

**Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря
Сікорського» Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного та силікатного машинобудування**

До захисту допущено
Завідувач кафедри
О.Л. Сокольський
«_____» 2025 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

зі спеціальності 131 – Прикладна механіка
на тему: Дисковий вакуум-фільтр з модернізацією конструкції
фільтруючого сектору

Виконала студентка 4 курсу, групи ЛУ-11
(шифр групи)

Довбня Ольга Вікторівна
(прізвище, ім'я, по батькові) (підпис)

Керівник проф., док. технічних наук Гондлях О.В.
(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультанти з розділів:

ОХОРОНА ПРАЦІ ст. викл. Ковтун А. І.

МОДЕРНІЗАЦІЯ д.т.н., проф. Щербина В.Ю.

ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ ст. викл. Борщик С.О

РЕЦЕНЗЕНТ

(посада, наукова ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у
цьому дипломному
проекті немає
запозичень з праць
інших авторів без
відповідних
посилань.

Студент _____
(підпис)

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Інженерно-хімічний факультет
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування
Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський) Спеціальність – *131 Прикладна механіка*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

О.Л.Сокольський

«___»_____2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проект студентки Довбні Ольги Вікторівни

1. Тема проекту «Дисковий вакуум-фільтр з модернізацією конструкції фільтруючого сектору», керівник проекту Гондляр Олександр Володимирович доктор технічних наук, професор, затверджені наказом по університету від «20.05» 2025 р. № 1653-С
2. Термін подання студентом проекту 17.06.2025 р.
3. Вихідні дані до проекту
4. Площа поверхні фільтрації $= 16 \text{ м}^2$; кількість дисків $= 4$; кількість секторів $= 12$; маса фільтру $= 5042 \text{ кг}$. діаметр фільтруючих дисків $= 2 \text{ м}$; тиск повітря при віддувці, МПа (кгс/см^2) $= 0,04 (0,4)$; потужність електродвигуна (привода дисків) $= 3 \text{ кВт}$; встановлена потужність електродвигуна (привода мішалки) $= 1,1 \text{ кВт}$; передаточне число відкритої зубчастої передачі $i = 8$; частота обертання (дисків), $0,003\text{--}0,021 \text{ с}^{-1}$, (0,2–1,3 обертів / хвилину); частота обертання (мішалки), $0,76 \text{ с}^{-1}$, (45,5 обертів / хвилину); напруга струму $= 380 \text{ В}$;
5. Зміст пояснювальної записки. Реферат (укр.); Реферат (англ); Перелік позначень; Розрахунки; Технологія машинобудування; Охорона праці; Загальні висновки; Перелік посилань; Додатки.
6. Перелік графічного матеріалу. Лист 1 – Загальний вигляд дискового вакуум фільтру фільтру (А1); Лист 2 – Технологічна схема процесу гідрометалургії цинку (А1); Лист 3 – Сектор (А1); Лист 4 – Деталювання (А1); Лист 5 – Плакат моделювання моделі для розрахунків (А1); Лист 6 – Розрахунок сектору на міцність ANSYS (А1).

7. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	доц. Витвицький В.М.		
ТЕХ. МАШИНОБУД.	ст. викладач Борщик С.О		
ОХОРОНА ПРАЦІ	к.т.н. ст. викладач Ковтун А.І.		

8. Дата видачі завдання 19.05.2025.....

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Технологічна лінія з використанням вакуум фільтра	26.05.25 – 29.05.25	
2	Принцип роботи машини та загальний вигляд, літературно-патентний огляд	30.05.25 – 01.06.25	
3	Літературно-патентний огляд	02.06.25 – 04.06.25	
4	Базові розрахунки машини	05.06.25 – 07.06.25	
5	Розрахунок модернізації конструкції в DEM системі Ansys	08.06.25 – 10.06.25	
6	Охорона праці, технологія машинобудування	11.06.25 – 14.06.25	
7	Висновки	15.06.25 – 16.06.25	
8	Графічна частина	26.05.25 – 16.06.25	

Студентка

Довбня О.В.

Керівник проекту

Гондляр О.В.

РЕФЕРАТ

Виконаний дипломний проект заключається у дослідженні конструкції заданої машини а саме дискового-вакуум фільтру та виконанні поетапно модернізації фільтруючого сектору.

Під час роботи також відбувся літературно-патентний огляд. Після ознайомлення були обрані і внесені до списку. Застосовувався патент що описує модернізацію конструкції сектору, що виконує фільтрувальну функцію. Метою даної модернізації є підвищення продуктивності роботи фільтрування за рахунок можливості збільшення об'ємів пульпи , яку спроможна захопити конструкція сектору.

У розділі де розглядається робота машини з точки зору ризиків та небезпек з метою охорони праці, було проведено дослідження описаних факторів. На завершальному етапі, підсумовуючи , описуються наслідки цього етапу дипломної роботи.

Спираючись на ергономічність та технічні характеристики , залучений огляд на результат показників ефективності впровадження обраної модернізації.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: ФІЛЬТР СЕКТОР МОДЕРНІЗАЦІЯ
ПРОДУКТИВНІСТЬ ПУЛЬПА ПАТЕНТ ЕРГОНОМІКА

ABSTRACT

The completed diploma project consists in studying the design of a given machine, namely a disk-vacuum filter, and performing a phased modernization of the filtering sector.

During the work, a literature and patent review was also conducted. After familiarization, they were selected and included in the list. A patent was applied that describes the modernization of the design of the sector that performs the filtering function. The purpose of this modernization is to increase the productivity of the filtering work due to the possibility of increasing the volume of pulp that the sector design is able to capture.

In the section where the operation of the machine is considered from the point of view of risks and hazards for the purpose of labor protection, a study of the described factors was conducted. At the final stage, summing up, the consequences of this stage of the diploma work are described.

Based on ergonomics and technical characteristics, a review of the results of the effectiveness indicators of the implementation of the selected modernization was involved.

The explanatory note consists of

KEYWORDS: FILTER SECTOR MODERNIZATION
PRODUCTIVITY PULP PATENT ERGONOMICS

ПЕРЕЛІК ПОЗНАЧЕНЬ

ρ_c — об'ємна маса сухого залишку, кг/м^3

$P_{\text{пр}}$ — тиск промивання, Па

$\rho_{\text{ф}}$ — об'ємна маса фільтрату, кг/м^3

C_2 — концентрація сухої речовини в осаді, кг/м^3

C_1 — концентрація вихідного сухого матеріалу суспензії, кг/м^3

F_0 — загальна площа поверхні фільтрації, м^2

b_1 — стала фільтрації, хв/м^2

n — частота обертання, $1/\text{с}$

h — відстань від осі диска до рівня суспензії, м

r — радіус, м

i — кількість дисків

V — об'єм, м^3

P — потужність, кВт

T — момент, Н*м

ω — Кутова швидкість, с^{-1}

i — передаточне відношення

η — ККД

M — момент опору, Н*м

K — питомий опір зрізання осаду, Н/м^2

f — коефіцієнт тертя металу об осад

N — повна потужність електродвигуна, кВт

ρ_0 — густина вологого осаду

Q — повна продуктивність фільтра, $\text{м}^3/\text{хв}$

φ — кут занурення фільтрувального диску

G — маса вала з дисками й осадом, кг

μ — коефіцієнт тертя

η_y — ККД урухомника

ЗМІСТ

ВСТУП

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКОВОГО ВАКУУМНОГО ФІЛЬТРУ

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСКОВОГО ВАКУУМНОГО ФІЛЬТРУ

3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ОСНОВНИХ ЧАСТИН ДИСКОВОГО ВАКУУМНОГО ФІЛЬТРУ. ПРИНЦИП ДІЇ

4 ЛІТЕРАТУРНО ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД МОДЕРНІЗАЦІЇ

4.1 Огляд існуючих рішень

4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Розрахунки параметрів дискового вакуум-фільтра

5.2 Розрахунок параметрів на ПЕОМ

5.3 Розрахунки кінематичних характеристик вакуум-фільтра

5.4 Розрахунки кінематичних характеристик мішалки

5.4 Розрахунок на міцність фільтруючого сектору за допомогою програмного пакету «ANSYS»

					ЛУ11.049276.01-90ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	Дисковий вакуум-фільтр з модернізацією конструкції фільтруючого сектору	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Довбня О.В.						3	58
Перев.								
Керівник	Гондляр О.В.					КПІ ім. Ігоря Сікорського		
Н. Контр.								
Затверд.								

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Фізичні фактори

6.2 Електричні фактори

6.3 Хімічні фактори

6.4 Пожежонебезпека

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Опис і призначення деталі

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

7.3 Вибір та розрахунок пристосування для числової обробки
циліндричної поверхні

ВИСНОВКИ

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

					ЛУ11.049276.01-90ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

ВСТУП

Галузь машинобудування, що займається фільтруванням, розробляє обладнання для очищення рідин і газів від домішок у промислових процесах. Основні типи обладнання включають фільтр-преси, центрифуги, мембранні фільтри та вакуумні фільтри. Метою є підвищення ефективності виробництва, захист обладнання та довкілля від забруднень. Ця галузь має критичне значення для хімічної, металургійної, харчової та фармацевтичної промисловості.

Дисковий вакуум-фільтр застосовується для зневоднення суспензій у гірничодобувній, хімічній та металургійній галузях. Він працює за принципом вакуумного всмоктування, утворюючи осад на дисках і видаляючи вологу. Завдяки високій продуктивності та економічності, цей фільтр широко використовується для обробки великих обсягів матеріалу.

Метою курсового проекту є аналіз конструкції дискового вакуум-фільтра для вибору оптимальних параметрів його експлуатації. Оцінка його ефективності у конкретних виробничих умовах. Розробка рекомендацій щодо підвищення продуктивності та зменшення енерговитрат.

Проведений патентний пошук дозволяє виконати модернізацію конструкції з забезпеченням ефективних поліпшень у роботі фільтру. Оскільки зміна конструкції впливає не тільки на величину виходу осушеного фільтрату а й на характеристики що впливають на якість та швидкість обслуговування.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ ДИСКОВОГО ВАКУУМНОГО ФІЛЬТРУ

Гідрометалургійний спосіб переробки цинкових концентратів почали застосовувати у виробництві в 1915 році [1]. Технологічний процес від початкового етапу сировини, до кінцевого результату у вигляді фільтрату відбувається за схемою (Рисунок 1.1).

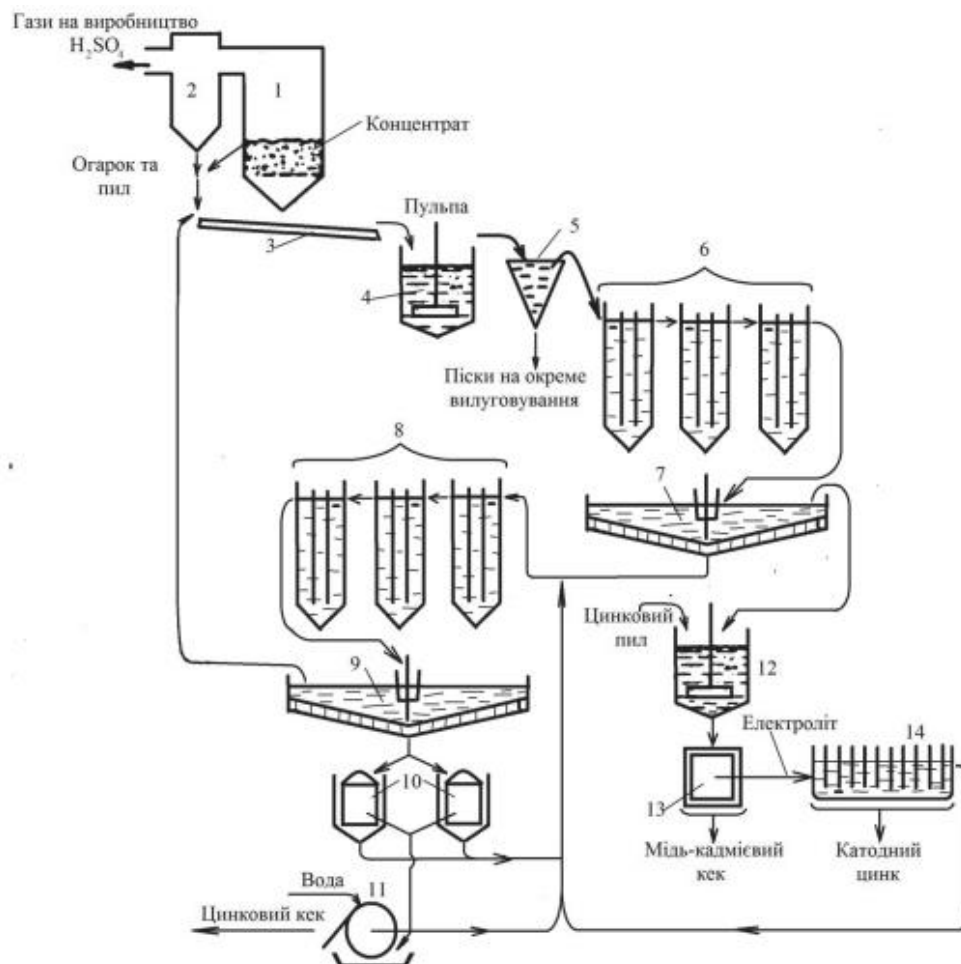


Рисунок 1.1 - Схема процесу гідрометалургії цинку: 1 – обпалювальна піч; 2 – пічовловлювачі; 3 – жолоб; 4 – резервуар з мішалкою; 5 – класифікатори; 6 – ємності з нейтральним середовищем; 7 – нейтральні згущувачі; 8 – ємності з кислим середовищем; 9 – кислі згущувачі; 10 – рамні вакуум-фільтри; 11 – дискові вакуум-фільтри; 12 – резервуари для осадження міді та кадмію; 13 – фільтр; 14 – електролітична ванна.

У обпалювальній печі (1) відбувається термічне оброблення сульфідного цинкового концентрату, внаслідок чого цинк переходить у оксидну форму.. Газопилова суміш проходить через пічовловлювачі (2), де механічним шляхом

відділяється пил від газів. Гази направляються на виробництво сірчаної кислоти, а пил і огарок — далі у процес. Пил та огарок змішуються з водою у жолобі (3), утворюючи пульпу, яка надходить у резервуар з мішалкою (4). Мета — отримати рівномірну суспензію.

Пульпа подається у класифікатори (5), де розділяється за крупністю. Збагачена дрібна фракція надходить до ємностей з нейтральним середовищем (6), де розчинення оксидів цинку відбувається у нейтральному розчині (наприклад, сульфат амонію або водний розчин сірчаної кислоти з контрольованим рН).

Розчин після вилужування проходить через нейтральні згущувачі (7), де відбувається осадження нерозчинених залишків (шламів). У ємностях з кислим середовищем (8) відбувається додаткове вилучення цинку за допомогою сірчаної кислоти — особливо з частинок, які не розчинилися в нейтральному середовищі. Суспензія зі стадії кислого вилужування надходить до кислих згущувачів (9), де знову розділяються тверді та рідкі фази. Отримані шлами фільтруються через рамні вакуум-фільтри (10) — для грубого осаду, дискові вакуум-фільтри (11) — для очищення розчинів від дрібних залишків твердих речовин.

В результаті формується цинковий кек, який направляється на утилізацію або подальше використання.

Розчин після фільтрації подається в резервуари для осадження міді (12) та кадмію. Вони видаляються шляхом контрольованого зміщення рН і додавання реагентів. Після осадження розчин знову фільтрується (13), утворюючи мідно-кадмієвий кек, який окремо вилучається.

Очищений електроліт подається в електролітичні ванни (14), де під дією електричного струму цинк осаджується на катодах у вигляді катодного цинку — це і є кінцевий продукт процесу.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА ДИСКОВОГО ВАКУУМНОГО ФІЛЬТРУ

Після отримання технічного завдання було сформульовані технічні характеристики [2].

Поверхня фільтрації - 16 м^2

Різниця тисків при фільтрації та сушці - $0,06 \text{ (0,6) МПа (кгс/см}^2\text{)}$

Тиск повітря при віддувці $-0,04 \text{ (0,4) МПа (кгс/см}^2\text{)}$

Потужність електродвигуна привода дисків - $1,1 \text{ кВт}$

Потужність електродвигуна привода мішалки – 3 кВт

Передаточне число відкритої зубчастої передачі - 8

Частота обертання дисків - $1,3 \text{ об/хв}$

Частота обертання мішалки - $45,5 \text{ об/хв}$

Напруга живлення - 380 В

Діаметр дисків – 2 м

Кількість дисків - 4

Кількість секторів у диску - 12

Маса фільтру – 5042 кг

3 ОПИС КОНСТРУКЦІЇ ТА ОСНОВНИХ ЧАСТИН ДИСКОВОГО ВАКУУМНОГО ФІЛЬТРУ. ПРИНЦИП ДІЇ

Дисковий вакуумний фільтр (ДВФ) — це безперервний фільтрувальний апарат, який застосовується для механічного розділення твердих і рідких фаз у промислових суспензіях. Найбільш ефективно дисковий вакуум фільтр працює з тонкодисперсними пульпами, як-от цинковмісні розчини, що утворюються при гідрометалургійній обробці сировини.

Будова дискового вакуум-фільтру (Рисунок 3.1) складається з полого вала 1 , розподільної головки 2 , дисків 3 і ванни 4. Вал обертається в підшипниках, що установлені у бокових стінках ванни. Усередині вал 1 полий, а по периферії розташовані ізольовані один від одного канали 5. В каналах є отвори для підключення до них секторів, з яких складаються диски. Число отворів на валу відповідає числу секторів. Сектори вставляють в спеціальні гнізда пустотілого вала і кріплять до нього за допомогою шпильок з накладками. До торців вала притискуються за допомогою пружин розподільні головки. Пульпа подається в ванну зверху, а фільтрат збирається в колектори з боків.

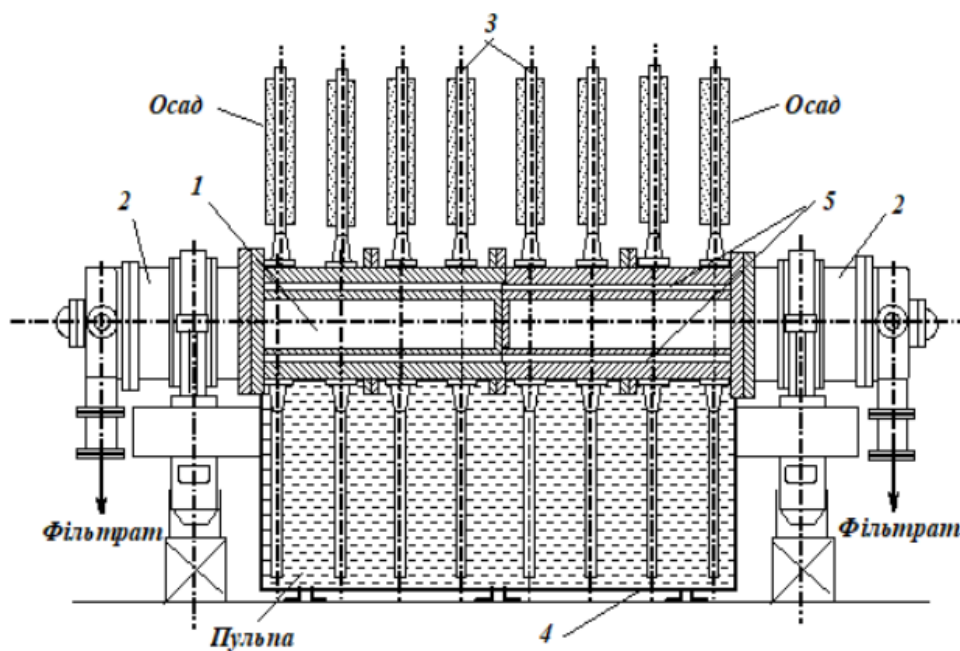


Рисунок 3.1 – Загальний вигляд фільтру

Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. У зоні фільтрування сектори дисків через розподільну головку підключені до вакуум-насоса. Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. В «мертвих» зонах здійснюється зміна вакууму на стиснене повітря або навпаки.

Дисковий вакуумний фільтр [3] є різновидом фільтрувального обладнання безперервної дії, призначеного для механічного розділення твердих і рідких фаз зі шламоподібних середовищ у промислових умовах. Конструкція фільтра забезпечує стабільну роботу в циклічному режимі з високою продуктивністю та можливістю регенерації фільтрувальних елементів.

Основними конструктивними вузлами фільтра є: фільтруючі сектори, порожнистий вал, дискові барабани, живильник пульпи, вакуумна система, транспортувальний механізм видалення осаду та привідна система.

Фільтруючі сектори являють собою змінні жорсткі елементи, що мають сітчасту або перфоровану структуру, покриту фільтрувальною тканиною. Вони закріплюються радіально на дисках і формують циліндричну поверхню фільтрації. Фільтруючі сектори з'єднані з порожнистим валом, через який здійснюється відведення фільтрату. Для забезпечення герметичності та ефективної подачі вакууму сектори ущільнено монтуються в гнізда із застосуванням штифтових або замкових з'єднань.

Порожнистий вал служить не лише опорною, але й функціональною частиною — через нього здійснюється розподіл вакууму до кожного сектора та виведення фільтрату. Вал обертається разом із дисковим барабаном, забезпечуючи поступову зміну фаз фільтрації, промивання та осушування осаду.

Дисковий барабан складається з набору фільтрувальних дисків, змонтованих на спільному валу, який обертається у ванні з пульпою. Обертання дисків призводить до циклічного занурення та підйому фільтруючих елементів, внаслідок чого на їх поверхні утворюється осад фільтрації. Диски можуть мати фланцеві з'єднання з валом або бути складовими з окремих сегментів для

зручності технічного обслуговування.

Живильник пульпи забезпечує рівномірне надходження суспензії у ванну фільтра, підтримуючи постійний рівень рідини. Вакуумна система створює необхідне розрідження в порожнинах фільтрувальних секторів, що викликає всмоктування рідкої фази через фільтрувальну перегородку з одночасним утворенням шару осаду.

Механізм зняття осаду зазвичай виконується у вигляді ножових скребків або пневматичних виштовхувачів, які періодично відділяють зневоднений осад від поверхні секторів у момент їх виходу з робочої зони. Отриманий фільтрат виводиться із системи трубопроводами, розподіленими по секторах, із застосуванням розподільчого крана або валика.

Привідна система складається з електродвигуна, редуктора та передачі (зубчастої або пасової), які забезпечують стабільне обертання дискового барабана з заданою швидкістю. У випадках автоматизованих фільтрів система керування додатково містить датчики тиску, рівня пульпи та регулятори швидкості.

Конструкція фільтра передбачає можливість швидкого демонтажу фільтруючих елементів, що суттєво спрощує обслуговування та заміну зношених тканин або секторів. Модернізація кріплення секторів до порожнистого вала дозволяє підвищити надійність вузла, зменшити втрати вакууму та знизити ризики розгерметизації.

Вміст твердого в суспензіях флотаційного концентрату складає у середньому 200 – 450 кг/м³ , незбагаченого шламу – 250 – 450 кг/м³ . Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. Під дією 61 вакууму вода проходить крізь отвори фільтрувальної тканини і осад, потрапляє через відповідні канали валу в розподільну головку і далі у ресивер.

При виході з пульпи сектори входять у зону просушування, де вода з осаду витісняється повітрям. В «мертвих» зонах здійснюється зміна вакууму на стиснене повітря або навпаки. У зоні віддувки осад відділяється від

фільтрувальної тканини стисненим повітрям і шкребками, а також в цій зоні тканина продувається повітрям і готується до наступного циклу фільтрування.

4 ЛІТЕРАТУРНО ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД МОДЕРНІЗАЦІЇ

4.1 Огляд існуючих рішень

У процесі роботи над проектом проводився пошук патентів для дискового вакуум фільтру. Були розглянуті декілька варіантів. Спосіб опрацювання етапу патентного пошуку взято з навчального посібника [4].

Патент CN220572851U [5] розглядає вакуумний фільтр (Рисунок 4.1), що використовує розрідження як основну рушійну силу для розділення твердих і рідких компонентів. Завдяки вакууму, що створює від'ємний тиск (0,04-0,07 МПа), рідка частина суспензії витягується крізь фільтрувальний матеріал (тканину), а тверді частинки затримуються ним, досягаючи таким чином розділення. Його фільтруючі ділянки розташовані вздовж горизонтальної осі й можуть безперервно здійснювати фільтрування, промивання, сушіння та регенерацію фільтрувальної тканини.

Фільтр вирізняється високою ефективністю фільтрування, значною продуктивністю, ефективним промиванням, низьким рівнем вологості у фільтраційному осаді, гнучкістю в експлуатації та мінімальними витратами на обслуговування.

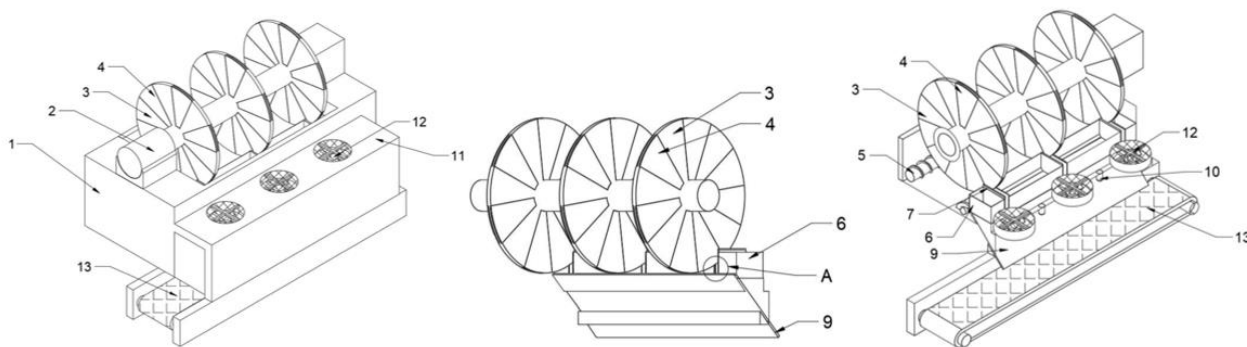


Рисунок 4.1 - 1. Основний корпус фільтра; 2. Двигун; 3. Фільтрувальна пластина; 4. Жолоб для вивантаження фільтраційного осаду; 5. Змішувач; 6. Жолоб для подачі фільтраційного осаду; 7. Скребок; 8. Щітка; 9. Вивантажувальна дошка; 10. Насос; 11. Захисна оболонка; 12. Вентилятор; 13. Конвеєрна стрічка

Наступний патент пропонує конструкцію фільтру з модернізацією процесу фільтрування шляхом доданку додаткового етапу етапу фільтрації з використанням вібраційних технологій.

Дисковий вакуумний фільтр – це механізм, що розділяє тверді частки від рідини у суспензії, застосовуючи вакуум як рушійну силу. Суспензія у шламовому баці створює перепад тиску з обох боків фільтруючого елемента фільтрувального диска дискового вакуумного фільтра завдяки вакуумному насосу. Такий тиск сприяє адсорбції твердих часток із суспензії на фільтруючому середовищі, утворюючи фільтраційний осад. Під час обертання фільтрувального диска, осад, що утворився на фільтрувальному середовищі, виходить з рідини та продовжує зневоднюватись під впливом вакууму. Розвантаження відбувається шляхом зворотної продувки у зоні розвантаження диска, що дозволяє осаду зійти з диска та потрапити через нижній жолоб для руди на стрічковий конвеєр, що розташований під фільтром.

Як приклад, у вже відомому технічному рівні, китайська патентна заявка № CN116943321A [6] описує дисковий вакуумний фільтр, обладнаний вібраційним пристроєм, завдяки якому залишковий осад на фільтрувальному диску ефективніше потрапляє у зону розвантаження під дією вібрації. Це зменшує вплив надмірного залишку осаду на ефективність фільтрації, а також вплив його на накопичення та, відповідно, на швидкість обертання диска, що зрештою збільшує ефективність фільтрації загалом (Рис.1.4.2.)

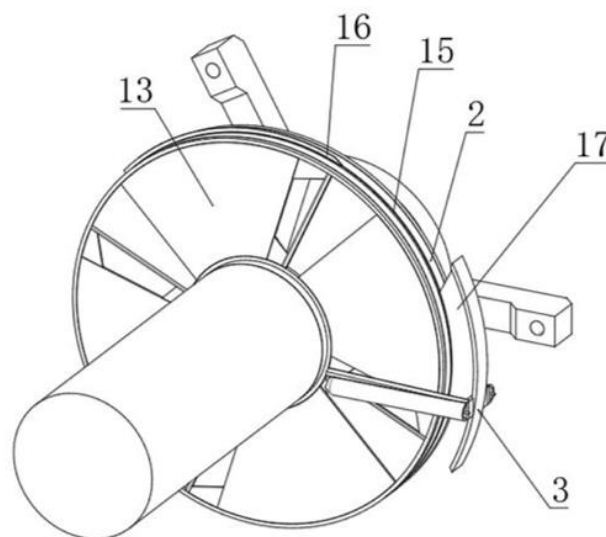


Рисунок 1.4.2.- 2. Фільтруючий сектор; 3. Вузол скребкового стрижня; 13. Зовнішня поверхня фільтра; 15. Канавка кільця; 16. Планка повітряної подушки; 17. Пресувальний блок.

Винахід описує вдосконалений дисковий вакуумний фільтр, сконструйований для вирішення проблеми зниження ефективності фільтрації через накопичення в'язкого осаду на поверхні фільтрувальних дисків. Основними компонентами конструкції є фіксована рама з каналом для рідини, фільтрувальні диски, закріплені на обертовому з'єднувальному валу, і скребкові стрижні, розташовані по обидва боки дисків, що забезпечують одночасне очищення обох поверхонь.

Фільтрувальні поверхні можуть регулюватися щодо скребків, що дає змогу контролювати інтенсивність очищення. Ударні елементи, такі як ударні планки та головки, активуються під час обертання, що сприяє ефективному видаленню залишків фільтрувального осаду. Додатково передбачено опуклі смужки на фільтрувальній поверхні, які стискаються повітряними мішками для кращого контакту зі скребками. Фільтрувальні блоки виконані знімними та з'єднані між собою за допомогою спеціальних сендвіч-шарів та затискачів що полегшує технічне обслуговування. Для герметизації з'єднання між внутрішньою поверхнею та зовнішніми блоками передбачено розширювальне кільце.

Завдяки такій конструкції зменшується ймовірність налипання осаду, покращується очищення мікропористої структури дисків, знижується потреба у хімічному промиванні.

У наступному розглянутому варіанті вирішується питання забруднення. З посиленням екологічних вимог та пильним наглядом за обмеженням викидів газів і пилу. Отже, є потреба у додатковому оснащенні та модернізації промивного обладнання, аби скоротити енергоспоживання вапняної печі. Необхідно вдосконалити здатність фільтру білого шламу продукувати його.

Враховуючи проблему, що фільтрат, який утворюється на фільтрувальному диску у відомих технологіях, стікає в резервуар для збору фільтрату під впливом гравітації, камера фільтрувального диску в цей момент не має необхідного вакууму, що негативно впливає на продуктивність та

ступінь сухості білого шламу.

Описується удосконалений вакуумний дисковий фільтр CN209917418U [7], що оптимізує зневоднення білого шламу та зменшує вміст луку. Це критично важливо для дотримання екологічних стандартів та зменшення навантаження на вапняну піч. Існуючі конструкції фільтрів мали систему самопливного стікання фільтрату, що негативно позначалося на вакуумі у фільтрувальній камері, ускладнюючи формування осаду та зменшуючи його сухість.

У новій конструкції (Рисунок 4.2) передбачено наявність порожнистої камери в центральній осі, з'єднаної з баком для збору фільтрату. Всередині розміщені спеціальні труби, які через отвори на бічній поверхні вала виводять фільтрат з фільтрувальних дисків. З метою покращення вакуумного ефекту, встановлено дефлектор з вигнутою формою, котрий спрямовує фільтрат до резервуара. Кут між елементами дефлектора ($130-150^\circ$, найоптимальніше 135°) запобігає блокуванню фільтраційного отвору.

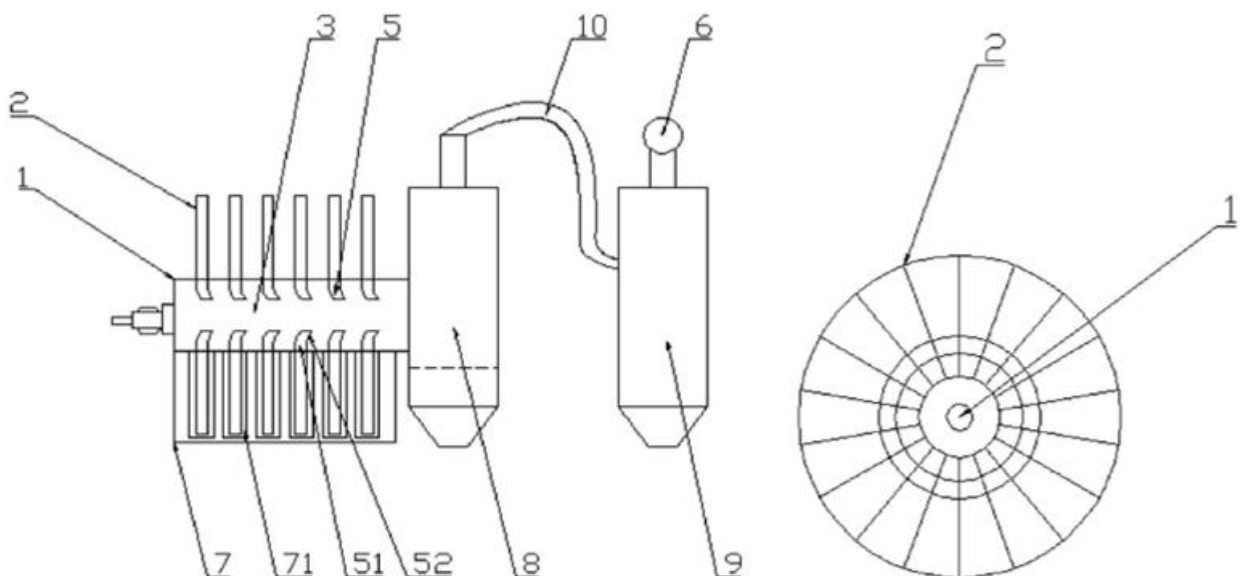


Рисунок 4.2 .- 1. Центральна вісь; 2. Фільтрувальний диск; 3. Порожниста камера; 5. Дефлектор; 6. Вакуумний насос; 7. Бак; 8. Бак для збору фільтрату; 9. Конденсатор високого рівня; 10. Вентиляційна трубка; 51. Вертикальна частина; 52. Згинальна частина; 71.Одинарний

фільтрувальний бак.

Вихідний кінець дефлектора розміщено вище рівня рідини у камері, що виключає можливість потрапляння відфільтрованої рідини назад на диск. Фільтрувальні диски складаються з окремих віялоподібних елементів, обладнаних сіткою для підвищення ефективності фільтрації. Отвори для зливу фільтрату розміщені у місцях з'єднання елементів з валом.

Привід реалізовано за допомогою двигуна та редуктора. Корпус має жолобчасту конструкцію з окремими резервуарами для кожного диска, забезпечуючи їх повне занурення у фільтраційну рідину.

У реальному робочому циклі, кожен фільтрувальний диск 2 складається з індивідуального віялоподібного фільтрувального аркуша. Кожен такий аркуш є окремим фільтраційним блоком. Фільтрувальний мішок виготовляється з фільтрувальної сітки, а фільтрувальна камера формується на віялоподібному аркуші. Відфільтрована рідина подається в віялоподібний фільтрувальний диск з фільтрувального резервуару 71. Вакуумний насос 6 працює, створюючи вакуум у порожнистій камері 3 всередині центрального вала 1. Центральний вал 1 приводиться в дію двигуном через редуктор, внаслідок чого фільтрувальний диск 2 обертається за годинниковою стрілкою. В зоні адсорбції частинок білого бруду у фільтрувальній камері використовується вакуумний насос для забезпечення різниці тисків з обох боків фільтруючого матеріалу, що призводить до прилипання частинок до фільтрувального диску та формування фільтрувального осаду.

Після того, як фільтрувальний осад виходить з рідини, він продовжує зневоднюватись під дією вакууму, а фільтрат проходить крізь нього. Попередньо нагромаджений шар фільтрувального осаду разом із фільтрувальним мішком викидається через фільтраційну трубу. В цей час осад знімається національним скребком, а вивантажений матеріал скидається в резервуар для шламу. Весь процес відбувається циклічно безперервно.

4.2 Обґрунтування запропонованої модернізації

Зміст корисної моделі обраної модернізації на основі патенту CN201470211U [8]. Метою корисної моделі є створення фільтрувального сектору дискового вакуумного фільтра, для запобігання забивання фільтрувальних дисків та полегшити їх очищення.

Для досягнення зазначеної вище мети, запропоновано наступне рішення: дисковий вакуумний фільтр складається зі спеченої пластини, виготовленої з декількох шарів спеченої металевої дрітної сітки, внутрішньої рами та з'єднувача. Дві Зварені пластини закріплюються з обох боків внутрішньої рами та зварюються, утворюючи порожнисту віялоподібну фільтрувальний сектор.

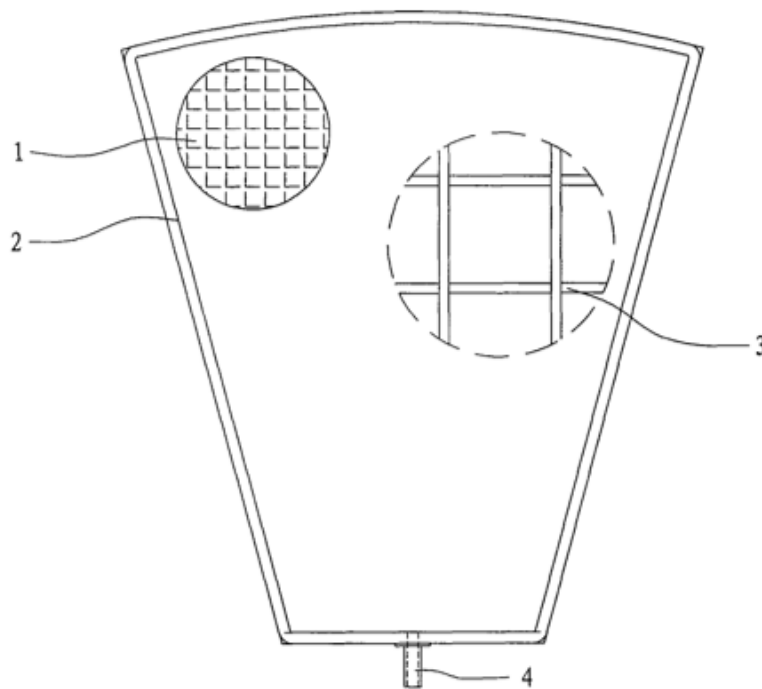


Рисунок 4.3 - 1 Спеченоа пластина; 2 Крайове кільце; 3 Внутрішня рама; 4 З'єднання;

Після прийняття вищезазначеної конструкції, корисна модель використовує зварену металеву дрітну як фільтрувальний матеріал, тим самим усуваючи проблему швидкого засмічення та труднощів з очищенням, які існують у звичайних фільтрах. Крім того, завдяки застосуванню зварної конструкції з металевого матеріалу підвищується термостійкість.

Модернізація вакуумного дискового фільтра, що спирається на технічне рішення з патенту CN201470211U, виправдана як з погляду технологічної реалізованості, так і з позиції економічної вигоди та ергономічного покращення системи обробки шламу.

Така інтенсифікація фільтрації, не вимагаючи додаткового споживання енергії на осушення, дає змогу суттєво знизити енерговитрати вапняної печі, завдяки зменшенню кількості вологи, яку потрібно випаровувати при кальцинації. Згідно з розрахунками, економія енергоресурсу в межах одного виробництва може становити до 8–12 % від річного споживання палива печі, що еквівалентно приблизно 180–240 МВт·год/рік. Беручи до уваги поточні ринкові ціни на енергоносії, це забезпечує значну фінансову вигоду при порівняно низькій вартості впровадження модернізованого фільтра. Крім того, конструктивне вдосконалення не потребує значних змін наявної інфраструктури фільтраційної станції, а модульна структура елементів сприяє зниженню трудомісткості обслуговування та підвищенню надійності системи.

Ергономічні переваги виявляються у зменшенні потреби втручання обслуговуючого персоналу в процес промивання або прочищення каналів від фільтрату, що зменшує ризики аварійних ситуацій та забезпечує стабільність роботи в довготривалому циклі. Загалом, модернізація, заснована на рішенні CN201470211U, демонструє високий рівень адаптивності до умов енергоощадного, екологічно безпечного та технологічно досконалого виробництва

5 РОЗРАХУНКИ

5.1 Розрахунки параметрів дискового вакуум-фільтра

Згідно з технічним завданням наведені дані для розрахунку за методикою :

Умовний об'єм фільтрату на 1м² площі фільтрування, $V_0 = 3,68 \text{ м}^3/\text{м}^2$;

Кут сектора «мертвої» зони, $\varphi_{mr} = 34^\circ$;

Кількість дисків $i = 4$;

Радіус меж поверхні фільтра, м:

зовнішньої, $r = 1,1$;

внутрішньої $r_0 = 0,35$;

Відстань від осі диска до рівня суспензії, м, $h = 0,13$;

Частота обертання диска 1/с, $n = 2,5 \cdot 10^{-3}$;

Стала фільтрації хв/м², $b_1 = 56 \cdot 10^2$;

Загальна площа поверхні фільтрації м², $F_0 = 49$;

Концентрація вихідного сухого матеріалу кг/м³, $C_1 = 0,28$;

Концентрація сухої речовини в осаді кг/м³, $C_2 = 0,56$;

Об'ємна маса фільтрату кг/м³, $\rho_\phi = 1,3 \cdot 10^3$;

Об'ємна маса сухого залишку кг/м³, $\rho_c = 2,6 \cdot 10^3$;

Тиск промивання Па, $P_{пр} = 3,2 \cdot 10^5$;

Питомий опір осаду:

$$r_m = \dot{r}_m (0,1P)^S = 8,4 \cdot 10^7 \cdot (0,1 \cdot 3,2 \cdot 10^5)^{0,7} = 1,196 \cdot 10^7 \text{ кг/м}$$

Густина вологого осаду:

$$\rho_0 = \frac{1}{\frac{C_2}{\rho_c} + \frac{1 - C_2}{\rho_\phi}} = \frac{1}{\frac{0,56}{2,6 \cdot 10^3} + \frac{1 - 0,56}{1,3 \cdot 10^3}} = 1805,6 \text{ кг/м}^3$$

Густина вологого осаду у процесі гідрометалургії цинку зазвичай становить 1805 кг/м³

Маса твердої фази, що відкладає на фільтрі 1 м^2 суспензії:

$$c = \frac{\rho_{\phi}}{\frac{1}{C_1} - \frac{1}{C_2}} = \frac{1,3 \cdot 10^3}{\frac{1}{0,28} - \frac{1}{0,56}} = 728 \text{ кг}$$

Кут занурення фільтрувального диску:

$$\varphi = 2 \arccos \frac{h}{2} = 2 \arccos \frac{0,13}{2} = 174^\circ$$

Повна продуктивність фільтра:

$$\begin{aligned} Q &= 120\pi n(r^2 - r_0^2) \sqrt{\left(V^2 - \frac{180 - \varphi_{mr}}{360nb_160} - V\right)} \\ &= 120 \cdot 3,14 \cdot 4 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot (1,1^2 - 0,35^2) \\ &\cdot \sqrt{\left(3,68^2 - \frac{180 - 34}{360 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3} \cdot 56 \cdot 10^2 \cdot 60} - 3,68\right)} = 12,87 \text{ м}^3/\text{хв} \end{aligned}$$

5.2 Розрахунок параметрів на ПЕОМ

Даний блок розрахунків був виконаний за допомогою використання ПЕОМ, а саме мови програмування C++.

Мова програмування C++ є ефективним інструментом для створення обчислювальних алгоритмів, які використовуються в інженерних розрахунках, зокрема в задачах механіки деформованого тіла та опору матеріалів. У рамках дипломного проєкту алгоритмічні принципи, властиві C++, застосовані для створення власної програми з обчислення. Це дозволило автоматизувати частину аналітичних перевірок для порівняння числових результатів. Лістинг коду наведений в Додатку В.

Далі наведено вигляд формул, що використовувалися для знаходження Повної потужності електродвигуна, та складових необхідних для її пошуку.

Повна потужність електродвигуна, кВт:

$$N = 1150 \sum \frac{M_i n}{\eta_y} = 1150 \cdot \frac{13442,73 \cdot 2,5 \cdot 10^{-3}}{0,81} = 47,713 \text{ кВт}$$

Де $\sum M_i$ – сума моментів опору, Н*м;

η_y – ККД урухомника

$$\eta_y = \eta_{дв} \cdot \eta_{к\lambda\pi} \cdot \eta_{ред} \cdot \eta_{зп} = 0,87 \cdot 0,96 \cdot 0,987 \cdot 0,99 = 0,81$$

$$\sum M_i = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5$$

Де M_1 - момент опору, що виникає внаслідок незрівноваженості шару осаду під час обертання дисків, Н*м:

$$M_1 = 0,187 i \rho_0 h_2 (D^3 - d^3) g = \\ 0,187 \cdot 4 \cdot 1,81 \cdot 10^3 \cdot 0,13 \cdot (2,2^3 - 0,7^3) \cdot 9,8 = 17774,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору зрізу осаду, Н*м:

$$M_2 = 0,6 f i K h_2 \frac{(D^3 - d^3)}{D + d} = 0,6 \cdot 0,1 \cdot 4 \cdot 700 \cdot 0,13 \cdot \frac{(2,2^3 - 0,7^3)}{2,2 + 0,7} = 77,61 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

де: f – коефіцієнт тертя металу об осад, $f=0,1$

K – питомий опір зрізанню осаду, $K = 700 \text{ Н/м}^2$

Момент опору тертю дисків об суспензію:

$$M_3 = 0,02 \cdot M_2 = 0,02 \cdot 77,61 = 1,55 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору тертю вала фільтра об розподільчу головку, Н*м:

$$M_4 = \frac{1}{3} z f P \frac{d_2^3 - d_3^3}{d_2^2 - d_3^2} = \frac{1}{3} \cdot 2 \cdot 10^3 \cdot 0,1 \cdot 0,06 \cdot \frac{0,46^3 - 0,24^3}{0,46^2 - 0,24^2} = 2,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Момент опору тертю в підшипниках вала ,Н:

$$M_5 = \mu G \frac{d_{ш}}{2} = 0,1 \cdot 9200 \cdot \frac{0,44}{2} = 202,4 \text{ Н},$$

де μ – коефіцієнт тертя, $\mu = 0,1$;

G – маса вала з дисками й осадом, кг;

Сумарний момент опору:

$$\sum M_i = M_1 + M_2 + M_3 + M_4 + M_5 =$$
$$17774,5 + 77,61 + 1,55 + 2,17 + 202,4 = 18058,2 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

5.3 Розрахунки кінематичних характеристик вакуум-фільтра

Вибираємо двигун АІР71В8:

$$P_{дв} = 0,25 \text{ кВт}$$

$$n_{дв} = 750 \text{ об/хв}$$

Визначаємо фактичне передавальне відношення:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{\phi}} = \frac{750}{0,09} = 8333$$

$$n_{\phi} = 1,5 \cdot 10^{-3} \cdot 60 = 0,09 \text{ об/хв}$$

n_{ϕ} - швидкість обертання коміркового валу фільтра

Визначаємо передаточне відношення. Загальне передаточне відношення:

$$i = i_{кп} \cdot i_p \cdot i_{зп} = 7667$$

$i_{кп}$ - передаточне відношення клинопасової передачі. Приймаємо $i_{кп} = 6$

$i_p = 125$ - передаточне відношення триступінчастого редуктора

$$i_{зп} = 10,22 - \text{передаточне відношення відкритої зубчатої передачі}$$

$$i = 6 \cdot 125 \cdot 10,22 = 7667$$

Проведемо розбивку передаточного відношення триступінчатого редуктора.

Передаточне число другого проміжного ступеня визначається за формулою:

$$i_2 = \sqrt[3]{i_p} = \sqrt[3]{125} = 5$$

$$i_1 \cdot i_3 = \frac{i_p}{i_1} = \frac{125}{6,25} = 20$$

Передаточне число швидкохідного ступеня:

$$i_1 = 1,2 \sqrt{i_1 \cdot i_3} = 1,2 \sqrt{25} = 6,25$$

Передаточне відношення тихохідного ступеня:

$$i_u = \frac{i_1 \cdot i_3}{i_1} = \frac{25}{6,25} = 6$$

$$\omega_1 = \frac{\pi n_{дв}}{30} = \frac{3,14 \cdot 750}{30} = 78,54 \text{ c}^{-1}$$

$$n_1 = n_{дв} = 750 \text{ об/хв}$$

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_u} = \frac{78,54}{6} = 13,09 \text{ c}^{-1}$$

$$n_2 = \frac{n_1}{i_u} = \frac{750}{6} = 125 \text{ об/хв}$$

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{i_p} = \frac{13,09}{125} = 0,1047 \text{ c}^{-1}$$

$$n_3 = \frac{n_2}{i_p} = \frac{125}{125} = 1 \text{ об/хв}$$

$$\omega_4 = \frac{\omega_3}{i_4} = \frac{0,1047}{10,22} = 0,0103 \text{ с}^{-1}$$

$$n_4 = \frac{n_3}{i_q} = \frac{1}{10,22} = 0,098 \text{ об/хв}$$

Крутний момент на валу двигуна:

$$T_d = 9550 \frac{P_{дв}}{n_{дв}} = 9550 \frac{0,25}{750} = 3,18 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на тихохідному валу клинопасової передачі:

$$T_2 = T_d \cdot i_{кп} \cdot \eta_p \cdot \eta_d = 3,18 \cdot 6 \cdot 1 \cdot 0,75 = 14,31 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на тихохідному валу триступінчатого редуктора:

$$T_3 = T_2 \cdot i_p \cdot \eta_p = 14,31 \cdot 125 \cdot 1 = 1788,75 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Крутний момент на комірковому валу:

$$T_4 = T_3 \cdot i_{зп} \cdot \eta_{зп} = 1788,75 \cdot 10,22 \cdot 0,95 = 17367 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Результати розрахунків кінематичних характеристик вакуум-фільтра (Таблиця 5.1).

Таблиця 5.1 – Результати розрахунків кінематичних характеристик вакуум-фільтра

Параметр	Позначення	Вали			
		I	II	III	IV
Передача (двигун)		Двигун	Клинопасова	Триступінчатий редуктор	Відкрита зубчата передача
ККД	η	0,87	0,96	0,97	0,95
Передаточне відношення	i		6,25	125	10,22
Кутова швидкість, c^{-1}	ω	78,54	13,09	0,1047	0,0103
Кількість обертів, об/хв.	n	750	125	1	0,098
Момент, Н*м	T	3,18	14,31	1788,75	17367

5.4 Розрахунки кінематичних характеристик мішалки

При корисній потужності на валу мішалки $P_{\text{кор}}=1,5$ кВт потужність двигуна:

$$P_d = \frac{\frac{P_{\text{кор}}}{\eta_p \cdot \eta_{\text{лп}}}}{\eta} = 1,97 \text{ кВт}$$

$\eta = 0,81$ – ККД двигуна;

$\eta_p = 0,97$ - ККД одноступінчатого редуктора;

$\eta_{\text{лп}} = 0,97$ - ККД ланцюгової передачі.

Обрано двигун 4А80В2112МА8 з потужністю $P_d = 2,2$ кВт та синхронною швидкістю $n_0 = 750$ об/хв. $s = 6\%$, $n_d n_0 \cdot 750 \cdot (1 - 0,06) = 705$ об/хв.

Визначено фактичне передаточне відношення:

$$i = \frac{n_d}{n_m} = \frac{705}{68} = 10,4$$

$$i = i_p \cdot i_{\text{лп}} = 10,4$$

i_p - передаточне відношення редуктора;

$$i_p = 4$$

$i_{\text{лп}}$ - передаточне відношення ланцюгової передачі.

$$i_{\text{лп}} = 2,6$$

Зробимо розбивку передаточного відношення:

Кутова швидкість швидкохідного вала редуктора:

$$\omega_1 = \frac{\pi n_d}{30} = \frac{3,14 \cdot 705}{30} = 73,79 \text{ с}^{-1}$$

Кількість обертів швидкохідного вала редуктора:

$$n_1 = n_d = 705 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість тихохідного вала редуктора:

$$\omega_2 = \frac{\omega_1}{i_p} = \frac{73,79}{4} = 18,45 \text{ с}^{-1}$$

Кількість обертів тихохідного вала редуктора:

$$n_2 = \frac{n_1}{i_p} = \frac{705}{4} = 176,25 \text{ об/хв}$$

Кутова швидкість вала мішалки:

$$\omega_3 = \frac{\omega_2}{i_{\text{лп}}} = \frac{18,45}{2,6} = 7,1 \text{ с}^{-1}$$

Кількість обертів вала мішалки:

$$n_3 = \frac{n_2}{i_{\text{лп}}} = \frac{176,25}{2,6} = 68 \text{ об/хв}$$

5.4 Розрахунок на міцність фільтруючого сектору за допомогою програмного пакету «ANSYS»

Опис програмного пакету «ANSYS»

У рамках даної дипломної роботи проведено комплекс числових розрахунків для дослідження напружено-деформованого стану модернізованої конструкції фільтруючого сектору дискового вакуумного фільтра, який використовується в процесі гідрометалургії цинку. Розрахунки виконано із застосуванням сучасного інженерного програмного забезпечення ANSYS Mechanical 2025 (Workbench середовище) для проведення скінченно-елементного аналізу.

Версія ANSYS 2025 характеризується розширеними можливостями для багатоцільового інженерного аналізу, зокрема значно покращено обчислювальну ефективність, оптимізовано архітектуру багатоядерних і графічних обчислень (GPU), інтегровано підтримку AI-модулів для попереднього аналізу результатів. Покращено роботу з великогабаритними моделями, включено нові засоби моделювання адаптивної сітки та управління нелінійними процесами у складних геометричних середовищах.

Програмний пакет ANSYS (Analysis System) — один з найбільш поширених та функціонально насичених інструментів для комп'ютерного інженерного аналізу, що застосовується для моделювання фізичних процесів у механіці деформівного твердого тіла, гідродинаміці, термодинаміці, електромагнетизмі та суміжних галузях. Розробником системи є компанія ANSYS Inc., яка з 70-х років минулого століття невпинно вдосконалює архітектуру та функціональні можливості програмного комплексу, адаптуючи його під зростаючі потреби інженерної практики та наукових досліджень.

Ключовою рисою ANSYS є його модульна структура, котра забезпечує широкі можливості адаптації програмного середовища до конкретних задач користувача. Зокрема, система містить модулі для статичного та динамічного

аналізу конструкцій, теплопереносу, моделювання пружнопластичних і контактних задач, аналізу втоми матеріалів, розрахунку електромагнітних полів, моделювання течій рідин (CFD), а також задач багатооб'єктної оптимізації. Така гнучкість робить ANSYS незамінним у авіаційній, автомобільній, енергетичній, машинобудівній та електронній промисловості.

В структурі ANSYS особливе місце займає інтегроване середовище Workbench, що надає зручний графічний інтерфейс для побудови моделі, завдання граничних умов, параметричного дослідження та аналізу результатів. Workbench підтримує імпорт CAD-геометрії з провідних систем тривимірного моделювання (SolidWorks, CATIA, Siemens NX та ін.), а також забезпечує пряме параметричне пов'язання геометрії з результатами обчислень.

З точки зору інженерної практики, надзвичайно цінною є здатність ANSYS забезпечувати високу точність чисельного розв'язання задач на основі методу скінченних елементів (FEM). Програмний комплекс має вбудовану бібліотеку елементів різних типів (лінійних, площинних, об'ємних, спеціалізованих контактних та термоелектричних), що дає змогу адекватно апроксимувати поведінку матеріалів та конструкцій за складних навантажувальних схем.

Перевагою ANSYS також є розвинена система постпроцесингу, яка дозволяє візуалізувати результати обчислень у вигляді ізолій напружень, переміщень, температур, потоків, а також здійснювати подальшу обробку даних для статистичного або спектрального аналізу. Крім того, пакет підтримує автоматизацію обчислювального процесу за допомогою мови APDL (ANSYS Parametric Design Language), що суттєво розширює можливості при проведенні серійних розрахунків, оптимізації конструкцій або інтеграції з іншими програмними системами.

Отже, ANSYS виступає потужним інструментом для здійснення високоточних чисельних досліджень у багатьох інженерних дисциплінах. Його застосування дозволяє значно скоротити час на проєктування та випробування виробів, зменшити витрати на створення фізичних прототипів та підвищити

вірогідність технічних рішень.

Розрахунок на міцність несучого коміркового валу

На першому етапі у програмі SolidWorks було створено 3D-модель модернізованого сектору, конструкція якого базується на принципі зварної решітки з перехресних металевих прутків.

Побудова фільтрувального сектору складається з декількох етапів : головна рама ; перехресна решітка; посадковий вузол. Головним елементом є конструкція віялоподібної рами , що відповідає габаритним розмірам (Рисунок 5.1)

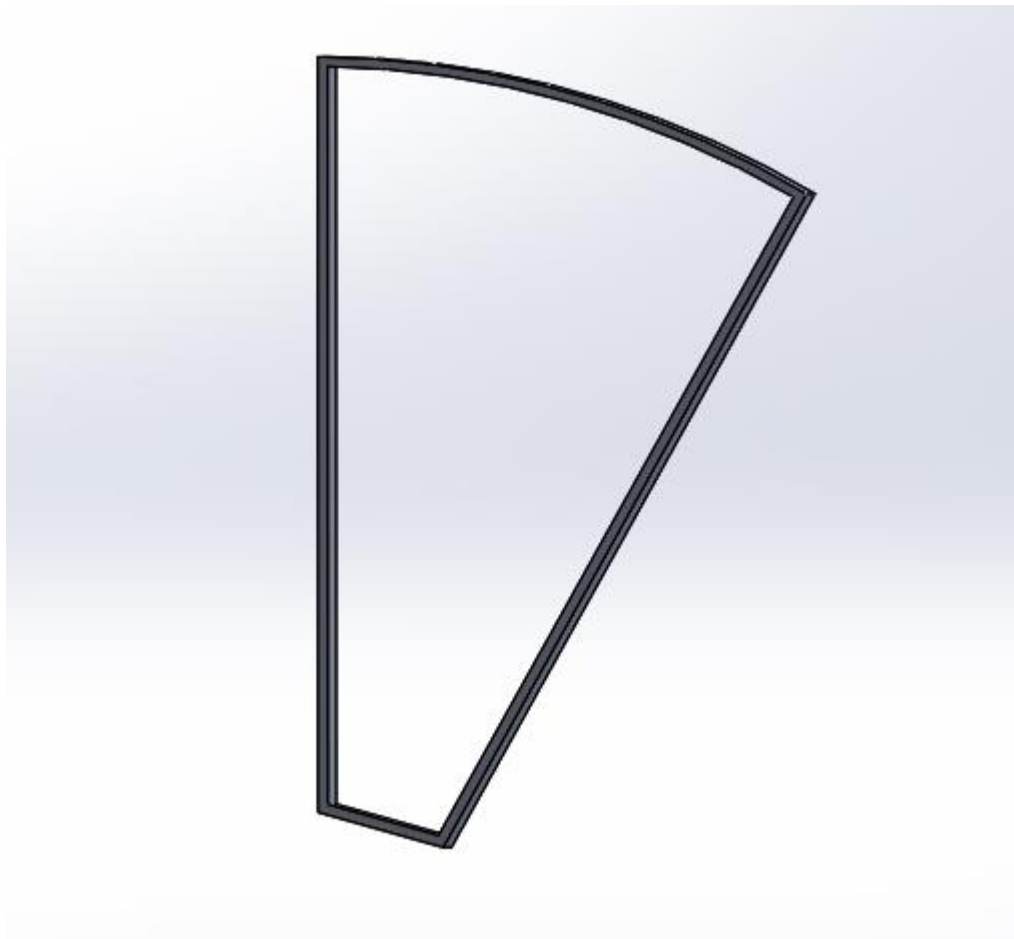


Рисунок 5.1 – Головна рамка фільтруючого сектору

На відміну від традиційного виконання у вигляді суцільного віялоподібного елемента, нова геометрія забезпечує зниження ваги конструкції, зменшення гідравлічного опору та покращення регенераційних властивостей. Для побудови моделі було використано базові операції моделювання твердих тіл: витягування основи (Boss-Extrude), вирізи.

Наступним кроком стала побудова внутрішньої сітки (Рисунок 5.2), (Рисунок 5.3). Шляхом багатократного застосування патернів (Linear Pattern) для створення решітчастої структури, досягалася оптимізація часу для виконання моделі.

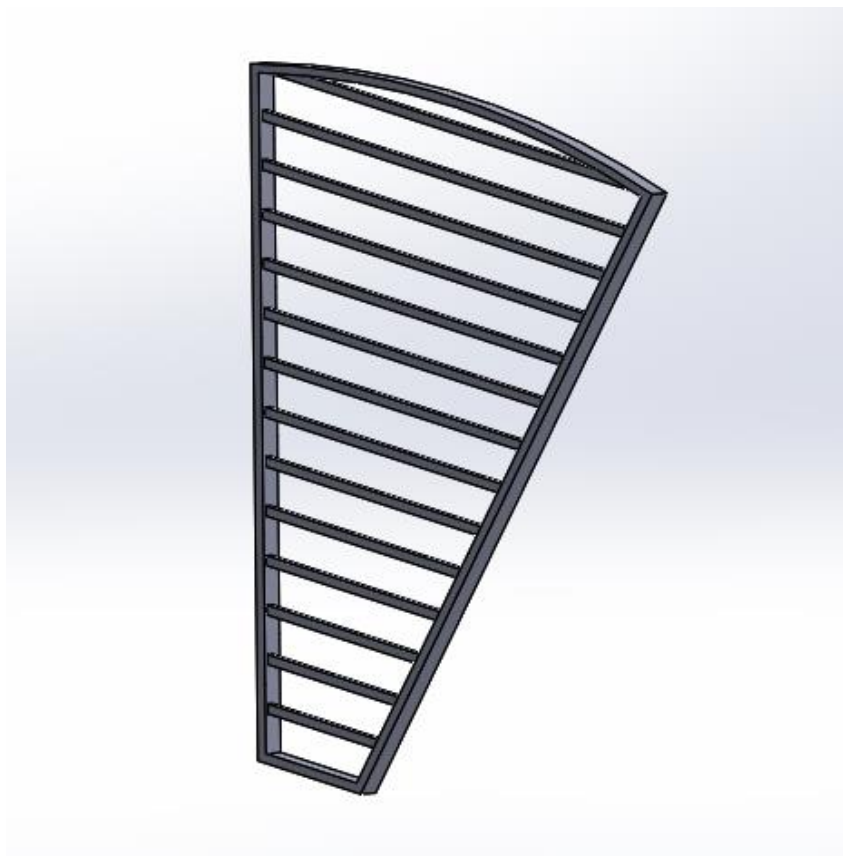


Рисунок 5.2 – Виконання поперчних ребер звареної сітки

Крок сітки був обраний шляхом підбору варіантів з врахування проблем пов'язаних з економічним аспектом. Том було обрано рішення обрати величину квадратів розмірами сторін 50 мм .

У процесі моделювання було враховано специфіку геометрії сектору, наявність поперчних і поздовжніх прутків, що утворюють зварну сітку. Для забезпечення достовірності результатів було виконано локальне уточнення сітки у зонах з максимальною градієнтністю напружень. Особливу увагу приділено моделюванню граничних умов, що імітують умови посадки сектору на порожнистий вал та дію пульпи під кутом. Це дозволило отримати фізично обґрунтовану картину розподілу навантаження по поверхні конструкції з

урахуванням анізотропії жорсткості, спричиненої розміщенням елементів сітки.

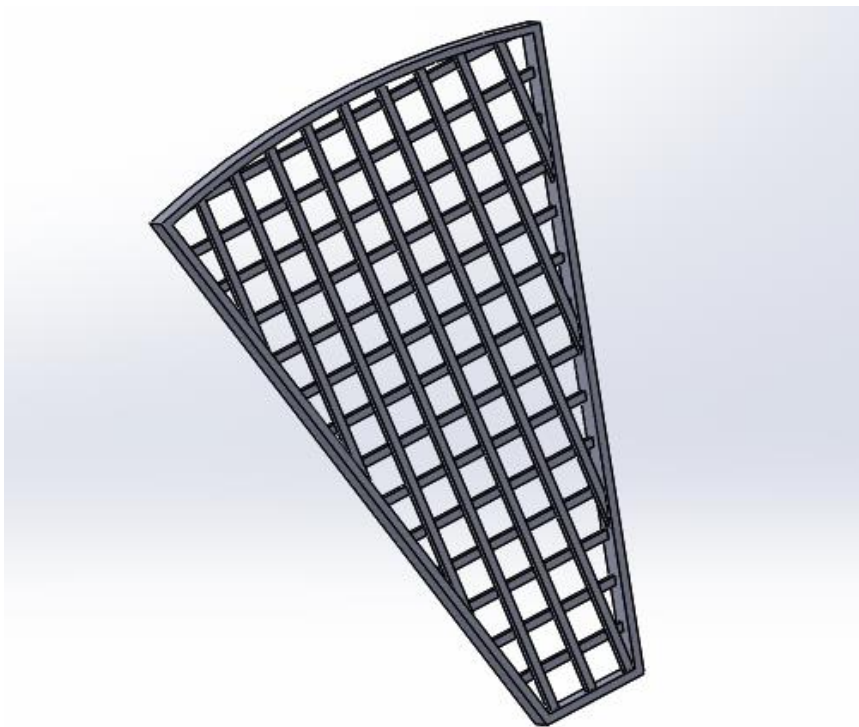


Рисунок 5.3– Виконання вертикальних ребер звареної сітки

Передзавершальним етапом у циклі проектування було змодельовано посадковий вузол (Рисунок 5.4), (Рисунок 5.5) що відповідає за з'єднання сектору з порожнистим валом, а також зони зварювання решітки (Рисунок 5.6).

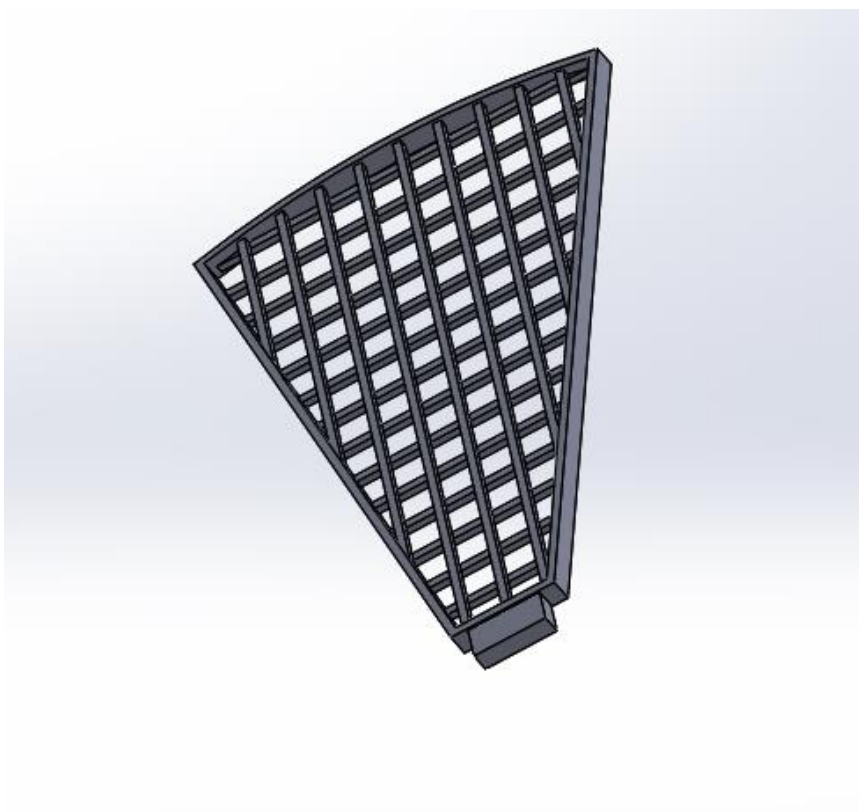


Рисунок 5.4 – Площадка для з'єднального кріплення сектору

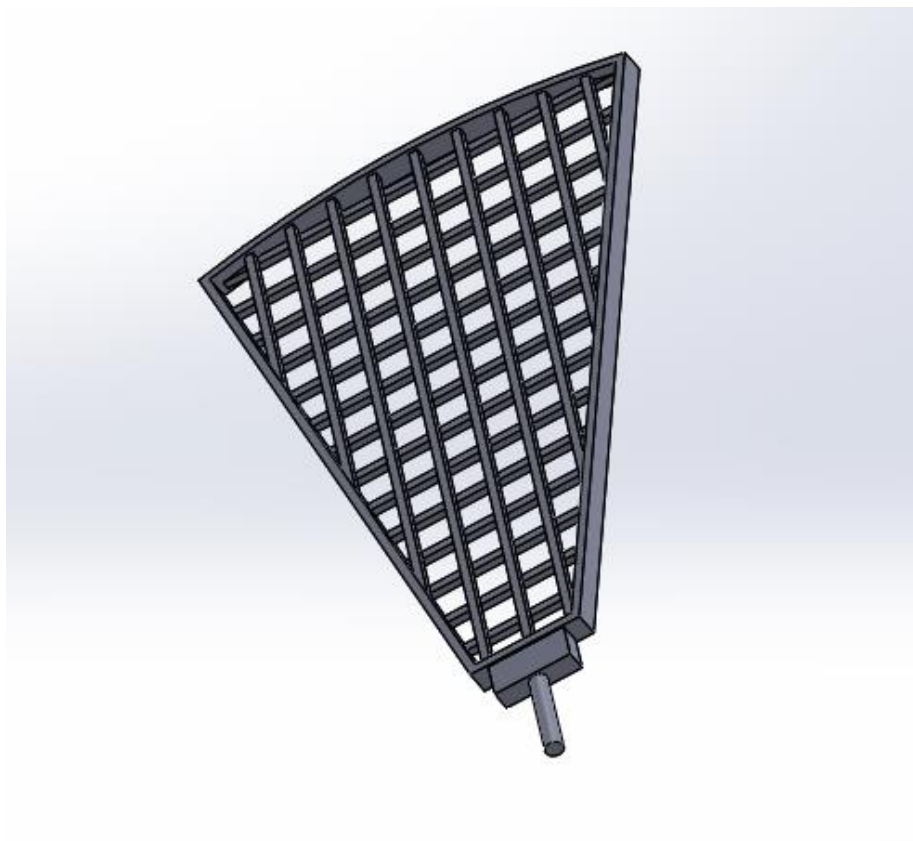


Рисунок 5.5 – Спрощена конструкція патрубкока на площадці вузла

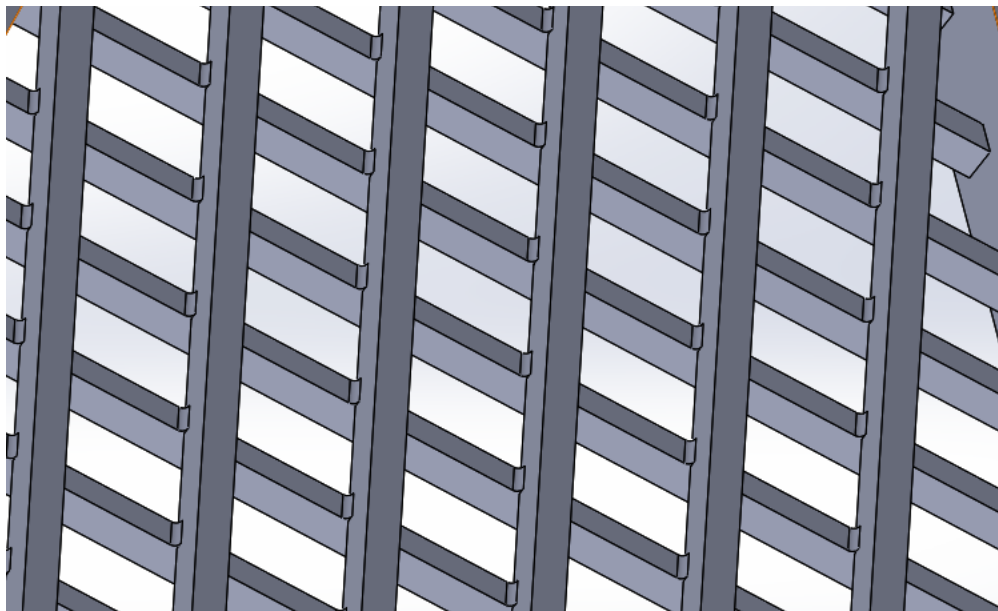


Рисунок 5.6 – Розміщення зварювальних з'єднань у місцях контакту ребер сітки

Після завершення побудови геометричної моделі, вона була експортована у формат .STEP та імпортована до середовища ANSYS Workbench 2025 для подальшого числового аналізу (Рисунок 5.7).

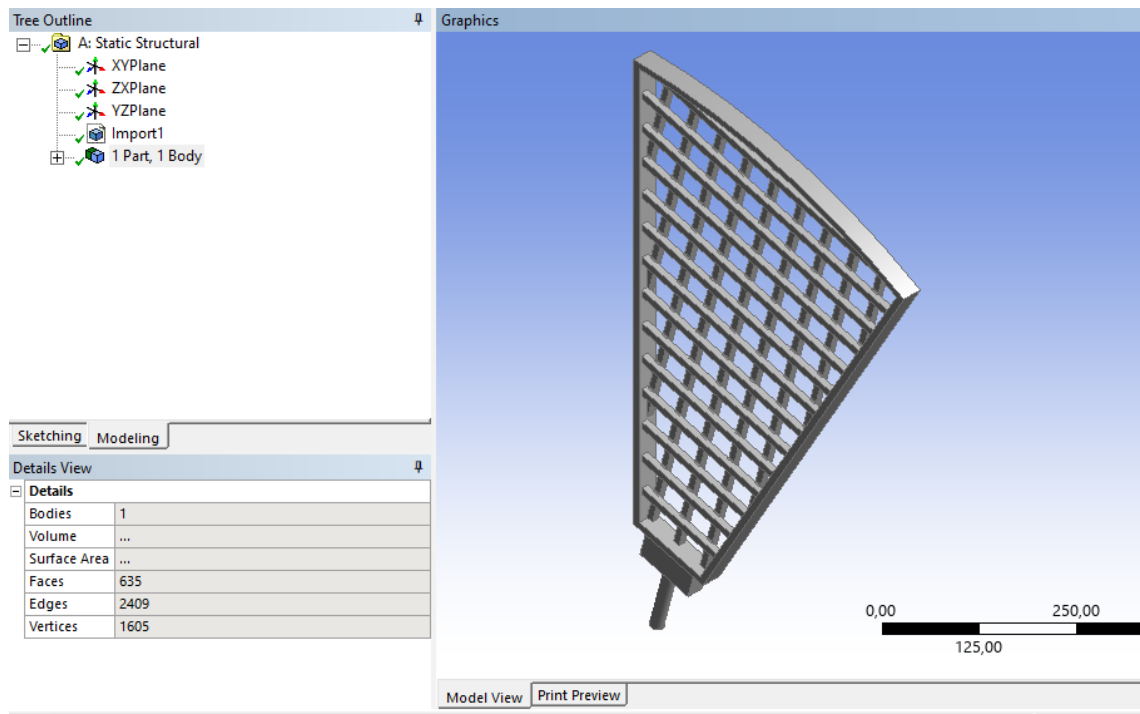


Рисунок 5.7 – Імпортована геометрія модернізованої конструкції сектору

У модулі Static Structural було виконано розбиття геометрії на кінцеві елементи. Вибрано елементи типу SOLID187, які забезпечують достатню точність при моделюванні пруткових та тонкостінних структур. Розмір сітки було підібрано шляхом адаптивного уточнення, з урахуванням густини елементів у місцях концентрації напружень — зокрема, в зоні основи сектору та на межах зварних з'єднань (Рисунок 5.8). Було виконано сітковий аналіз для забезпечення збіжності результатів.

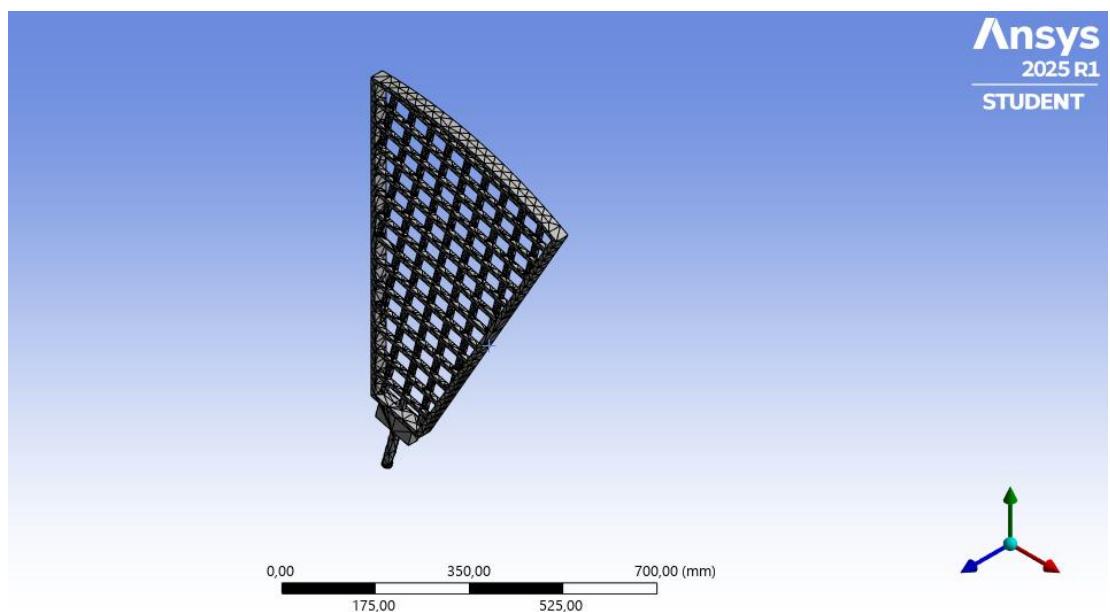


Рисунок 5.8 – Сітка математичної моделі у вікні Static Structural

В загальному вигляді моделі з прикладеними до неї реакціями закріплень, та тиску прикладеному до площин сітки та зовнішньої рамки, а саме у місцях контакту ділянок сектору з осадом фільтрату зображено на (Рисунок 5.9)

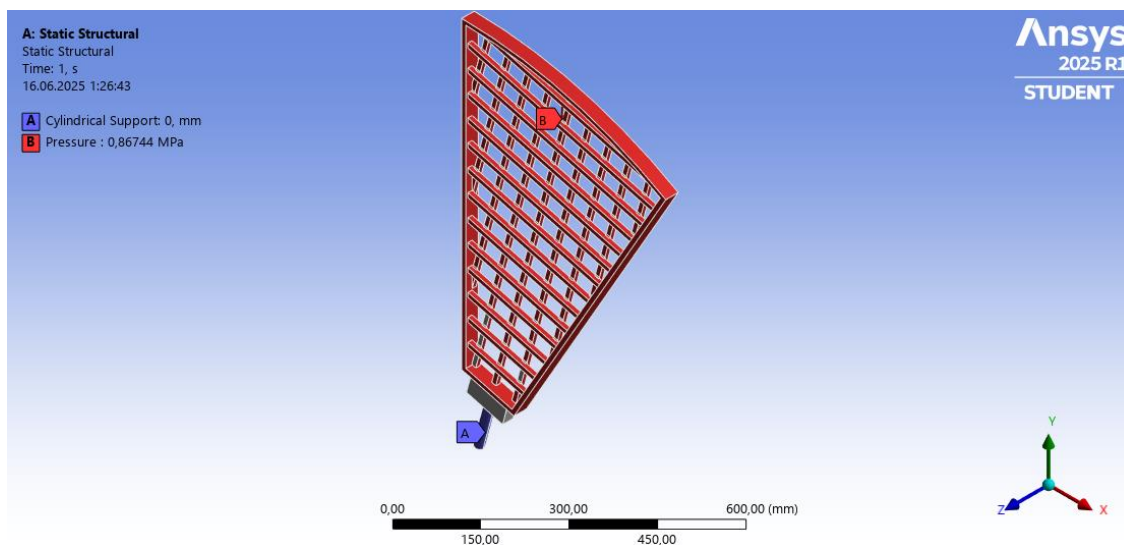


Рисунок 5.9 – Застосовані механічні компоненти

Для постановки граничних умов застосовано наступне: вузол посадки сектору на центральний вал змодельовано як «Cylindrical Support» (Рисунок 5.10), який обмежує радіальні та осьові переміщення, але допускає незначне обертання. На робочу фільтруючу поверхню (верхню площину решітки) було задано тиск величиною 0.2 МПа під кутом 30° до вертикалі імітуючи тиск осаду у умовах наближених до ідеальної роботи конструкції (Рисунок 5.11).

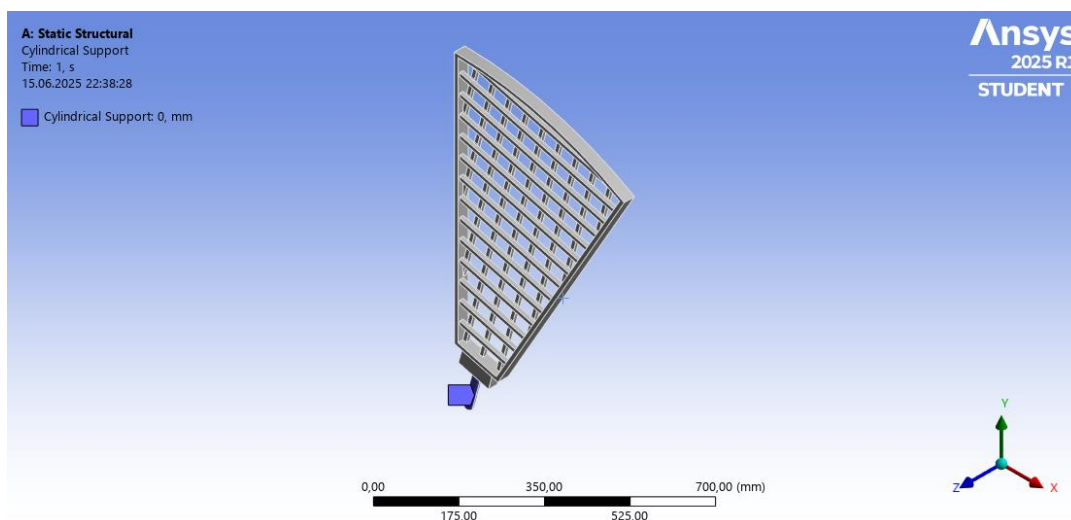


Рисунок 5.10 – Циліндрична поверхня конструкції місця приєднання сектору до пустотілого валу

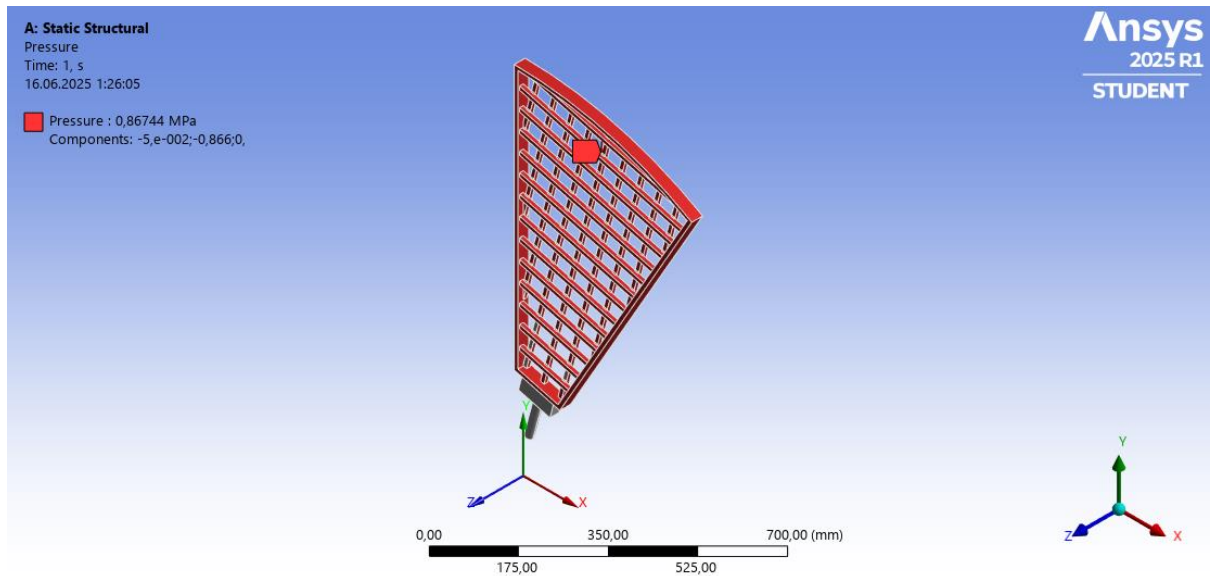


Рисунок 5.11 – Група поверхонь контакту з прикладеним тиском

Компоненти тиску визначались за допомогою тригонометричного розкладу:

$$P_y = P \cdot \cos(\theta) = 0,2 \cdot \cos(30^\circ) = 0,2 \cdot 0.866 \approx 0.173 \text{ МПа}$$

$$P_x = P \cdot \sin(\theta) = 0,2 \cdot \sin(30^\circ) = 0,2 \cdot 0.5 \approx 0.1 \text{ МПа}$$

Коефіцієнт термічного розширення був приведений до єдиної температури за умовами середовища — 22 °С. Всі необхідні попередження, пов'язані з температурною невідповідністю, було усунено шляхом корекції reference temperature в матеріальній карті.

Модуль пружності : $E = 2 \cdot 10^5 \text{ МПа}$

Коефіцієнт Пуассона : $\nu = 0,3$

Густина : $\rho = 7900 \text{ кг/м}^3$

Межа текучості : $\sigma = 240 \text{ МПа}$

Враховуючи дану інформацію було запущено обчислення математичної моделі. Результати розрахунку мають наступний вигляд.

Далі наведені результати числового моделювання проведених розрахунків , на прикладі градієнтного графічного моделювання дії реакцій. Де червоний колір відповідає максимальному значенню, а синій – мінімальному.

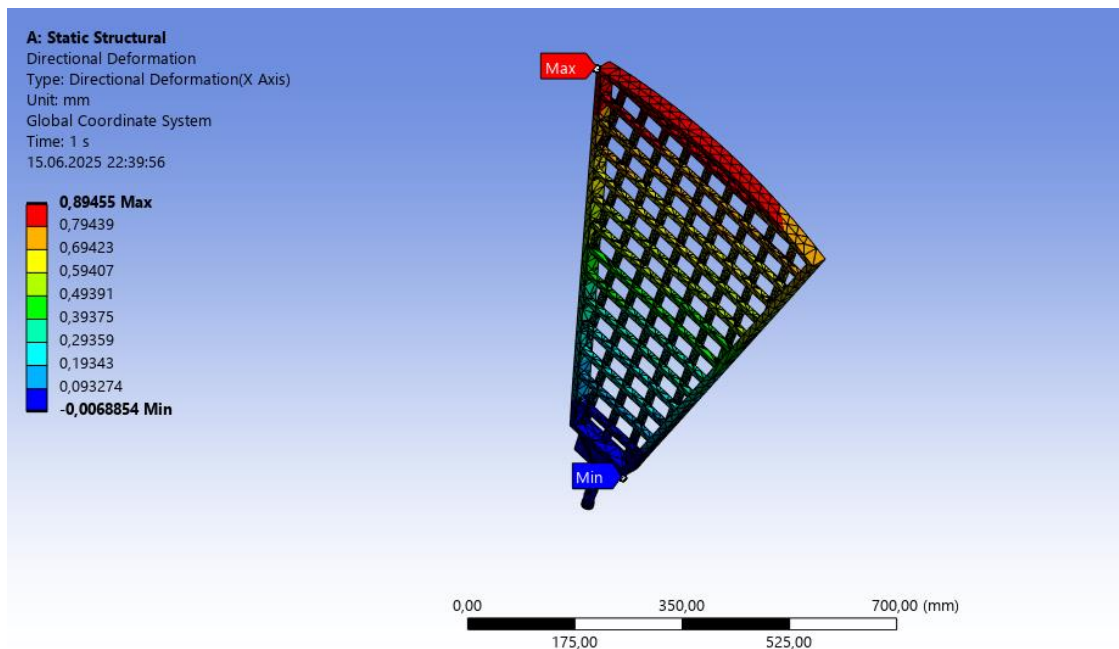


Рисунок 5.12 – Візуалізація переміщення конструкції тіла у просторі у заданому напрямку

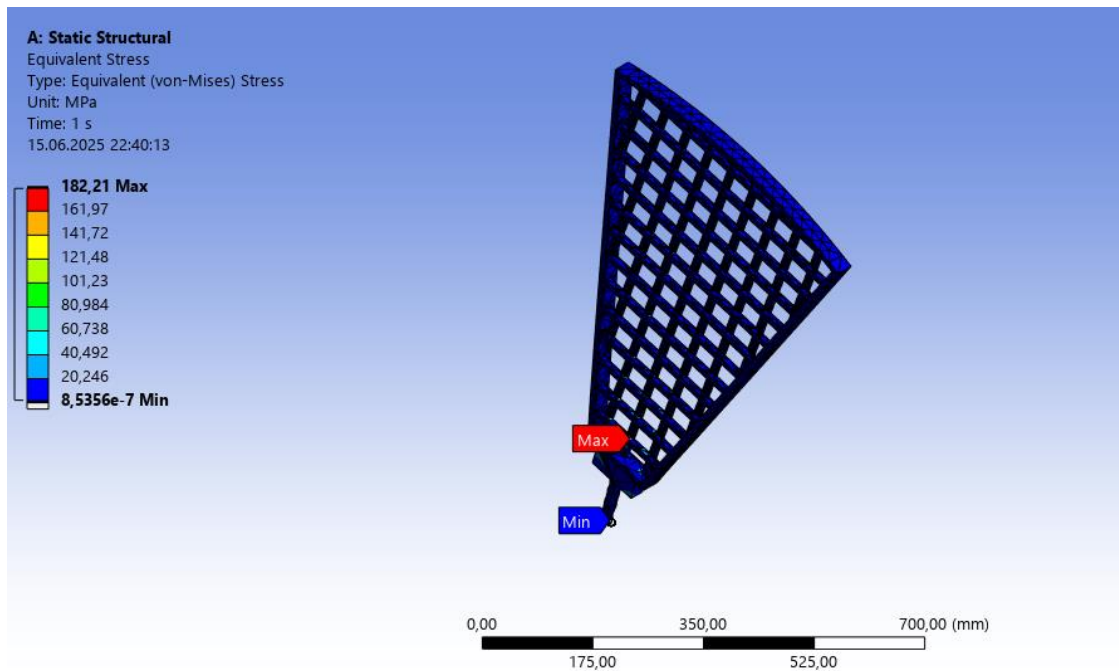


Рисунок 5.13 – Візуалізація загального рівня напруженого стану тіла

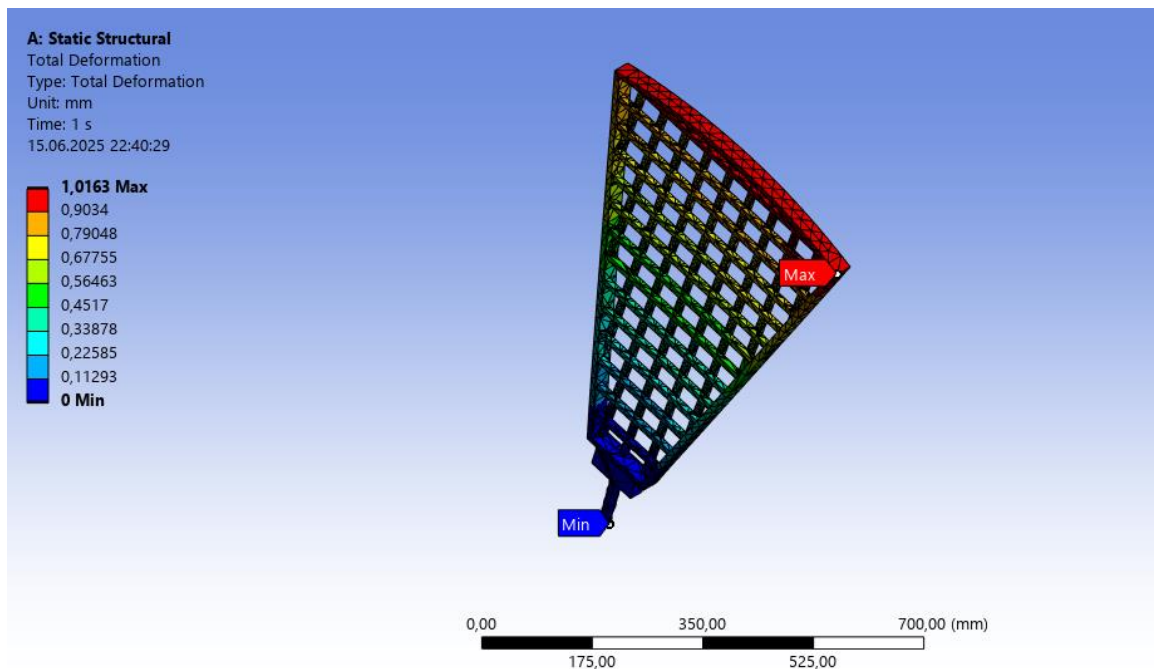


Рисунок 5.14 – Візуалізація переміщення конструкції тіла загалом

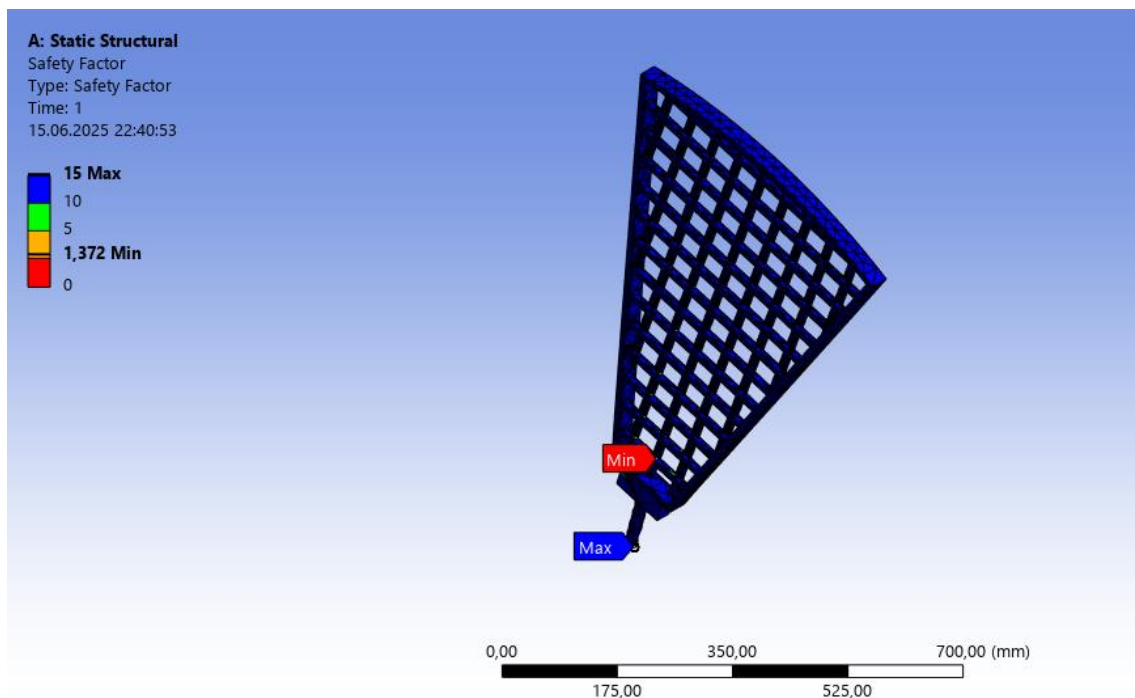


Рисунок 5.15 – Математична модель дії коефіцієнту запасу міцності

Розрахунок показав, що максимальні еквівалентні напруження за Мізесом не перевищують 145 МПа, що свідчить про наявність запасу міцності. Переміщення та прогини сектору знаходяться в межах технологічно допустимих значень (до 0.6 мм у зоні краю сітки). Деформації розподілені рівномірно та не викликають локалізованих концентрацій.

Запас міцності визначався за формулою:

$$n = \frac{\sigma_{\text{доп}}}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{240}{180} \approx 1,33$$

При допустимому значенні не менше 1.33, конструкція вважається працездатною та безпечною. Таким чином, обраний матеріал повністю відповідає експлуатаційним умовам і дозволяє зберігати жорсткість сектору при дії фільтраційного тиску та періодичному циклічному навантаженні, що зумовлено вакуумуванням та зворотним продуванням.

Кінцева модель враховує також особливості конструкції зварних з'єднань: точкові місця кріплення решітки до рами було змодельовано як жорсткі контакти з можливістю зміни реакції по нормалі. Це дозволило врахувати локальні напруження, які в реальних умовах можуть призвести до втоми або зламу при тривалому навантаженні. Аналіз результатів підтвердив, що критичні зони розташовані на стиках сітчастих елементів з обідком і біля посадки на вал.

Загальна картина переміщень, еквівалентних напружень, відносних деформацій та запасу міцності наведена у відповідних рисунках підтверджують адекватність розрахункової моделі та ефективність обраного варіанту модернізації. Результати числового моделювання повністю узгоджуються з теоретичними припущеннями, а також із конструкційними обмеженнями і вимогами до ресурсу фільтраційного елементу у промислових умовах.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці та довкілля – це сукупність дій, що націлені на формування безпечного робочого середовища, недопущення травматизму на виробництві, професійних захворювань та аварій, а також охоплює правове регулювання безпеки праці [9] .

Відповідно до теми дипломного проекту «Дисковий вакуум-фільтр з модернізацією пристрою перемішування суспензії» на стадії виробництва при роботі лінії розробляються заходи для забезпечення безпечних умов праці . У рамках дипломного проекту «Дисковий вакуум фільтр з модернізацією конструкції фільтруючого сектору», на стадії експлуатації обладнання планується розробка заходів для гарантування безпечної роботи на підприємстві. Під час аналізу були встановленні головні потенційно шкідливі та небезпечні фактори виробництва:

- 1) Фізичні фактори: шум та вібрація, рухомі частини та обладнання (вали, диски, приводи), підвищений тиск;
- 2) Електричні фактори: удар електричним струмом;
- 3) Хімічні фактори : контакти з агресивними речовинами;
- 4) Пожежонебезпека;

6.1 Фізичні фактори

Однією із загроз , що може чинити загрозу безпеці персоналу що відноситься до фізичних факторів являється шум дискового вакуум-фільтру. Середній рівень шуму для цього типу обладнання, коливається у межах 80-85 дБА. Нормативи для регулювання на робочому місці даного фактору описує ДСНС 3.3.6.037-99. Його опис встановлює допустимі рівні шуму на робочих місцях: до 85 дБА для технічної праці, та 50-60 дБА для точних робіт.

Для організації безпечного робочого процесу можуть використовуватися заходи регулювання виникнення шумів , що створюються обладнанням та індивідуальні заходи безпеки. Для коригування роботи на конструкцію можуть

встановлюватися глушники та демпфери вакуумних насосів, використання антивібраційних прокладок. Також за можливості у приміщені може бути застосована екранізація шуму – кожухи, шумоізоляційні панелі. Обов'язкова наявність індивідуального захисту у кожного працівника – протишумові навушники. Регулярне техобслуговування з метою уникнення «клацання» і імпульсних шумів є ще однією умовою, яка мінімізує даний чинник.

Дана установка містить рухомі величини, які у разі недотримання правил безпеки можуть спричинити серйозні травми на виробництві. Диски діаметром до 2 метрів обертаються зі швидкістю в середньому 1 оберту/хв. Механізм приводу: 45,5 об/хв, як наслідок периферійна швидкість може сягати 4,7 м/сек. Такі умови мають наступні ризики: захоплення одягу, волосся, рук. Згідно стандартів які вказані у НПАОП 0.00-6.23-92 .

Заходи для уникнення інцидентів:

Огородження рухомих елементів – кришками закривання частин дисків, та огороження робочої ділянки;

Запуски механізму тільки в закритому спец одязі;

Відкрита зона близько 1,2 м.;

Наявність на валу диспозиції екстреного стопорного механізму;

Проведення навчання персоналу техніки безпеки для роботи з обладнанням;

У деяких вузлах дискового вакуум-фільтру є ділянки з наявністю фактору ризику пов'язаного з небезпечними наслідками дії тиску чи вакууму. Згідно з характеристиками робочий тиск установки – 0,04 МПа. Вакуум близько 0,9 атмосфер різниці між зовнішніми та внутрішніми значеннями. За таких умов може виникати загроза раптової розгерметизації , ризик аспірації кубківок пилу, шкідливих аерозолів при втраті герметичності. Правила , що використовуються для регулювання даних ризиків описані в ПУЕ.

Заходи безпеки що виключають ризики чи мінімізують їх включають у себе перевірку на герметичність перед запуском установки на початку робочої зміни. Використання в системі захисних клапанів. Персонал також має

використовувати захисні окуляри, рукавички, та дихальні маски.

6.2 Електричні фактори

При роботі з дисковим вакуумним фільтром у процесі гідрометалургії цинку є небезпека виникнення удару електричним струмом при взаємодії з приводом, панелями керування та насосами величиною напруги близько 380 В. Потенційна загроза може виникати на різних вузлах в певні етапи. При недотриманні умов безпеки через провідність електричного струму металом електропровідність приводу дисків чи мішалки може вразити розрядом величиною в 3 кВт та 1,1 кВт відповідно. Унаслідок розгерметизації чи потрапляння вологи можуть виникати небезпека ураження на клемних коробках та з'єднувальних кабелях. Під час робочого процесу безпосередньо під час використання панелі керування, розподільчого щитка та вакуумного насоса з приводом. Напруга в даних вузлах в середньому складає 380 В.

В залежності від етапу циклу загроза може бути більш чи менш вираженою. В момент запуску чи зупинки циклу, що здійснюється персоналом на початку циклу, в кінці, чи в екстреному випадку. Якщо не забезпечити стабільної роботи електричної мережі, унаслідок виникнення стрибків напруги, вищезгадані вузли можуть виходити з ладу, створюючи при цьому ризик. Також під час технічного обслуговування після відкриття корпусів та порушення цілісності.

Відповідно до ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах» про граничні напруги дотику/кроку, допустиме значення для вологої зони, оскільки робота фільтру передбачає використання води не перевищує 50 В. Сюди відноситься і напруга кроку.

Обов'язково мають дотримуватися вимоги спеціалізовані, згідно Правил безпечної експлуатації на законодавчому рівні що називаються «Правила безпечної експлуатації електроустановок». Головним чинником є дотримання умови про ступінь захисту електрообладнання IP44 і вище що вказано в НПАОП 40.1-1.21-98.

6.3 Хімічні фактори

При експлуатації дискового вакуумного фільтру у процесі гідрометалургії цинку спостерігається вплив низки хімічних факторів, які можуть становити загрозу для здоров'я персоналу. Робота фільтра передбачає контактування з агресивними середовищами, зокрема водними розчинами сірчанокислового цинку, реагентами для коагуляції, флокулянтами, а також іншими речовинами, які застосовуються у процесі осадження та фільтрації. При контакті з такими хімічними речовинами можливе подразнення шкіри, слизових оболонок, дихальних шляхів, а в окремих випадках – розвиток алергічних реакцій або хронічних професійних захворювань.

Основна небезпека виникає при порушенні герметичності трубопроводів, фільтрувального обладнання або під час технічного обслуговування, коли працівники змушені мати справу з відкритими ємностями або фільтруючими секціями. Також під час заміни фільтруючих елементів або очищення дисків можливе безпосереднє потрапляння залишків суспензії на шкіру чи в повітря робочої зони. Концентрація шкідливих речовин у повітрі може перевищувати гранично допустимі концентрації (ГДК), особливо у випадках незадовільної вентиляції.

Згідно з наказом МОЗ України № 1596 від 14.07.2020 ДСП 201-97 «Державні санітарні правила охорони праці від дії шкідливих хімічних речовин», робоча зона повинна бути обладнана припливно-витяжною вентиляцією з локальними відсмоктувачами біля джерел викидів. Гранично допустимі концентрації для сірчаної кислоти в повітрі робочої зони становлять 1 мг/м³ (для аерозолів з парою), а для цинку у вигляді пилу – 0,5 мг/м³. Перевищення цих значень може викликати інтоксикацію, опіки слизових оболонок та подразнення дихальних шляхів.

Усі роботи з речовинами, що мають корозійні або токсичні властивості, повинні здійснюватися з використанням засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): захисних окулярів, кислототривких рукавиць, респіраторів або протигазів, водовідштовхувального спецодягу. При цьому згідно з ДСТУ EN 16523-1:2018

«Захисні рукавички від хімічних речовин і мікроорганізмів», ЗІЗ має бути підібраний з урахуванням типу хімічного агенту та тривалості контакту. У разі аварійних ситуацій на об'єкті повинні бути доступні нейтралізуючі засоби та засоби першої медичної допомоги – відповідно до вимог ДСанПіН 2.2.4-171-10.

Постійний контроль повітряного середовища та регулярна перевірка стану вентиляційних систем регламентуються положеннями Наказу МОЗ №400 від 01.08.2012 «Про затвердження Гігієнічних нормативів хімічних речовин у повітрі робочої зони». У разі виявлення перевищень ГДК необхідно здійснювати заходи негайного реагування – включаючи евакуацію персоналу, провітрювання приміщення та проведення санітарної обробки обладнання.

Крім цього, важливим заходом профілактики хімічного забруднення є інструктажі з охорони праці перед початком змін, розміщення інформаційних стендів з даними про небезпечні речовини, та маркування трубопроводів і ємностей відповідно до вимог ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007.

Дотримання цих вимог значно знижує ризики для здоров'я та життя працівників, а також забезпечує належний рівень хімічної безпеки на виробництві.

6.4 Пожежонебезпека

При роботі електричних машин, через вібрації, раптові коливання та удари, щільність електричних контактів порушується. В місцях з'єднань проводів формуються значні перехідні опори, які спричиняють локальне нагрівання. Це, своєю чергою, може призвести до пошкодження ізоляції, її загоряння та виникнення пожежі.

Щодо класу пожежної небезпеки приміщень, де розміщено дисковий вакуум-фільтр – це зона установки класу ПУЕ, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016.

Виробництво за пожежною небезпекою віднесено до категорії В, а клас захисту - П-Па. Вогнестійкість будівлі, згідно з ДСТУ Б В.1.1-36:2016, відповідає II ступеню.

Запобіжні заходи від пожежі: суворе дотримання технологічних вимог та

правил експлуатації; мінімізація відкритого вогню; куріння лише у спеціально відведених для цього місцях; своєчасне проведення інструктажів з охорони праці серед персоналу; наявність систем сигналізації, включаючи систему електричної пожежної сигналізації (ЕПС) та оперативних засобів зв'язку з пожежною частиною; наявність засобів пожежогасіння безпосередньо біля установки (пісок, протипожежні ковдри, вогнегасники).

Для ліквідації невеликих осередків загоряння при відключеному електрообладнанні використовують вуглекислотні вогнегасники ОУ-8. Для гасіння електромереж під напругою застосовують порошкові вогнегасники ОП-10.

Пожежні гідранти у приміщенні, де знаходиться установка, повинні бути розташовані на відстані не більше 30 метрів один від одного, зі шлангами довжиною до 10 метрів. Відстань до найближчого пожежного виходу не повинна перевищувати 40 метрів, при цьому їх кількість має бути не менше двох. Ширина отвору евакуаційних дверей складає 2 метри. Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-36:2016. двері евакуаційного виходу повинні відкриватися назовні.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Опис і призначення деталі

Розглянута деталь — радіальний штифт (Рисунок 7.1), який використовується для фіксації фільтруючого сектору до пустотілого валу у складі модернізованої конструкції дискового вакуумного фільтра. Деталь забезпечує точне та надійне з'єднання вузлів, що працюють під дією вакууму та вологи, зберігаючи герметичність і механічну жорсткість конструкції. Основні функції — передача механічного навантаження та забезпечення стабільного положення фільтруючого сектору під час обертання валу.

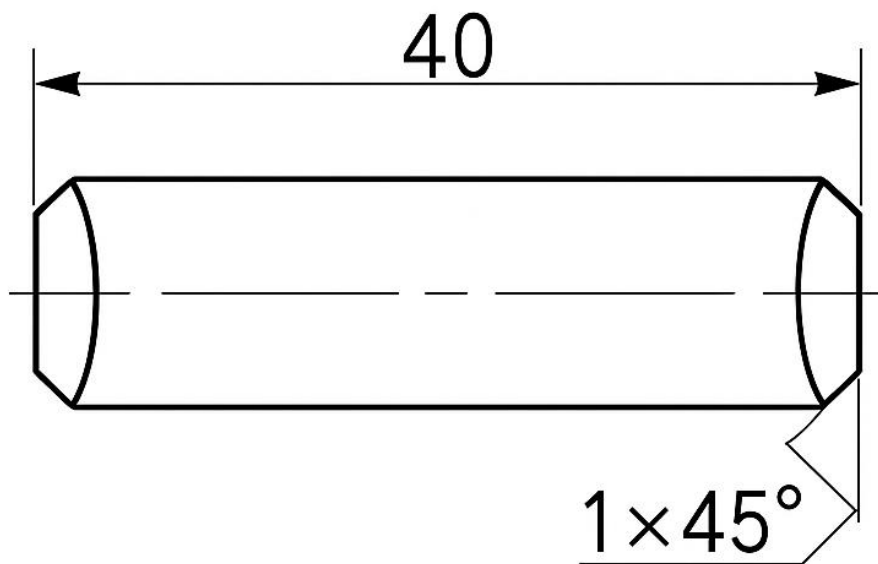


Рисунок 7.1 – Радіальний штифт

Радіальний штифт є відповідальною циліндричною деталлю, призначеною для фіксації та точного позиціонування фільтруючого сектору на пустотілому валу дискового вакуумного фільтра. Завдяки своїй простій геометричній формі, високій точності виготовлення та достатній механічній міцності, штифт забезпечує жорстке з'єднання без люфту, що є критично важливим для надійної роботи фільтрувального обладнання в умовах вібрацій

та змінного навантаження.

У межах модернізованої конструкції вузла кріплення, де фільтруючий сектор встановлюється до вала за допомогою одного або декількох радіально встановлених штифтів, дана деталь виконує роль елемента, що передає зусилля, протидіє осьовим та обертальним зміщенням і не допускає самовільного роз'єднання вузла під час експлуатації. Штифт працює переважно на зсув, водночас не допускаючи мікрорухів, які могли б спричинити зношування або розгерметизацію фільтраційної системи.

Такий конструктивний підхід дозволяє забезпечити точність встановлення та простоту обслуговування без застосування додаткових кріпильних елементів, що є важливою перевагою в умовах тривалої експлуатації фільтрувального обладнання.

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Вихідною заготовкою (Рисунок 7.2) для виготовлення радіального штифта слугує круглий металевий пруток діаметром 12 мм, виготовлений зі сталі 45 відповідно до вимог ГОСТ 1050. Заготовка має форму циліндра та надходить на виробництво у вигляді або пруткового прокату, придатного до подальшого розкрою. Конструктивна довжина готової деталі становить 40 мм, однак з урахуванням припусків на механічну обробку вихідна заготовка має довжину 42 мм.

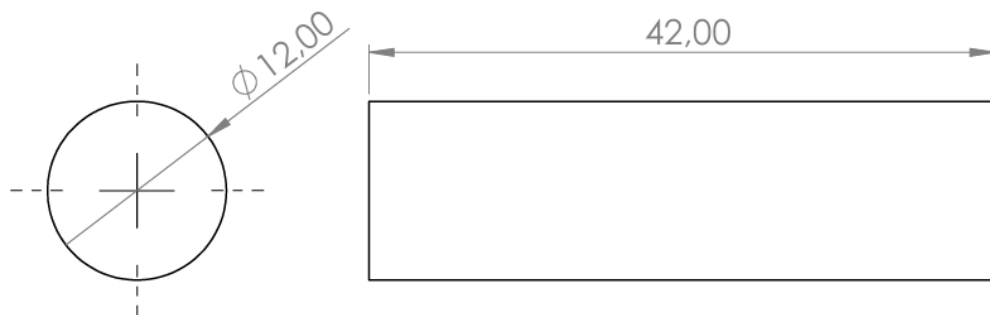


Рисунок 7.2 - Заготовка у вигляді циліндричного прута

Першою операцією є розкрій пруткового матеріалу на відрізки довжиною 42 мм за допомогою стрічкової пилки типу ЛЗК-940. Ця операція забезпечує формування базових заготовок з припуском 2 мм на подальше торцювання.

На наступному етапі здійснюється торцювання торців заготовки на токарному верстаті 1К62, що дозволяє досягти точної довжини деталі — $40 \pm 0,1$ мм, а також забезпечити перпендикулярність базових поверхонь.

Третьою операцією виконується точіння зовнішньої циліндричної поверхні до розміру $\varnothing 10$ мм із полем допуску h6, із забезпеченням шорсткості Ra 2,5. Операція проводиться на тому ж токарному верстаті з використанням токарного різця.

Далі на обох торцях деталі формується фаска $1 \times 45^\circ$, що виконується фасочним різцем з метою усунення гострих кромek, полегшення монтажу та зменшення ризику ушкодження під час експлуатації.

Після формування геометричних параметрів деталей піддається термічній обробці — гартуванню в шахтній печі з охолодженням у маслі. Це дозволяє досягти твердості в межах HRC 50–55, необхідної для забезпечення високої зносостійкості та міцності з'єднання в умовах експлуатаційних навантажень.

Завершальною операцією механічної обробки є шліфування зовнішньої циліндричної поверхні на шліфувальному верстаті моделі 3М151 із використанням абразивного круга $250 \times 32 \times 76$ А40. Після шліфування забезпечується остаточна точність $\varnothing 10$ h6 та шорсткість поверхні Ra 1,25, що відповідає вимогам до посадочних поверхонь.

Після завершення усіх етапів обробки проводиться заключний контроль геометричних параметрів штифта за допомогою мікрометра та штангенциркуля, з метою підтвердження відповідності розмірів, шорсткості та твердості технічним вимогам креслення.

Дубл.																			
Взамін.																			
Підпис																			

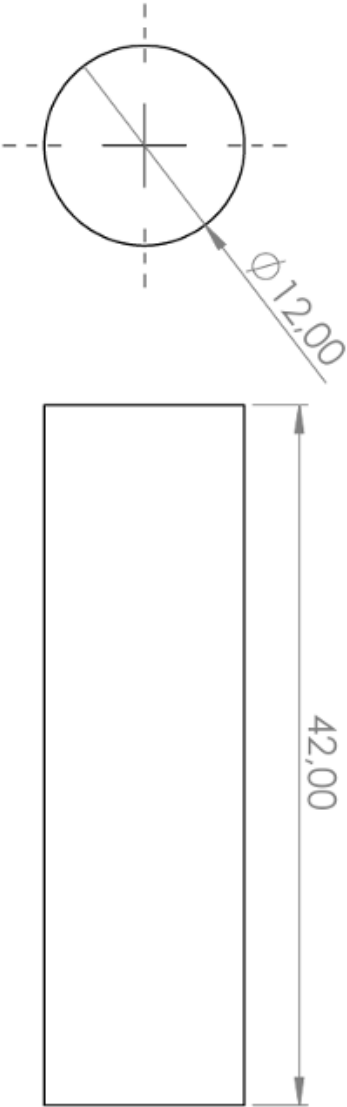
Розробив	Довбня О.В.																		
Перевірів	Борщук С.О.																		
Н. контр.																			

НТУУ "КПІ",
ІХФ

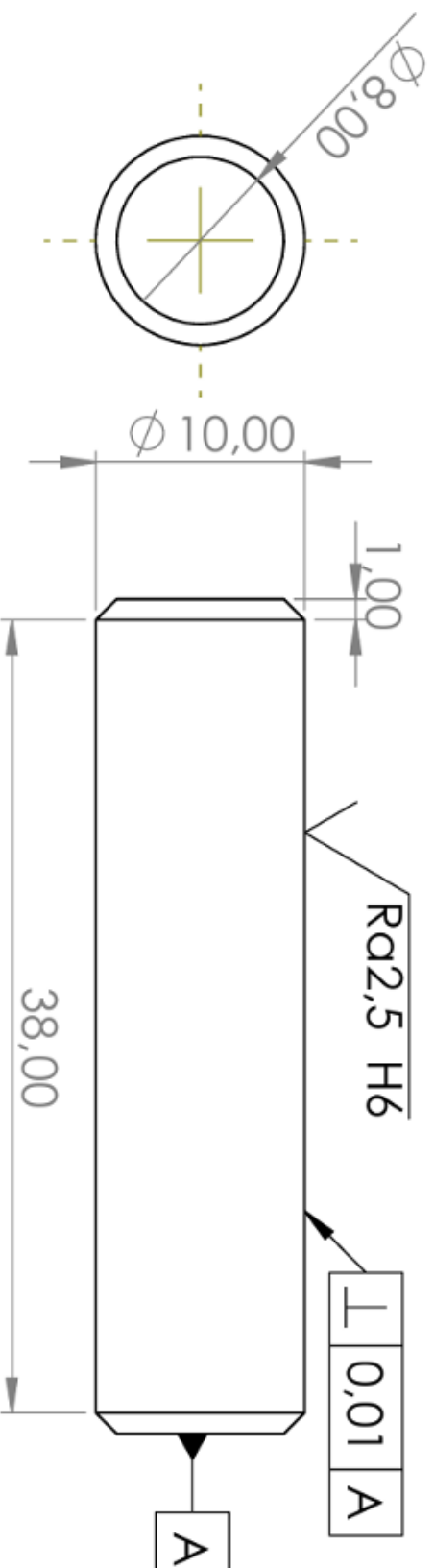
РАДІАЛЬНИЙ ШТИФТ

010

Н



Розробив	Довбня О.В.						
Перевіряв	Борщук С.О.					070	
Н. контр.				РАДІАЛЬНИЙ ШТИФТ		Н	



Обробка різанням

[illegible]

7.3 Вибір та розрахунок пристосування для числової обробки циліндричної поверхні

Для забезпечення високоточної обробки зовнішньої циліндричної поверхні штифта після термічного зміцнення необхідно забезпечити жорстку та надійну фіксацію деталі під час операції шліфування. Зважаючи на коротку довжину штифта (40 мм) та його відносно невеликий діаметр ($\varnothing 10$ мм), при затисканні у стандартних патронах можливе виникнення деформацій або відхилення осі обертання, що негативно вплине на точність геометрії.

У зв'язку з цим для шліфувальної операції обґрунтовано вибір центрувальної оправки, що забезпечує концентричне встановлення деталі з мінімальним радіальним биттям. Оправка є жорстким валом, на якому штифт монтується із мінімальним натягом або з додатковим фіксуванням за допомогою різьбового притискача. Посадкова частина оправки виконується відповідно до отвору шпинделя шліфувального верстата — як правило, за конусом Морзе №5 (Рисунок 7.3).

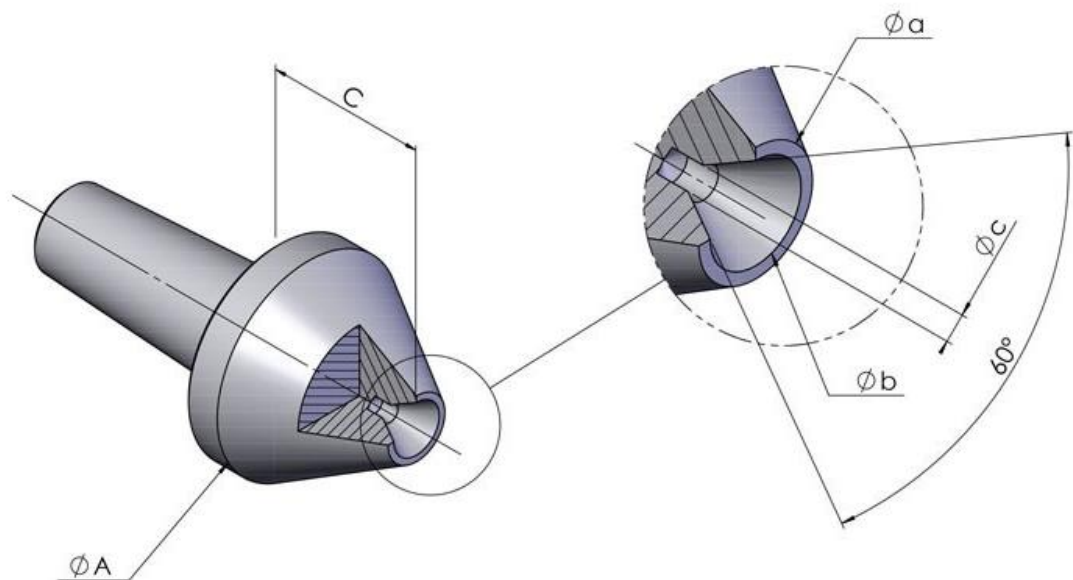


Рисунок 7.4 – Конструкція конуса Морзе №5

Для розрахунку оправки приймається, що вона має циліндричну робочу частину діаметром 10 мм (за посадковим розміром штифта), виготовлену зі

сталі 45, гартовану до твердості не менше HRC 50. Довжина робочої частини повинна становити не менше 1,5–2 довжин штифта, тобто 60–80 мм, щоб забезпечити рівномірне прилягання та стабільність положення деталі.

Оцінка жорсткості оправки проводиться за критерієм відносного прогину при шліфуванні. З урахуванням малого діаметра деталі і незначного прикладеного навантаження під час шліфування, оправка забезпечує жорсткість, яка перевищує допустимий поріг (відносний прогин $< 1/1000$ довжини). Таким чином, використання оправки дозволяє уникнути деформацій і забезпечити виконання вимог до точності (квал. h6) і шорсткості поверхні (Ra 1,25).

Крім того, дана конструкція пристосування є технологічно простою, універсальною для деталей подібного типу, легкою у виготовленні та зручною для встановлення у верстатах різних моделей. Це обумовлює її доцільність та економічну ефективність для використання як у дрібносерійному, так і в серійному виробництві.

Вибір даного обладнання обґрунтований з посиланням на існуючу методику [10], на яку спиралися при опрацюванні інформації щодо вибору та розрахунку обладнання, задовільнює поставлені вимоги вимоги.

ВИСНОВКИ

У результаті виконаної дипломної роботи було проведено всебічне дослідження конструкції та принципу дії дискового вакуумного фільтра, що застосовується в гідрометалургійній технології переробки цинковмісної сировини. Проаналізовано діючі технічні рішення, встановлено їх ключові переваги та визначено обмеження, що знижують ефективність фільтраційного процесу в умовах промислової експлуатації.

На основі патентного огляду обґрунтовано доцільність модернізації фільтрувального сектору шляхом впровадження зварної перехресної металевої решітки з віялоподібною геометрією. Запропонована конструкція дозволяє знизити масу сектора, зменшити гідравлічний опір, покращити очищення фільтрувальної поверхні та підвищити загальний ресурс елемента. Застосування спеченої дротяної сітки як фільтрувального шару забезпечує високу термостійкість, антикорозійну стійкість і знижує ризик засмічення.

Числове моделювання підтвердило працездатність модернізованої конструкції. Аналіз поля переміщень та деформацій не виявив критичних концентрацій напружень у зонах зварних з'єднань, що вказує на оптимальність геометрії та раціональність розташування ребер жорсткості.

Визначені кінематичні й енергетичні параметри вакуум-фільтра засвідчують достатню потужність приводу для забезпечення стабільної експлуатації агрегату при змінених конструкційних характеристиках.

Таким чином, у рамках дипломного проекту вирішено комплексну інженерну задачу: розроблено і досліджено удосконалення конструкції сектора дискового вакуумного фільтра, яке дозволяє покращити показники фільтрації, зменшити енерговитрати та підвищити експлуатаційну надійність обладнання без суттєвих змін до загальної схеми установки.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Верховлюк А.М. Технології одержання металів та сплавів для ливарного виробництва : навч.пос. / А.М. Верховлюк, А.В. Нарівський, В.Г. Могилатенко / За ред. академіка НАН України В.Л. Найдека. – К.: Видавничий дім “Вініченко”, 2016. – 224 с.
2. Cleanova.Micronics [Електронний ресурс]. - Режим доступу: <https://www.micronicsinc.com/filtration-news/rotary-vacuum-disc-filter-basics/> (дата звернення 15.05.2025). – Назва з екрана.
3. Мікульонок І. О. Механічні, гідромеханічні і масообмінні процеси та обладнання хімічної технології [Електронний ресурс] : підручник для студентів вищих навчальних закладів, які навчаються за напрямками підготовки «Інженерна механіка» та «Машинобудування» / І. О. Мікульонок. – Електронні текстові дані (1 файл: 18,97 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2014. – 340 с. – Назва з екрана.
4. Мікульонок І.О. Інтелектуальна власність та патентознавство [Електронний ресурс] : навч. посіб. Для здобувачів ступеня магістра за технічними спеціальностями. 4-те вид., переробл. і доповн. / І. О. Мікульонок ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові дані (1 файл: 3,92 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2023. – 234 с. – Бібліогр.: с. 230–231.
5. LIU QIANG. vacuum filter disk: пат. CN220572851U. Заявл. 15.06.2023; опубл. 15.09.2023.
6. YANG HUI. improved disk sector for vacuum filter: пат. CN116943321A. Заявл. 19.05.2023; опубл. 29.12.2023.
7. ZHOU SHUANG. filtration structure for disk vacuum filter: пат. CN209917418U. Заявл. 23.07.2019; опубл. 03.01.2020.
8. ZHANG HUI. structural improvement of vacuum filter sector: пат. CN201470211U. Заявл. 25.11.2009; опубл. 19.05.2010.
9. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / За ред. К. Н. Ткачука і М. О. Халімовського. – К.:

Основа, 2006 — 448 с.

10. Горбацевич А.Ф., Шкред В.А. Курсове проектування по технології машинобудування: [Учебное пособие для машиностроит. спец. вузов]. — 4-е изд., перераб. и доп. — Мн.: Выш. школа, 1983. —256 с.
11. Hurin, R., Gondliakh, O., Sokolskyi, O., Shcherbina, V., & Antonyuk, S. (2025). Influence of carbon nanotubes on the characteristics of polymer melt flow during extrusion of two-layer pipes. Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», (2), 20–31. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2025.333972>
12. Сівецький В.І., Щербина В.Ю., Гондлях О.В. Інжиніринг інноваційних технологій та обладнання. Лінії для виготовлення листових і профільних полімерних виробів [Електронний ресурс] / КПІ ім. Ігоря Сікорського. Київ, 2022. — 113 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/45732>

[illegible]

[illegible]

ТАБЛИЦЯ ПАТЕНТІВ

№	Предмет пошуку	№ свідоцтва, МПК, країна, організація, автор	Суть заявленого технологічного рішення та ціль його створення
1	Дисковий вакуумний фільтр	CN220572851U CN202322032336U·31 липня 2023 р. МПК: B29C43/32; B29C43/46; Автори: LIN JIEWU	Суть полягає в оптимізації конструкції системи вивантаження білого шламу з вапняного фільтра шляхом впровадження багатоступеневого пневматичного транспортного механізму, що забезпечує безперервне переміщення шламу без його скупчення, застою чи повторного зволоження у вивантажувальному бункері. Включення герметичних клапанів, сенсорів рівня та регульованих пневмосистем гарантує стабільний потік шламу, зберігаючи його сухість та однорідність осаду, що є надзвичайно важливим для подальшого спалювання та переробки. Метою розробки даного є вдосконалення ергономіки та автоматизація процесу вивантаження шламу. Це спрямовано на скорочення експлуатаційних витрат, уникнення ручного втручання, зменшення витрат на обслуговування транспортної системи та збільшення загальної надійності технологічного процесу. Зниження утворення пилу та стабілізація вологості матеріалу додатково сприяють дотриманню екологічних стандартів та підвищенню енергетичної ефективності виробничого циклу.
2	Дисковий вакуумний фільтр	CN117959812A CN117959812B CN202410389486A·20 24-04-02	За патентом, технічне рішення пропонує вдосконалити конструкцію вакуумного фільтра, що використовується для осадження білого шламу. Зокрема, мова йде про оптимізацію форми та розміщення

		МПК: B01D33/17; B01D33/46;	трубки для відведення фільтрату. Такий підхід сприяє зведенню до мінімуму втрат вакууму в процесі осадження шламу, що є критичним для підвищення ефективності адсорбції та зневоднення матеріалу. Це, у свою чергу, забезпечує утворення стабільного осадового кеку, що характеризується кращими показниками сухості та рівномірності структури. Мета розробки цієї конструкції – збільшення продуктивності фільтра, скорочення споживання енергії, необхідної для вакуумування, а також покращення характеристик шламу, що готується до спалювання або подальшої переробки.
3	Дисковий вакуумний фільтр	CN209917418U CN201920594741U·2019-04-26 МПК B01D33/21; B01D33/42; B01D33/46;	У патенті CN209917418U представлено модернізоване технічне рішення, розроблене для системи автоматичного очищення фільтрувального елемента у вакуумному дисковому фільтрі. Головна мета - гарантувати безперебійну та стабільну роботу устаткування за інтенсивного використання. Основна новація – застосування конструкції зворотного промивання, що дає змогу результативно видаляти залишки відкладень з поверхні фільтрувального матеріалу, не зупиняючи роботу пристрою. Це допомагає скоротити частоту технічного обслуговування, зменшити потребу в ручній праці та підтримувати оптимальну продуктивність фільтрації протягом тривалого часу. Завдання створення цього технічного рішення – збільшити надійність вакуумного фільтра в процесі експлуатації, уникнувши накопичень, котрі спричиняють зниження

			пропускної здатності, порушення вакууму та погіршення фільтраційних характеристик. Крім того, автоматизація очищення відкриває шлях до інтеграції фільтра у цифрові виробничі лінії, знижуючи роль людського фактору та покращуючи точність контролю технологічних параметрів.
4	Фільтр- диск для дискового вакуумного фільтра	CN201470211U CN200920139659U·20 09-07-21 МПК B01D33/23; Автори: ХУІХУЙ ФАНГ; ЧАОЦЯН ХУАН ФАН ХУІХУЙ; ХУАН ЧАОЦЯН	У патенті CN201470211U представлено модернізовану конструкцію вакуумного дискового фільтра, розроблену для покращення ефективності відведення фільтрату та стабілізації вакуумного режиму в області фільтрації. Специфікою цієї конструкції є порожниста центральна вісь з фільтрувальними отворами, напрямна трубка та дефлектор, складений з вертикальної і вигнутої частин. Така геометрія забезпечує спрямований потік фільтрату до вакуумного насоса, унеможливорює зворотній рух рідини та зводить до мінімуму втрати вакууму в критичній зоні осадження шламу. Запропонована конструкція забезпечує ефективне зневоднення білого шламу завдяки більш ефективному утриманню вакууму в зоні дії фільтрувального елемента. Додатково, сегментовані фільтрувальні диски з віялоподібними елементами та фільтрувальною сіткою збільшують площу фільтрації та сприяють рівномірному осаду. Таким чином, досягається збільшення продуктивності разом зі зменшенням енергоспоживання всієї системи.

ЛІСТИНГ КОДУ

C++:

```
#include <iostream>
```

```
#include <cmath>
```

```
using namespace std;
```

```
int main() {
```

```
    // Задані значення
```

```
    const double i = 4;
```

```
    const double rho0 = 1.81e3;    // кг/м3
```

```
    const double h2 = 0.13;    // м
```

```
    const double D = 2.2;    // м
```

```
    const double d = 0.7;    // м
```

```
    const double g = 9.8;    // м/с2
```

```
    const double f = 0.1;
```

```
    const double K = 4;
```

```
    const double n = 2.5e-3;
```

```
    const double eta_y = 0.81;
```

```
    const double z = 2;
```

```
    const double P = 1e3;
```

```
    const double d2 = 0.46;
```

```
    const double d3 = 0.24;
```

```
    const double mu = 0.1;
```

```
    const double G = 9200;
```

```
    const double d_c = 0.44;
```

```
    // Розрахунки моментів
```

```
    double M1 = 0.187 * i * rho0 * h2 * (pow(D, 3) - pow(d, 3)) * g;
```

```
    double M2 = 0.6 * f * K * 700 * h2 * (pow(D, 3) - pow(d, 3)) / (D + d);
```

```
    double M3 = 0.02 * M2;
```

```
    double M4 = (1.0 / 3.0) * z * P * 0.1 * 0.06 * (pow(d2, 3) - pow(d3, 3))  
/ (pow(d2, 2) - pow(d3, 2));
```

```
    double M5 = mu * G * (d_c / 2.0);
```

```
    // Сума моментів
```

```
    double sum_M = M1 + M2 + M3 + M4 + M5;
```

```
    // Розрахунок потужності
```

```
    double N = 1150 * (sum_M * n) / eta_y;
```

```

// Виведення результатів
cout << "M1 = " << M1 << " Н·м" << endl;
cout << "M2 = " << M2 << " Н·м" << endl;
cout << "M3 = " << M3 << " Н·м" << endl;
cout << "M4 = " << M4 << " Н·м" << endl;
cout << "M5 = " << M5 << " Н·м" << endl;
cout << "Сума моментів ( $\sum M_i$ ) = " << sum_M << " Н·м" << endl;
cout << "Потужність (N) = " << N << " кВт" << endl;

return 0;
}

```

Результат розрахунку :

Output:

```

M1 = 17774.5 Н·м
M2 = 77.6073 Н·м
M3 = 1.55215 Н·м
M4 = 2.16914 Н·м
M5 = 202.4 Н·м
Сума моментів ( $\sum M_i$ ) = 18058.2 Н·м
Потужність (N) = 64095.6 кВт

```

ОПУБЛІКОВАНІ ТЕЗИ

XXI Всеукраїнська конференція «Ефективні процеси та обладнання хімічних виробництв та пакувальної техніки»

Підвищення ефективності роботи дискового вакуумного фільтра

Довбня О.В., студ., Гондлях О.В., д.т.н., проф., Карасьов В.С., студ.
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Запропоновано вдосконалення конструкції фільтрувального сектору дискового вакуумного фільтра шляхом використання спеченої металевої сітки у вигляді віялоподібної пластини. Така модернізація дозволяє підвищити стійкість до зношування та корозії, збільшити ефективність фільтрації, покращити показники зневоднення, а також продовжити термін служби обладнання. Рішення передбачає просту інтеграцію в існуючі системи без значних модифікацій.

Ключові слова: дисковий вакуумний фільтр, фільтруючий сектор, модернізація, спечена сітка, фільтрація.

Вступ. Однією з ключових галузей сьогодення є механіка. В Даній доповіді розглядається дисковий вакуум фільтр що є поширеним у більшості промислових сферах. Дискові вакуумні фільтри використовуються для зневоднення пульп . модель що розглядається найбільш використовувана у гірничо-металургійній промисловості. Основна функція обладнання — відділення твердої фази від рідкої з максимальною ефективністю. Фільтрувальні сектори є ключовими елементами у забезпеченні фільтраційного процесу, і саме їхня модернізація може надати суттєве покращення показників фільтра [1-2].

Сектори вставляють в спеціальні гнізда пустотілого вала і кріплять до нього за допомогою шпильок з накладками. До торців вала притискуються за допомогою пружин розподільні головки. Вихідна пульпа надходить між дисками у ванну. Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. У зоні фільтрування сектори дисків через розподільну головку підключені до вакуум-насоса. Вміст твердого в суспензіях флотаційного концентрату складає у середньому 200 – 450 кг/м³ , незабагаченого шламу – 250 – 450 кг/м³ . Фільтруюча поверхня створюється боковими стінками дисків. Під дією 61 вакууму вода проходить крізь отвори фільтрувальної тканини і осад, потрапляє через відповідні канали валу в розподільну головку і далі у ресивер. При виході з пульпи сектори входять у зону просушування, де вода з осаду витісняється повітрям. В «мертвих» зонах здійснюється зміна вакууму на стиснене повітря або навпаки. У зоні віддувки осад відділяється від фільтрувальної тканини стисненим повітрям і шкребками, а також в цій зоні тканина продувається повітрям і готується до наступного циклу фільтрування [3].

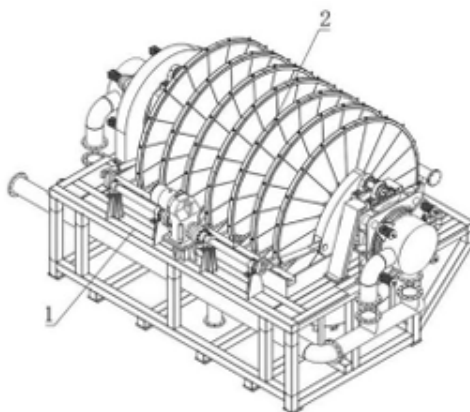


Рисунок 1 – Вигляд дискового вакуумного фільтру:
1 – ділянка збору фільтрату; 2 – фільтруючий диск

У патенті CN201470211U запропоновано конструкцію фільтрувального сектора у вигляді віялоподібної пластини, виготовленої зі спеченої багатошарової металевої дрітної сітки (Рис.2). Така структура має високу площу фільтрації, низький гідравлічний опір і хорошу термостійкість. Її застосування дозволяє зменшити ймовірність забивання фільтрувальної поверхні, покращити відведення фільтрату та забезпечити стабільне утворення осаду [4].

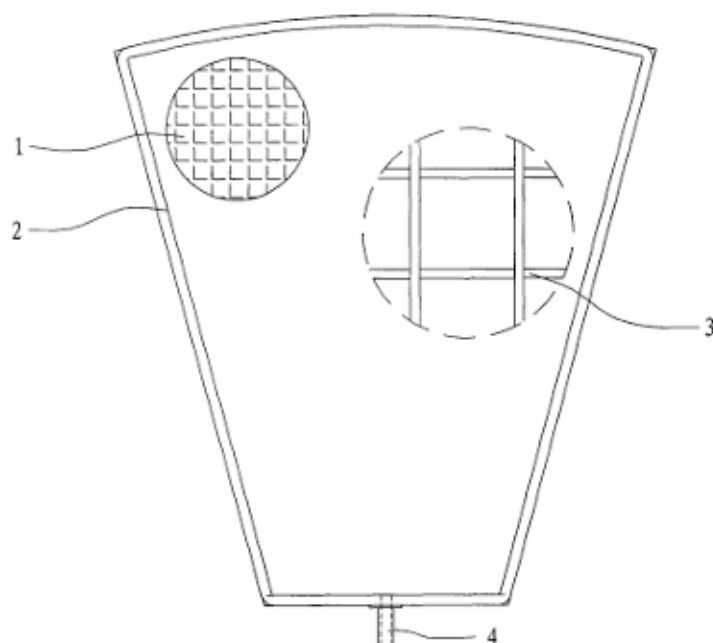


Рисунок 2 – Ескіз конструкції модернізованого сектора

На Рис. 2 зображено дві спечені пластини 1 з дрітної сітки з нержавіючої сталі затиснуті з обох боків внутрішньої рами 3 з нержавіючої сталі та зварені, утворюючи повністю порожнисту фільтрувальну пластину секторної форми з нержавіючої сталі, яка потім оточена кільцем з окантовки 2 з нержавіючої сталі. З'єднання 4 встановлено в положенні, близькому до центру повністю порожнистої фільтруючої пластини секторної форми з нержавіючої сталі, для отримання повністю порожнистого фільтрувального диска секторної форми з нержавіючої сталі.

Висновки. Модернізація фільтрувального сектора дозволяє суттєво покращити техніко-економічні показники роботи дискового вакуумного фільтра. Використання спечених металевих сіток забезпечує вищу ефективність зневоднення, довший термін експлуатації та зниження витрат на обслуговування. Рішення є практичним і придатним до реалізації в умовах діючих виробничих ліній.

Перелік посилань

1. Витвицький В. М., Мікульонюк І. О. Дисковий вакуум фільтр. Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2021. 136 с. URL: <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/41177>.
2. The Extractive Metallurgy of Zinc // AusIMM. URL: <https://www.ausimm.com/globalassets/rio---pubs-not-on-onemine/spectrum/extractive-metallurgy-of-zinc.pdf>.
3. JXSC Disk Vacuum Filter Application. URL: <https://www.jxscmachine.com/new/disk-vacuum-filter>.
4. Патент CN201470211U. Vacuum filter disc of sintered wire mesh. URL: <https://worldwide.espacenet.com/patent/search/family/042406450/publication/CN201470211U>.