВт;

$T_{\text{вик},i}$ - тривалість використання i -го виду устаткування або приладу, год.;

m_i - кількість устаткування i -го вигляду, шт.

Тариф за 1 кВт електроенергії з урахуванням ПДВ складає 0,92 грн.

Розрахунок витрат на електроенергію наведено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Витрати на електроенергію

Найменування устаткування	К-ть одиниць	Середня потужність, кВт	Кількість годин використання, год.	Тариф за 1кВт·год., грн.	Усього витрат, грн.
Персональний комп'ютер	1	0,500	52	0,92	23,92
Змішувальна машина	1	1200	24	0,92	26496
Разом					26519,92

3.2.4 Розрахунок заробітної плати і відрахувань

В розрахунок заробітної плати входять наступні статті: основна заробітна плата наукових, інженерно-технічних і допоміжних працівників, зайнятих виконанням робіт по темі; додаткова заробітна плата, що включає виплати по оплаті чергових і додаткових відпусток, на виконання державних і суспільних доручень, винагороди.

Заробітна плата ($Z_{\text{вик},i}$) виконавців НДР розраховується по формулі

$$Z_{\text{вик},i} = \frac{Z_{\text{окл},i}}{T_{\text{місяць}}} \cdot T_{\text{етапу}}, \quad (3.6)$$

де $Z_{\text{окл},i}$ – посадовий оклад, грн;

$T_{\text{місяць}}$ – кількість робочих днів в місяці, днів;

$T_{\text{етапу}}$ – тривалість певного етапу, днів.

Величина заробітної плати по темі може бути представленою за формою, яка наведена у таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 Величина заробітної плати

Виконавець	К-ть, чол.	Оклад, грн.	Тривалість, дні	Оплата праці, грн.
Інженер	1	2000	26	1454,55
Провідний інженер	1	2500	18	2045,45
Лаборант	1	1500	10	681,81
Смесильщик	1	1700	12	927,27
Разом				5109,08

Заробітна плата інженера $Z_{вик}^{інж}$:

$$Z_{вик}^{інж} = \frac{2000}{22} \cdot 26 = 1454,55 \text{ грн}$$

Заробітна плата провідного інженера $Z_{вик}^{пров,інж}$:

$$Z_{вик}^{пров,інж} = \frac{2500}{22} \cdot 18 = 2045,45 \text{ грн.}$$

Заробітна плата лаборанта-технолога $Z_{вик}^{лаб.}$:

$$Z_{вик}^{лаб.} = \frac{1500}{22} \cdot 10 = 681,81 \text{ грн.}$$

Заробітна плата смесильщика $Z_{мес.}$:

$$Z_{смес} = \frac{1700}{22} \cdot 12 = 927,27 \text{ грн.}$$

Премія складає 25 % від основної заробітної плати і розраховується за формулою

$$Z_{прем}^i = Z_{вик}^i \cdot \frac{25}{100}.$$

Премія інженера $Z_{прем}^{інж}$:

$$Z_{прем}^{інн} = \frac{2000 \cdot 25}{100} = 500 \text{ грн.}$$

Премія провідного інженера $Z_{прем}^{пров,інж}$:

$$Z_{прем}^{пров,інн} = \frac{2500 \cdot 25}{100} = 625 \text{ грн.}$$

Премія лаборанта-технолога $Z_{прем}^{лаб}$:

$$Z_{прем}^{лаб} = \frac{1500 \cdot 25}{100} = 375 \text{ грн.}$$

Премія смесильщика $Z_{прем}^{смес}$:

$$Z_{прем}^{смес} = \frac{1700 \cdot 25}{100} = 425 \text{ грн.}$$

Загальний фонд заробітної плати розраховується з урахуванням фонду заробітної плати, преміального фонду і додаткової заробітної плати виконавців. Додаткова заробітна плата $Z_{вик}^{дод}$ виконавців розраховується у розмірі 10 % від фонду заробітної плати

$$Z_{вик}^{дод} = \frac{5109,08 \cdot 10}{100} = 510,90 \text{ грн.}$$

Таким чином загальний фонд заробітної плати $Z_{заг}$ складає

$$Z_{заг} = Z_{заг}^{вик} + Z_{вик}^{дод} + Z_{прем}^i = 5109,08 + 510,9 + 1500 = 7120,7 \text{ грн.} \quad (3.7)$$

Нарахування на фонд оплати праці $Z_{нарах}^{фот}$ складає 37,5 % (або 0,375) від загального фонду заробітної плати $Z_{заг}$:

$$Z_{нарах}^{фот} = \frac{Z_{заг} \cdot 37,5}{100} = \frac{7120,7 \cdot 37,5}{100} = 2670,26 \text{ грн}$$

З них:

- нарахування до фонду державного соціального страхування $Z_{нарах}^{ФДСС}$ складає 2,5 %:

$$Z_{нарах}^{ФДСС} = Z_{заг} \cdot 0,025 = 7120,7 \cdot 0,025 = 178,01, \text{ грн.} \quad (3.8)$$

- нарахування до пенсійного фонду $Z_{нарах}^{ПФ}$ складає 32 %:

$$Z_{нарах}^{ПФ} = Z_{заг} \cdot 0,32 = 7120,7 \cdot 0,32 = 2278,62, \text{ грн.} \quad (3.9)$$

- нарахування до фонду безробіття $Z_{нарах}^{ФБ}$ складає 1,5 %:

$$Z_{нарах}^{ФБ} = Z_{заг} \cdot 0,015 = 7120,7 \cdot 0,015 = 106,81, \text{ грн.} \quad (3.10)$$

- до фонду соціального страхування від нещасного випадку $Z_{нарах}^{ФНС}$ складає 1,5 %:

$$Z_{нарах}^{ФНС} = Z_{заг} \cdot 0,015 = 7120,7 \cdot 0,015 = 106,81, \text{ грн.} \quad (3.11)$$

3.2.5 Накладні витрати

Накладні витрати $H_{витр}$ складають 40 % від фонду оплати праці:

$$H_{витр} = Z_{заг} \cdot 0,4 = 7120,9 \cdot 0,4 = 2848,36, \text{ грн.} \quad (5.12)$$

3.2.6 Зведений кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

Кошторис витрат на науково-дослідну роботу визначається на весь об'єм виконуваних робіт. Кошторис витрат наведено у таблиці 3.8.

Таблиця 3.8 – Кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи

№ з/п	Статті витрат	Всього витрат	
		грн.	%
1	Витрати на матеріали	269647,2	87,61
2	Основна заробітна плата	5109,08	1,66
3	Додаткова заробітна плата	510,90	0,17
4	Нарахування на фонд оплати праці (37,5 %):	2670,26	0,87

	- на державне соціального страхування (2,5%)	178,01	–
	- до пенсійного фонду (32%)	2278,62	–
	- до фонду безробіття (1,5%)	106,81	–
	- до фонду соціального страхування від нещасного випадку (1,5%)	106,81	–
5	Амортизаційні відрахування	466,5	0,15
6	Витрати на електроенергію	26519,92	8,62
7	Накладні витрати	2848,36	0,92
Разом		307772,22	100

Висновки до розділу 3:

Для проведення науково-дослідної роботи був побудований стрічковий календарний план. Загальна тривалість виконання науково-дослідної роботи склала 26 днів. В економічній частині розрахований звідний кошторис витрат на проведення науково-дослідної роботи. Загальні витрати на проведення роботи склали 307772,22 грн. По результатах роботи досягнуто підвищення продуктивності 0,25 %. Це забезпечить підвищення випуску готової продукції і підвищення прибутку на 1,05% (577500 грн). Виходячи з цього витрати на дослідження сроку окупності через півроку.

ВИСНОВКИ

1. Серед розглянутих очисних апаратів більшу увагу привертають саме циклони. Їх виділяє простота збірки та безліч можливостей до модернізації, у тому числі за рахунок комбінації з іншими очищувальними методами. Вони показують високу ефективність очистки будь-яких крупних запилень, від 10 мкм, та при грамотному вдосконаленні здатні затримувати пилинки значно меншого розміру.

2. Знайдені температури повітря при яких циклон показує найвищу ефективність очищення >90% від сухих запилень.

3. Порівняння ефективності пилоочистки вихрового апарату від температури, проведені при однакових показниках тиску, 101325 Па, на вході та початкової швидкості, 4,5 м/с, показали, що при перевищенні нормальних умов повітря у 15-20 разів ефективність сухих циклонів погіршується у 3-4 рази, що робить їх нездатними конкурувати з циклонами мокрого очищення чи циклонами-фільтрами.

4. Рекомендована температура очищувальних газів – 100°C. Вона дозволить дотримуватись необхідної якості очищення, >90%, та допоможе знизити показники аеродинамічного опору до 1300 Па.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Гічов Ю.О. Очищення газів. Частина 1 : конспект лекцій. Дніпропетровськ : НМетАУ, 2015. 51 с.
2. Бурда Ю.О. Аналітичне обґрунтування переваг мокрого газоочищення в коксовій промисловості. *Науковий вісник будівництва*. Харків : ХНУБА, 2017. вип. № 3 (том 89). 158 с.
3. Русанов А.А., Урбах И.И., Анастасиади А.П. Очистка дымовых газов в промышленной энергетике. Москва : Изд. «Энергия», 1969. 56с.
4. Гордон Г.М., Пейсахов И.Л. Пылеулавливание и очистка газов. Изд. «Металлургия», 1968. 499с.
5. Каузов П.А. Очистка воздуха в циклонах. Л., 1938. 147с.
6. Ефимов А.В., Цейтлин М.А., Гончаренко А.Л. Технологические методы защиты окружающей среды от выбросов вредных соединений в энергетике и химическом производстве. Харьков: НТУ ХПИ, 2017. 217 с.
7. Семенюк М. В. Очищення газових потоків у відцентрових фільтрах: дис. канд. техн. наук: 05.17.08. Київ, 2018. 225 с
8. Циклоны НИИОГАЗ. Госхимиздат, 1956. 349с.
9. Кунаков Н.Е. Развитие газового хозяйства металлургических заводов. Metallurgizdat, 1959. 210с.
10. Гервасьев А.М. Пылеуловители СИОТ. Профиздат, 1954. 95с.
11. Панченко А.В. Групповые циклоны ОМЭИ. Труды Одесского института инженеров мукомольной промышленности и элеваторного хозяйства, 1952, выпуск 3. 87с.
12. Грин Х., Лейн В. Аэрозоли-пыли, дымы и туманы. Изд. «Химия», 1969. 236с.
13. Нейков О.Д. Очистка отходящих газов металлургических печей в тканевых фильтрах за рубежом. ЦНИИ и ТЭИ черной металлургии, серия 13, информация 10, 1966. 49с.

14. Гаврилів Р.І., Майструк В.В. Визначення гідравлічного опору циклонів засобами комп'ютерного моделювання SolidWorks Flow Simulation. *Науковий вісник НЛТУ України*: вип. 23.16. Львів, 2013р. С. 364-369.
15. Юрко В.В., Ганжа А.М. Удосконалення рекуперативного повітрянагрівача для розширення області застосування за умови запиленого гріючого теплоносія. Харківська політехніка, Харків, 2021. 202 с.
16. Абдеев М.А., Колесников А.В., Ушаков Н.Н. Вельцевание цинксодержащих материалов: уч. пособ. Москва: Металлургия, 1985. 120 с.
17. Козлов П.А. Вельц-процесс: уч. пособ. Москва: Издат. дом «Руда и металлы», 2002. 176 с.
18. Тарасенко О.М., Угольников С.В., Юрко В.В. Перспективи утилізації відходів, що містять у своєму складі важкі та кольорові метали. *Людина, суспільство, комунікативні технології*: матеріали V міжнар. наук.-практ. Конф., м. Харків-Лиман, 22-23 верес. 2017 р. Харків, 2017. С. 296-298.
19. Юрко В.В. Розробка теплового режиму переробки відходів, які містять в своєму складі цинк і свинець. *Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я (MicroCAD - 2017)*: матеріали XXV міжнар. наук.-практ. конф., м. Харків, 17-19 травня 2017 р. Харків, 2017. С.301.
20. V. Kovalev, I. Klimenko. Aerodynamic aspects of polluted air aspiration in industrial rooms using cyclones. *Mechanics and Advanced Technologies*. 2018. №83. P. 80-86.
21. Дубинін А.І. Циклон з проміжним відведенням осадженого пилу. *Хімічна промисловість України*. 1999. №2. С. 40-43.