

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ МЕХАНІКО-МАШИНОБУДІВНИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

«До захисту допущено»

В.о. завідувача кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

“ ____ ” _____ 2025 р.

Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні
системи»
спеціальності 131 Прикладна механіка
на тему: Автоматизація очищення барабана системи розділення відходів типу Tetra
Pak.

Виконав (-ла): студент (-ка) 4 курсу, групи МА-12

_____ Рибачук Максим Олександрович (підпис)

Керівник доц., к.т.н Беліков К.О.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали) (підпис)

Консультант з охорони праці _____ доц., к.т.н Беліков К.О.

(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Консультант з технології машинобудування к.т.н., доц. Кореньков В.М. _____

(назва розділу) (вчені ступінь та звання, прізвище, ініціали) (підпис)

Рецензент _____

(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті

немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент _____ (підпис)

Київ – 2025 рік

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Навчально-науковий механіко-машинобудівний інститут
Кафедра прикладної гідроаеромеханіки і механотроніки

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 131 Прикладна механіка

Освітньо-професійна програма «Автоматизовані та роботизовані механічні системи»

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри

_____ Олег ЛЕВЧЕНКО

(підпис)

“ _____ ” _____ 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студенту

Рибачук Максим Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема проєкту **Автоматизація очищення барабана системи розділення відходів типу Tetra Pak.**

керівник проєкту _____ доц., к.т.н Беліков К.О. _____,

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

затверджена наказом по університету від “ 29 ” травня 2025 року № 1835-с

2. Термін подання студентом проєкту _____

3. Вихідні дані до проєкту : тип роторної центрифуги , перелік параметрів : габаритні розміри , швидкість 2060об/хв , діаметр барабану 602мм , виготовлений із перфорованої сталі AISI304 із отворами 2мм , наявний цикл очищення займає 20-30 хвилин.

4.Зміст пояснювальної записки - Аналітичний огляд , постановка задачі та варіанти рішень , технічне рішення , моделювання , охорона праці та безпеки

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов’язкових креслень, плакатів, презентацій тощо)

1. Лист 1. Загальний вигляд Центрифуги Роторної (А1)
2. Лист 2. Загальний вигляд Автоматичної Системи Очищення Центрифуги – А1
3. Лист 3. Гідроконтур Автоматичної Системи Очищення Центрифуги – А1
4. Лист 4. Деталь Кільце “З’єднальне” – А3
5. Принципова Гідросхема , Пневмосхема , Електросхема – 3ХА3

6. Консультанти розділів проекту

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1. Охорона праці	доц., к.т.н Беліков К.О.		
2. Технологія машинобудування	доц. Кореньков В.М.		

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Узгодження змісту дипломного проекту з керівником	09.05-12.05	
2	Збір інформації про принцип роботи систем очищення промислових центрифуг	13.05-14.05	
3	Консультація з керівництвом Зміївської Паперової фабрики	14.05-31.05	
4	Проходження переддипломної практики	14.04 – 18.05	
5	Написання I та II розділу проекту	15.05-19.05	
6	Систематизація отриманого матеріалу , написання розділу III та IV розділу , Підбір обладнання	20.05-26.05	
7	Розробка Гідросхеми та Програми автоматичного керування	27.05-31.05	
8	Написання V розділу , Розробка креслень	01.06-05.06	
9	Оформлення Пояснювальної Записки , Доопрацювання дипломного проекту	05.06-09.06	
10	Захист дипломного проекту		

Студент

ПРИЗВИЩЕ)

Керівник проекту
БЕЛІКОВ

ПРИЗВИЩЕ)

Максим РИБАЧУК

(підпис)

(Власне ім'я,

Костянтин

(підпис)

(Власне ім'я,

Пояснювальна записка до дипломного проєкту

на тему: Автоматизація очищення барабана системи розділення відходів типу Tetra Pak.

Київ – 2025 рік

Анотація

Автоматизація очищення барабана системи розділення відходів типу Tetra Pak.

У дипломному проєкті представлено розробку автоматизованої системи очищення барабана горизонтальної центрифуги, що використовується для переробки асептичної упаковки Tetra Pak. Запропонована система замінює застарілий ручний та напівавтоматичний метод очищення щітками сучасним рішенням, що використовує гідрофорсунки щілинного типу високого тиску та пневматичний циліндр. Водяні струмені ефективно видаляють стійкі забруднення, такі як залишки волокон та клей, не пошкоджуючи поверхню центрифуги. Пневматичний циліндр забезпечує точний рух форсунок вздовж барабана, а автоматизована система керування регулює параметри очищення залежно від рівня забруднення.

У дипломному проєкті детально описано конструкцію, інтеграцію з існуючим обладнанням та переваги нової системи, включаючи підвищення ефективності, скорочення часу простою, подовження терміну служби обладнання та екологічність. У ньому також розглядаються проблеми впровадження та пропонуються рішення. Крім того, наголошується на використанні переробленої води та окреслюються кроки, необхідні для повномасштабного впровадження. Розроблена система є економічно ефективним та сталим рішенням, яке підвищує загальну продуктивність ліній переробки Tetra Pak.

Annotation

Automation of cleaning the drum of the waste separation system of the Tetra Pak type.

This project presents the development of an automated cleaning system for the drum of a horizontal centrifuge used in the recycling of Tetra Pak aseptic packaging. The proposed system replaces the outdated manual and semi-automatic brush cleaning method with a modern solution utilizing high-pressure slot-type hydro-nozzles and a pneumatic cylinder. The water jets effectively remove stubborn contaminants such as fiber residues and glue without damaging the centrifuge's surface. A pneumatic cylinder ensures the precise movement of the nozzles along the drum, while an automated control system adjusts cleaning parameters based on contamination levels.

The project details the design, integration with existing equipment, and benefits of the new system, including improved efficiency, reduced downtime, extended equipment life, and environmental friendliness. It also addresses implementation challenges and suggests solutions. Additionally, it emphasizes the use of recycled water and outlines the steps needed for full-scale deployment. The developed system is a cost-effective and sustainable solution that enhances the overall performance of Tetra Pak recycling lines.

ЗМІСТ

ВСТУП.....11

РОЗДІЛ 1 ОГЛЯД ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ ТЕТРАРАК НА ЗМІЇВСЬКІЙ ПАПЕРОВІЙ ФАБРИЦІ

1.1 Вступ до розділу.....13

1.2 Опис лінії переробки.....14

1.2.1 Ділянка 1.....15

1.2.2 Ділянка 2.....17

1.2.3 Ділянка 3.....18

1.3 Конструкція центрифуги.....20

1.3.1 Конструкція центрифуги.....20

1.3.2 Технічні параметри центрифуги.....21

1.4 Проблемна ділянка та аналіз недоліків.....24

1.4.1 Проблемна ділянка.....24

1.4.2 Аналіз недоліків.....25

1.4.3 Перспективи модернізації.....25

РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВАРІАНТИ РІШЕНЬ

2.1 Проблеми експлуатації центрифуги.....27

2.2 Завдання модернізації.....28

2.3 Розгляд трьох основних методів очищення29

2.3.1 Гідравлічне очищення.....29

2.3.2 Механічне очищення (щітки).....31

2.3.3 Комбінований метод.....31

2.4 Обґрунтування вибору комбінованого методу.....32

2.4.1 Чому саме цей варіант найбільше придатний для модернізації
конкретної системи.....33

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ		
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата			
Розроб		Рибачук М.О.			Автоматизація очищення барабану системи розділення відходів типу Tetra Pak	Літера	Арк
Перед.						у	
Н. Кантр.							
Утв						ММІ, НТУУ "КПІ ім. І.Сікорського"	

2.4.2 Переваги в контексті виробництва економії ресурсів і зниження простоїв.....	33
2.5 Схема інтеграції з існуючим обладнанням.....	35
2.5.1 Як запропонована система очищення буде вбудована в наявну конструкцію центрифуги.....	35
2.5.2 Чи потрібно вносити зміни в конструкцію.....	36
2.6 Попередня схема та опис логіки взаємодії між вузлами.....	37
2.7 Підбір системи керування	37
2.7.1 Принцип роботи.....	37
2.7.2 Які параметри мають значення.....	38
РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ	
3.1 Огляд наявної системи очищення.....	40
3.2 Підбір комплекту обладнання.....	41
3.2.1 Підбір пневматичного обладнання.....	41
3.2.1.1 Вибір Пневмоциліндра.....	41
3.2.1.2 Вибір Кінцевих датчиків положення.....	42
3.2.1.3 Вибір Пневморозподільника.....	43
3.2.1.4 Вибір Пневматичного шлангу.....	43
3.2.1.5 Вибір Фітингів.....	44
3.2.1.6 Вибір Блоку підготовки повітря.....	44
3.2.1.7 Вибір Пневмодросселя.....	45
3.2.1.8 Вибір Кріплення для циліндра.....	45
3.2.1.9 Вибір Комплекту гофро-захисту.....	46
3.2.1.10 Вибір Кріплення для штока.....	46
3.2.2 Підбір Гідравлічного обладнання.....	47
3.2.2.1 Покрита площа центрифуги, оптимальна висота влаштування форсунок.....	47
3.2.2.2 Обґрунтування вибору форсунки GOESSLING Nozzle 612.516.....	49
3.2.2.3 Витрати води на форсунки.....	50

3.2.2.4 Втрата тиску.....	51
3.2.2.5 Вибір Гідравлічного рукава.....	51
3.2.2.6 Розрахунок тиску форсунок.....	52
3.2.2.7 Вибір клапану тиску.....	53
3.2.2.8 Вибір Насосу.....	54
3.2.2.9 Продуктивність Насоса.....	54
3.2.2.10 Синхронізація з пневмоциліндром.....	55
3.2.2.11 Перевірка насоса Grundfos CRN 5-12.....	55
3.2.2.12 Підбір Датчика вологості.....	55
3.3 Міцність кріплень та з'єднань	57
3.3.1 Навантаження на болти М8.....	57
3.3.2 Болти між обручем і кільцем із щітками.....	58
3.3.3 Болти між кільцем із щітками та траверсою.....	59
3.4 Підбір та налаштування ПЛК.....	60
3.4.1 Вибір ПЛК Festo CPX-E.....	61
3.4.2 Схема підключення.....	63
3.4.3 Програмування в CODESYS V3.....	64
РОЗДІЛ 4 ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ	
4.1 Технологічні особливості виготовлення гільзи.....	68
4.2 Вибір заготовки.....	69
4.3 Розробка маршрутного технологічного процесу.....	71
4.4 Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів	79
4.5 Оснащення операцій.....	80
4.6 Написання управляючих програм.....	85
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ	
5.1 Вступ.....	89
5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів.....	89
5.2.1 Підвищений рівень шуму.....	90
5.2.2 Електричний струм.....	90
5.2.3 Рухомі частини.....	90

5.2.4 Слизькі поверхні.....	90
5.3 Інженерні рішення	91
5.3.1 Організація навчання та інструктажів.....	91
5.3.2 Захист від рухомих частин.....	91
5.3.3 Електробезпека.....	91
5.3.4 Засоби індивідуального захисту.....	92
5.3.5 Сигнальні наклейки.....	93
5.4 Вентиляція заземлення та освітлення.....	94
5.5 Пожежна безпека.....	95
Висновки.....	97
Список літератури.....	98

ВСТУП

Паперова промисловість є однією з найдавніших та водночас найважливіших галузей, що супроводжує людство протягом століть. З плином часу технології виробництва паперу постійно вдосконалювались, розширюючи асортимент продукції, покращуючи її якість та властивості. Сучасне паперове виробництво охоплює десятки різновидів паперу, що застосовуються в найрізноманітніших сферах життя — від побутових потреб до промислових та високотехнологічних напрямків.

Проте разом з технологічним розвитком постало й чимало викликів: виробництво паперу є енергоємним процесом, який вимагає значних витрат водних та електричних ресурсів, і при цьому спричиняє істотне навантаження на навколишнє середовище. Одним з найбільш критичних аспектів є використання волокнистої сировини, основним джерелом якої залишаються деревні ресурси. Хоча ліси належать до відновлюваних екосистем, темпи їх вирубки залишаються вкрай високими, що викликає занепокоєння екологів у всьому світі.

Задля зменшення екологічного навантаження сучасні підприємства дедалі активніше впроваджують у виробництво вторинну сировину. Переробка макулатури, картону та інших паперових відходів дозволяє суттєво зменшити обсяг споживання первинного волокна. Одним із новітніх джерел вторинної сировини стала асептична упаковка типу «TetraPak» — матеріал, що має багатошарову структуру з поєднанням паперу, поліетилену та алюмінію. Ще донедавна така упаковка вважалася проблемною у переробці та часто вивозилась на полігони або спалювалась. Проте сучасні технології дозволяють ефективно виділяти з неї волокнисту частину, придатну для виробництва паперу високої якості.

Зміївська паперова фабрика активно розвиває напрям переробки асептичної упаковки, впроваджуючи новітнє обладнання та автоматизовані системи. Однак, в процесі переробки виникає проблема забруднення обладнання, зокрема — барабана центрифуги, де відбувається розділення волокна та домішок.

					ДП.МА.12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		11

Через накопичення залишків на внутрішній поверхні барабана виникає потреба у періодичному зупиненні процесу для ручного очищення, що знижує ефективність роботи підприємства.

Тому в межах даного бакалаврського проєкту розроблено **автоматизовану систему очищення барабана центрифуги**, яка дозволяє зменшити витрати часу та праці на технічне обслуговування, покращити стабільність технологічного процесу та забезпечити безперервну і екологічно безпечну переробку упаковки Tetra Pak. Запропоноване рішення спрямоване на підвищення ефективності виробництва, зменшення шкідливого впливу на довкілля та підвищення конкурентоспроможності підприємства в умовах сучасного ринку.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1.

ОГЛЯД ЛІНІЇ ПЕРЕРОБКИ TETRA PAK НА ЗМІЇВСЬКІЙ ПАПЕРОВІЙ ФАБРИЦІ

1.1 Вступ до розділу

Сучасне суспільство стикається зі зростанням обсягів твердих побутових відходів (ТПВ), серед яких значну частку займають багат шарові композитні матеріали, зокрема асептична упаковка типу TetraPak.



Рис.1 Склад упаковки TetraPak

Ці упаковки, що використовуються для рідких продуктів (молоко, соки, соуси), складаються з картону (70–75%), поліетилену (20–25%) та алюмінієвої фольги (5%), що ускладнює їх переробку через багатокомпонентну структуру [1, 2]. Метою цього розділу є огляд технології переробки TetraPak мокрим способом на прикладі Зміївської паперової фабрики, з акцентом на виявлення проблемних ділянок у роботі центрифуг та оцінку сучасних методів їх очищення.

Екологічний аспект переробки TetraPak полягає у зменшенні навантаження на довкілля, адже накопичення таких відходів на полігонах сприяє деградації екосистем.

Економічний аспект пов'язаний із можливістю повторного використання цінного целюлозного волокна та поліалюмінієвої суміші для виробництва паперової продукції чи композитних матеріалів [3]. В Україні єдиним промисловим переробником TetraPak із повним циклом є Зміївська паперова фабрика, яка обробляє до 40000 тон упаковки щорічно [4]. Переробка ускладнюється багатокomпонентними забрудненнями (органічні залишки, клей, алюміній), які накопичуються в центрифугах, знижуючи їх ефективність. Для детального розуміння технології переробки та проблематики очищення обладнання розглянемо принцип роботи виробничої лінії, що використовується на Зміївській фабриці.

1.2 Опис лінії переробки

Повний цикл переробки TetraPak мокрим способом на Зміївській паперовій фабриці складається з трьох основних ділянок: розволокнення (відділення целюлозного волокна від поліетилену та алюмінію), підготовка поліетилен-алюмінієвої суміші (ПАС), і грануляція ПАС. Загальна продуктивність лінії становить 2000 кг/год, що забезпечує переробку до 15 000 тон сировини на рік. Кожен етап має свої особливості, які впливають на ефективність процесу, але особливу увагу ми приділимо другій ділянці, де використовується центрифуга, яка потребує модернізації.

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		14

1.2.1 Ділянка 1:

Лінія розволокнення (відділення целюлозного волокна)



Рис 1.2 Ілюстрація принципу розділення упаковки TetraPak

Переробка TetraPak мокрим способом починається з етапу підготовки сировини, який відіграє ключову роль у забезпеченні якості кінцевих матеріалів. Використані упаковки TetraPak збираються через пункти прийому або системи роздільного збору сміття, після чого сортуються для видалення сторонніх матеріалів (наприклад, пластикових пляшок або металевих кришок). Сортування виконується вручну або за допомогою автоматичних сортувальних ліній із оптичними датчиками, які виявляють TetraPak за кольором і формою.

Після збору сировина направляється на подрібнення. TetraPak завантажуються в шредери, оснащені роторними ножами, які подрібнюють матеріал на фракції розміром 50–150 мм. На Зміївській фабриці використовується шредер із потужністю 30 кВт, який обробляє до 2000 кг сировини за годину. Час подрібнення однієї партії (1000 кг) становить 20–25 хвилин. Подрібнений матеріал транспортується стрічковим конвеєром зі швидкістю 0,3 м/с до магнітного сепаратора, який видаляє металеві домішки (до 95% ефективності) за допомогою магнітів із силою притягнення 5000 Гаусів.

Наступним етапом є замочування та гідророзпуск. Подрібнений матеріал поміщається у резервуари об'ємом 14000 л із водою температурою 50–60°C, де використовується гідроторатор потужністю 200 кВт. Турбулентні потоки води (швидкість 2 м/с) відокремлюють целюлозні волокна від поліетилену та алюмінію. Процес циклу триває 30–50 хвилин в залежності від типу забруднення та якості сировини, дозволяючи відокремити до 70% целюлозних волокон. Співвідношення води до сировини становить 9:1, тобто на 1200 кг сировини витрачається 11800 л води за годину. Для підвищення ефективності додають поверхнево-активні речовини, які зменшують адгезію між шарами.

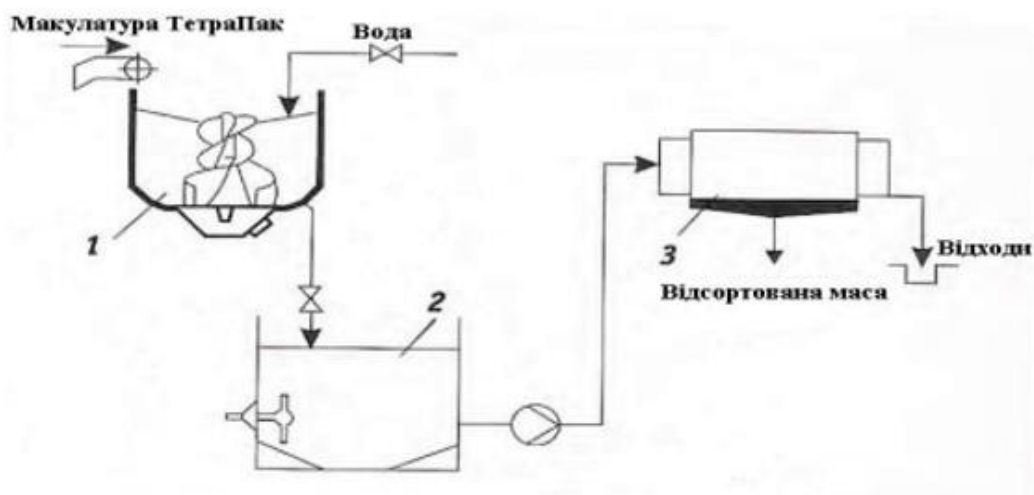


Рис. 1.3 – Вузол розпуску картонної упаковки для рідких продуктів та ламінованого паперу : 1- гідророзбивач , 2 – басейн , 3 – сортуючий барабан.

Отримана суспензія фільтрується через сита: целюлозна пульпа відокремлюється для подальшого використання у паперовому виробництві, а поліетилен-алюмінієва суміш (ПАС) направляється на наступну ділянку. Целюлозне волокно має вологість 80-85% і не потребує додаткового сушіння, так як використовується на наступних етапах в виробництві паперу .

1.2.2 Ділянка 2

Підготовка поліетилен-алюмінієвої суміші (ПАС)



Рис. 1.4 Зразок ПАСу (поліалюмінієвої суміші на виході с лінії розволокнення)

Друга ділянка є ключовою в процесі переробки, оскільки саме тут ПАС очищується і готується до грануляції. Ця ділянка переробної лінії була впроваджена на виробництві за участі німецької компанії WIPA [5] та модернізована під потреби фабрики.

Суміш, отримана після розволокнення, містить залишки целюлози, органічні забруднення, клей та дрібні частинки алюмінію. Одним з основних обладнань на цій ділянці є горизонтальна роторна центрифуга (Сушка 1), яка відіграє вирішальну роль у сепарації компонентів і потребує модернізації через проблеми з очищенням.

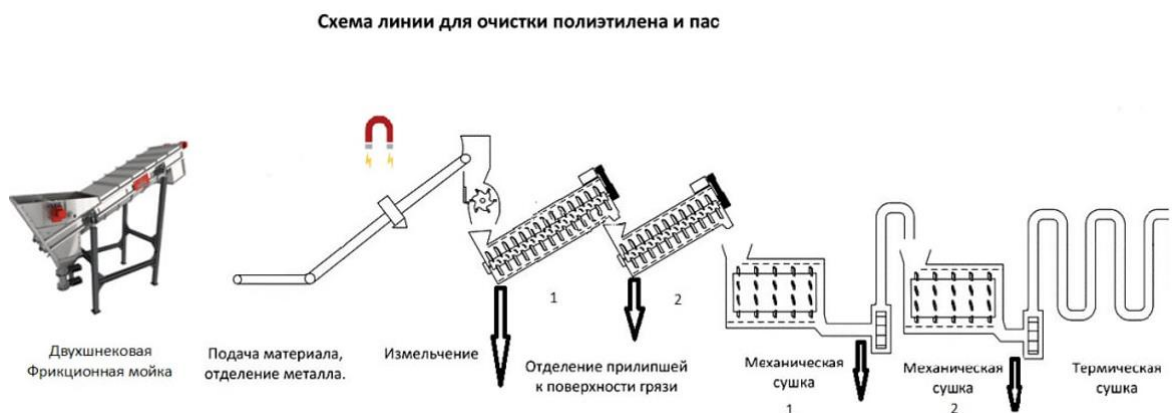


Рис 1.5 Схема лінії з очищення та зневоднення ПАС.

Спочатку ПАС подається до двонаправленої фрикційної мийки , далі по стрічковому конвеєру він йде на додаткове подрібнення ,та ще раз попередньо проходить під магнітним сепаратором. Далі суміш направляється до дробарки , яка додатково подрібнює на меншу фракцію розміром 10-50мм, після подрібнена сировина очищується у двох нахилених фрикційних мийках і подається до центрифуги, оснащеної перфорованим барабаном діаметром 602 мм. Центрифуга обертається зі швидкістю 2000–2600 об/хв, створюючи відцентрову силу до 3000 g, що дозволяє відокремити рідину з домішками (залишки целюлози, клей) від ПАС. Продуктивність центрифуги становить 500 кг/год , а вологість суміші після центрифугування знижується з 50% до 20–25%. Процес сепарації триває 5–10 сек за цикл.

Після виходу з центрифугування ПАС подається у другу центрифугу та після неї піддається додатковому сушінню в конвеєрній сушарці при температурі 80–100°C. Сушарка довжиною 5 м із циркуляцією гарячого повітря (швидкість 1,5 м/с) і потужністю 25 кВт видаляє залишки вологи до 4–5%. Час сушіння однієї партії (250 кг) становить 20-30 хвилин. На цьому етапі ПАС очищається від більшості остаточної вологи і готується до грануляції, але центрифуга залишається проблемною ділянкою через накопичення забруднень, що знижує її ефективність.

1.2.3 Ділянка 3:

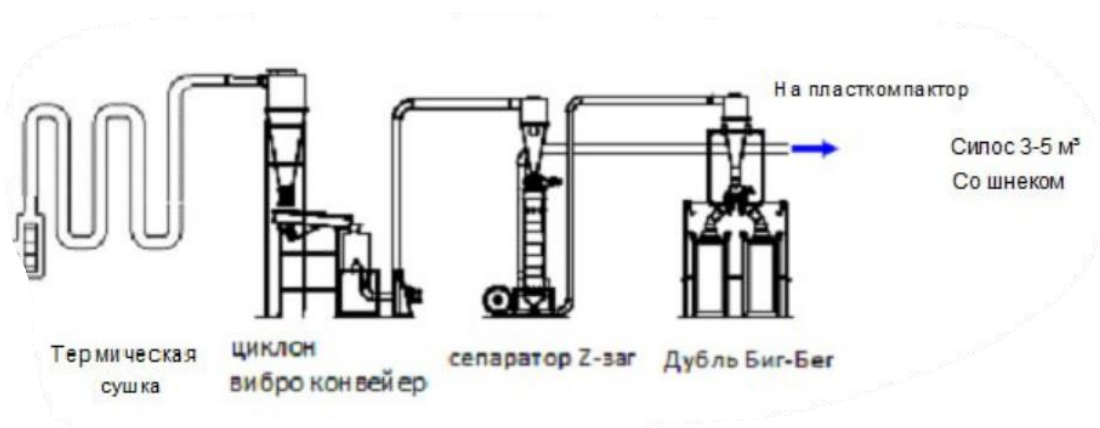


Рис. 1.6 Схема ділянки грануляції ПАС

На завершальній ділянці, запуск якої був здійснений у партнерстві з компанією TetraPak [6] суміш (ПАС) очищена від забруднень та вологи, направляється на грануляцію. Сировина подається до циклону який видаляє залишки сухого забруднення (волокна), та у Z-образному сепараторі, відділяє залишки твердих пластиків (корок з пакетів TetraPak), а потім сировина подається на пласткомпактор PALLMAN [7] Потужність пласткомпактора становить 75 кВт, а продуктивність — до 600 кг/год, що відповідає загальній потужності лінії.

Підготовлена суміш пропускається через фільтр, формуючи гранули діаметром 3–5 мм, які потім подаються на дробарку для доведення їх розміру до норми, після чого гранули упаковуються в мішки по 25 кг. Отримані гранули можуть бути використані для виробництва пластикових виробів (труби, плівки) або як добавка до будівельних матеріалів, чи навіть як сировина для виробництва добавок для модифікації бітумів та асфальтобетонних сумішей [8].



Рис. 1.7 Зразок гранули PolyAl з переробленого TetraPak

Цей етап забезпечує замкнутий цикл переробки, мінімізуючи відходи від багатошарової упаковки TetraPak, та зменшує екологічний вплив на навколишнє середовище.

Центрифуга (Сушка 1) є ключовим вузлом вир. лінії, оскільки від її технічних характеристик і стану залежить якість сепарації та загальна продуктивність процесу. Забруднення барабана подовжують час очищення до 10 хвилин , що вимагає регулярного обслуговування та призводить до зниження обсягів оброблюваної сировини. Для підвищення ефективності переробки та подолання цих проблем необхідно детально проаналізувати конструктивні особливості центрифуги, її матеріали, розміри та можливі шляхи модернізації, що буде розглянуто в наступному підпункті.

1.3 Конструкція центрифуги

1.3.1 Конструкція центрифуги



Рис. 1.8 Фото горизонтально-роторної центрифуги (Сушка 1)

джерело : Зміївська Паперова Фабрика

Основною частиною центрифуги "Сушка 1", що використовується на Зміївській паперовій фабриці для переробки TetraPak, є робочий барабан діаметром 602 мм, виготовлений із перфорованої нержавіючої сталі AISI 304.

Перфорація з отворами діаметром 2–2,5 мм забезпечує відтік рідини з домішками під дією відцентрової сили (до 3000 g), створюваної обертанням зі швидкістю 2000-2600 об/хв (34,3 об/с).

Барабан приводиться в рух електродвигуном потужністю 45 кВт, з'єднаний із шківом роторного валу через клиновий ремінь, що забезпечує плавне наростання обертів і захист від перевантажень.

Корпус центрифуги виготовлений із сталі, та є захисним корпусом для рухомих деталей центрифуги від механічних пошкоджень.

У верхній частині розташований завантажувальний бункер із клапаном, який контролює об'єм сировини (300-500 кг/год).

У нижній частині передбачені зливні патрубки для відводу рідини до системи подальшої обробки.

Вивантаження зневодненого волокна відбувається безперервно через клапан, після чого сировина надходить до наступного обладнання лінії.

1.3.2 Технічні параметри центрифуги

Перелік характеристик

Діаметр барабана: 602 мм

Швидкість обертання: 2600 об/хв (34,3 об/с)

Потужність двигуна: 45 кВт

Габарити: 2022 x 1770 x 1320 мм

Матеріал барабана: AISI 304, отвори 2–2,5 мм

Продуктивність: 450-500 кг/год – залежить від стану барабана.

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Зм.	Арк	№ докум	Підпис	Дата		21

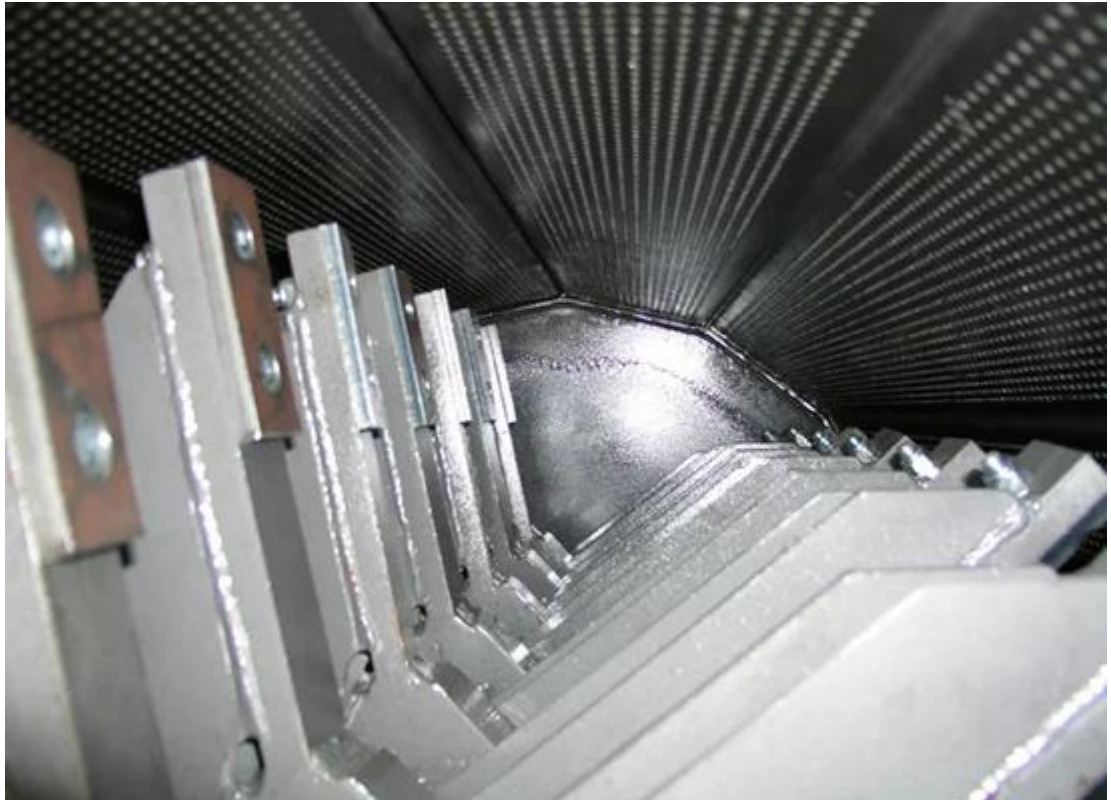


Рис. 1.9 Ротор с лопатями роторной центрифуги

Роторний механізм із чотирма рядами (лопатями) з високоміцної сталі та покриттям проти абразивного зносу забезпечує перемішування маси та транспортування зневодненої фракції до вивантажувального отвору. Швидкість обертання роторів, дозволяє адаптувати процес до різної сировини. Підшипникові вузли, змащені вологостійкими мастилами, забезпечують надійність механізму.

Захисні елементи включають кожухи та шумоізоляцію, що знижують шум до 80 дБ. Однак барабан схильний до накопичення багатокomпонентних забруднень (клей, органічні залишки, алюміній), які утворюють липкий шар товщиною 2–3 мм, знижуючи пропускну здатність на 15–20%. Очищення барабана виконується вручну, що є неефективним і призводить до простоїв до 3.5 годин на добу.

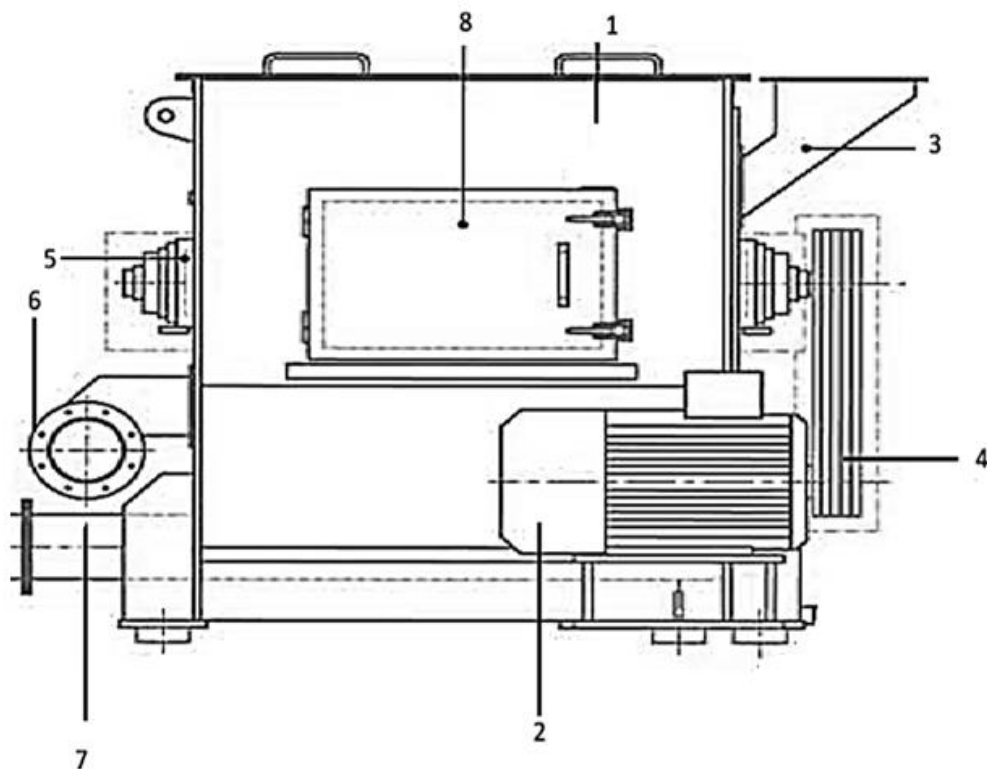


Рис. 1.10 Схема центрифуги з позначенням деталей: 1 – корпус , 2 – електродвигун 3 – завантажувальний бункер, 4 – клинові ремені, 5 – підшипникові вузли 6 – вивантажувальний клапан, 7 – патрубок зливу рідини та забруднень, 8 – оглядовий люк

Функції деталей:

Барaban: сепарація рідини та волокна.

Ротор з лопатями: перемішування та транспортування маси.

Завантажувальний бункер: подача сировини.

Зливні патрубки: відведення рідини.

Електродвигун: створення відцентрової сили .

Вивантажувальний клапан: безперервне виведення сировини

Захисні кожухи: безпека та шумоізоляція

Зм.	Арк	№ докum	Підпис	Дата

ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ

Арк

23

1.4 Проблемна ділянка та аналіз недоліків

1.4.1 Проблемна ділянка

Ефективність виробничої лінії значною мірою залежить від стану центрифуги (Сушка 1), оскільки накопичення багатокомпонентних забруднень (органічні залишки, клей, алюмінієві частинки) на внутрішній поверхні барабана знижує її продуктивність. Ці забруднення утворюють липкий шар, який ускладнює відтік рідини й зменшує пропускну здатність до 15–25%. На Зміївській фабриці ці фактори призводять до простоїв до 3.5 годин на день і витрат води до 2400 м³/рік, що підкреслює потребу в модернізації.

Функціонування центрифуги "Сушка 1" ускладнене багатокомпонентними забрудненнями, що знижують пропускну здатність на 20–25%.



Рис. 1.11 Забруднена сітка барабану центрифуги.

1.4.2 Аналіз недоліків

Неефективне очищення: Механічне очищення нейлоновими щітками (термін служби 3–6 місяців, заміна коштує 5000–7000 грн) не справляється з липкими залишками.

Низька автоматизація: Відсутність ПЛК і датчиків призводить до ручного керування, що спричиняє простої на 10–15% робочого часу.

Висока витрата води: Ручне промивання форсунками (50–100 бар) споживає 800–1000 л/год, що еквівалентно 2400 м³/рік і витратам 150 000–200 000 грн/рік. Воно неефективне проти алюмінієвих частинок, що залишаються в отворах.

Забруднення барабана: Липкий шар із клею, органічних залишків (молочний жир, цукрові сиропи) та алюмінієвих частинок засмічує отвори, знижуючи пропускну здатність на 15–25% . Це вимагає зупинки лінії для ручного очищення, що спричиняє простої до 3.5 годин на день.

Знос щіток: Нейлонові щітки зношуються за 3–6 місяців через абразивну дію алюмінію та клею, що коштує 15 000–20 000 грн/рік. Якість очищення знижується на 20–25% до кінця терміну служби щіток.

1.4.3 Перспективи модернізації

Покращення системи очищення:

Встановлення форсунок високого тиску (5–10 бар, AISI 316) для видалення м'яких забруднень із витратою води до 400 л/год.

Використання поліуретанових щіток (термін служби 12 місяців) для стійких залишків.

Автоматизація: Інтеграція ПЛК і датчиків контролю вологу сировини та автоматичного запуску адаптивних циклів очищення. Програмне забезпечення оптимізує управління.

Рекуперація води: Використання до 30% рекуперованої води знизить витрати на 240 000 л/рік, відповідаючи ISO 14001:2015.

Оптимізація системи приводу для стабільної роботи під навантаженням.

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						25
Зм.	Арк	№ док-м	Підпис	Дата		

Ці заходи підвищать ефективність очищення на 15–20%, скоротять простої та зменшать екологічний вплив.

Перспективним напрямком є автоматизація з використанням програмованих логічних контролерів (ПЛК) та модернізація системи очищення центрифуги на замовлення керівництва фабрики, які можуть зменшити витрати ресурсів на 15–25% завдяки адаптивному запуску очищення.

Аналіз конструкції центрифуги "Сушка 1" на Зміївській паперовій фабриці виявив ключові проблеми: багатокомпонентні забруднення, висока витрата води (800–1000 л/год), знос щіток (3–6 місяців), екологічні ризики та низька автоматизація, що призводять до простоїв (10–20% часу) і зниження продуктивності на 15–25%. Конструктивні недоліки (засмічення отворів, відсутність автоматизованої системи очищення, великі простої на підприємстві) ускладнюють переробку TetraPak.

Перспективи модернізації включають інтеграцію форсунок високого тиску, поліуретанових щіток, ПЛК, рекуперацію води та оптимізацію матеріалів. У наступних розділах будуть розроблені технічні рішення для підвищення ефективності, зниження витрат і відповідності стандартам ISO 14001:2015.

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						26
Зм.	Арк	№ док.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА ВАРІАНТИ РІШЕНЬ

Мета — розробити ефективну систему, яка зменшить простої, витрати ресурсів і підвищить екологічність, відповідаючи стандартам ISO 14001:2015 [9]. Для цього розглянемо потреби фабрики, (Додаток 1 ТЗ від фабрики) порівняємо існуючі системи очищення, сформулюємо технічні вимоги та обґрунтуємо вибір оптимального рішення.

2.1 Проблеми експлуатації центрифуги

Незважаючи на важливість центрифуги у процесі переробки, її експлуатація супроводжується низкою проблем. Основна з них — неефективність системи очищення, що базується на механічних щітках та ручному очищенні водою.

Ці щітки не здатні повністю видаляти липкі залишки, такі як клей і залишки поліетилен, а також стійкі забруднення, зокрема алюмінієву фольгу. Як наслідок, на внутрішній поверхні барабана накопичується шар забруднень товщиною 2–3 мм, що знижує ефективність сепарації вологи на 15–25%. Це призводить до погіршення якості відокремлення паперового волокна та забруднень з сировини ПАС. Крім того, механічні щітки швидко зношуються (термін служби 3–6 місяців), що вимагає регулярної заміни та додаткових витрат у розмірі 5000–7000 грн кожні 4–6 місяців.

Ще однією значною проблемою є часті зупинки обладнання для ручного очищення. Операторам доводиться зупиняти центрифугу на 20–30 хвилин кожні 2–3 години роботи, що сумарно складає до 3.5 годин простою на день. Такі перерви знижують загальну продуктивність лінії, ускладнюють досягнення цільових показників переробки та підвищують експлуатаційні витрати. Ці недоліки стають перешкодою для стабільної роботи підприємства, яке прагне оптимізувати процеси та відповідати екологічним стандартам. На Зміївській паперовій фабриці для очищення барабана горизонтальної центрифуги застосовується система механічних щіток та ручна промивка сіток [10].

					ДП/МА/12.13/18.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Подпись	Дата		27

2.2 Завдання модернізації

Для вирішення зазначених проблем і підвищення ефективності роботи центрифуги на Зміївській паперовій фабриці ставляться такі завдання модернізації[11]:

- Покращення очищення: розробка нової системи, яка забезпечить ефективне видалення як м'яких (клей, поліетилен), так і стійких (алюміній) забруднень, зменшивши залишкову масу на барабані на 15–20%. Це дозволить підвищити якість сепарації та зменшити вологу у сировині ПАС.
- Зменшення часу простою: впровадження автоматизованого очищення для скорочення частоти зупинок і тривалості технічного обслуговування, що підвищить продуктивність лінії до планових 15 тисяч тон на рік.
- Зниження витрати ресурсів: оптимізація споживання води (з 800 л до 360 л, тобто на 50%) та електроенергії шляхом адаптивного управління процесом очищення.
- Автоматизація: інтеграція програмованих логічних контролерів (ПЛК) і датчиків вологи для автоматичного запуску очищення без участі оператора, що підвищить безпеку та зменшить ручну працю.
- Екологічність: виключення хімічних засобів і скорочення обсягу сточних вод шляхом рекуперації до 50% використаної води, що відповідатиме стандартам ISO 14001:2015.

Ці завдання спрямовані на створення автоматизованої системи очищення, яка інтегрується з існуючими горизонтальними центрифугами та відповідає сучасним стандартам автоматизації підприємства. Модернізація не лише підвищить продуктивність фабрики, але й підтримає її прагнення до сталого розвитку та партнерства з TetraPak у рамках замкнутої економіки.

Для реалізації поставлених завдань необхідно розглянути різні технічні рішення, такі як впровадження систем високого тиску, механічного або комбінованих методів. У наступних підпунктах буде проведено аналіз цих

					ДП/МА/12.13/18.00.00.000 ПЗ	Арк
						28
Изм.	Арк	№ докум	Підпись	Дата		

варіантів, їхньої доцільності та можливості інтеграції в існуючий технологічний процес Зміївської паперової фабрики.

2.3 Розгляд трьох основних методів очищення

2.3.1 Гідравлічне очищення

Принцип дії

Гідравлічне очищення засноване на використанні струменів води під високим тиском, які подаються через спеціальні щелеві гідрофорсунки. Ці форсунки розпилюють воду з тиском до 12 бар на внутрішню поверхню барабана центрифуги, створюючи потужний гідродинамічний ефект. Струмені ефективно змивають забруднення, такі як паперові волокна, клей та інші залишки, що накопичуються під час переробки асептичної упаковки TetraPak. Форсунки встановлені на рухомій рамі, яка переміщується вздовж барабана за допомогою пневмоциліндра, забезпечуючи рівномірне очищення всієї поверхні. Цей метод не передбачає механічного контакту з обладнанням, що знижує ризик його пошкодження.

Переваги

- *Простота реалізації та обслуговування:* Система гідрофорсунок не має складних механічних компонентів, що полегшує її монтаж і технічне обслуговування. Відсутність рухомих частин, крім пневмоциліндра, зменшує ймовірність поломок.
- *Надійність:* Метод не використовує абразивні матеріали чи хімічні реагенти, що забезпечує стабільність роботи та безпеку для обладнання. Він легко інтегрується з системами автоматизації, дозволяючи налаштовувати цикли очищення через програмовані логічні контролери (PLC).
- *Ефективність:* Високий тиск води гарантує видалення більшості забруднень, особливо м'яких і липких, таких як клей і целюлозні волокна. Час очищення складає 2.5 хвилини на цикл, що значно перевищує ефективність традиційних методів.

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						29
Изм.	Арк	№ док-м	Підпись	Дата		

Недоліки

- *Велике споживання води:* Метод потребує значних обсягів води — до 800 л, що може створювати екологічні та економічні труднощі. Для вирішення цієї проблеми необхідні системи рециркуляції та фільтрації.
- *Обмежена ефективність для стійких забруднень:* Гідравлічне очищення менш ефективне проти твердих залишків, таких як алюмінієва фольга, що може вимагати додаткових заходів для повного очищення.

2.3.2 Механічне очищення (щітки)

Принцип дії

Механічне очищення за допомогою щіток передбачає використання полімерних щіток та рухомих механізмів, які фізично видаляють забруднення з зовнішньої поверхні барабана центрифуги. Механічні щітки, встановлені на рухомих траверсах, рухаються вздовж сітки з певною швидкістю знімаючи налипли шари, такі як клей, целюлозні волокна та залишки поліетилену з асептичної упаковки TetraPak. Цей метод не потребує води чи хімічних реагентів, адже його дія базується виключно на механічному впливі, що робить його залежним від міцності та абразивності щіток.

Переваги

- *Ефективне видалення налиплих шарів:* Щітки здатні видаляти щільні забруднення, такі частинки алюмінієвої фольги, які важко змиваються іншими методами. Завдяки прямому контакту з поверхнею барабана вони досягають результату навіть у випадках значного накопичення відкладень, що є актуальним для переробки TetraPak на Зміївській паперовій фабриці.
- *Простота реалізації:* Метод не вимагає складних систем подачі води чи високого тиску, що знижує початкові капітальні витрати. Обладнання легко інтегрується в існуючу конструкцію центрифуги, а його установка та базове обслуговування не потребують спеціалізованих навичок.

Недоліки

- *Зношування:* Постійний механічний контакт щіток із поверхнею барабана призводить до їхнього швидкого зношування. Термін служби щіток

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Підпись	Дата		30

становить лише 3–6 місяців, залежно від інтенсивності використання, що вимагає регулярної заміни та додаткових витрат (5000-7000грн за комплект).

- *Потреба в технічному обслуговуванні:* Зношені щітки можуть залишати мікроподряпини на барабані, сприяючи корозії та скорочуючи термін служби обладнання. Процес техобслуговування також потребує демонтажу та ручного втручання, що подовжує час простою і збільшує навантаження на персонал.

2.3.3 Комбінований метод

Принцип дії

Комбінований метод очищення барабана центрифуги об'єднує гідравлічне та механічне очищення для максимальної ефективності[12]. Гідрофорсунки подають струмені води під високим тиском (до 12 бар), розм'якшуючи та змиваючи липкі забруднення, такі як клей і целюлозні волокна, з поверхні барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці. Одночасно полімерні щітки рухомого механізму рами механічно видаляють залишки стійких відкладень, включаючи алюмінієву фольгу, які гідроочищення не може усунути повністю. Форсунки інтегруються з системою щіток, часто з водою, що спрямовується безпосередньо перед щітками, забезпечуючи синхронну дію. Цей підхід адаптується до складних забруднень, характерних для переробки TetraPak, і може бути автоматизований через програмований логічний контролер (PLC).

Переваги

- *Поєднання гідравлічного та механічного методів:* Комбінація дозволяє використовувати переваги обох технологій — гідроочищення розпушує забруднення, а щітки завершають процес, видаляючи залишки. Це забезпечує комплексне очищення, яке перевершує окремі методи за якістю та глибиною впливу.

- *Синергія: підвищення ефективності при меншому водоспоживанні:* Завдяки синергії водяний струмінь розм'якшує забруднення, зменшуючи необхідність інтенсивного механічного впливу, що

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Підпись	Дата		31

знижує знос щіток. Водоспоживання оптимізується (до 360 л порівняно з 800 л у чисто гідравлічному методі), оскільки вода подається цільово, а не розпорошується масово. Ефективність очищення зростає до 95–98%, скорочуючи час циклу до 2-3 хвилин.

Недоліки

- *Складність впровадження:* Комбінована система потребує інтеграції насосного обладнання для форсунок і механічних приводів для щіток, що підвищує капітальні витрати (близько 12 000 грн) і складність синхронізації.

- *Помірний знос:* Хоча попереднє змивання водою зменшує абразивний вплив, щітки все ж зношуються (термін служби 6–12 місяців), вимагаючи періодичної заміни.

2.4 Обґрунтування вибору комбінованого методу

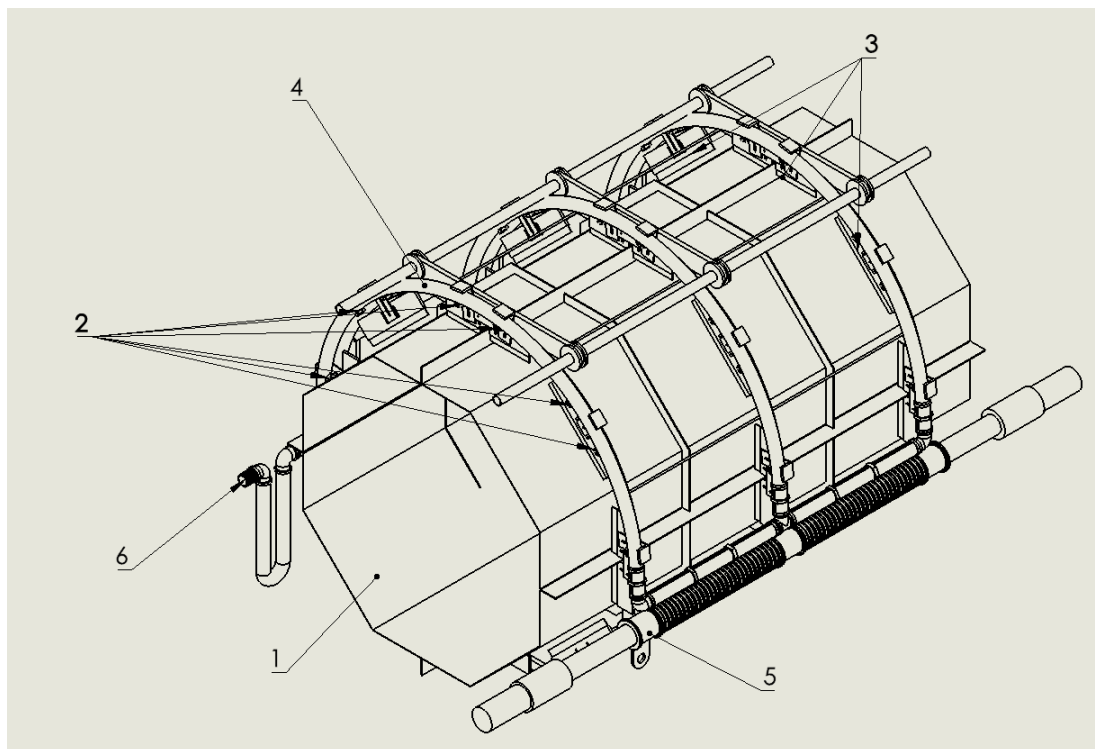


Рис. 2.1 Схема розміщення форсунок та щіток на сітці барабана.

1 – перфорована сітка барабану центрифуги , 2 – гідрофорсунки , 3 щітки поліуретанові , 4 – гідроконтур , 5 – система приводу механічного переміщення , 6 – гідрорукав високого тиску.

2.4.1 Чому саме цей варіант найбільш придатний для модернізації конкретної системи

Комбінований метод, що об'єднує гідравлічне очищення форсунками (2) та механічне очищення щітками (3), є найбільш придатним для модернізації системи очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці через специфіку переробки асептичної упаковки TetraPak [13]. Ця упаковка містить багатокомпонентні забруднення — клей, целюлозні волокна та алюмінієву фольгу, які вимагають комплексного підходу. Окремі методи, такі як гідроочищення чи щітки, не справляються з усіма типами забруднень: гідрофорсунки неефективні проти стійких відкладень, а щітки швидко зношуються й залишають подряпини. Комбінований метод адаптується до цих умов, використовуючи воду для розм'якшення забруднень і щітки для їхнього видалення, що ідеально відповідає потребам виробництва з високими вимогами до ефективності та екологічності.

2.4.2 Переваги в контексті виробництва, економії ресурсів і зниження простоїв

- *Виробництво:* Комбінований метод підвищує ефективність очищення до 95–98%, що забезпечує стабільну сепарацію паперового волокна та забруднень та підтримку продуктивності на рівні 500 кг/год. Це дозволяє фабриці досягати планових 15 тисяч тон переробки на рік, зберігаючи якість продукції та відповідаючи стандартам партнерства з TetraPak у рамках замкнутої економіки.
- *Економія ресурсів:* Завдяки синергії методів водоспоживання знижується до 360л. (порівняно з 800л. у чисто гідравлічному методі), а цільова подача води через форсунки оптимізує використання ресурсів. Енергоспоживання залишається помірним, а відсутність хімічних реагентів зменшує витрати на утилізацію стоків. Система рециркуляції води (до 80%) додатково економить до 1400м³/рік, що відповідає ISO 14001:2015.
- *Зниження простоїв:* Час очищення скорочується до 2-3 хвилин на цикл завдяки автоматизованому процесу, що зменшує простої з 3.5 годин на день до мінімуму. Це підвищує загальну продуктивність лінії, скорочуючи

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Підпись	Дата		33

невиробничі втрати на 10–15% і дозволяючи уникнути частого ручного втручання, яке є ризикованим і трудомістким.

Метод очищення	Ефективність	Складність впровадження	Знос обладнання	Споживання ресурсів	Екологічність
Лише гідрофорсунки	Висока при видаленні застарілого та сильного забруднення; чудово очищає важкодоступні місця	Помірно висока: потрібні насоси високого тиску, й клапани контролю тиску	Низький (відсутність абразивних частинок, але можливий гідроерозійний вплив при надто великому тиску)	Дуже високий: потребує великих обсягів води та енергії для створення тиску	Висока: без використання хімікатів, але є проблема відведення використаної води
Лише щітки	Середня: добре видаляють розпушені осади і фольгу; прості в реалізації	Низька: проста конструкція, відсутність складної автоматики; легка установка і обслуговування	Помірний: зношуються самі щітки (потребують заміни), можливі подряпини на барабані при грубому очищенні	Низьке: в основному електроенергія на двигун; вода не потрібна	Висока: не потребує хімічного миття або великого обсягу води
Комбінований (форсунки + щітки)	Висока: синергія методів – вода	Середня: необхідно і насосне, і механічне	Помірний: щітки зношуються, але корпус	Помірне: загалом менше води, ніж при суто	Екологічно збалансований: немає хімії,

Метод очищення	Ефективність	Складність впровадження	Знос обладнання	Споживання ресурсів	Екологічність
	розм'якшує забруднення, щітки зчищать залишок	обладнання; складна інтеграція систем	барабана захищений передочищенням водою	гідроочищення (цільована подача); витрати на енергію для насосів і двигуна	оптимізоване використання води

2.5 Схема інтеграції з існуючим обладнанням

2.5.1 Як запропонована система очищення буде вбудована в наявну конструкцію центрифуги

Запропонована комбінована система очищення, що включає гідрофорсунки, щітки, пневмоциліндр та системи рециркульованої води, буде інтегрована в центрифугу як модифікація існуючої системи очищення.



Рис 2.2 Фото сітки та щіток з рухомим механізмом центрифуги

З огляду на надане зображення, яке демонструє барабан із перфорованою поверхнею та встановленими щітками на металевих траверсах, система кріпитиметься до корпусу центрифуги за допомогою опорних кріплень, використовуючи наявні монтажні отвори у міцних зонах рами. Гідравлічна частина, буде розміщена на рухомій рамі, яка переміщується пневмоциліндром односторонньої дії із ходом 0,4 м. Форсунки спрямовуватимуть струмінь води (тиск до 12 бар, витрата одної форсунки до 5 л/хв) на зовнішню поверхню барабана, синхронізовано зі щітками для видалення залишків забруднень. Пневматична система подаватиме стиснене повітря (6 бар) через фільтр-регулятор, а електричне підключення до мережі 24 V DC через роз'єм до ПЛК, який забезпечить автоматизацію.

2.5.2 Чи потрібно вносити зміни в конструкцію

Інтеграція потребуватиме мінімальних змін у конструкції центрифуги. Щітки вже інтегровані на металевих рамах, тому додавання гідрофорсунок і пневмоциліндра не вимагатиме розширення рами для розміщення форсунок і забезпечення їхнього синхронного руху. Загалом, зміни будуть локальними і не зачеплять основний механізм центрифуги.

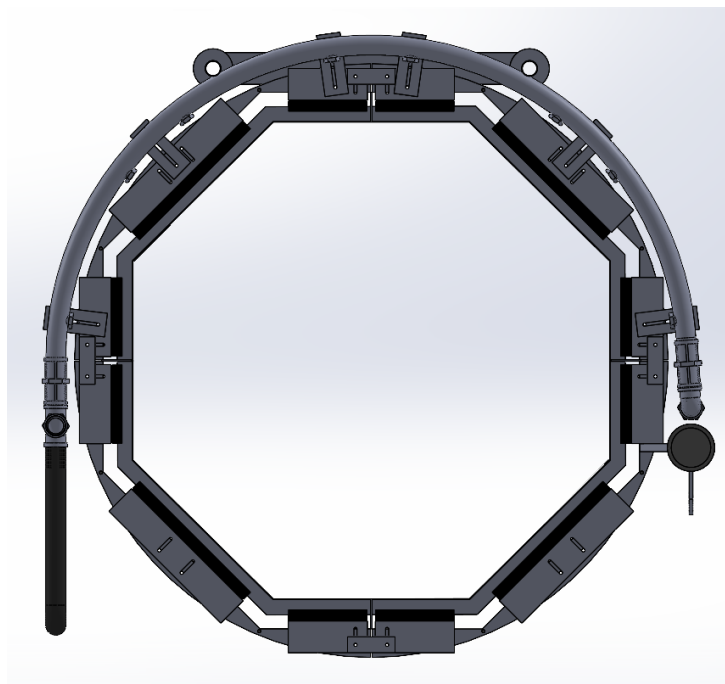


Рис 2.3 Розміщення напівкола гідрофорсунок на раму на яких розташовані щітки та існуючий механізм руху модернізований під рух пневмоциліндром

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Подпись	Дата		36

2.6 Попередня схема та опис логіки взаємодії між вузлами

Логіка взаємодії між вузлами базується на автоматизованому циклі. Пневмоциліндр ініціює рух рами з форсунками та щітками вздовж барабана. Форсунки подають воду під тиском до 12 бар, розм'якшуючи забруднення, а щітки видаляють залишки. Використована вода надходить до системи очищення оборотної води та повертається для повторного використання.

Функції автоматизації:

Автозапуск за сигналом датчика вологості (пориг 18-20%).

Таймер для циклу промивки (2.5 хвилин)

Ручний запуск через кнопку.

Керування клапаном високого тиску подачі води.

Керування пневмоциліндром через пневморозподільник подачі тиску.

Простота: Система максимально спрощена для легкості реалізації та обслуговування (використання кінцевих вимикачів, мінімум компонентів).

2.7 Підбір системи керування

2.7.1 Принцип роботи

Пневмоциліндр і система керування є ключовими елементами автоматизації комбінованої системи очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці.

Пневмоциліндр забезпечує лінійне переміщення рухомої рами з форсунками та щітками вздовж барабана. Циліндр працює за рахунок стисненого повітря (6 бар), яке подається через пневматичну систему, приводячи в рух поршень із ходом 0.4 м. Це дозволяє рівномірно очищати барабан діаметром 602 мм, переміщуючи раму зі швидкістю 0,075 м/с. Система керування, побудована на базі PLC Festo CPX-E, забезпечує автоматизацію процесу: він регулює подавання води через команду на клапан гідропідключення, швидкість руху циліндра та довжину руху завдяки магнітно -кінцевим вимикачам, та синхронізує роботу форсунок і щіток. Алгоритми системи включають ручний та автоматичний режим, ручний режим запускається оператором лінії при необхідності ручного запуску циклу, а автоматичний режим ,

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Подпись	Дата		37

який використовує дані з датчика вологи, що встановлений на виході Сушки 2, запускає цикл очищення сітки по заданому алгоритму у ПЛК

2.7.2 Які параметри мають значення

При виборі пневмоциліндра ключовими є хід (363мм), що відповідає довжині сегмента сітки барабана, і швидкість руху (0,075 м/с), яка забезпечує оптимальний час очищення (2,5 хвилин на цикл). Зносостійкість циліндра (ресурс 500 000 циклів) і відповідність стандарту ISO 8573-1 є важливими для безпечної роботи в умовах переробки "TetraPak".

Для системи керування критичними параметрами є гнучкість налаштувань ПЛК, який в подальшому дасть можливість корегувати періоди, кількість та параметри датчиків та приладдя а також точність регулювання й швидкості опитування даних датчика вологи. Наявність двох режимів роботи забезпечує гнучкість і безпеку експлуатації.

Висновок

Модернізація системи очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці шляхом впровадження комбінованого методу, що поєднує гідравлічне очищення форсунками та механічне очищення щітками, дозволяє ефективно вирішити існуючі проблеми. Цей підхід забезпечує видалення як липких (клей, целюлозні волокна), так і стійких (алюмінієва фольга) забруднень, підвищуючи ефективність сепарації на 15–20% і зменшуючи вологість сировини ПАС. Автоматизація процесу за допомогою пневмоциліндра і ПЛК Festo CPX-E скорочує час простою з 3.5 годин до 2.5 хвилин на цикл, підвищуючи продуктивність лінії до планових 15 тисяч тон на рік.

Оптимізація ресурсів досягається завдяки зниженню водоспоживання до 360 л на цикл (з 800 л) і, що відповідає стандартам ISO 14001:2015 і сприяє екологічній стійкості. Економія електроенергії та відсутність хімічних реагентів зменшують експлуатаційні витрати та обсяги стічних вод. Інтеграція з існуючим обладнанням потребує мінімальних конструктивних змін, а знос щіток (6–12 місяців) оптимізується завдяки попередньому гідроочищенню.

					ДП МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		38

Отже, обране рішення не лише підвищує ефективність виробництва, а й підтримує стратегічні цілі фабрики щодо сталого розвитку та партнерства з TetraPak, забезпечуючи конкурентоспроможність і відповідність сучасним екологічним вимогам.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ док-м	Підпись	Дата		39

РОЗДІЛ 3 ТЕХНІЧНЕ РІШЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ

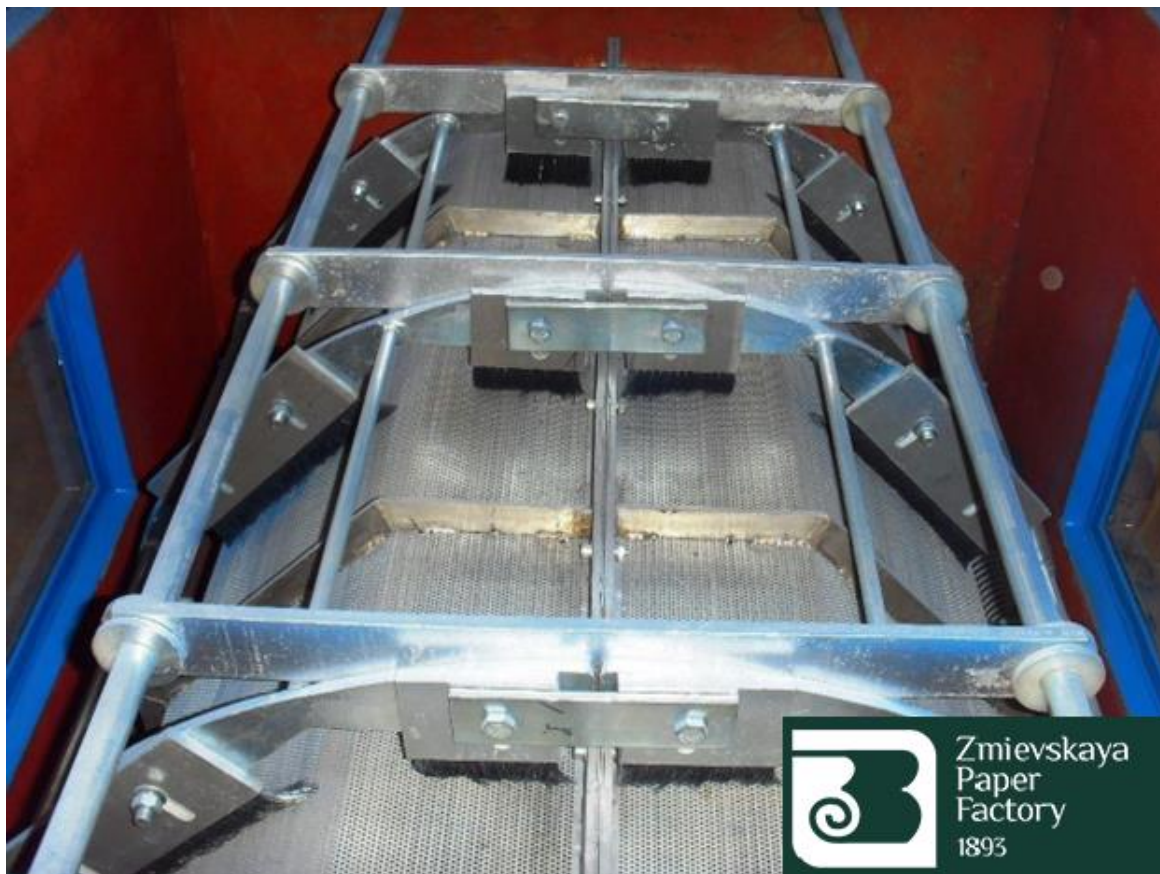


Рис.3.1 Роторна центрифуга , наявна система очищення (джерело Зміївська паперова фабрика)

3.1 Огляд наявної системи очищення

Існуюча система очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці, яка щорічно переробляє до 15 тисяч тон асептичної упаковки TetraPak, базується на механічному методі з використанням щіток, інтегрованих у траверсну конструкцію. Барабан діаметром 602 мм, виготовлений із перфорованої сталі AISI 304 із отворами 2-2.5 мм, обертається зі швидкістю 2000-2600 об/хв, накопичуючи вторинну сировину, включаючи клей, целюлозні волокна та алюмінієві частинки. Система складається з приводу, який забезпечує поступальний рух щіток уздовж напрямних, що фіксують їхнє положення, та траверси, яка синхронізує роботу модулів. Процес очищення передбачає зупинку обладнання кожні 2–3 години, коли щітки переміщуються вздовж барабана, видаляючи забруднення механічно.

Однак ця система не використовує воду чи додаткові засоби, що обмежує її ефективність, особливо щодо липких і стійких відкладень. Термін служби щіток

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		40

становить лише 3–6 місяців через інтенсивне зношування, а час одного циклу очищення сягає 10 хвилин, що призводить до значних простоїв. Такий підхід, хоч і простий у реалізації, не відповідає сучасним вимогам до продуктивності (500кг/год) і екологічним стандартам, що спонукає до пошуку альтернативних рішень.

На основі аналізу існуючої системи очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці, яка відіграє ключову роль у переробці значних обсягів асептичної упаковки TetraPak, стає очевидною необхідність її модернізації, що й визначає перехід до підбору відповідних компонентів для вдосконалення процесу.

3.2 Підбор комплекту обладнання

3.2.1 Підбір пневматичного обладнання

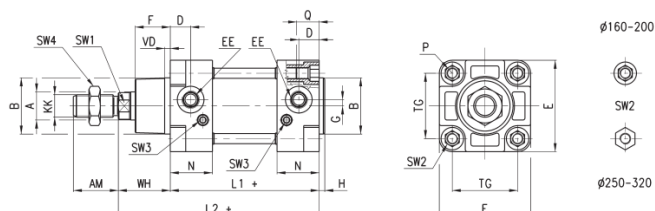
1. Вибір пневмоциліндра

Згідно зі стандартом ISO 8573-1, пневмоциліндр із діаметром поршня 50 мм відповідає вимогам до якості стисненого повітря та зносостійкості (ресурс 500 000 циклів). Такий діаметр забезпечує оптимальний баланс між міцністю, масою та ефективністю, що дозволяє циліндру витримувати тривалу експлуатацію без частих замін чи ремонтів. Під час роботи рама з форсунками та щітками може зазнавати бічних навантажень через нерівномірний тиск щіток або вібрації барабана. Поршень діаметром 50 мм має достатню міцність і жорсткість, щоб протистояти цим навантаженням, запобігаючи деформації чи пошкодженню циліндра.

Для данної очисної системи, підбираємо Пневмоциліндр односторонньої дії Camozzi 40M1L050A0400 (серія 40, ISO 6431/VDMA, магнітний, односторонній) що виконуватиме основну механічну дію з переміщення очисної конструкції вздовж барабану.

Каталог Camozzi [14]

					ДП.МА.12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		41



Діаметр поршня:	50мм
Ход	400 мм
Дія	Одностороння, з поворотною пружиною (нормально втягнутий шток, штовхаючий)
Тиск	2-10
Підключення:	G3/8" (для шлангів 10–12 мм)
Матеріал:	Анодований алюміній (гільза), нержавіюча сталь (шток)
Магнітний поршень:	Сумісний з датчиками CST/CSV
Демпфування:	Регульоване

2. Вибір Кінцевих датчиків положення

Для данної очисної системи , за відповідним пневмоциліндром обираємо Датчики положення герконові Camozzi CST-232 (2 шт.) для виявлення крайніх положень циліндра та для керування системою

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		42

Датчики CST-232 призначені для Т-подібного пазу циліндрів серії 40, як Camozzi 40M1L050A0400. Це забезпечує легкий монтаж без адаптерів і точне виявлення магнітного поля поршня для контролю крайніх положень (хід 0,363 м).

Каталог Camozzi [15] (Технічні характеристики Додаток 2)

3. Вибір Пневморозподільника

За завданням обираємо розподільник моделі Camozzi 354-011-02 (5/2-ходовий, бістабільний)

Розподільник призначений для роботи з пневмоциліндром Camozzi 40M1L050A0400, який використовує тиск 6 бар. Підключення G1/4" підходить для стандартних шлангів 8–12 мм, що застосовуються в системі.

Витрата 1300 Нл/хв. Розрахунок потреби:

Об'єм циліндра: $V = \pi \cdot (0,025)^2 \cdot 0,363 \approx 0,712 \text{ л}$. Для циклу (висування+втягування): $V_{\text{цикл}} = 2 \cdot 0,712 = 1,424 \text{ л}$. Час циклу 150 с, частота 0.1 цикл/сек. Витрата: $Q = 1,424 \cdot 0,1 \cdot 60 \approx 8,544 \text{ л/с} = 51.26 \text{ Нл/хв}$. Нормалізована витрата при 6 бар значно менша за 1300 Нл/хв, що гарантує стабільну роботу.

Каталог Camozzi [16] (Технічні характеристики Додаток 2)

4. Вибір Пневматичного шлангу

Для з'єднання пневматичних компонентів, використовуємо обраний Пневматичний шланг Camozzi TPU 10/8 (поліуретановий)

Робочий тиск системи становить 6 бар, а шланг витримує до 15 бар, що забезпечує значний запас міцності. Внутрішній діаметр 8 мм дозволяє пропускати достатній потік повітря (1300 Нл/хв від розподільника) для роботи пневмоциліндра Camozzi 40M1L050A0400.

Поліуретан (TPU) є гнучким, зносостійким і стійким до корозії матеріалом, що критично важливо в агресивному середовищі переробки "Тетра Пак" із високою вологістю та мийними засобами. Температурний діапазон -

					ДП.МА.12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		43

20...+60°C відповідає умовам паперової фабрики, де можливі перепади температур.

Каталог Camozzi [17] (Технічні характеристики Додаток 2)

5. Вибір Фітингів

Попередній розрахунок показав, що нормалізована витрата системи становить ~51,26 Нл/хв (15 циклів за 150 с, об'єм циклу 1,424 л). Фітинги серії 6000 з діаметром 10 мм мають достатню пропускну здатність для витрати 1300 Нл/хв пневморозподільника.

Для оцінки втрат тиску через фітинги використаємо спрощену формулу для пневматичних з'єднань: $\Delta P = k \cdot Q^2$ де k — коефіцієнт опору (для прямих фітингів ~0,01–0,02, для кутових ~0,03–0,05), Q — витрата в л/с (51,26/60 ≈ 0,854 л/с).

Для прямого фітинга ($k \approx 0,015$): $\Delta P = 0,015 \cdot (0,854)^2 \approx 0,011$ бар

Для кутового ($k \approx 0,04$): $\Delta P = 0,04 \cdot (0,854)^2 \approx 0,029$ бар

Загальні втрати для 2 прямих і 2 кутових фітингів: $2 \cdot 0,011 + 2 \cdot 0,029 \approx 0,08$ бар, що незначно впливає на тиск 6 бар, забезпечуючи стабільну роботу циліндра зі швидкістю 0,075 м/с.

Для з'єднання компонентів обираємо фітинги моделей Camozzi 6512 10-1/4 (2 шт., G1/4" для шланга 10 мм) та Camozzi 6522 10-1/4 (2 шт., G1/4", 90°)

Каталог Camozzi [18] (Технічні характеристики Додаток 2)

6. Вибір блоку підготовки повітря

Обираємо Фільтр-регулятор моделі Camozzi MX2-1/2-FR

Ступінь фільтрації 25 мкм відповідає вимогам стандарту ISO 8573-1 для якості повітря, що використовується в пневмоциліндрі та розподільнику. Це захищає компоненти від пилу, вологи та інших забруднень, які можуть бути присутні в агресивному середовищі переробки "Тетра Пак". Напівавтоматичний дренаж і функція самоскидання (self-relieving) забезпечують видалення конденсату, знижуючи ризик корозії та подовжуючи термін служби системи.

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Підпись	Дата		44

Згідно з каталогом, MX2-1/2-FR забезпечує витрату повітря до 4800 Нл/хв, що значно перевищує потребу системи (~51,26 Нл/хв для 15 циклів за 150 с, як розраховано раніше). Це гарантує стабільну подачу повітря без падіння тиску, навіть при пікових навантаженнях. Розрахунок втрат тиску через фільтр-регулятор: $\Delta P = k \cdot Q^2$ де $k \approx 0,005$ (для фільтрів із 25 мкм), $Q = 51,26/60 \approx 0,854$ л/с. $\Delta P = 0,005 \cdot (0,854)^2 \approx 0,0036$ бар Втрати тиску (~0,0036 бар) мінімальні, що не впливає на продуктивність системи.

Каталог Camozzi [19] (Технічні характеристики Додаток 2)

7. Вибір пневмодросселя

Пневмодроссель без зворотного клапана дозволяє точно регулювати потік повітря в обох напрямках (висування та втягування), що необхідно для контролю швидкості пневмоциліндра (0,075 м/с). Умовний прохід 3 мм забезпечує достатню пропускну здатність для витрати ~51,26 Нл/хв (розраховано раніше: 15 циклів за 150 с, об'єм циклу 1,424 л). Згідно з каталогом, RFO 383-1/8 забезпечує потік до 149 л/хв при 6 бар (при відкритому дроселі), що значно перевищує потреби системи, дозволяючи точно налаштувати швидкість.

Для регулювання тиску повітря що подається на пневмоциліндр обираємо Пневмодросселі моделі RFO 383-1/8. Каталог Camozzi [20] (Технічні характеристики Додаток 2)

8. Вибір Кріплення для циліндра

Обираємо Фланець Camozzi D-E-41-50 (для серії 40, діаметр 50 мм)

Фланець D-E-41-50 розроблений спеціально для пневмоциліндрів серії 40 з діаметром поршня 50 мм, як у моделі Camozzi 40M1L050A0400. Це забезпечує ідеальне прилягання та надійне кріплення без додаткових адаптерів, спрощуючи монтаж і знижуючи ризик зміщення циліндра під час роботи.

Каталог [21] (Технічні характеристики Додаток 2)

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		45

9. Вибір комплекту гофро-захисту

У середовищі переробки "Тетра Пак" присутні висока вологість, мийні засоби та потенційні забруднення (паперовий пил, залишки матеріалу). Матеріали гофрозахисту — нержавіюча сталь AISI 420В, анодований алюміній, NBR (нітрильний каучук) і пластик — стійкі до корозії, хімічних речовин і механічних пошкоджень. Це подовжує термін служби штока циліндра (ресурс 500 000 циклів) і запобігає його зносу від зовнішніх факторів.

Обираємо комплект гофор-захисту моделі CR-40-050-490/KITS-UA01(2шт.)

Комплект CR-40-050-490/KITS-UA01 розроблений спеціально для пневмоциліндрів серії 40 з діаметром поршня 50 мм, як у моделі Camozzi 40M1L050A0400. Хід гофрозахисту (246–490 мм) перекриває робочий хід циліндра (0,363 м = 363 мм), забезпечуючи повний захист штока при висуванні та втягуванні.

Каталог Camozzi [22] (Технічні характеристики Додаток 2)

10. Вибір кріплення для штока

Обираємо вилку для штока G-50-63

Вилка Camozzi G-50-63 має внутрішню різьбу M16x1.5, яка ідеально відповідає зовнішній різьбі M16x1.5 на кінці штока пневмоциліндра Camozzi 40M1L050A0400 із діаметром поршня 50 мм.

Ця сумісність забезпечує надійне та точне з'єднання, роблячи вилку ідеально підходящою для кріплення штока до рухомої рами системи очищення барабана.

Каталог Camozzi [23] (Технічні характеристики Додаток 2)

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		46

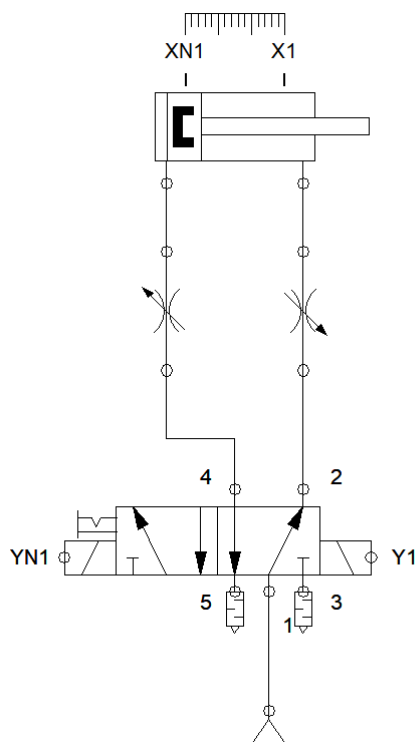


Рис. 3.2 Принципова пневмосхема системи очищення центрифуги

3.2.2 Підбір Гідравлічного обладнання

3.2.2.1 Покрита площа центрифуги, оптимальна висота влаштування форсунок

Для забезпечення ефективного очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці, де переробляється 15 тисяч тонн TetraPak на рік, необхідно розрахувати покриту площу барабана з діаметром 602 мм (на основі якого формується восьмикутник) і довжиною 1,1 м, а також визначити оптимальну висоту розташування форсунок. У системі використовується обруч діаметром 800 мм із вісьмю форсунками, кожна з яких спрямована перпендикулярно до поверхні барабана.

Площа барабану розраховується наступним чином

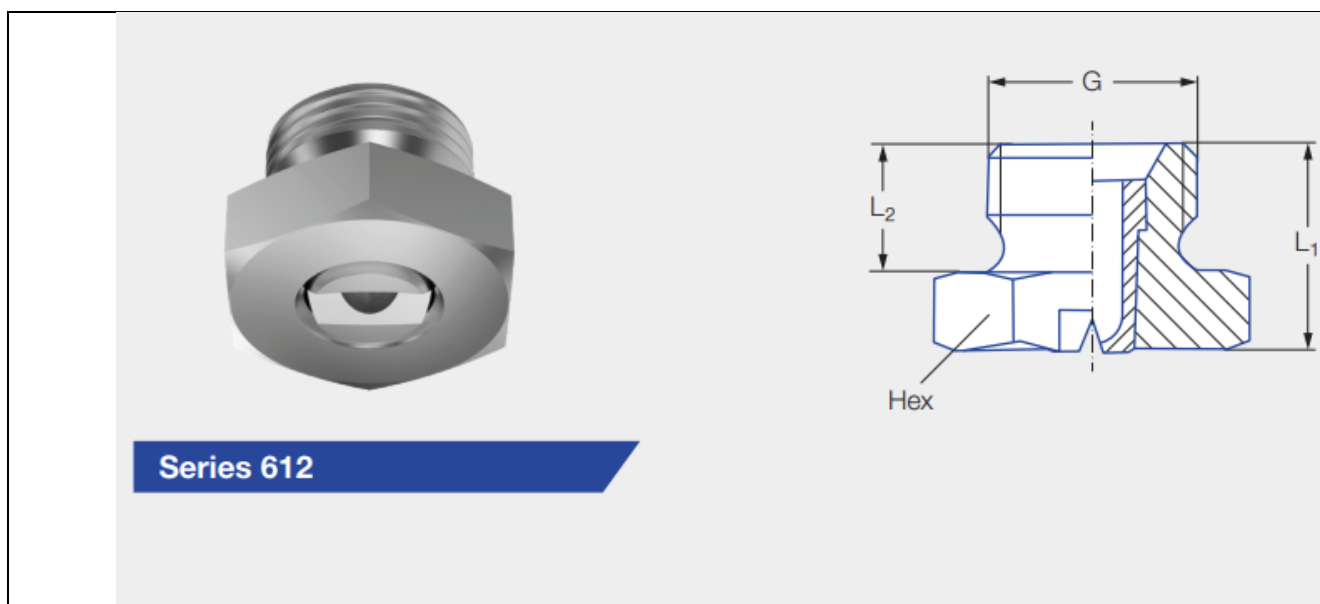
$$S=8*3*0.363*0.25=2.166 \text{ м}^2$$

Отже кожна форсунка омиватиме сектор поверхні барабана , розмірами 123 мм 363 мм ширини довжини відповідно.

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Підпись	Дата		47

Отже для оптимального покриття сектору барабана обираємо форсунку з кутом розпилення 90 градусів. Беремо GOESSLING Nozzle моделі 612.516.

Каталог [24] (Технічні характеристики Додаток 2)



Кут розпилення	90
Довжина форсунки L1	13
Довжина форсунки L2	8
Вага	14 г (Латунь)
Ширина розпилення на висоті 250 мм (при тиску 5 бар)	480мм
Витрата	3 л/хв

Для даної моделі , при висоті 250 мм форсунка покриватиме ділянку шириною 480мм. Для того щоб покрити ділянку шириною 123 мм , форсунку необхідно розмістити на висоті

$$h = 123 / (480/250) = 64 \text{ мм.}$$

Діаметр обруча становить 800 мм, а діаметр барабана — 602 мм, тому відстань між поверхнею барабана та обручем:

$$(800 - 602) / 2 = 99 \text{ мм}$$

Оскільки довжина форсунки становить 13 мм, а відстань від кінця форсунки до поверхні барабана має бути 64 мм, загальна відстань від поверхні барабана до точки кріплення форсунки на обручі:

99-13=77 мм

Що трохи більше за необхідні 64 , форсунка покриватиме ділянку довжиною
 $A = 77 * (480/250) = 144 \text{ мм}$

Для компенсації цієї різниці можна відрегулювати тиск форсунок або використати насадки для корекції кута розпилення, що є стандартною практикою для моделі 612.516.

Розташування восьми форсунок на обручі з по окружності забезпечує рівномірне покриття восьмикутника. По довжині барабана (1,1 м) кожна форсунка рухається синхронно з траверсою, покриваючи ділянку довжиною 363 мм (хід пневмоциліндра Camozzi 40M1L050A0400) за цикл.

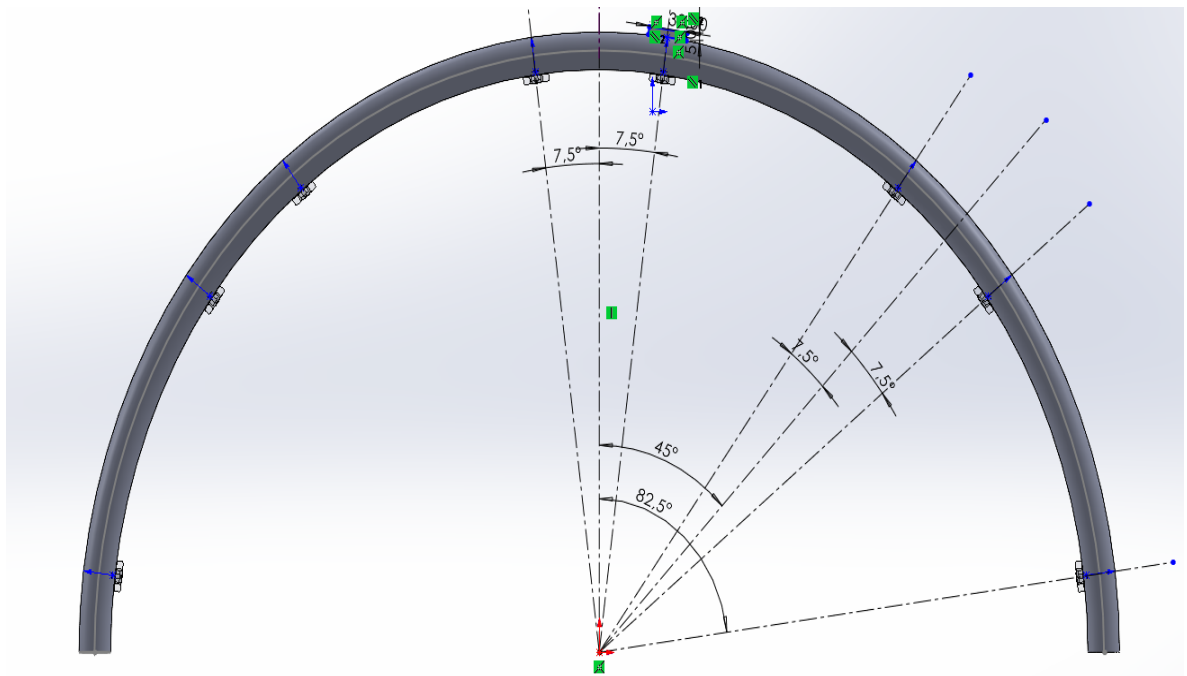


Рис.3.3 Розташування форсунок на обручі

3.2.2.2 Обґрунтування вибору форсунки GOESSLING Nozzle 612.516:

Модель 612.516 із кутом розпилення 90° дозволяє точно контролювати ширину покриття, що є критичним для рівномірного очищення барабана з діаметром 602 мм. Розрахунки показують, що при відстані 77 мм ширина покриття становить 144 мм, що з корекцією тиску або насадками досягає необхідних 123 мм, забезпечуючи повне покриття без "мертвих зон". Довжина форсунки 13 мм ідеально

вписується в конструкцію обруча діаметром 800 мм, що підтверджує її вибір як оптимального рішення для системи очищення.

Залежність витрати води (V_{water} [л/мін]) від тиску (p [бар]) для форсунок 90°

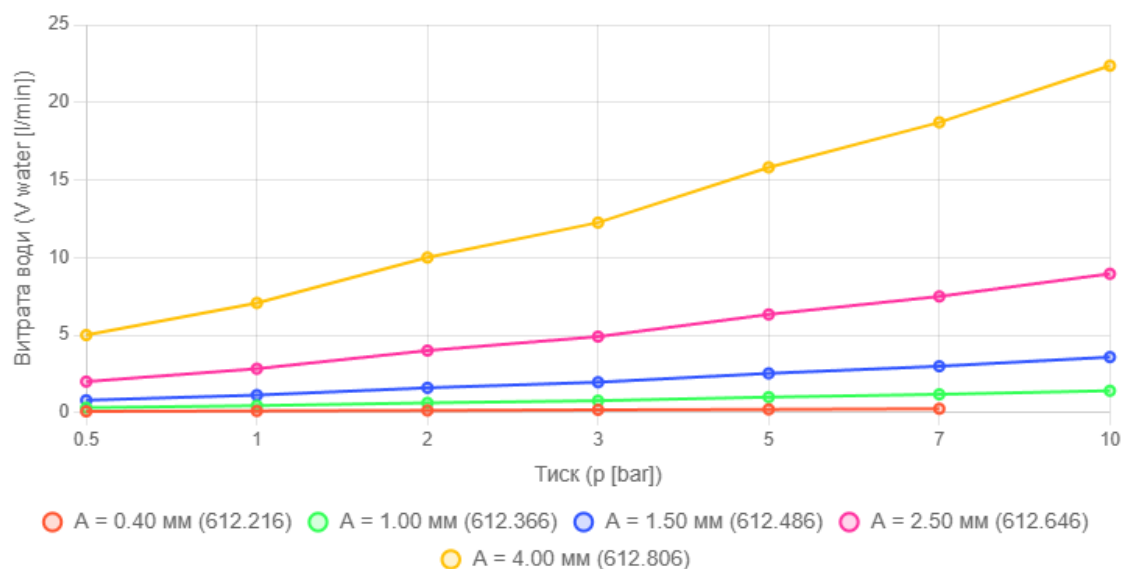


Рис.3.4 Залежність витрати води від тиску для форсунок з різним діаметром отвору

Залежність витрати води (V_{water} [л/мін]) від діаметра сопла (A [мм]) при $p = 5$ бар (90°)

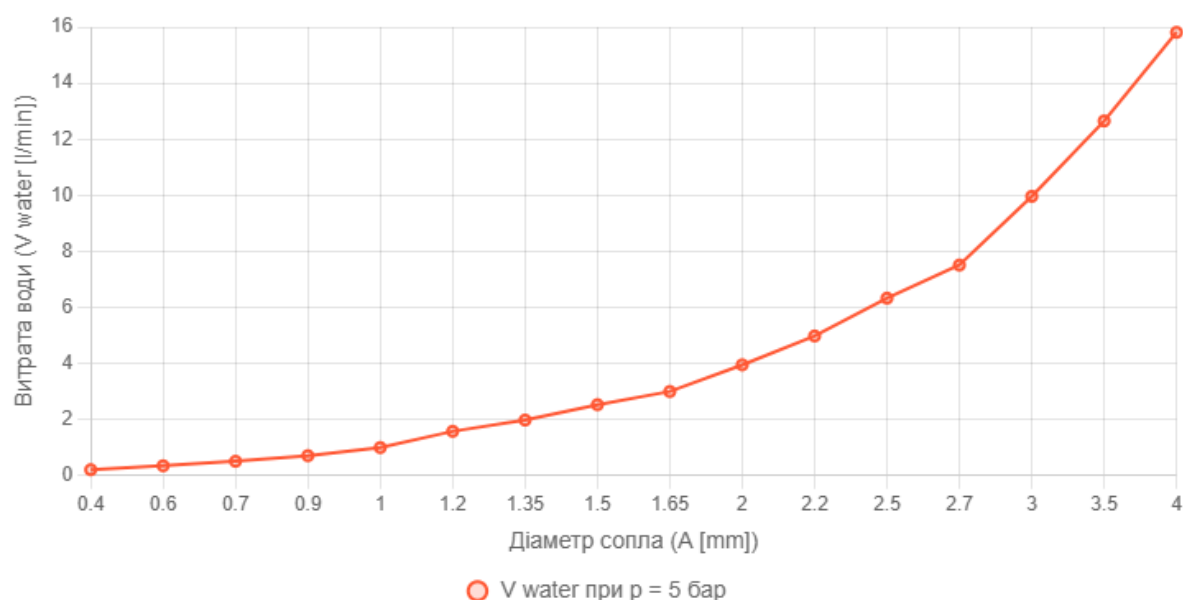


Рис.3.5 Залежність витрати води від діаметра сопла (для тиску 5 бар)

3.2.2.3 Витрати води на форсунки

Згідно з каталогом, кожна форсунка GOESSLING Nozzle 612.516 при тиску 5 бар має витрату 3 л/хв, що забезпечує достатнє змивання забруднень (клей, целюлоза) без пошкодження перфорації барабана (отвори 2 мм). У системі використовується 24 форсунки (3 обручі по 8 форсунок), які працюють 2,5 хвилини (150 секунд) під час руху вперед у циклі очищення

Витрата однієї форсунки за цикл:

$$3 \text{ л/хв} \times 2,5 = 7,5 \text{ л/цикл}$$

Загальна витрата для 24 форсунок:

$$7,5 \text{ л/цикл} \times 24 = 180 \text{ л/цикл}$$

Добова витрата води :

$$180 * 20 = 3600 \text{ л/добу}$$

Річна витрата: 300 робочих днів на рік:

$$3600 \times 300 = 1080000 \text{ л/рік}$$

3.2.2.4 Втрата тиску:

$$\Delta P = 0,018 \cdot 1 / 0,0254 \cdot (1000 \times (2,37)^2) / 2 = 0,018 \cdot 39,37 \cdot 5616,9 / 2 \\ = 0,018 \cdot 39,37 \cdot 2808,45 = 1990,8 \text{ Па} = 0,02 \text{ бар.}$$

Визначення необхідного тиску насоса

Форсунки вимагають тиску 5 бар для ефективної роботи. З урахуванням втрат тиску в гідравлічному рукаві (0,02 бар), насос має забезпечити тиск:

$$5 + 0,02 = 5,02 \text{ бар.}$$

3.2.2.5. Вибір Гідравлічного рукава

Обираємо гідравлічний рукав моделі EN 853 2SN

Міцність з'єднань гідравлічного рукава EN 853 2SN

Гідравлічний рукав EN 853 2SN (внутрішній діаметр 25,4 мм, довжина 1 м) працює при тиску 5 бар. Максимальний тиск рукава — 215 бар:

$$215 / 5 = 43.$$

Фітинги для рукава витримують тиск до 250 бар, що забезпечує запас міцності

Каталог Landfeld [25] (Технічні характеристики Додаток 2)

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		51

3.2.2.6 Розрахунок тиску форсунок

Тиск у форсунках залежить від початкового тиску насоса і втрат тиску в гідравлічному рукаві EN 853 2SN (внутрішній діаметр 25,4 мм, довжина 1 м). Втрати тиску обчислюються за формулою Дарсі-Вейсбаха:

$$\Delta P = f \cdot D / L \cdot (\rho v^2) / 2$$

де:

- ΔP — втрата тиску (Па),
- f — коефіцієнт тертя (залежить від шорсткості труб і числа Рейнольдса),
- L — довжина трубопроводу (м),
- D — внутрішній діаметр (м),
- ρ — густина води 1000 кг/м³
- v — середня швидкість потоку (м/с).

Розрахунок для гідравлічного рукава EN 853 2SN

- Діаметр: $D = 0,0254$ м ,
- Довжина: $L = 1$ м,
- Площа перерізу:
 $A = \pi \times (0,0254^2) / 2 = 3,14 \times (0,0127)^2 = 5,07 \times 10^{-4} \text{ м}^2$,
- Загальна витрата: $Q = 72 \text{ л/хв} = 72 \div 60 = 1,2 \text{ л/с} = 0,0012 \text{ м}^3/\text{с}$,
- Швидкість потоку: $v = Q / A = 5,07 \times 10^{-4} / 0,0012 = 2,37 \text{ м/с}$,
- Число Рейнольдса:

$$Re = v D \rho / \mu, \text{ де}$$

$$\mu = 0,001 \text{ Па} \cdot \text{с (динамічна в'язкість води),}$$

$$Re = 2,37 \times 0,0254 \times 1000 / 0,001 = 60198 \text{ (тупокисний потік),}$$

- Коефіцієнт тертя f : Для $Re = 60198$ і шорсткості гумового рукава $\epsilon = 0,0015$ мм (типова для гумових шлангів),

$$\epsilon / D = 0,0254 / 0,0015 \times 10^{-3} = 0,000059.$$

За діаграмою Мооді $f \approx 0,018$ (приблизна оцінка для турбулентного потоку),

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		52

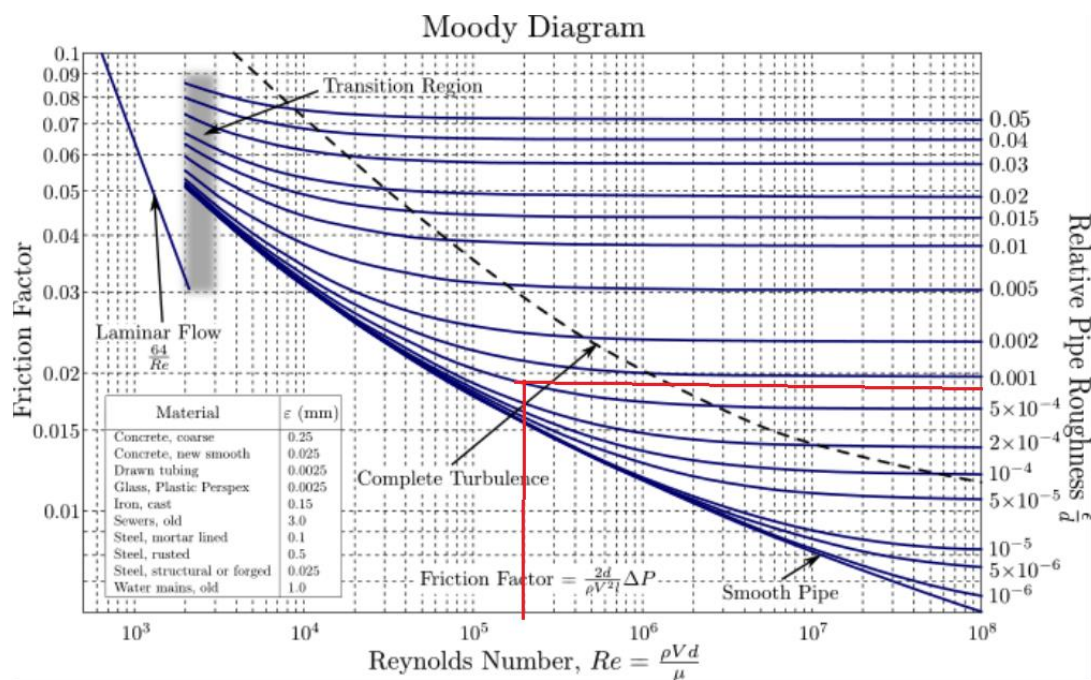


Рис. 3.6 Визначення коефіцієнту тертя за діаграмою Мооді

3.2.2.7 Вибір клапану тиску

Обираємо електромагнітний клапан нержавіючий GAMA XSE-25 високого тиску.

Електромагнітний клапан GAMA XSE-25 високого тиску є оптимальним вибором для системи очищення барабана центрифуги на Зміївській паперовій фабриці. Його характеристики (тиск 6–200 бар, витрата 180 л/хв, нержавіюча сталь, PTFE ущільнення, нормально закритий тип, універсальна напруга) ідеально відповідають вимогам системи, підтвердженим розрахунками (витрата 72 л/хв, тиск 5 бар, гідравлічні втрати 0,02 бар). Клапан забезпечує надійність, безпеку, ефективність і сумісність з іншими компонентами, сприяючи економії ресурсів і відповідності екологічним стандартам ISO 14001:2015. Запас по тиску та витраті гарантує гнучкість для майбутньої модернізації.

Каталог GAMA [26] (Технічні характеристики Додаток 2)

3.2.2.8 Вибір Насосу

Враховуючи незначні втрати тиску в гідролінії (0,02 бар, як визначено за формулою Дарсі-Вейсбаха) та загальну витрату системи в 72 л/хв, необхідну для забезпечення стабільної роботи 24 форсунок GOESSLING Nozzle 612.516, доцільно обрати насос із запасом продуктивності, що перевищує 50% від номінальної витрати (тобто понад 144 л/хв). Такий підхід гарантує надійну компенсацію можливих коливань тиску, викликаних гідравлічними опорами або змінами в робочому циклі (2,5 хвилини), а також забезпечить гнучкість для майбутнього розширення системи, наприклад, при додаванні додаткових форсунок або підвищенні тиску до 12 бар. Крім того, запас продуктивності сприятиме стабільній подачі води, мінімізуючи ризик перепадів і підтримуючи ефективність очищення на рівні 98% із залишковою забрудненістю менше 2 мг/л, що відповідає екологічним стандартам ISO 14001:2015.

Обираємо насос моделі Grundfos CRN 5-12. Каталог [27] (Технічні характеристики Додаток 2)

3.2.2.9 Продуктивність Насоса

Витрата за хвилину:

Оскільки форсунки працюють лише 2,5 хвилини в циклі, середня витрата за хвилину розраховується як:

$$180/2.5=72 \text{ л/хв (за весь цикл),}$$

Продуктивність насоса Grundfos CRN 5-12:

З каталогу Grundfos CRN 5-12 (споживання 2,2 кВт) максимальна продуктивність при тиску 15,5 бар становить 120 л/хв. Однак при робочому тиску 5 бар продуктивність насоса зростає до 150 л/хв (з документації Grundfos для даної моделі при зниженому тиску). Це забезпечує запас: $150-72=78 \text{ л/хв (52\% запасу)}$.

Тиск і гідравлічні втрати:

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		54

Форсунки працюють при тиску 5 бар, але необхідно врахувати втрати тиску в системі. Гідравлічний рукав EN 853 2SN (внутрішній діаметр 25,4 мм, довжина 1 м) створює опір потоку. Згідно з гідравлічними розрахунками (залежність Дарсі-Вейсбаха), у рукаві EN 853 2SN втрати мінімальні (<0,1 бар) через більший діаметр. Отже, загальні втрати тиску: ~0,3 бар. Насос із тиском 5,5 бар (запас 0,5 бар) забезпечить стабільний тиск 5 бар на форсунках.

Енергоспоживання насоса:

Час роботи насоса за цикл (2,5 хвилини):

$$2,2\text{кВт} \times 3600 / 150 = 0,092\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{цикл}.$$

За 3 цикли на день і 22 робочі дні на місяць:

$$0,092 \times 3 \times 22 \times 12 = 72,86\text{кВт} \cdot \text{год} / \text{рік}$$

3.2.2.10 Синхронізація з пневмоциліндром:

Пневмоциліндр Camozzi 40M1L050A0400 (діаметр поршня 50 мм, хід 400 мм) працює при тиску 6 бар, забезпечуючи силу

$$F = 6 \times 105 \times \pi \times (20,05)^2 = 1177,8\text{Н},$$

що синхронізує рух траверси зі швидкістю 0,3 м/с. Насос подає воду лише під час руху вперед, що відповідає активності форсунок.

3.2.2.11 Перевірка насоса Grundfos CRN 5-12

Насос Grundfos CRN 5-12 має при тиску 15,5 бар має продуктивність 120 л/хв, але при робочому тиску 5,02 бар продуктивність зростає до 150 л/хв (з документації Grundfos для подібних моделей при зниженому тиску).

Розрахунок за формулою Дарсі-Вейсбаха показує, що втрати тиску в гідравлічному рукаві EN 853 2SN становлять 0,02 бар. Насос Grundfos CRN 5-12 із тиском 5,02 бар забезпечить стабільний тиск 5 бар на форсунках, що гарантує ефективне очищення барабана. Продуктивність 150 л/хв із запасом 52% підтверджує працездатність системи.

3.2.2.12 Підбір Датчика вологості

Обираємо датчик вологості ОВЕН ПВТ100 (Постачальник [28]) (Технічні характеристики Додаток 2)

										ДП.МА.12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата							55

Датчик вологості ОВЕН ПВТ100 є оптимальним вибором для контролю рівня вологості сировини на виході з другої сушки (цільовий рівень 18% RH). Його діапазон 0...100% RH, точність ($\pm 2,5\%$ у 20...80% RH), пиловологозахист IP65, швидкий час готовності (10 с) і підтримка RS-485 (Modbus RTU) забезпечують надійний моніторинг у промислових умовах із вібраціями та пилом. Датчик сприяє економії енергії, якості сировини та відповідності стандартам ISO 14001:2015, а його універсальність гарантує гнучкість для інших ділянок виробництва.

Концепція покращення системи очищення барабана центрифуги на Зміївській фабриці базується на інтеграції комбінованого методу, що поєднує гідравлічне та механічне очищення з використанням півкілець із форсунками, для підвищення ефективності переробки Tetra Pak. Півкільця, виготовлені з нержавіючої сталі AISI 304, оснащені 8 гідрофорсунками GOESSLING Slot Nozzle, які подають воду під тиском до 12 бар для розм'якшення липких забруднень, таких як клей і целюлоза, на перфорованій поверхні барабана. Після цього поліуретанові щітки, що рухаються синхронно з траверсою,

механічно видаляють залишки, досягаючи ефективності очищення 98% із залишковою забрудненістю менше 2 мг/л. Ця система, керована пневмоприводом зі швидкістю 0,075 м/с і напрямними, дозволяє провести цикл очищення за 2.5 хвилини, скорочуючи простой. Інтеграція рециркуляційної системи з заводським насосом знижує водоспоживання до 180л. за цикл, що відповідає екологічним стандартам ISO 14001:2015, і забезпечує економію ресурсів, роблячи концепцію оптимальною для модернізації.



Рис. 3.3 Для імітації форсунки використовуємо Variable orifice

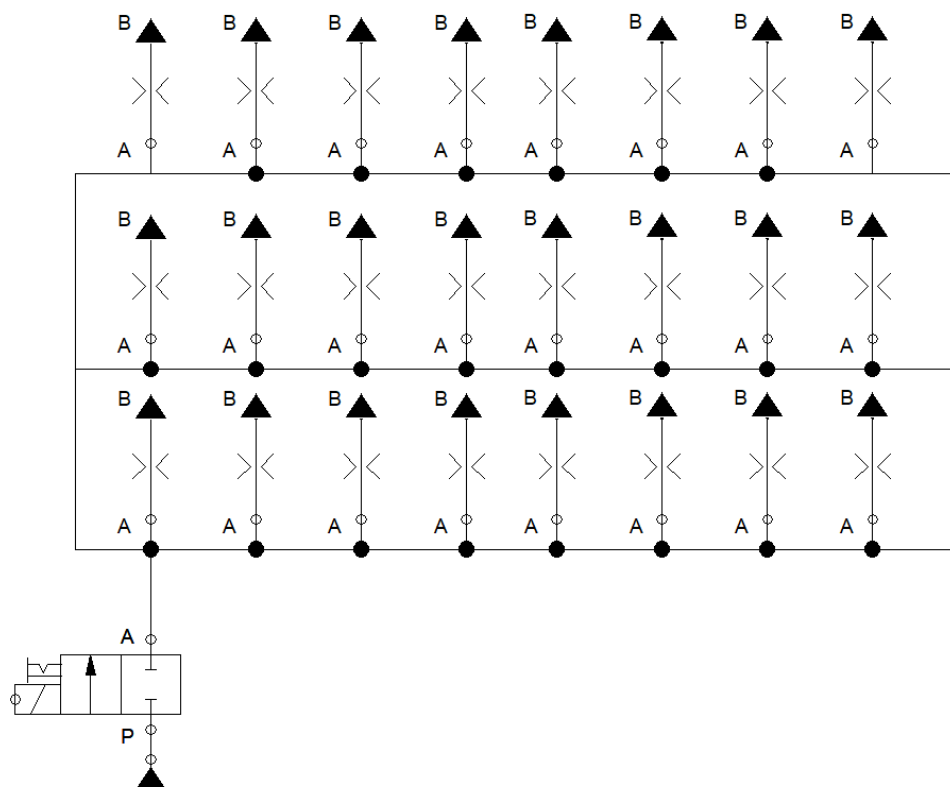


Рис. 3.4 Принципова гідросхема системи очищення центрифуги

3.3 Міцність кріплень та з'єднань

Необхідно провести розрахунок міцності кріплень та з'єднань. Система включає три обручі діаметром 800 мм із 24 форсунками GOESSLING Nozzle 612.516 (по 8 на обруч), барабан із діаметром 602 мм, пневмоциліндр Camozzi 40M1L050A0400, фланець Camozzi D-E-41-50, болти M8 класу міцності 10.9, гідравлічний рукав EN 853 2SN та інші компоненти. Кожен обруч кріпиться до кільця з щітками шістьма болтами M8, а кожне з трьох кілець із щітками з'єднане з траверсою двома болтами M8.

3.3.1 Навантаження на болти M8

Розглянемо два типи кріплень: болти, що з'єднують обручі з кільцями з щітками (6 болтів на обруч, загалом 18 болтів), і болти, що з'єднують кільця з щітками з траверсою (2 болти на кільце, загалом 6 болтів).

3.3.2 Болти між обручем і кільцем із щітками

- Статична сила від пневмоциліндра:

Пневмоциліндр Camozzi 40M1L050A0400 (діаметр поршня 50 мм, хід 400 мм) працює при тиску 6 бар:

$$F=P \times A, \text{ де } A=\pi \times (0,05/2)^2=0,001963 \text{ м}^2,$$

$$P=6 \times 10^5 \text{ Па}$$

$$F=6 \times 10^5 \times 0,001963=1177,8 \text{ Н.}$$

Сила розподіляється між трьома кільцями з щітками:

$$1177,8/3=392,6 \text{ Н на кільце.}$$

Кожен обруч із форсунками (вага одного обруча з 8 форсунками 5 кг, тобто сила тяжіння $5 \times 9,81=49,05 \text{ Н}$) кріпиться до кільця шістьма болтами.

Статична сила на обруч:

$$392,6+49,05=441,65 \text{ Н.}$$

Навантаження на один болт:

$$441,65/6=73,61 \text{ Н}$$

Динамічна сила від вібрацій барабана:

Барабан генерує вібрації з частотою 34,3 Гц і амплітудою 0,5 мм.

Максимальне прискорення:

$$a=(2\pi f)^2 \times A=(2 \times 3,14 \times 34,3)^2 \times 0,0005=(215,5)^2 \times 0,0005=231,5 \text{ м/с}^2.$$

Маса траверси, трьох кілець із щітками та трьох обручів із форсунками:

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Підпись	Дата		58

траверси та напрямні 11 кг, кожне кільце з щітками 8 кг, кожен обруч із форсунками 5 кг, загальна маса:
 $11+(8\times 3)+(5\times 3)=11+24+15=50\text{кг.}$

Динамічна сила:

$$F_{\text{динам}}=m\times a=50\times 231,5=11575 \text{ Н.}$$

Сила розподіляється між трьома кільцями:

$$11575 / 3 = 3858,3 \text{ Н на кільце.}$$

На один болт між обручем і кільцем:

$$3858,3 / 6=643 \text{ Н}$$

Загальне навантаження на болт:

$$73,61+643=716 \text{ Н.}$$

Межа міцності болта М8 класу 10.9:
 Межа міцності на зріз для болта М8 класу 10.9 становить 83 000 Н (з каталогу).

Коефіцієнт безпеки:
 $83000/716=115.9$ що значно перевищує необхідний коефіцієнт 2,67.

3.3.3 Болти між кільцем із щітками та траверсою

• Статична сила:

На кожне кільце з щітками діє сила 441,65 Н (розрахована вище). Кільце кріпиться до траверси двома болтами:

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Підпись	Дата		59

$$441,65/2=220,83 \text{ Н на болт.}$$

- Динамічна

сила:

На кільце діє динамічна сила 2237,83 Н:

$$3858,3 / 2 = 1929 \text{ Н на болт.}$$

- Загальне навантаження на болт:

$$220,83 + 1929 = 2149,83 \text{ Н.}$$

- Коефіцієнт безпеки:

$83000/2149,83 = 38,6$, що також значно перевищує необхідний коефіцієнт 2,67.

Міцність фланця Samozzi D-E-41-50

Фланець Samozzi D-E-41-50 (анодований алюміній) кріпить пневмоциліндр до конструкції. Сила від пневмоциліндра — 1177,8 Н.

- Межа міцності алюмінію: 310 МПа. Площа фланця (з каталогу Samozzi) $\sim 2000 \text{ мм}^2$ ($0,002 \text{ м}^2$):

$$F_{\text{межа}} = 310 \times 10^6 \times 0,002 = 620000 \text{ Н}$$

Коефіцієнт безпеки:

$$620000/1177,8 = 526,4$$

.Болти М8 між обручами та кільцями з щітками (навантаження 716 Н) мають коефіцієнт безпеки 115,9, між кільцями та траверсою (2149,83 Н) — 38,6, фланець Samozzi D-E-41-50 — 526,4, гідравлічний рукав EN 853 2SN — запас у 43 рази. Усі кріплення та з'єднання забезпечують надійність системи.

3.4 Підбір та налаштування ПЛК

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Підпись	Дата		60

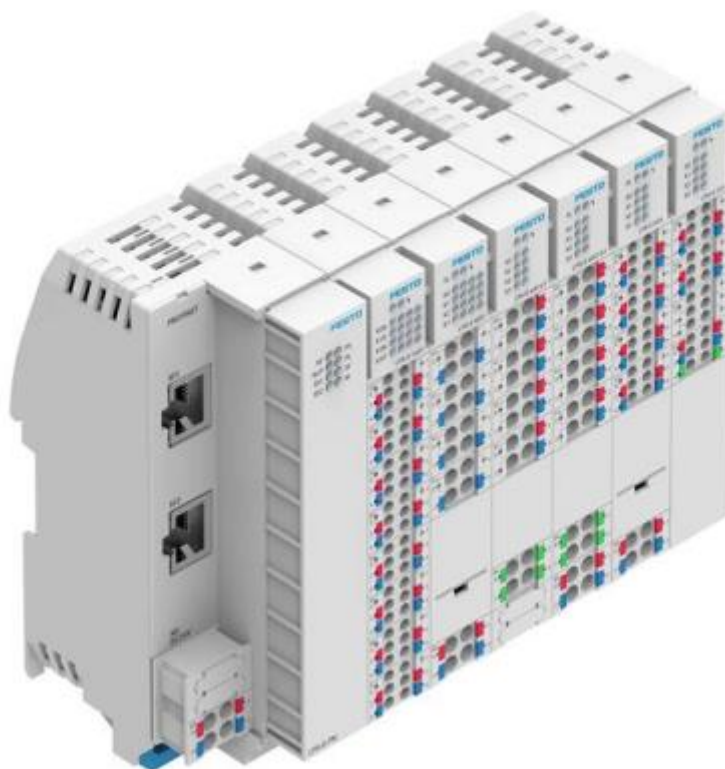


Рис 3.7 ПЛК Festo CPX-E

3.4.1 Вибір ПЛК Festo CPX-E

Система CPX-E від Festo є модульною платформою управління, яка ідеально підходить для автоматизації процесу очищення. Модель CPX-E-CEC-C1 [29] вибрана завдяки своїй гнучкості та сумісності з існуючими стандартами. Вона підтримує CODESYS V3 (IEC 61131-3), що дозволяє використовувати актуальні методи програмування, та забезпечує інтеграцію з існуючою автоматикою фабрики через PROFINET.

Таблиця 3.1 Технічні характеристики CPX-E-CEC-C1

Параметр	Опис
Процесор	Високопродуктивний, призначений для обробки завдань автоматизації, включаючи

	управління рухом і обробку сигналів від датчиків.
Інтерфейси	PROFINET, EtherCAT, EtherNet/IP, що забезпечує гнучку інтеграцію з іншими системами.
Входи/виходи	До 16 цифрових і аналогових каналів, що достатньо для підключення датчика рівня вологості (наприклад, ОВЕН ПВТ100) та керування пневмоциліндром і форсунками.
Програмування	CODESYS V3, сумісний із мовами ST (Structured Text), LD (Ladder Diagram), FBD (Function Block Diagram).
Пам'ять	Вбудована флеш-пам'ять для зберігання програм і даних, розширювана через SD-карту.
Живлення	24 В DC, стандарт для промислових систем
Робоча температура	Від 0 до 50 °C, що відповідає умовам фабрики.
Призначення	Управління рухом, обробка сигналів від датчиків, автоматизація процесів очищення.

Merkmale

Übersicht

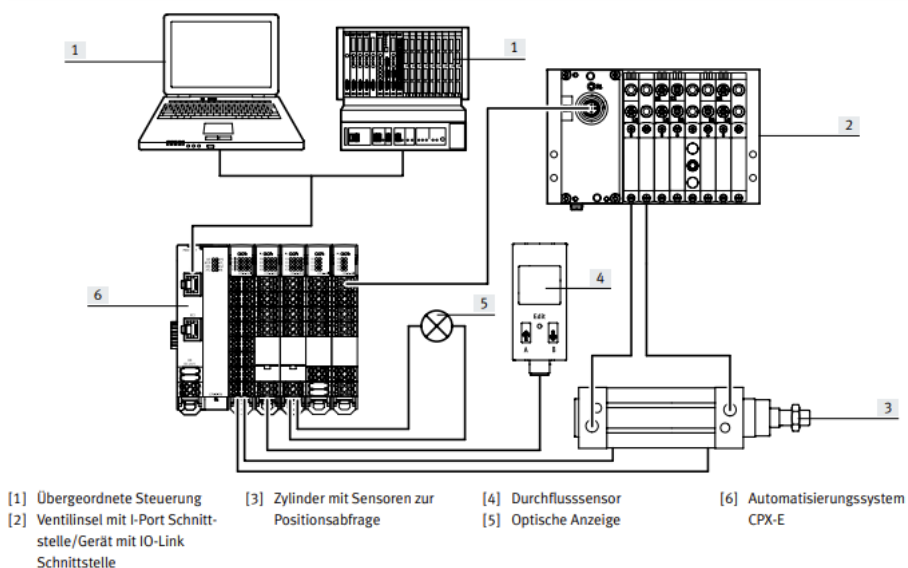


Рис. 3.8 Схема програмування контроллера 1. Узагальнене керування 2.Регулятор , вентильний острів із I-Port інтерфейсом/пристрій із I/O-Link 3. Циліндр із датчиками для визначення положення 4. Датчик вологи 5. Оптичний індикатор 6. Автоматизована система CPX-E

Підключення до пневмоциліндра через розподільний клапан 5/2

Пневмоциліндр Camozzi 40M1L050A0400 (діаметр поршня 50 мм, хід 400 мм) керуватиметься через розподільний клапан 5/2, який забезпечує перемикання між двома станами: подача стисненого повітря для руху вперед-назад(швидкість 0,3 м/с).

3.4.2 Схема підключення:

- Вихід ПЛК підключається до електромагнітного клапана пневморозподільника 5/2 через реле або безпосередньо (залежно від струму).
- Вхід стисненого повітря (5–6 бар) підводиться до порту Р клапана.
- Порт А клапана з'єднаний із портом пневмоциліндра для руху вперед, порт В — для руху назад.
- Датчик кінцевого положення на циліндрі підключається до входу ПЛК для зворотного зв'язку.
- Логіка роботи: ПЛК активує клапан на 2,5 хвилини для руху вперед (очищення форсунками), після чого деактивує його для повернення циліндра.

Встановлення ПЛК

- Розташування: Установити CPX-E-CEC-C1 у шафі керування на фабриці, забезпечуючи доступ до вентиляції та захисту від пилу (IP65 з відповідним корпусом).
- Підключення живлення: Підключити до джерела 24 В DC через термінал живлення CPX, дотримуючись полярності (+/-).
- Підключення модулів: Додати модулі введення-виведення через модульну шину CPX.
- Кабелі: Використовувати екрановані кабелі для PROFINET (Cat5e) і підключення датчиків, довжиною до 500 м для стабільності сигналу.

3.4.3 Програмування в CODESYS V3

- Логіка програми:
 - Ручний режим: Активувати цикл очищення (2.5 хвилини) через кнопку.
 - Автоматичний режим: Запуск при вологості >18% (датчик ПБТ100)
 - Цикл роботи: Відкривається гідравлічний клапан тиску , на форсунки подається вода , після чого починає роботу пневмоциліндр що рухає конструкцію протягом 2.5 хв. , пневмоциліндр закінчує свою роботу , повертається в початкове положення , подача води на форсунки закривається.

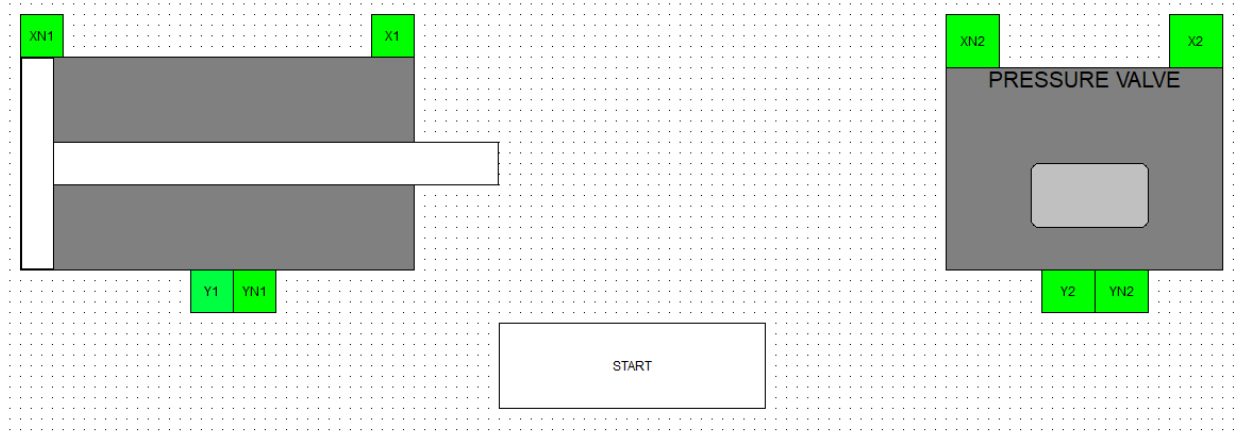


Рис.3.9 Візуалізація процесу в середовищі CoDeSyS 2.3

0001 VAR_GLOBAL

0002

0003 (*ACTION*)

0004 Y1:BOOL;

0005

0006 YN1:BOOL;

0007

0008 Y2:BOOL;

0009

0010 YN2:BOOL;

0011

0012 Y3:BOOL;

0013

0014 YN3:BOOL;

0015

0016

0017 (*SENSOR*)

0018 X1:BOOL;

0019

0020 XN1:BOOL;

0021

0022 X2:BOOL;

0023

0024 XN2:BOOL;

0025

0026 X3:BOOL;

0027

0028 XN3:BOOL;

0029

0030

0031 (*MEMORY*)

0032 M1:BOOL;

0033

0034 MN1:BOOL;

0035

0036

0037

0038 (*PISTON*)

0039 PISTON1_POS:REAL;

0040

0041 PISTON2_POS:REAL;

0042

0043 PISTON3_POS:REAL;

0044

0045 PRESSURE:REAL;

0046

0047

0048 (*OTHER*)

0049 SPRING:BOOL;

0050

0051 START:BOOL;

0052

0053 HUMIDITY:REAL;

0054

0055 INPUT_A10: REAL;

0056

0057 END_VAR

0058

0059

0060

0061

0062

0063

0064

0065

0066

0067

0068

0069

0070

0071

0072

0073

0074

0075

0076

0077

0078

0079

0080

0081

0082

0083

0084

0085

0086

0087

0088

0089

0090

0091

0092

0093

0094

0095

0096

0097

0098

0099

0100

0001 PROGRAM HUMIDITY

0002 VAR

0003 END_VAR

0001 HUMIDITY:=INPUT_A10;

0002 IF HUMIDITY > 18.0 THEN START:=TRUE; ELSE START:=FALSE; END_IF;

0003

0001	PROGRAM PISTON_BI_1
0002	VAR
0003	END_VAR
0001	(*PISTON MOVING*)
0002	
0003	
0004	IF Y1 AND (PISTON1_POS <= 300) THEN PISTON1_POS:=PISTON1_POS+5;
0005	END_IF;
0006	
0007	IF YN1 AND (PISTON1_POS >= 5) THEN PISTON1_POS:=PISTON1_POS-5;
0008	
0009	END_IF;
0010	
0011	
0012	(*SENSORS*)
0013	
0014	IF PISTON1_POS >= 0 AND PISTON1_POS <= 10 THEN XN1:=TRUE;
0015	ELSE XN1:=FALSE;
0016	
0017	END_IF;
0018	
0019	IF PISTON1_POS >= 300 AND PISTON1_POS <= 310 THEN X1:=TRUE;
0020	
0021	ELSE X1:=FALSE;
0022	
0023	END_IF;

0001	PROGRAM PRESSURE_VALVE
0002	VAR
0003	END_VAR
0001	(*PRESSURE*)
0002	
0003	
0004	IF Y2 AND (PRESSURE <= 300) THEN PRESSURE:=PRESSURE+10;
0005	END_IF;
0006	
0007	IF YN2 AND (PRESSURE >= 5) THEN PRESSURE:=PRESSURE-10;
0008	
0009	END_IF;
0010	
0011	
0012	(*SENSORS*)
0013	
0014	IF PRESSURE >= 0 AND PRESSURE <= 10 THEN XN2:=TRUE;
0015	ELSE XN2:=FALSE;
0016	
0017	END_IF;
0018	
0019	IF PRESSURE >= 300 AND PRESSURE <= 310 THEN X2:=TRUE;
0020	
0021	ELSE X2:=FALSE;
0022	
0023	END_IF;

0001	PROGRAM PROG
0002	VAR
0003	TIMER1: TON;
0004	RUN1: BOOL;
0005	END_VAR
0001	PISTON_B1_1;
0002	PRESSURE_VALVE;
0003	HUMIDITY;
0004	IF START AND NOT M1 THEN Y2:=TRUE; YN2:=FALSE; RUN1:=TRUE; END_IF;
0005	
0006	IF NOT RUN1 AND M1 THEN Y2:=FALSE; YN2:=TRUE; END_IF;
0007	
0008	IF X2 AND NOT M1 THEN Y3:=TRUE; YN3:=FALSE; END_IF;
0009	IF RUN1 THEN M1:=TRUE; END_IF;
0010	IF M1 THEN YN3:=TRUE; Y3:=FALSE; END_IF;
0011	IF XN2 THEN M1:=FALSE; END_IF;
0012	
0013	IF X2 AND RUN1 AND XN1 THEN Y1:=TRUE; YN1:=FALSE; END_IF;
0014	IF X1 AND RUN1 THEN Y1:=FALSE; YN1:=TRUE; END_IF;
0015	
0016	TIMER1 (IN:= RUN1, PT := T#150S);
0017	IF TIMER1.Q THEN RUN1:=FALSE;
0018	END_IF;
0019	
0020	

0001	PROGRAM PLC_PRG
0002	VAR
0003	END_VAR
0001	PROG;

Тестування: Завантажити код на ПЛК, перевірити сигнали на входах/виходах у режимі відладки CODESYS.

Висновок

ПЛК Festo CPX-E-CEC-C1 забезпечує надійне керування системою завдяки 16 каналам введення-виведення, підтримці PROFINET і програмуванню в CODESYS V3. Підключення до пневмоциліндра через клапан 5/2 і датчики гарантує синхронізацію руху (0,075 м/с), а логіка програми оптимізує цикл очищення. Встановлення та програмування виконуються з урахуванням промислових стандартів.

РОЗДІЛ 4. ТЕХНОЛОГІЇ МАШИНОБУДУВАННЯ

Назва деталі: Втулка Рухомого Механізму

Службове призначення:

Деталь виконує функцію з'єднального кріплення між пневмоциліндром так конструкцією кілець з щітками та обручів з форсунками.

Матеріал: Сталь 09Г2С (ГОСТ 2590-2006) – конструкційна низьколегована кремнемарганцовиста сталь для елементів і деталей зварних конструкцій.

Замовлення: Серійне виробництво (партия – 50 шт.).

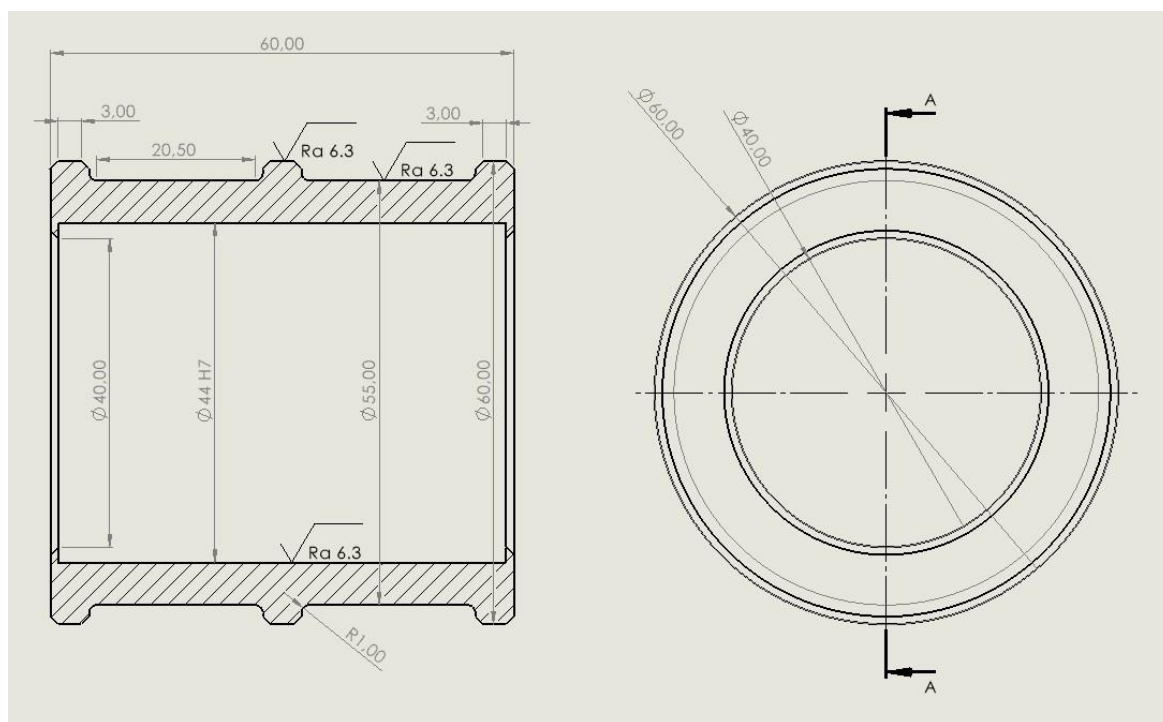


Рис. 4.1 – Ескіз деталі «Втулка Рухомого Механізму»

4.1 Технологічні особливості виготовлення гільзи

Втулка Рухомого Механізму зі сталі 09Г2С вимагає високоточного виконання основних конструктивних елементів, зокрема отвір діаметру 40 з заглибленням 44H7 під тефлонову втулку. Для досягнення необхідної точності передбачається багатоступенева обробка: чорнове точіння з подальшим чистовим розточуванням.

Особливу увагу при виробництві слід приділяти обробці фасок $1 \times 45^\circ$ та виконанню шести долаткових фасок, які повинні бути виконані з дотриманням

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		68

симетричності та параметрів шорсткості. Відповідальні поверхні обробляються до шорсткості Ra 6.3 мкм, що забезпечує оптимальні експлуатаційні характеристики..

На завершальному етапі проводиться ретельний технічний контроль, який включає перевірку розмірів прецизійними вимірювальними інструментами та візуальний огляд для виявлення можливих дефектів. Основна увага приділяється базовим отворами Н7, які повинні відповідати 7-му квалітету точності, а також якості виконання всіх фасок. Дотримання цих вимог забезпечує надійність і довговічність Втулки Рухомого Механізму під час експлуатації.

4.2. Вибір заготовки

При виборі методу отримання заготовки для Втулки Рухомого Механізму зі сталі 09Г2С враховували такі фактори: матеріал деталі, серійність виробництва (50 шт.), точність розмірів та вимоги до якості поверхні. Було прийнято рішення використовувати як вихідну заготовку кований круглий прокат діаметром 62 мм зі сталі 09Г2С, що відповідає ГОСТ 2590-88. Цей вибір ґрунтується на детальному розгляді технічних характеристик деталі та виробничих вимог.

Основною причиною такого рішення стала оптимальна відповідність круглого прокату геометричним параметрам деталі. Важливим фактором стало те, що сталь 09Г2С, яка вказана у кресленні, добре піддається механічній обробці з круглого прокату.

Робимо замовлення в компанії “Абсолют-Метал” прокату, який нам необхідний для виготовлення 50 деталей [30]. Кількість погонних метрів, які нам необхідні, розрахуємо за формулою:

$$L = (l * N) / 1000 = (65 \text{ мм} * 50) / (1000 \text{ мм}) = 3,25 \text{ м}$$

де L — загальна довжина сталевих кіл (м), l — довжина одного поршня (мм), N — кількість поршнів.

Робимо замовлення 3,25 погонних метрів сталі 09Г2С. Щоб визначити вагу нашого замовлення для проведення підрахунків доставки перевізниками у м. Київ, скористаємося формулою розрахунку маси:

$$m = \rho * (\pi * d^2) / 4 * L = 7860 \text{ кг/м}^3 * (\pi * (0,062 \text{ м})^2) / 4 * 3,25 \text{ м} = 307,7 \text{ кг}$$

де ρ — густина сталі (кг/м³), d — діаметр заготовки (м), L — загальна довжина потрібних погонних метрів (м).

					ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		69



Нажмите для просмотра

ОПИСАНИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

ОТЗЫВЫ (0)

Металлопрокат	
ГОСТ	1050-88, 2590-2006
Диаметр	62
Марка стали	09Г2С

Круг 62мм, Сталь 09Г2С, 1050-88, 2590-2006

Удобные способы оплаты

- ✓ Наложный платеж
- ✓ Перевод на карту VISA, MASTER CARD
- ✓ Приват24

Доставка по всей Украине

Доставка удобным для вас перевозчиком

- ✓ Нова Пошта
- ✓ Авто-Люкс
- ✓ Деливери
- ✓ Интайм

Код товара: 8312

Доступность: **На складе**

Цена договорная

В КОРЗИНУ

В закладки

В срав

0 отзывов / Написать отзыв

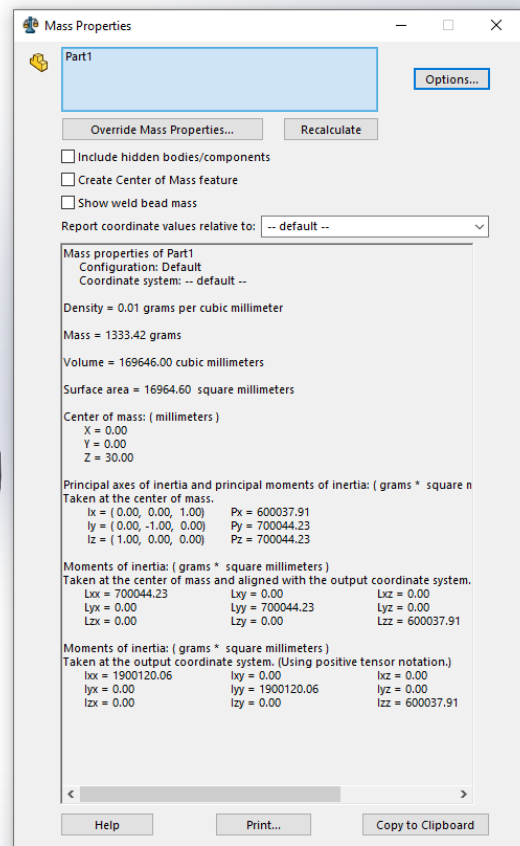
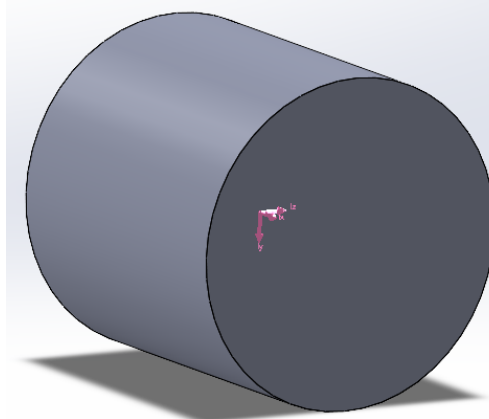


Рис. 4.2 - 3D модель заготовки деталі «Втулка Рухомого Механізму»

(визначено масу – 1.33 кг)

4.3 Розробка маршрутного технологічного процесу

Втулка Рухомого Механізму складається з набору характерних поверхонь, кожна з яких вимагає особливого підходу до обробки. Основними конструктивними елементами є отвір діаметром $\varnothing 40$ з углибленням $\varnothing 44H7$ під втулку. Також необхідно зробити канавки.

Маршрут технологічного процесу обробки Втулки Рухомого Механізму починається з підготовки заготовки. Відрізання кованого круга $\varnothing 62$ мм на необхідну довжину виконується на відрізних верстатах з подальшим очищенням торців. Це забезпечує правильне базування деталі при подальших операціях.

Наступним етапом йде чорнова токарна обробка, де формується основна геометрія деталі. На верстатах з ЧПУ послідовно обточується зовнішній діаметр фланця, підготовлюються базові торці та виконується попереднє розточування центральних отворів. На цьому етапі знімаються основні припуски, залишаючи невеликі запаси на чистову обробку.

Чистова токарна обробка виконується з більш високою точністю. Тут досягаються основні розміри деталі, крім особливо точних поверхонь, які будуть доведені на завершальних операціях. Одночасно формуються всі необхідні фаски $1 \times 45^\circ$ та забезпечується шорсткість поверхонь $Ra\ 6.3$ мкм.

Фінішні операції включають прецизійне шліфування відповідального отвору $\varnothing 44$. На цьому етапі досягається необхідна точність 7-го квалітету та шорсткість поверхні $Ra\ 6.3$ мкм. Одночасно виконується остаточне доведення всіх критичних поверхонь.

Завершальним етапом є комплексний контроль якості. Він включає перевірку геометричних параметрів за допомогою прецизійних вимірювальних інструментів, контроль шорсткості поверхонь профілометром та візуальний огляд для виявлення можливих дефектів.

Така послідовність технологічних операцій обумовлена конструктивними особливостями Втулки Рухомого Механізму та вимогами креслення. Кожен наступний етап базується на результатах попереднього, що забезпечує стабільну якість готових деталей у серійному виробництві. Врахування всіх технологічних аспектів дозволяє досягти необхідної точності при оптимальній собівартості виготовлення.

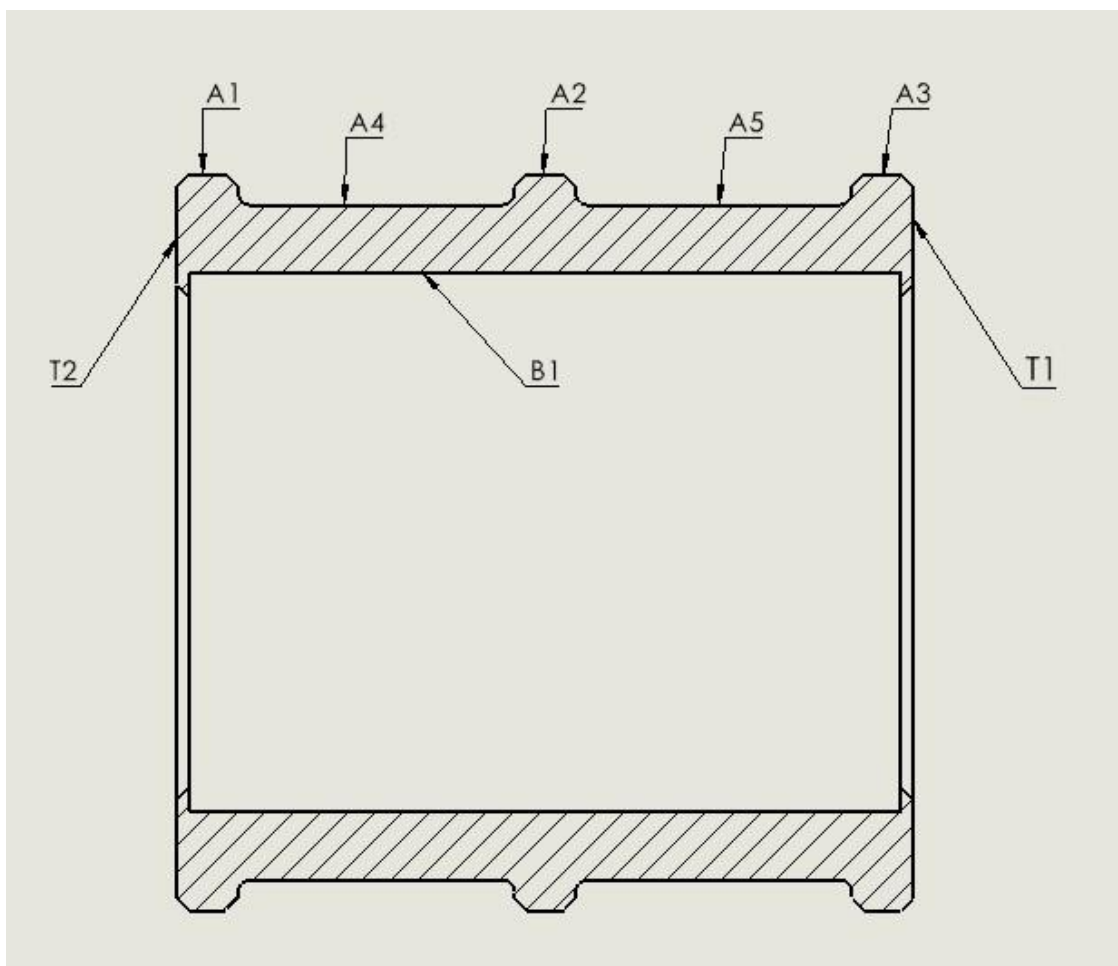


Рис. 4.3 – Нумераці поверхонь деталі

Таблиця 4.1. - Типові технологічні послідовності оброблення поверхонь деталі

Назва поверхні	Характеристики якості поверхонь за креслеником		Типова технологічна послідовність оброблення поверхні	Характеристики якості поверхонь після оброблення	
	Точність розмірів IT	Параметр шорсткості Ra, мкм		Точність розмірів IT	Параметр шорсткості Ra, мкм

Зовнішній циліндр Ø60 A1,A2,A3, A4,A5,	h12	6,3	1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове	h12 h12	12,5 6,3
Основний отвір Ø40	H7	1,6	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Шліфування	IT12 IT9 H7	12,5 6,3 1,6
Заглиблен ня під втулку Ø 44H7	H7	1,6	1. Розточування чорнове 2. Розточування чистове 3. Шліфування	IT12 IT9 H7	12,5 6,3 1,6
Торцеві поверхні T1 ,T2	12	12,5	1. Підрізання чорнове 2. Підрізання чистове	IT12 IT12	12,5 12,5
Фаска 1×45°	-	12,5	1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове	- -	12,5 12,5
6 додатков і фаски	-	12,5	1. Точіння чорнове 2. Точіння чистове	- -	12,5 12,5

005 Токарна

Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК – HAAS-ST-10

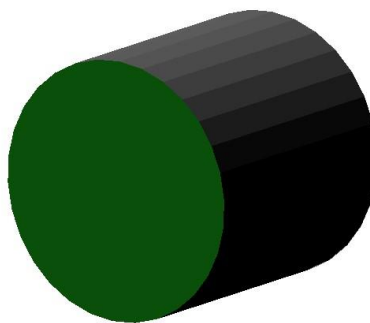


Рис. 4.3.1. Торцеве точіння

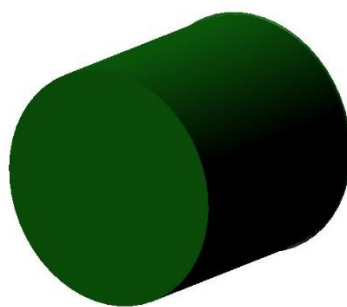


Рис. 4.3.2. Зовнішнє точіння

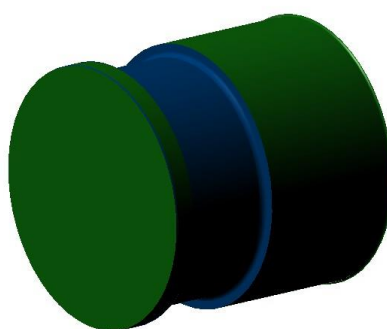


Рис. 4.3.3. Зовнішнє точіння

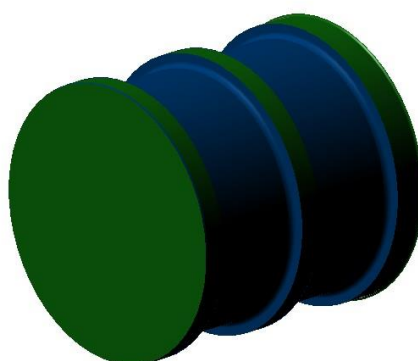


Рис. 4.3.4. Зовнішнє точіння

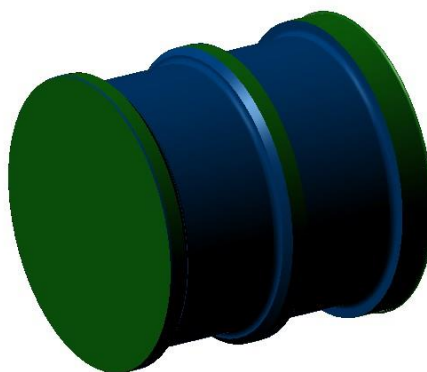


Рис. 4.3.5. Зовнішнє точіння

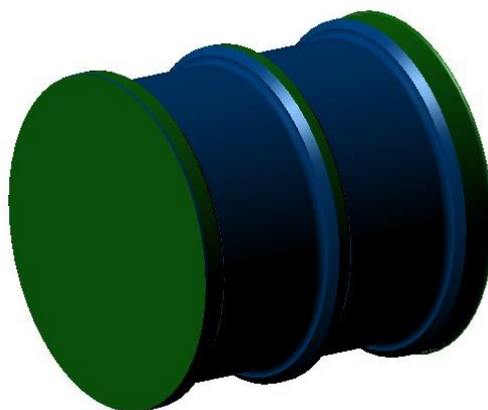


Рис. 4.3.6. Зовнішнє точіння

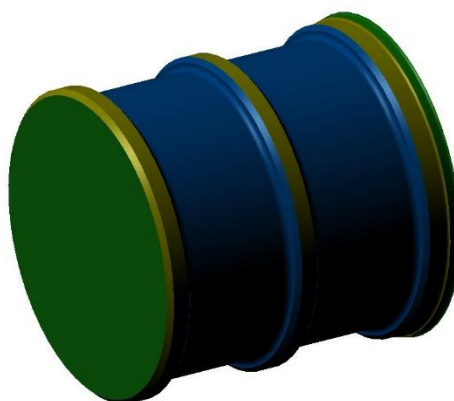


Рис. 4.3.7. Зовнішнє точіння

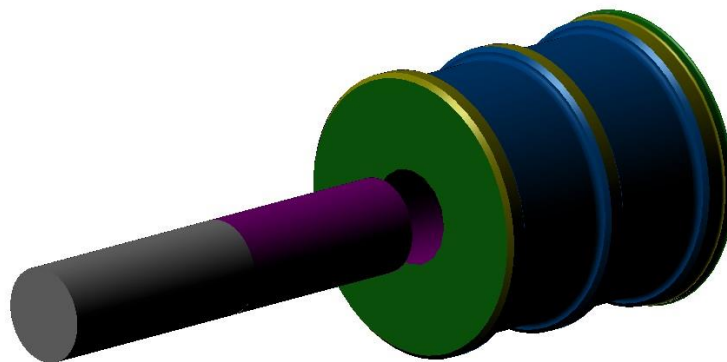


Рис. 4.3.8. Свердлення отвору

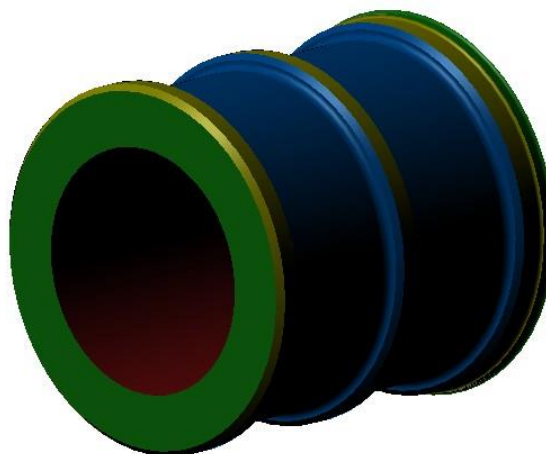


Рис. 4.3.9. Внутрішнє точіння

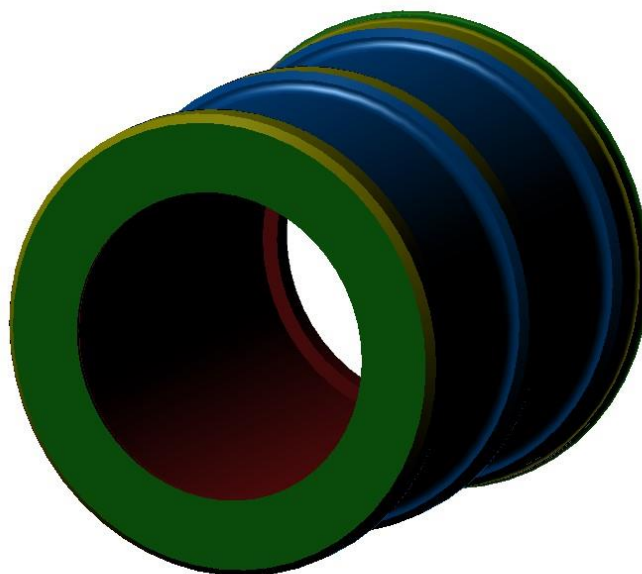


Рис. 4.3.10. Внутрішнє точіння

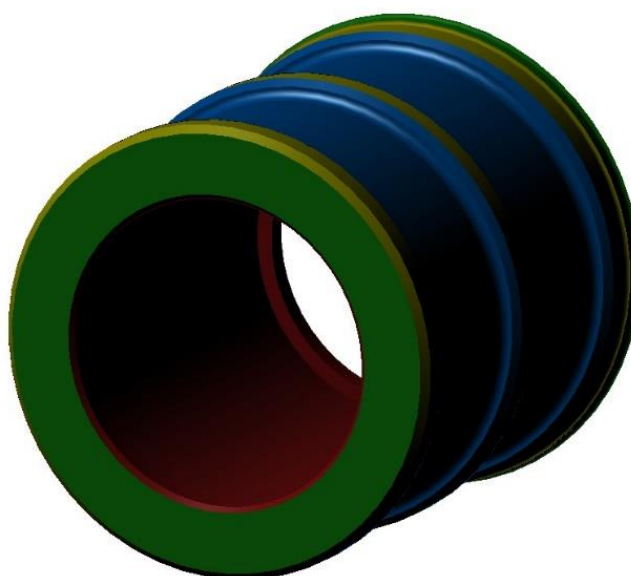


Рис. 4.3.11. Внутрішнє точіння

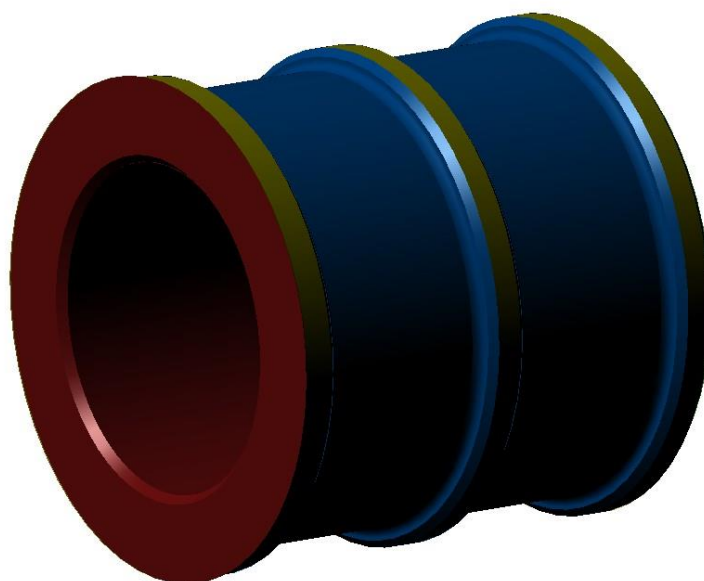


Рис. 4.3.12. Внутрішнє точіння



Рис. 4.3.13. Торцеве точіння

4.4. Вибір різального інструменту. Розрахунок режимів різання

Визначаємо режими різання за каталогами та рекомендаціями наданими виробниками інструментів:

Для зручності, всі дані заносимо у звітну таблицю.

Таблиця 4.2. Режими різання рекомендовані виробниками інструментів.

Операція	Перехід	Інструмент	Глибина різання	Подача	Частота обертання	Швидкість різання
			h, мм	F, мм/об	N, об/хв	V, м/хв
005	01	Прохідний різець MCLNR1616H12	2	0.2	700	120
	02	Прохідний різець MCLNR1616H12	1	0.15	800	130
	03	Різець для зовнішніх канавок MGEHR1010-1,5	5.5	0.15	600	130
	04	Різець для зовнішніх канавок MGEHR1010-1,5	5.5	0.15	600	120
	05	Прохідний різець MCLNR1616H12	0.5	0.05-0.1	900	20-25
	06	Прохідний різець MCLNR1616H12	0.5	0.1-0.15	900	25-30
	07	Прохідний різець MCLNR1616H12	0.5	0.5	600	10-15
	08	Центрувальне свердло Ø5 мм (100101 0500)	2	0.05-0.1	1200	20-25
	08	Свердло Ø20 мм (101052 2000)	10	0.15-0.2	320	20-25
	09	Розточний різець S20R-MCLNR12	10	0.2	600	100
	10	Різець для внутрішніх	2	0.08	800	90

		канавок FGVH320R-48/60				
11		Розточний різець S20R-MCLNR12	0.5	0.2	800	100
12		Розточний різець S20R-MCLNR12	0.5	0.2	800	120
13		Прохідний різець MCLNR1616H12	0.5	0.2	700	120

4.5 Оснащення операцій

Для реалізації технологічно процесу було обрано за каталогами інструментальні, верстатні та вимірювальні пристрої [8,9,10].

Вимірювальні пристрої

- Для виміру та контролю циліндричності (Похибка 0,001 мм)


Bore gauge OD

- Robust and easy-to-use two-point comparative measuring instrument
- For series inspections of Ø 3.1 to 110 mm bores
- Minimum measuring time, maximum measuring reliability
- High-precision measuring sleeve ensures optimum centring inside the bore
- Precision 1 µm
- Measuring span 0.2 mm (Ø 3.1 to 6.0 = 0.15 mm)

- Measuring force 1 - 2 N
- Carbide measuring contacts, other materials on request
- Suitable for measuring with indicating callipers, dial indicators or electric probes
- Connection thread holder/gauge, M11 x 0.75
- * = Nominal dimension range up to Ø 4 mm, H = 26 mm; from Ø 4.01 to 6 mm, H = 10 mm
- Larger diameters available on request



Standard bore gauge OD

Caution!

- Please specify the nominal dimension and tolerance of the bore when placing your order!
- Examples: No. 526557 0006 / 4 +0.02 / -0.01
- No. 526557 0020 / 18H7

Nominal dimension range mm	h mm	H mm	art.no.	€	Calibration art.no.	€
3.1-6.0	1.5	26/10*	526557 0006	264,40	071015 0011	38,-
6.1-12.0	2.5	15	526557 0012	190,10	071015 0011	38,-
12.1-20.0	2.5	15	526557 0020	192,80	071015 0011	38,-
20.1-30.0	3.5	20	526557 0030	230,60	071015 0011	38,-
30.1-40.0	3.5	20	526557 0040	303,50	071015 0011	38,-
40.1-60.0	3.5	28	526557 0060	353,50	071015 0011	38,-
60.1-80.0	4.0	33	526557 0080	381,80	071015 0011	38,-
80.1-100.0	4.0	33	526557 0100	409,40	071015 0011	38,-
100.1-110.0	4.0	33	526557 0110	440,10	071015 0011	38,-

C192

- Подовжений тримач для виміру та контролю циліндричності

OD Device holder

- M11 x 0.75 connection thread suitable for all OD bore gauges
- Size 0004 and 0005 reinforced with Ø 18 mm tubing, recommended for OD bore gauges > 60 mm
- Size 0006 with retractor, recommended for blind hole bore gauges



Length mm	Pipe Ø mm	art.no.	€
50	12	526559 0001	56,50
105	12	526559 0002	115,30
235	12	526559 0003	133,10
145	18	526559 0004	141,90
235	18	526559 0005	160,60
70	12	526559 0006	186,-

5126

- Для вимірювань шорсткості (профілометр)

Mitutoyo Surftest SJ-210 surface roughness tester

Digi-
matic USB

- Portable mains-independent skid system for determining surface roughness
- Separate feed allows measurements in hard-to-reach places, as well as overhead measurements
- Dust-protected, touch-sensitive control panel and integrated printer
- Extremely easy-to-use and intuitive menu navigation
- Measurement results / profiles shown clearly on a 14.5 cm [5.7"] colour display
- 16 languages
- Storage of up to 10 measurement conditions
- Statistics function and colour-coded tolerance analysis
- Customisable password protection
- Storage of measurement data on an optional SD card
- Automated calibration function / can be calibrated based on the average of up to 12 measurements
- Choice of mains or battery operation
- Profile method with single skid system
- Measurement range: X-axis feed = 16 mm, S feed = 5.6 mm
- 60° contact point with 2 µm radius / measuring force 0.75 mN
- Measuring speed: 0.25 mm/s, 0.5 mm/s, 0.75 mm/s
- Analysis parameters: Ra, Rq, Rz, Ry, Rp, Rv, Rl, R3z, Rsk, Rku, Rc, Rp, RSm, Rmax, Rz1max, S, HSC, Rz1S, Rysp, Rba, Rba, Rb, Rmr, Rmf(c), RSc, Rk, Rpk, Rvk, M1, M2, A1, A2, Va, Aq, La, Rpm, tp, Htp, R, Rk, AR, W, AW, Wx, Wn
- Cut-off length: 0.08mm / 0.25 mm / 0.8 mm / 2.5 mm / 8 mm
- Number of individual measurement sections: 1x, 2x, 3x, 4x, 5x, 6x, 7x, 8x, 9x, 10x, unset length
- Digital filter: 2CR75 / PC75 / Gaussian
- Parameters in accordance with DIN EN ISO, VDA, JIS, ANSI and MOTIF
- Data communication: Digmatic, RS-232, SD memory card
- Supplied with roughness standard, mains adapter and 5 rolls of spare paper



Can be used with height meter
S305020300 by attaching adapter
S705310016

Transverse measurement,
S version

Designation	art.no.	€	Device calibration art.no.	€	Standard calibration art.no.	€
SURFTEST SJ-210 surface roughness meter	570526 0001	4.450,-	072001 0001	109,-	072005 0001	75,-
SURFTEST SJ-210 R surface roughness meter with automatic probe head lifting and lowering	570526 0002	4.800,-	072001 0001	109,-	072005 0001	75,-
SURFTEST SJ-210 S surface roughness meter with transverse measurement feed	570526 0003	6.300,-	072001 0001	109,-	072005 0001	75,-

5105

Для вимірювання лінійних розмірів

SARA Digital sliding calliper

DIN 862 INOX 0,01 mm inch

- Locking screw on top
- High-contrast, easily readable LCD display
- External, internal, depth and step measurements
- Thread table on the back
- Functions: ON/OFF, ZERO, mm/inch
- Supplied with CR2032 battery, no. 548079 6032



Measurement range mm/inch	Jaw length mm	Error limit mm	art.no.	€	Calibration art.no.	€
150/6 inch	40	0.03	500702 0150	56,50	070101 0001	7,25
200/8 inch	50	0.03	500702 0200	89,-	070101 0001	7,25
300/12 inch	60	0.04	500702 0300	183,-	070101 0001	7,25

5108

ATORN Digital internal groove calliper

INOX 0,01 mm inch KEEP-TRONIC DIGI-matic RS232C USB

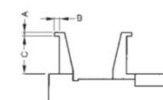
- For measuring the diameter of internal grooves
- **KEEPTRONIC** electronics store the zero point, operating keys lock to prevent accidental alteration of the zero point. Battery life approx. 3 years
- **multicom** data output, can be used as USB, Digmatic or RS-232
- Hardened measuring and guide surfaces
- **Functions:** ON/OFF, user-defined zeroing (RESET), mm/inch
- Supplied with CR 2032 battery, No. 548079 6032
- **Optional accessories:** Data cables, type P-RS 232 / P-Digmatic / P-USB, no. 512521....

Data output
multicom



Measurement range mm	A mm	B mm	C mm	art.no.	€	Calibration art.no.	€
10-160	0.9	3	25	500643 1160	406,-	070101 0001	7,25
20-160	2	5	40	500643 0160	464,-	070101 0001	7,25

5194



50-12 prices in Euro, VAT excluded

2016 / 2017 GB

article with bold price = on stock

Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата

ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ

Арк

81

- Для виміру різьб (калібри)

SARA Thread plug gauges

DIN 13

- For G/NG inspection of nut threads
- The G and NG side is made of wear-resistant gauge steel, aged, hardened and fine-ground
- Tolerances and deviations in accordance with DIN 13, Parts 16 and 17
- Go ends for thread plug gauges are supplied with additional wear allowances in accordance with DIN 13 Part 17
- Tolerance zone 6H (* = tolerance zone 5H)**



For right-hand ISO metric thread, DIN 13

Thread	art.no.	€	Calibration	art.no.	€
M1 *	541001 0010	92,--	075015 0001	14,50	
M1.4 *	541001 0014	90,--	075015 0001	14,50	
M1.6	541001 0016	74,--	075015 0001	14,50	
M2	541001 0020	62,20	075015 0001	14,50	
M2.5	541001 0025	54,30	075015 0001	14,50	
M3	541001 0030	49,50	075015 0001	14,50	
M3.5	541001 0035	45,90	075015 0001	14,50	
M4	541001 0040	43,80	075015 0001	14,50	
M5	541001 0050	42,90	075015 0001	14,50	
M6	541001 0060	42,90	075015 0001	14,50	

5137

Thread	art.no.	€	Calibration	art.no.	€
M8	541001 0080	42,90	075015 0001	14,50	
M10	541001 0100	45,40	075015 0001	14,50	
M12	541001 0120	49,--	075015 0001	14,50	
M14	541001 0140	52,50	075015 0001	14,50	
M16	541001 0160	57,--	075015 0001	14,50	
M18	541001 0180	62,--	075015 0001	14,50	
M20	541001 0200	66,50	075015 0001	14,50	
M22	541001 0220	73,--	075015 0002	18,--	
M24	541001 0240	78,--	075015 0002	18,--	
M27	541001 0270	86,50	075015 0002	18,--	

5137

Thread	art.no.	€	Calibration	art.no.	€
M30	541001 0300	96,--	075015 0002	18,--	
M33	541001 0330	111,--	075015 0002	18,--	
M36	541001 0360	119,--	075015 0002	18,--	
M39	541001 0390	119,--	075015 0002	18,--	
M42	541001 0420	162,--	075015 0002	18,--	
M45	541001 0450	178,--	075015 0002	18,--	
M48	541001 0480	191,--	075015 0002	18,--	
M52	541001 0520	205,--	075015 0002	18,--	
M56	541001 0560	225,--	075015 0002	18,--	
M60	541001 0600	240,--	075015 0002	18,--	

5137

- Для виміру та контролю перпендикулярності (Гранична похибка 0,003 мм)

5102

Mitutoyo IDC digital ABSOLUTE dial indicator for run-out measurements

Werks-norm ABSOLUTE Digi-matic USB

ABSOLUTE®

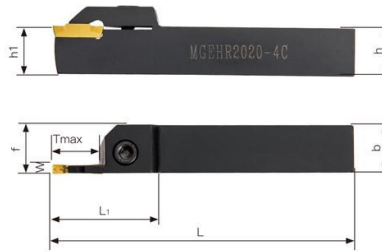
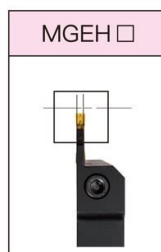
- Dial indicator for run-out measurement; allows max., min. and difference values (TIR) to be retrieved
- ABSOLUTE scale
- Combined digital and analogue display
- Display component can be rotated through 330° for better readability
- Programmable Ax factor (x = spindle)
- Adjustable resolution 0.01 mm / 0.001 mm
- 3 memory slots for pre-set and tolerance values
- Configurable via PC (special interface optional)
- Contact point M2.5,
- Clamping shank Ø 8 mm
- Functions:** ON/OFF, MENU for switching between max. / min. / TIR modes, PRESET/SET for pre-setting values / inputting tolerances, START/ZERO/ABS for user-defined zeroing / incremental mode, view selection in tolerance mode, +/- to reverse measuring direction
- Supplied in moulded packaging with CR 2032 battery no. 548079 6032
- Optional accessories:** Digimatic cable type F, no. 563100 0051 (1 m), no. 563100 0052 (2 m); USB cable type F-USB, no. 563110 0006



Measurement range mm	Reading mm	Error limit mm	External ring Ø mm	art.no.	€	Calibration	art.no.	€
12.7	0.001 / 0.01	0.003	60.5	512026 1211	420,--	070140 0002	14,20	

5102

Оправки для різця:



型号 Order Number		尺寸 Size(mm)								刀片 Insert	螺钉 Screw	扳手 Wrench
左刀 Left	右刀 Right	W	h	d	L	h ₁	f	Tmax				
MGEHL1010-1.5	MGEHR1010-1.5	1.5	10	10	100	10	10	12	MGMN150		M4X15	L3
MGEHL1212-1.5	MGEHR1212-1.5	1.5	12	12	100	12	12	14			M5X16	L4
MGEHL1616-1.5	MGEHR1616-1.5	1.5	16	16	100	16	16	16			M6X20	L5
MGEHL2020-1.5	MGEHR2020-1.5	1.5	20	20	125	20	20	16				
MGEHL2525-1.5	MGEHR2525-1.5	1.5	25	25	150	25	25	16				
MGEHL3232-1.5	MGEHR3232-1.5	1.5	32	32	170	32	32	16				

Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата
------	-----	---------	---------	------

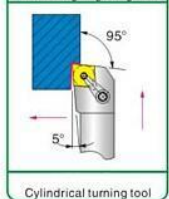
ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ

Арк

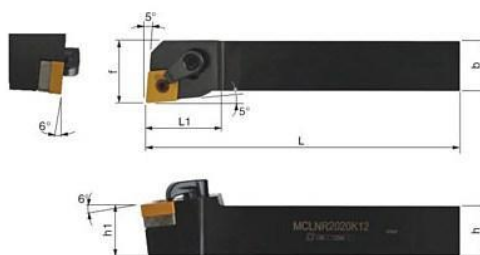
82

MCLNR/L

Tool cutting edge angle 95°



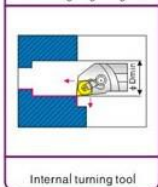
Cylindrical turning tool



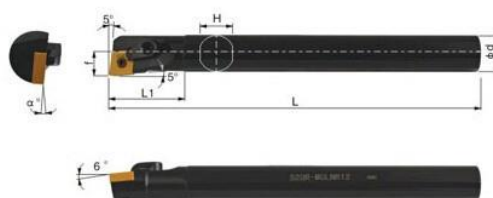
Type	Blade	Specification						Shim	Pin	Clamp	Screw	Wrench
		h	b	L	L1	h1	f					
MCLNR/L1616H12	CN□□1204□□	16	16	100	32	16	20	MC1204	CTM617	HL1813	ML0625	L2.5 L3.0
MCLNR/L2020K12		20	20	125	30	20	25					
MCLNR/L2525M12		25	25	150	31	25	32					
MCLNR/L3232P12		32	32	170	33	32	40					
MCLNR/L2525M16	CN□□1606□□	25	25	150	37	25	32	MC1604	CTM822	HL2217	ML0830	L3.0 L4.0
MCLNR/L3232P16		32	32	170	36	32	40					
MCLNR/L4040R16		40	40	200	36	40	50					
MCLNR/L3232P19		32	32	170	39	32	40					
MCLNR/L4040R19	CN□□1906□□	40	40	200	39	40	50	MC1904	GTM1022	HI2217	MI0830	L4.0

MCLNR/L

Tool cutting edge angle 95°

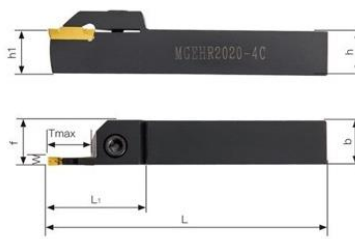


Internal turning tool



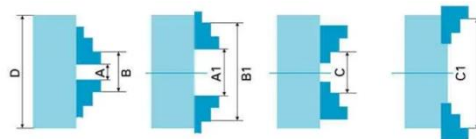
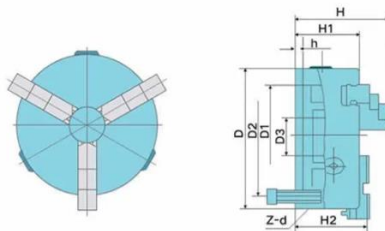
Type	Blade	φ Dmin	φ d	L	L1	H	f	α°	Shim	Pin	Clamp	Screw	Wrench
S20R-MCLNR/L12	CN□□1204□□	25	20	200	45	19	13	15°	MC1204	CTM613	HL1810	ML0620	L2.5 L3.0
S25S-MCLNR/L12		32	25	250	45	24	16.5	12°					
S32T-MCLNR/L12		40	32	300	50	30	22.5	17°					
S40T-MCLNR/L12		50	40	300	55	38	26	15°					
S40T-MCLNR/L16	CN□□1606□□	50	40	300	55	38	26	15°	MC1604	CTM822	HL2217	ML0830	L3.0 L4.0

MGEH□



型号 Order Number		尺寸 Size(mm)							刀片 Insert	螺钉 Screw	扳手 Wrench
左刀 Left	右刀 Right	W	h	d	L	h1	f	Tmax			
MGEHL1010-4	MGEHR1010-4	4	10	10	100	10	10	14	MGMN400	MAX15	L3
MGEHL1212-4	MGEHR1212-4	4	12	12	100	12	12	16		MSX16	L4
MGEHL1616-4	MGEHR1616-4	4	16	16	100	16	16	18			
MGEHL2020-4	MGEHR2020-4	4	20	20	125	20	20	20			
MGEHL2525-4	MGEHR2525-4	4	25	25	150	25	25	20		MX20	L5
MGEHL3232-4	MGEHR3232-4	4	32	32	170	32	32	20			

Патрон токарный



规格D (mm)	D1 (mm)	D2 (mm)	D3 (mm)	H (mm)	H1 (mm)	h (mm)	Z-d
80 (3")	55	66	16	66	50	3.5	3-M6
100 (4")	72	84	22	75	55	3.5	3-M8
125 (5")	95	108	30	84	58	4	3-M8
130 (5")	100	115	30	86	60.5	3.5	3-M8
160 (6")	130	142	45	95	65	5	3-M8
200 (8")	165	180	65	113	75	5	3-M10
250 (10")	206	226	80	124	80	5	3-M12
320 (13")	270	290	100	148.5	95	11	3-M16
320C (13")	270	290	100	154.5	95	11	3-M16
400 (16")	340	368	145	155	101.5	6	6-M16
500 (20")	440	465	210	174	115.4	6	6-M16
630 (20")	560	595	280	204	135	7	6-M16

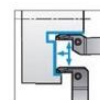
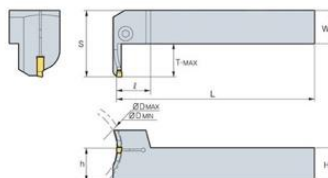
夹持范围						
规格D size	最大输入扭矩N.m Max. input torque	最高转速r/min Max. speed	最大静态夹持力kN max. static gripping dia	夹持范围 Clamping Range		
				正爪 Internal jaws	反爪 External	
80(3")	40	4800	10	2-22	25-70	22-63
100(4")	60	4200	10	2-30	30-90	30-80
125(5")	100	3800	17	2.5-40	38-125	38-110
130(5")	100	3800	17	3-40	40-130	40-120
160(6")	160	3600	24	3-55	50-160	55-145
200(8")	250	3000	31	4-85	65-200	65-200
250(10")	320	2400	37	6-110	80-250	90-250
315(12")	400	1800	46	10-140	95-315	100-315
320(13")	400	1800	46	11.5-145	95-320	110-320
325(13")	400	1800	46	11.5-165	95-350	110-340
400(16")	500	1200	55	15-210	120-400	120-400
500(20")	630	850	65	25-280	150-500	150-500
630(25")	800	600	72	50-350	170-630	170-630

FGVH



FGD FGM FMm

• FGVH



R 型 内置式 切削刃

Обозначение	H=h	W	L	S	T-Макс.	OD		СМП		Винт		Ключ
						Мин.	Макс.					
FGVH	320R -25/30	20	20	125	20.6	12	25	30	FMM300R-03	BHA0616 (M6 x 25)	HW50L (L5.0)	
	30/35	20	20	125	20.6	12	30	35				
	35/48	20	20	125	20.6	12	35	48				
	48/60	20	20	125	20.6	22	48	60				
	60/75	20	20	125	20.6	22	60	75	FGD300R-03 FGM300R-03			
	75/100	20	20	125	20.6	22	75	100				
	100/140	20	20	125	20.6	22	100	140				
	325R -25/30	25	25	150	25.6	12	25	30				FMM300R-03
	30/35	25	25	150	25.6	12	30	35				
	35/48	25	25	150	25.6	12	35	48				
	48/60	25	25	150	25.6	22	48	60				
	60/75	25	25	150	25.6	22	60	75	FGD300R-03 FGM300R-03			
	75/100	25	25	150	25.6	22	75	100				
	100/140	25	25	150	25.6	22	100	140				
	420R -25/30	20	20	125	20.6	12	25	30				FMM400R-04
	30/35	20	20	125	20.6	12	30	35				
	35/48	20	20	125	20.6	12	35	48				
	48/60	20	20	125	20.6	25	48	60				
	60/75	20	20	125	20.6	25	60	75	FGD400R-04 FGM400R-04			
	75/100	20	20	125	20.6	25	75	100				
	100/140	20	20	125	20.6	25	100	140				
	425R -25/30	25	25	150	25.6	12	25	30				FMM400R-04
	30/35	25	25	150	25.6	12	30	35				
	35/48	25	25	150	25.6	12	35	48				
	48/60	25	25	150	25.6	25	48	60				
	60/75	25	25	150	25.6	25	60	75	FGD400R-04 FGM400R-04			
	75/100	25	25	150	25.6	25	75	100				
	100/140	25	25	150	25.6	25	100	140				
	520R -25/30	20	20	125	20.6	12	25	30				FMM500R-04
	30/35	20	20	125	20.6	12	30	35				
	35/40	20	20	125	20.6	20	35	40				
	40/48	20	20	125	20.6	20	40	48				
	48/60	20	20	125	20.6	25	48	60	FGD500R-04 FGM500R-04			
	60/75	20	20	125	20.6	25	60	75				
	75/100	20	20	125	20.6	25	75	100				
	100/140	20	20	125	20.6	25	100	140				
	525R -25/30	25	25	150	25.6	12	25	30	FMM500R-04			
	30/35	25	25	150	25.6	12	30	35				
	35/40	25	25	150	25.6	20	35	40				
	40/48	25	25	150	25.6	20	40	48				
	48/60	25	25	150	25.6	25	48	60	FGD500R-04 FGM500R-04			
	60/75	25	25	150	25.6	25	60	75				
	75/100	25	25	150	25.6	25	75	100				
	100/140	25	25	150	25.6	25	100	140				

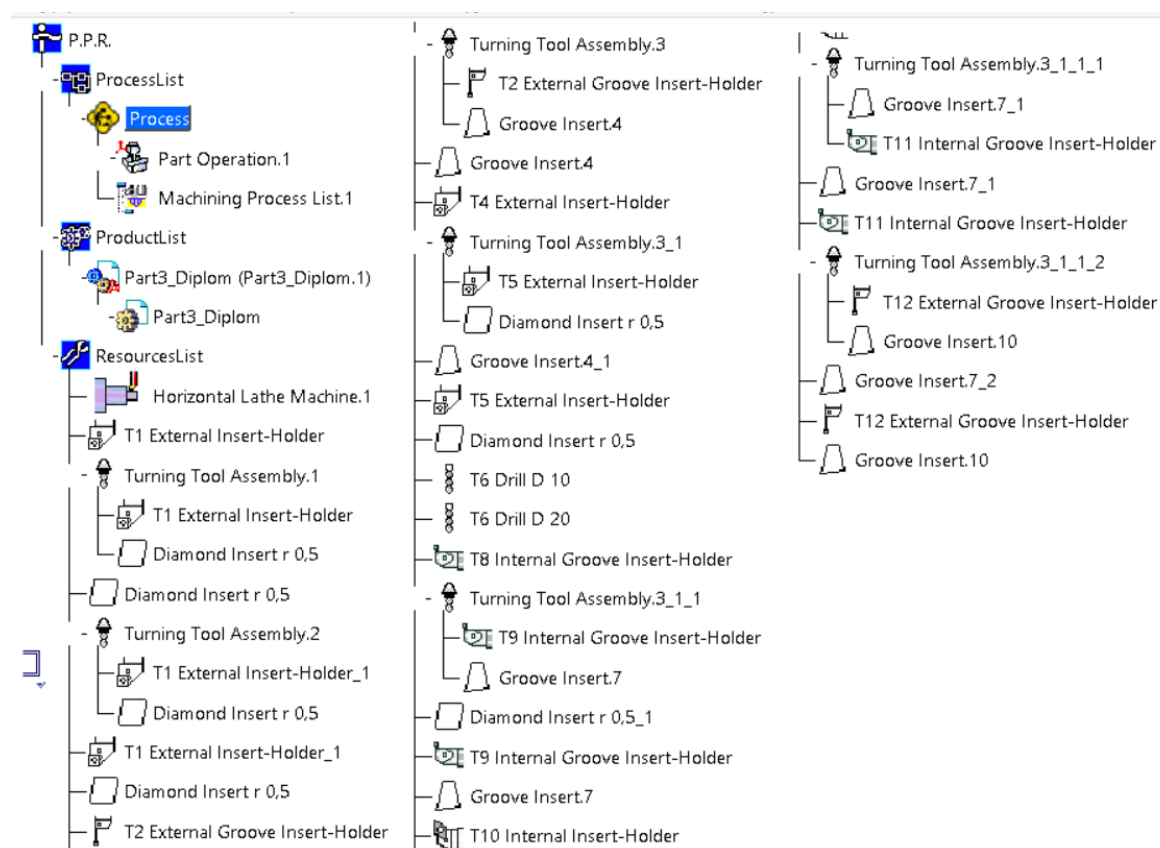
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата
------	-----	---------	---------	------

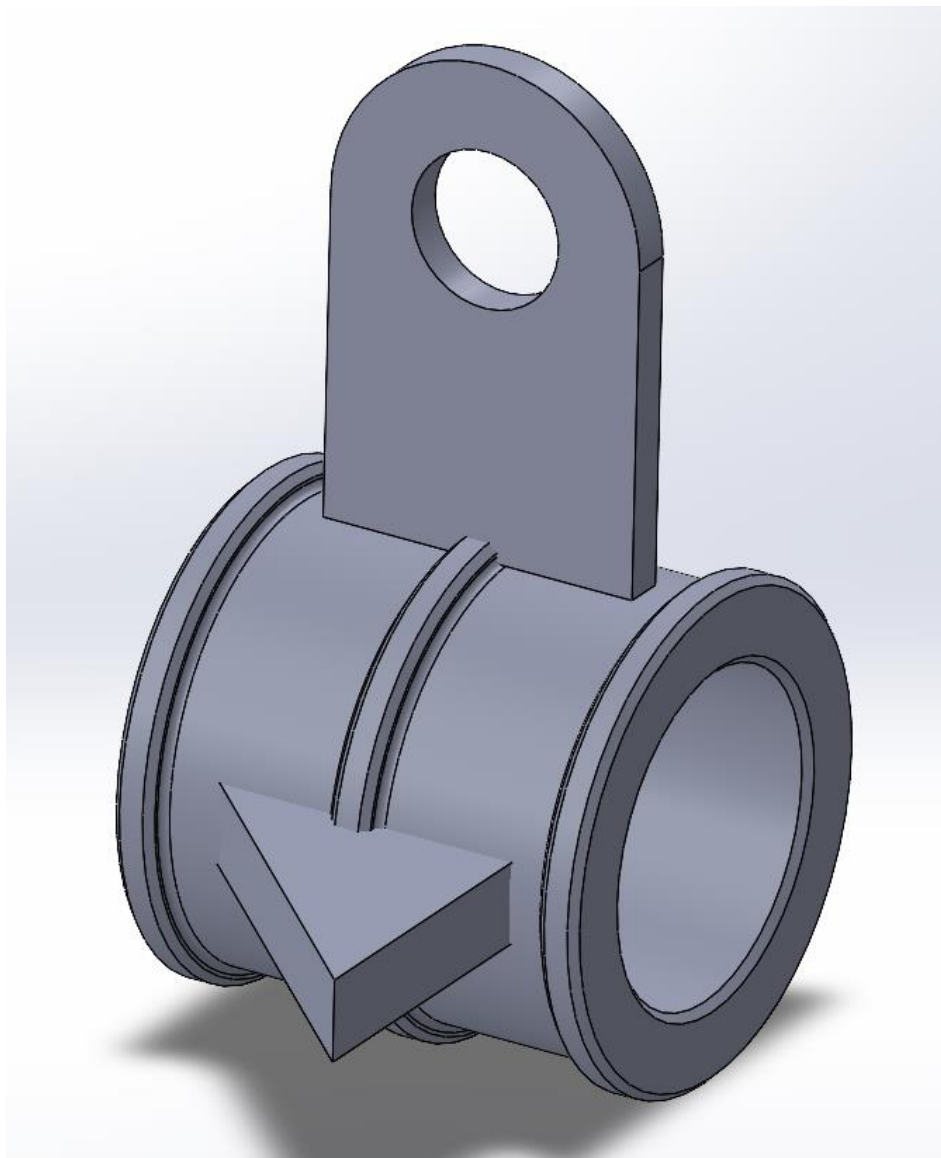
ДП.МА 12.1318.00.00.000 ПЗ

Арк

84

Технологічний процес реалізовано в САМ-системі CATIA V5





Після завершення всіх етапів технологічного процесу до деталі приварюються типові конструктивні елементи: "Трикутник", що забезпечує міцне та стабільне з'єднання з кільцем зі щітками для безперебійної роботи механізму в різних умовах експлуатації, а також елемент "Вушко", який призначений для надійного кріплення до виделки пневмоциліндра, що дозволяє точно передавати зусилля. Елементи "Трикутник" та "Вушко" виготовлені замовником, на потужностях фабрики.

Всередину деталі вставляється тефлонова втулка з зовнішнім діаметром 44 мм і внутрішнім діаметром 40 мм [31].

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1 Вступ

Експлуатація роторної центрифуги для зневоднення сировини (ПАС) на Зміївській паперовій фабриці пов'язана з потенційними ризиками через вплив рухомих частин, електричного струму, підвищеного рівня шуму та слизьких поверхонь. Забезпечення безпеки праці реалізується через суворе дотримання чинних нормативних актів, організацію навчання персоналу та впровадження захисних заходів. Відповідність вимогам ЗАКОН УКРАЇНИ Про охорону праці [32] та ДСТУ ISO 45001:2019 [33] гарантує створення безпечних умов праці. Цей розділ присвячено аналізу небезпечних факторів, інженерним рішенням, навчанню працівників та заходам протипожежного захисту. У додатках наведено схему заземлення цеха TetraPak, схему розміщення вогнегасників та евакуації при пожежі.

5.2 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Виробничий процес із застосуванням роторної центрифуги супроводжується низкою небезпечних та шкідливих виробничих факторів (ШНВФ), які можуть негативно впливати на здоров'я та безпеку працівників. Основні фактори, їхні джерела, потенційні ризики та відповідні нормативні документи наведено нижче.

Таблиця 5.1. Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

№	Фактор	Потенційна небезпека	Джерело виникнення
1	Рухомі частини (ротор)	Травми, затягування одягу	Роторна центрифуга
2	Електричний струм	Ураження струмом, електроопіки	Електрощити, приводи

№	Фактор	Потенційна небезпека	Джерело виникнення
3	Підвищений рівень шуму	Погіршення слуху	Робота центрифуги
4	Слизькі поверхні	Падіння, травми	Вода, залишки на підлозі

5.2.1 Підвищений рівень шуму

Робота центрифуги генерує шум на рівні 85–90 дБ, що перевищує допустиму норму ≤ 85 дБ відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 [34]. Тривалий вплив такого шуму може спричинити професійні захворювання слуху.

5.2.2 Електричний струм

Електрообладнання центрифуги працює від мережі 380 В. Недотримання вимог до заземлення та ізоляції може спричинити ураження струмом. ДСТУ EN 61140:2019 [35] вимагає обов'язкового заземлення та ізоляції.

5.2.3 Рухомі частини

Висока швидкість обертання ротора становить загрозу травмування. ДСТУ EN ISO 13857:2021 [36] забороняє доступ до рухомих частин під час роботи обладнання.

5.2.4 Слизькі поверхні

Накопичення води або залишків на підлозі може призвести до падінь і травм. вимагає регулярного прибирання робочої зони.

5.3 Інженерні рішення

Для забезпечення безпеки праці впроваджено комплекс інженерних і організаційних заходів, які включають навчання персоналу, використання захисного обладнання, сигнальних засобів і процедур технічного обслуговування. Усі заходи відповідають чинним нормативним вимогам.

5.3.1 Організація навчання та інструктажів

Кожен працівник, допущений до експлуатації центрифуги, проходить:

- Вступний інструктаж для ознайомлення з загальними вимогами безпеки.
- Первинний інструктаж із детальним вивченням правил роботи з центрифугою та інструкції з охорони праці.
- Періодичний інструктаж для підтримання рівня знань.
- Ознайомлення з інструкцією З ОХОРОНИ ПРАЦІ ОПЕРАТОРА ПРИ РОБОТІ З ЦЕНТРИФУГОЮ цеху переробки TetraPak (Додаток 3)
- Перевірку знань з охорони праці.
- Навчання з правильного застосування засобів індивідуального захисту (ЗІЗ).

Результати інструктажів фіксуються в журналі відповідно до НПАОП 0.00-4.15-15 [37]. Система навчання забезпечує належну підготовку персоналу до безпечного виконання обов'язків.

5.3.2 Захист від рухомих частин

Висока швидкість обертання ротора становить значний ризик. Для його мінімізації:

Заборонено відкривати кришку центрифуги або знімати захисні кожухи під час роботи обладнання.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						91
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		

Перед запуском перевіряється наявність усіх захисних екранів; їх відсутність є підставою для зупинки експлуатації.

5.3.3 Електробезпека

Для запобігання ураженню електричним струмом:

Монтаж електрообладнання виконується кваліфікованим електриком, який має відповідну кваліфікацію та має допуск до устаткування.

Усе обладнання забезпечено заземленням згідно з ДСТУ EN 61140:2017 [39].

Перед технічним обслуговуванням обладнання повністю знеструмлюється, а будь-які маніпуляції при ввімкненому живленні заборонені.

5.3.4 Засоби індивідуального захисту

Оператори центрифуги зобов'язані використовувати ЗІЗ, зокрема:

Захисні окуляри для запобігання потраплянню бризок.

Протиударний шолом для захисту від механічних травм.

Протишумові навушники або беруші для зниження впливу шуму.

Міцне взуття для захисту від слизьких поверхонь.

Використання ЗІЗ є обов'язковим відповідно до наказу N 359 від 28.12.2000. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту для працівників целюлозно-паперової промисловості [40].

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						92
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		

5.3.5 Сигнальні наклейки

Для попередження працівників про небезпеки використовуються сигнальні наклейки відповідно до ДСТУ EN ISO 7010:2019

[https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_en_iso_7010_2019.pdf]

Червоний – НЕБЕЗПЕКА (DANGER): загроза серйозних травм.

Жовтий – ОБЕРЕЖНО (CAUTION): ризик легких травм.

Синій – ПОВІДОМЛЕННЯ (NOTICE): рекомендації.

Місця розміщення:

Біля електрощитів: «НЕ ВМИКАТИ – ПРАЦЮЮТЬ ЛЮДИ»



На кожусі ротора: «НЕБЕЗПЕКА! РУХОМІ ЧАСТИНИ»



Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата

ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ

Арк

93

На вхідних дверях: «ВХІД ЛИШЕ В ЗІЗ»



Біля робочого місця: «ОБЕРЕЖНО! СЛИЗЬКА ПОВЕРХНЯ»



Наклейки виготовлені з волого- та термостійкої плівки, розмір піктограм – не менше 100×100 мм, усі написи дубльовані українською мовою.

5.4 Вентиляція , заземлення та освітлення

Оскільки роторна центрифуга є складовою частиною загальної виробничої лінії з переробки TetraPak і інтегрована в технологічний процес цеху, вентиляція , освітлення та система заземлення були розраховані комплексно для всього об'єкта. Таким чином, проведення окремих розрахунків для даного вузла недоцільне. За основу приймаються параметри, передбачені у проектній документації замовника, розробленій для всього цеху.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		94

5.5 Пожежна безпека

Для запобігання пожежам і забезпечення безпеки в зоні експлуатації центрифуги впроваджено такі заходи:

Встановлено вогнегасники, які проходять щомісячну перевірку. Схема їхнього розміщення наведена на Рис. 5.2 та в додатках.

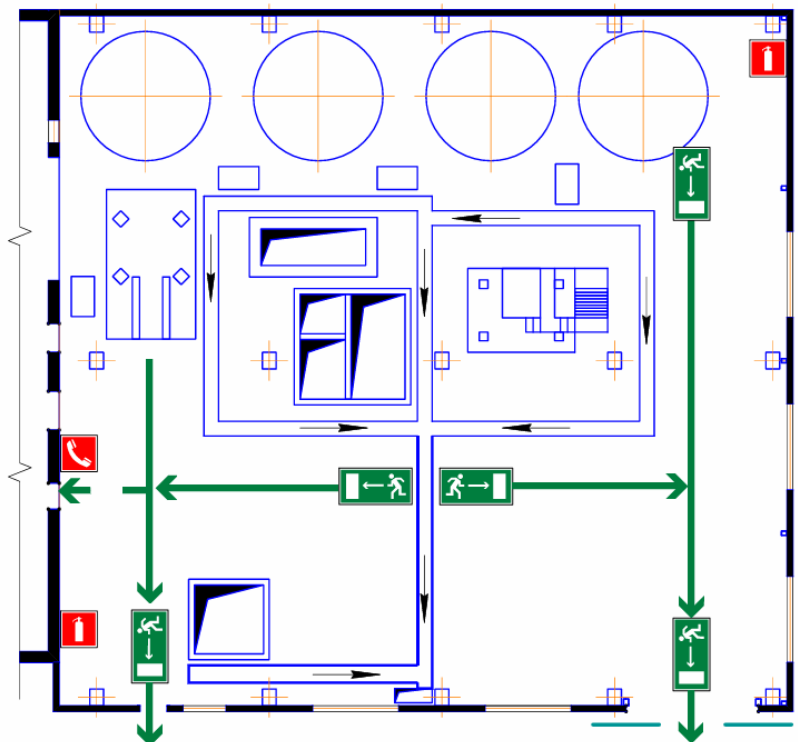


Рис. 5.2. Схема розташування вогнегасників цеху переробки TetraPak

Вогнегасники розміщені біля входу до зони обслуговування та вздовж стін для швидкого доступу в разі виникнення пожежі.

Евакуаційні плани розміщені біля входів і на коридорах, схема евакуації при пожежі наведена в додатках.

Медична аптечка розташована в доступному місці біля входу до зони обслуговування.

Номери екстрених служб розміщені на всіх виробничих щитах.

Персонал проходить щорічне навчання з надання домедичної допомоги, що підвищує готовність до надзвичайних ситуацій.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ		Арк
							95
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата			

На Зміївській паперовій фабриці створено систему заходів з охорони праці, яка забезпечує безпеку під час експлуатації роторної центрифуги. Впроваджено регулярні інструктажі, використання ЗІЗ і сигнальних наклейок. У додатках наведено схему заземлення цеху переробки упаковки TetraPak, схему розміщення вогнегасників і схему евакуації при пожежі. Усі заходи відповідають чинним нормативним документам та вимогам, які передбачають створення безпечних умов праці. Система навчання персоналу та організаційні заходи мінімізують виробничі ризики, створюючи безпечне робоче середовище.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						96
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		

Висновки

1. На основі аналізу літературних джерел і потреб підприємства обрано комбінований метод очищення барабана центрифуги, який поєднує гідравлічне та механічне очищення для створення ефективної автоматизованої системи.
2. Визначено ключові технологічні параметри, що потребують контролю: рівень вологи сировини, тиск води, швидкість руху механізмів. Підібрано відповідні датчики та програмований логічний контролер для їхнього моніторингу та управління.
3. Удосконалено конструкцію системи очищення шляхом інтеграції гідрофорсунок, пневмоциліндра та під'єднаної системи рециркуляції води фабрики, виконано необхідні технічні розрахунки для забезпечення сумісності з існуючим обладнанням.
4. Розроблено автоматизовану систему очищення, яка ефективно видаляє різноманітні забруднення, характерні для переробки багатокомпонентних матеріалів, забезпечуючи стабільну роботу центрифуги.
5. Впровадження автоматизованої системи значно підвищує економічну ефективність за рахунок скорочення простоїв, витрат на обслуговування та робочу силу, а також сприяє екологічності завдяки зменшенню водоспоживання, відходів і виключенню хімічних реагентів.
6. Використання запропонованої системи забезпечує відповідність екологічним стандартам, підвищує продуктивність підприємства та підтримує принципи сталого розвитку, сприяючи конкурентоспроможності в галузі переробки.

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						97
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		

Список літератури

1. Проблеми переробки аспетичної упаковки Tetra Pak.
<https://www.tetrapak.com/sustainability/focus-areas/circularity-and-recycling>
2. Структура упаковки Tetra Pak.
<https://www.tetrapak.com/solutions/packaging/packaging-material>
3. Не сміття, а вторсировина. Як Україні стати ближчою до Європи в індустрії переробки? Досвід Tetra Pak та Зміївської паперової фабрики.
<https://www.unian.ua/longrids/tetra-pak/>
4. В Україні запустили першу переробну лінію для упаковки типу Tetra Pak.
<https://shotam.info/v-ukraini-zapustily-pershu-pererobnu-liniiu-dlia-upakovky-typu-tetra-pak/>
5. Каталог обладнання переробної лінії WIPA Recycling. .
https://www.mat-technologic.com/wp-content/uploads/WIPA_MD_eng.pdf
6. Tetra Pak інвестує у чотири нові переробні заводи, що дозволить світовій переробці картонної упаковки перевищити п'ятдесят мільярдів на рік.
<https://www.tetrapak.com/en-ua/about-tetra-pak/news-and-events/newsarchive/tetra-pak-invests-new-recycling-facilities>
7. Пластиковий агломератор типу PFV. Безперервне виробництво сипучих гранул з термопластів усіх видів.
<https://www.pallmannindustries.com/machine/the-plast-agglomerator-type-pfv/>
8. Використання поліалюмінієвої гранули для модифікації бітуму та асфальтобетону. <https://tinyurl.com/48649ker>
9. ДСТУ ISO 14001:2015. Системи екологічного управління. Вимоги та настанови щодо застосовування.
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?Id_doc=64015
10. Альтернативні моделі відцентрових очищувачів для паперової промисловості / Ерік Бауер, Університет Західного Мічигану.
<https://scholarworks.wmich.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1096&context=engi-neer-senior-theses>

- 11.Центрифужне очищення промислових рідин.
<https://www.filtsep.com/content/features/centrifuge-cleaning-of-industrial-liquids/>
- 12.Відцентрові очисники / Kadant Black Clawson Inc.
<https://www.pulpandpaperonline.com/doc/centrifugal-cleaners-0001>
- 13.Налаштування вашої системи очищення для максимальної продуктивності / Pulp & Paper Canada.
<https://www.pulpandpapercanada.com/tuning-up-your-cleaner-system-for-maximum-performance-1000107360/>
- 14.Серія 40_3 / Camozzi.
https://www.camozzi.ua/sites/default/files/2024-11/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%2040_3.pdf
- 15.Серія 1.8.5 / Camozzi. <https://media.camozzi.com/pdf/ENG.1.8.5.pdf>
- 16.Серія 3-DEU / Camozzi. <https://media.camozzi.com/pdf/3-DEU.pdf>
- 17.Труби / Camozzi. <https://media.camozzi.com/pdf/Tubes.pdf>
- 18.Серія 6000-DEU / Camozzi. <https://media.camozzi.com/pdf/6000-DEU.pdf>
- 19.Серія MX. Фільтри-регулятори / Camozzi.
<https://www.camozzi.ua/sites/default/files/2023-01/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%20MX.%20%D0%A4%D1%96%D0%BB%D1%8C%D1%82%D1%80%D0%B8-%D1%80%D0%B5%D0%B3%D1%83%D0%BB%D1%8F%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%B8.pdf>
- 20.RFU-RFO-DEU / Camozzi.
<https://media.camozzi.com/pdf/RFU-RFO-DEU.pdf>
- 21.Серія 40_3 / Camozzi.
https://www.camozzi.ua/sites/default/files/2024-11/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%2040_3.pdf
- 22.Серія 40_3 / Camozzi.
https://www.camozzi.ua/sites/default/files/2024-11/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%2040_3.pdf

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						99
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		

23.Серія 40_3 / Camozzi.

https://www.camozzi.ua/sites/default/files/2024-11/%D0%A1%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%8F%2040_3.pdf

24.Серія 612 Flat Fan / Lechler USA. . –

https://www.lechlerusa.com/fileadmin/media-usa/Literature/Catalog/Flat_fan/Series_612_flatfan.pdf

25.Каталог / Landefeld. . –

https://www.landefeld.de/shop/media/atlas9_seiten/471.pdf

26.Електромагнітний клапан нержавіючий Gama XSE 20 високого тиску N.C. 6-220 бар PTFE 24-220V AC/DC. . –

https://goodmax.com.ua/copy_elektromahnytnyi-klapan-nerzhaveiushchyi-gama-xse-20-vysokoho-davleniya-n.c.-6-220-bar-ptfe-24-220v-ac-dc

27.Grundfos CRN-5-12 A-FGJ-G-V-HQQV. . –

https://www.lenntech.com/uploads/grundfos/96514162/Grundfos_CRN-5-12-A-FGJ-G-V-HQQV.pdf

28.ПВТ100 Промисловий датчик вологості і температури повітря. . –

<https://e-unit.com.ua/pvt100-promyshlennyi-datchik-vlazhnosti-i-temperatury-vozduha>

29.Документація / Festo. . –

https://www.festo.com/media/catalog/201179_documentation.pdf

30.Круг 62 мм, Сталь 09Г2С, 1050-88, 2590-2006. . –

<https://www.absolut-metall.com.ua/metall-krug-62mm-stal-09g2s-1050-88-2590-2006>

31.Втулка ковзання вкладиш ТУП1-40x25-СХ (всередині тефлон) розмір 40/44/25. . –

<https://vpk-podshipnik.com.ua/product/vtulka-skolzheniya-vkladish-tup1-40x25-cx-vnutri-teflon-razmer-404425>

32.Закон України Про охорону праці. . –

<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text>

					ДП.МА12.1318.00.00.000 ПЗ	Арк
						100
Изм.	Арк	№ докум	Подпись	Дата		

- 33.ДСТУ ISO 45001:2019. Системи управління охороною здоров'я та безпекою праці. . –
https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_iso_45001_2019.pdf
- 34.ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. . – https://dnaop.com/html/1642_2.html
- 35.ДСТУ EN 61140:2019. Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. . –
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?Id_doc=91052
- 36.ДСТУ EN ISO 13857:2021. Безпечність машин. Безпечні відстані для запобігання потраплянню верхніх і нижніх кінцівок у небезпечні зони. . –
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?Id_doc=99777
- 37.НПАОП 0.00-4.12-05. Типове положення про порядок проведення навчання і перевірки знань з питань охорони праці. . –
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?Id_doc=24622
- 38.ДСТУ EN 61140:2019. Захист від ураження електричним струмом. Загальні аспекти щодо установок та обладнання. . –
https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?Id_doc=91052
- 39.Н 359 від 28.12.2000. Норми безплатної видачі спеціального одягу, спеціального взуття та інших засобів індивідуального захисту для працівників целюлозно-паперової промисловості. . –
https://dnaop.com/html/57030/doc-N_359_від_28.12.2000
- 40.ДСТУ EN ISO 7010:2019. Графічні символи. Кольори та знаки безпеки. . –
https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/dstu_en_iso_7010_2019.pdf