

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв

«До захисту в ЕК»	«До захисту допущено»
Директор інституту(декан факультету)	Завідувач кафедри
<u>Сергій БЛАЖЕНКО</u>	<u>Олександр ГАВВА</u>
(підпис)	(підпис)
(ім'я та прізвище)	(ім'я та прізвище)
« <u> </u> » _____ 2025р.	« <u> </u> » _____ 2025р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

зі спеціальності 133 "Галузеве машинобудування"
(код та назва спеціальності)
освітньо-професійної програми Інжиніринг харчових та біотехнологічних виробництв
на тему: Модернізація лінії ліофільного сушіння і транспортування скляних флаконів продуктивністю 15000 шт/год
Виконав: здобувач 2 курсу, групи ОХ-2-3М

<u>Кольба Назарій Валерійович</u>	
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)	(підпис)

Керівник <u>Теличкун Володимир Іванович</u>	
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)	(підпис)

Консультанти _____	
(ім'я та прізвище)	(підпис)
_____	_____
(ім'я та прізвище)	(підпис)
_____	_____
(ім'я та прізвище)	(підпис)

Рецензент <u>Серьогін О.О</u>	
(ім'я та прізвище)	(підпис)

Я як здобувач Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач _____
(підпис)

Київ - 2025р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ
Інститут ННІТІ ім. акад. І.С. Гулого
Кафедра Машин і апаратів харчових та фармацевтичних
виробництв

Освітній ступінь магістр

Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»

(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інжиніринг харчових та
біотехнологічних виробництв

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Олександр ГАВВА

“ _____ ” _____ 2025 року

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Кольба Назарій Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Модернізація лінії ліофільного сушіння і транспортування
скляних флаконів продуктивністю 15000 шт./год

Керівник роботи Теличкун Володимир Іванович, професор, к.т.н.

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

затверджені наказом закл. вищої осв. від “17” вересня 2025 року № 712-кв

2. Строк подання здобувачем роботи 15 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи технічний паспорт обладнання;
кресленики обладнання; навчальна нормативна та спеціальна
література

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)
анотація, зміст; вступ, аналіз існуючого обладнання аналогічного
призначення, опис запропонованого технічного рішення, принцип роботи,
розрахункова частина, вибір конструкційних матеріалів, технологічний
маршрут виготовлення деталі, вимоги щодо монтажу, експлуатації,
ремонт, заходи щодо охорони праці; загальні висновки, список використаної
літератури, специфікація

5. Перелік графічного матеріалу

Загальний вигляд лінії, конструкція конвеєра, конструкція ротаційного столу,
вузол переходу флаконів, вузол підтримки диску ротаційного столу, поворотна
направляюча флаконів.

6. Дата видачі завдання 17 вересня 2025 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Анотація, зміст</i>	23.10.25	<i>Виконано</i>
2	<i>Вступ</i>	28.10.25	<i>Виконано</i>
3	<i>Огляд обладнання – транспортери</i>	02.11.25	<i>Виконано</i>
4	<i>Огляд обладнання – ротаційний стіл</i>	08.11.25	<i>Виконано</i>
5	<i>Опис наукової проблеми</i>	12.11.25	<i>Виконано</i>
6	<i>Опис запропонованого технічного рішення. Принцип роботи і конструкція конвеєрів</i>	14.11.25	<i>Виконано</i>
7	<i>Опис запропонованого технічного рішення. Принцип роботи і конструкція ротаційного столу</i>	15.11.25	<i>Виконано</i>
8	<i>Розрахункова частина</i>	20.11.25	<i>Виконано</i>
9	<i>FAT і SAT у виготовленні обладнання</i>	25.11.25	<i>Виконано</i>
10	<i>Монтаж, експлуатація та ремонт</i>	30.11.25	<i>Виконано</i>
11	<i>Охорона праці під час роботи</i>	03.12.25	<i>Виконано</i>
12	<i>Висновки</i>	08.12.25	<i>Виконано</i>
13	<i>Список використаної літератури</i>	11.12.25	<i>Виконано</i>
14	<i>Графічна частина: 5 аркушів</i>	13.12.25	<i>Виконано</i>
15	<i>Подача КР на кафедрі</i>	15.12.25	<i>Виконано</i>

Здобувач

_____ (підпис)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Назарій КОЛЬБА

(ім'я та прізвище)

Володимир ТЕЛИЧКУН

(ім'я та прізвище)

Анотація

В цій кваліфікаційній роботі, пропонується модернізація лінії для транспортування скляних флаконів на дільниці ліофільного сушіння.

Модернізація полягає у розробці і виготовленні уніфікованої конструкції транспортерів з фіксованою довжиною яка не змінюється під час натягування стрічки, вирішенню проблем горизонтального перекосу диску при виготовленні дисків ротаційного столу великих діаметрів, а також вирішенні проблем лінійної стійкості флаконів на переходах між транспортерами.

Проект включає в себе розрахунок та обґрунтування вибору товщини металів які використовуються для обладнання, розрахунки продуктивності а також заходи щодо монтажу, ремонту та експлуатації нового обладнання.

Кваліфікаційна робота складається з таких розділів: вступ, аналіз процесу транспортування препаратів у скляних флаконах, огляд аналогічних транспортерів, огляд аналогічних ротаційних столів, опис наукової проблеми, опис запропонованого рішення, розрахункова частина, FAT і SAT у виготовленні обладнання, обробка результатів і обґрунтування рішень проблем, монтаж, експлуатація і ремонт обладнання, охорона праці, список використаної літератури, графічна частина яка представлена шістьма аркушами в форматі А3.

Ключові слова: транспортер, ротаційний стіл, скляний флакон, стійкість флакона.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Теличкун В.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документу НУХТ	Розробник документа Кольба Н.В.	Назва, додаткова назва Анотація	240269.КР.01.000 ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 4/110

Abstract

In this qualification work, a modernization of the line for transporting glass vials at the freeze-drying section is proposed.

The modernization consists in the development and manufacture of a unified design of conveyors with a fixed length that does not change during belt tensioning, solving the problems of horizontal disk skew in the manufacture of large-diameter rotary table disks, as well as solving the problems of linear stability of vials at the transitions between conveyors.

The project includes the calculation and justification of the choice of the thickness of metals used for the equipment, productivity calculations, as well as measures for the installation, repair and operation of new equipment.

The qualification work consists of the following sections: introduction, analysis of the process of transporting drugs in glass vials, review of similar conveyors, review of similar rotary tables, description of the scientific problem, description of the proposed solution, calculation part, FAT and SAT in the manufacture of equipment, processing of results and justification of solutions to problems, installation, operation and repair of equipment, labor protection, list of used literature, graphic part which is presented by six sheets in A3 format.

Keywords: conveyor, rotary table, glass vial, vial stability.

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Теличкун В.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документу НУХТ	Розробник документа Кольба Н.В.	Назва, додаткова назва Анотація	240269.КР.01.000 ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 5/110

Зміст

Вступ.....	8
1. Аналіз процесу транспортування препаратів у скляних флаконах.....	11
1.1. Види скляного пакування медичних препаратів.....	11
1.2. Основні вимоги до якості препаратів у скляному пакуванні.....	13
1.3. Огляд транспортних ліній на дільницях ліофільного сушіння...15	
1.3.1 Транспортна система компанії “Altan Mekatronik OOD”...17	
1.3.2 Ротаційний стіл компанії “Coveser”.....20	
2. Опис наукової проблеми	
2.1. Проблема статичної і динамічної стійкості скляних флаконів на переходах між приміщеннями з різними класами чистоти і обладнанням.....	24
2.2. Проблема перекосу диску ротаційного столу.....	34
2.3. Проблема модернізації лінії ліофільного сушіння.....	36
3. Опис запропонованого рішення.....	38
3.1. Принцип роботи і конструкція транспортерів.....	40
3.1.1 Конвеєр з габаритною довжиною 700 міліметрів.....	40
3.1.2 Конвеєр з габаритною довжиною 1900 міліметрів.....	50
3.1.3 Конвеєр з габаритною довжиною 3250 міліметрів.....	53
3.2. Використання методу 3D друку для створення деталей.....	55
3.3. Принцип роботи і конструкція ротаційного столу.....	58
4. Розрахунки.....	63
4.1. Розрахунок і підбір двигунів.....	63
4.2. Розрахунок і підбір підшипників.....	66
4.3. Розрахунок і підбір оптимальних товщин металу.....	69
5. FAT і SAT у виготовленні обладнання.....	72
5.1. Проведення FAT і SAT.....	74
5.2. Дослідження причин падіння флаконів в динаміці руху.....	77
5.3. Дослідження і тестування деталей для вирішення проблем падаючих флаконів в критичних зонах.....	79
6. Обробка результатів і обґрунтування рішень проблем.....	86
7. Висновки.....	88
8. Монтаж, експлуатація та ремонт.....	89

Відповідальна організація НУХТ	Технічне узгодження Теличкун В.І.	Вид документа Пояснювальна записка	Статус документа			
Власник документу НУХТ	Розробник документа Кольба Н.В.	Назва, додаткова назва Зміст	240269.КР.01.000 ПЗ			
	Документ затверджено Гавва О.М.		Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 6/110

9. Охорона праці.....	90
Список використаної літератури.....	93
Додаток А.....	96
Додаток Б.....	107

ВСТУП

Фармацевтична галузь є конкурентним середовищем, у якому відомі українські виробники ліків реалізують виробництво необхідних препаратів для українського народу, що веде за собою постійний пошук оптимальних конструкцій обладнання, яке забезпечуватиме безперервну й безвідмовну роботу задля ефективного виготовлення великих партії продукції.

Наразі фармацевтична галузь в Україні є розвинутою з великою кількістю відомих внутрішніх і світових виробників, таких як ПрАТ «Фармацевтична фірма «ДАРНИЦЯ», КОРПОРАЦІЯ «АРТЕРІУМ», АТ «Фармак» та інші. Такі компанії зосереджені на оптимізації виробництва і з кожним роком вводять в експлуатацію нові виробничі лінії, які надають українцям більш якісні та доступні препарати, оскільки оптимальне обладнання дозволяє зменшити собівартість підвищив надійність. В свою чергу такий підхід дозволяє ефективно і своєчасно надавати медичну допомогу людям, які її потребують. Задля досягнення такої цілі, забезпечення стабільного серійного виробництва якісної продукції, фармацевтичні компанії шукають технічні рішення, що гарантують ефективність і простоту обслуговування. Особлива увага приділяється конструктивним особливостям: використання нержавіючої сталі та дизайну, який легкий в очищенні та не має важкодоступних місць.

Актуальність теми полягає у необхідності розробки нових систем транспортерів та завантажувальних механізмів, які забезпечують «м'яке» поводження з крихкою тарою при збереженні високого темпу подачі 15000 шт/год.

Мета кваліфікаційної роботи: Підвищення ефективності роботи ділянки ліофілізації шляхом модернізації систем транспортування та сушіння, що забезпечить стабільну продуктивність 15 000 шт/год, зниження відсотка бою скляної тари та дотримання вимог GMP.

Завдання, що мають бути вирішені для досягнення поставленої мети цієї роботи:

- Провести порівняльний аналіз існуючих транспортних систем для виявлення їхніх недоліків;
- Дослідити механіку руху скляних флаконів на високих швидкостях та виявити причини втрати їхньої стійкості;
- Спроекувати модернізовану транспортну систему, що включає конвеєри необхідної конфігурації та ротаційний стіл;
- Виконати розрахунки електромеханічних приводів, підбір двигунів, а також розрахунки на міцність і довговічність навантажених вузлів для забезпечення ресурсу роботи при продуктивності 15 000 шт/год;
- Провести валідацію запропонованих рішень через процедури FAT/SAT випробувань, дослідити динаміку флаконів у критичних зонах та довести ефективність впроваджених конструктивних змін для усунення бою та падіння тари.

Об'єктом дослідження є технологічний процес транспортування скляних флаконів в умовах високопродуктивного фармацевтичного виробництва.

Предметом є удосконалення кінематичної схеми та конструкції вузлів транспортування для забезпечення динамічної стійкості флаконів та дотримання вимог GMP.

Наукова новизна полягає в обґрунтуванні ефективності використання адитивних технологій для виготовлення форматних частин фармацевтичного обладнання, що дозволяє зменшити інерційність рухомих елементів та забезпечити «м'яке» транспортування крихкої тари.

Практичне значення полягає у наступному:

1. Розроблено та впроваджено конструкцію трьох типів стрічкових транспортерів (габаритною довжиною 700, 1900 та 3250 мм) та ротаційного столу, що забезпечують стабільну продуктивність лінії на рівні 15 000 шт./год;

2. Вирішено проблему механічного бою та падіння флаконів у критичних зонах переходу, що знизило кількість аварійних зупинок лінії та зменшило відсоток браку продукції.
3. Складено протоколи заводських (FAT) та приймальних (SAT) випробувань, які гарантують відповідність модернізованої ділянки вимогам GMP та стандартів безпеки.
4. Запропоновано використання деталей, виготовлених методом 3D-друку, що дозволило скоротити час та вартість ремонту й обслуговування форматних частин лінії.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРОЦЕСУ ТРАНСПОРТУВАННЯ ПРЕПАРАТІВ У СКЛЯНИХ ФЛАКОНАХ

1.1. Види скляного пакування медичних препаратів

Транспортування лікарських засобів, особливо тих, що розлиті в скляні флакони, є важливою ланкою в ланцюгу постачання медичної продукції. Цей процес далеко не обмежується простою доставкою, він являє собою комплексну логістичну операцію, що вимагає суворого дотримання норм безпеки, збереження якості препарату та цілісності пакування. Аналіз цього процесу зможе допомогти знайти низку ключових аспектів, ризиків та вимог, що забезпечують надходження необхідних препаратів до пацієнта у цілісному і якісному стані.

Ліки всередині скляної тари можуть бути у різних агрегатних станах. Одним з яких є рідина. Яскравим прикладом слугують препарати які використовуються для ін'єкцій: протизапальні, знеболюючі інвазійні розчини. Така лікарська форма є надзвичайно популярною, оскільки забезпечує швидкий, передбачуваний та часто незамінний терапевтичний ефект у ситуаціях, що потребують термінового втручання, неможливості перорального прийому ліків або необхідності створення високої концентрації діючої речовини в організмі.

Зазвичай такі ліки розміщуються всередині трьох основних видах пакувань:

1) Ампули: скляні або полімерні герметичні контейнери, що містять одну дозу препарату. Забезпечують високу стабільність, але вимагають акуратного розкриття для запобігання потрапляння мікрочастинок скла або пластику в препарат рис.1.;



Рисунок 1. – Скляна ампула для медичного препарату

2) Скляні флакони для одноразового використання: пакування, що містить одну дозу лікарської речовини, часто у вигляді ліофілізованого порошку, який розводять розчинником перед введенням рис.2.;



Рисунок 2. – Скляний флакон одноразового використання

3) Скляні флакони багаторазового використання: пакування з пробкою, що прокалується і, зазвичай, містять декілька дозувань препарату.



Рисунок 3. – Скляний флакон багаторазового використання.

1.2. Основні вимоги до якості препаратів у скляному пакуванні

До якості ін'єкційних препаратів пред'являються найвищі вимоги, що регламентуються Державними Фармакопеями (ДФУ, USP, Ph.Eur.), до цих вимог належать наступні:

- **Стерильність:** обов'язкова вимога для всіх ін'єкційних препаратів, оскільки вони порушують цілісність шкіри і потрапляють у внутрішні середовища організму. Ця вимога досягається автоклавуванням запакованої продукції;
- **Апірогенність:** вимога, згідно якої препарати не повинні містити пірогенів – речовин, що викликають підвищення температури тіла. Контроль цієї вимоги проводиться за допомогою тесту з лімулусом;
- **Відсутність видимих механічних домішок:** Розчин повинен бути прозорим і не містити видимих частинок. Контроль здійснюється візуально або за допомогою автоматичних лічильників частинок;
- **Хімічна чистота:** вміст діючої речовини повинен відповідати заявленому з суворо визначеними межами допустимих відхилень;
- **Ізотонічність:** Осмотичний тиск розчину повинен бути максимально наближеним до тиску крові. Це запобігає пошкодженню клітин та зменшує больові відчуття;
- **Дотримання норми рН-середовища:** Значення рН розчину має бути оптимізованим для стабільності діючої речовини, мінімізації подразнювальної дії на тканини та забезпечення комфорту при введенні препарату в тіло пацієнта.

Препарати у вигляді порошку, розфасовані в скляні флакони, застосовуються для речовин, що нестабільні у водному розчині. Ця форма забезпечує тривалий термін придатності, але потребує високі вимоги до якості на всіх етапах – від виробництва до пакування та зберігання. Дотримання цих

вимог гарантує безпеку, ефективність та стабільність препарату протягом усього його життєвого циклу.

Вимоги до якості регламентуються державними фармакопеями та міжнародними стандартами GMP (Good Manufacturing Practice). Для порошків у флаконах можна виділити наступні основні групи вимог:

- Однорідність вмісту доз: найкритичніший показник для дозованих порошків. Він гарантує, що кожен флакон містить кількість діючої речовини в межах суворо заданих відхилень ($\pm 5-10\%$ від номіналу). Контроль проводиться шляхом зважування вмісту окремих флаконів;

- Однорідність змішування: Для складних порошкових сумішей, де діюча речовина змішана з допоміжними наприклад стабілізаторами, цей показник забезпечує рівномірний розподіл активної субстанції по всій масі. Це запобігає ризику отримання пацієнтом як надто слабкої, так і надто сильної дози;

- Відновлюваність: багато порошків у флаконах призначені для приготування ін'єкційних розчинів, суспензій або сиропів безпосередньо перед застосуванням. Час, необхідний для повного розчинення є важливим параметром якості та зручності використання. Він не повинен перевищувати встановлених норм.

- Вологість: Надлишок вологи є основним фактором, що призводить до деградації більшості порошкових препаратів. Він може викликати:

- Гідроліз: Хімічне розщеплення діючої речовини;

- Мікробне забруднення: Створення сприятливого середовища для росту бактерій і грибків. Вологість суворо контролюють і її рівень зазвичай не повинен перевищувати 1-3%, залежно від природи речовини.

- Вимоги до стабільності: Проводяться довгострокові дослідження стабільності при різній температурі, відносної вологості. Оцінюється зовнішній вигляд, вміст діючої речовини, утворення домішок, вологість, тощо. На підставі цих досліджень встановлюють термін придатності препарату.

1.3. Огляд транспортних ліній на дільницях ліофільного сушіння

Ліофільне сушіння є важливою технологією у фармацевтичній та харчовій промисловості для отримання продуктів з тривалим терміном придатності. Ефективність усього виробництва залежить від безперервної та організованої роботи транспортних ліній, які забезпечують переміщення продукту між технологічними етапами. Сучасні транспортні системи на дільницях ліофільного сушіння – це інтегровані комплекси які забезпечують високу продуктивність, дотримання стерильних умов, простоту в прибиранні.

На дільницях ліофільного сушіння застосовуються різноманітні види транспортних систем, вибір яких залежить від масштабів виробництва, типу тари та вимог до автоматизації.

Конвеєрні стрічкові системи використовуються для лінійного переміщення тари між операціями, такими як розлив і заморожування, вони можуть бути обладнані механізмами для зміни напрямку, об'єднання або розділення потоків для направлення флаконів в різні машини рис.4.



Рисунок 4. – Стрічковий конвеєр класичної конструкції

Тип стрічки який використовується у цих транспортерах має добрі показники лінійної швидкості, відсутня мінімальна ширина продукту який можна переносити, добрий коефіцієнт тертя, це дає змогу транспортувати флакони зі скла і матеріалів які добре ковзають на будь-якій іншій поверхні.

Нині поширене використання роботів-маніпуляторів у системах транспортування. Зазвичай, вони застосовуються для операцій які вимагають високої точності, таких як встановлення тари на спеціальні піддони, для ручного або автоматичного завантаження в сушильну камеру, укладання флаконів після закупорки на конвеєр для подальшого транспортування до інших машин рис.5.

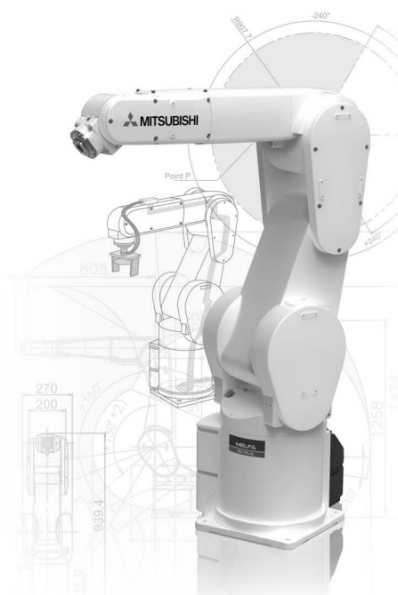


Рисунок 5. – Робот-маніпулятор Mitsubishi Electric Factory Automation

Конвеєрні системи з модульною стрічкою виконують такі ж самі функції як і стрічкові конвеєри, але з використанням модульної стрічки рис.6.



Рисунок 6. – Конвеєрна система з модульною стрічкою.

Модульні стрічки мають широкий вибір матеріалів: POM, PBT, PP, тощо. Знаючи матеріал стрічки можна розрахувати потрібний коефіцієнт ковзання (табл.1.), і на основі розрахунків обрати матеріал з якого буде виготовлена стрічка.

Таблиця 1. – Середні значення коефіцієнту ковзання матеріалу з якого найчастіше виготовляють модульні стрічки Movex

Назва матеріалу	Коефіцієнт ковзання
POM (Поліацеталь)	0.25
PBT (Полібутилентерефталат)	0.4
PP (Поліпропілен)	0.35
PA (Поліамід)	0.3-0.4
Extra performance PBT (покращений Полібутилентерефталат)	0.15

Також важливо зазначити, що на кожному фармацевтичному підприємстві всі лінії виробництва побудовані унікально, і рішення розміщення обладнання в приміщеннях, типи і назви обладнання є конфіденційними, тому в наступних розділах огляду аналогів будуть розглядатись не тільки комплексні лінії, а і окремі одиниці обладнання.

1.3.1. Транспортна система компанії «Altan Mekatronik OOD»

Транспортерна лінія болгарської компанії «Altan Mekatronik OOD» для фармацевтичної промисловості, яка побудована з транспортерів класичної конструкції.

Транспортерна лінія, яка складається з двох конвеєрів побудованих за класичною схемою зображена на рис.7.



Рисунок 7. – Кутова транспортерна лінія компанії «Altan Mekatronik OOD»



Рисунок 8. – Поворотний вузол кутової транспортерної лінії компанії «Altan Mekatronik OOD»

Транспортерна лінія, яка складається з двох конвеєрів побудованих за класичною схемою і поворотного вузла . Можна побачити що всі транспортери встановлені на колеса, це дозволяє обладнання бути легким в обслуговуванні:

можливо від'єднати один з конвеєрів і перевезти його на сервісне обслуговування, а при монтажі обладнання знову на дільницю полегшить завезення на дільницю.

Опис транспортерної лінії від «Altan Mekatronik OOD»:

- Використовується модульна стрічка, що дозволяє замінити сегменти які під час експлуатації можуть пошкодитись, або вийти з ладу;
- Побудова за «класичною» схемою, це дозволяє спростити виготовлення конвеєра як з технічної точки зору, так і з економічної;
- Кнопка зупинки лінії знаходиться безпосередньо на одному з бортів транспортера, що дозволяє оператору зупинити лінію за потреби;
- Матеріали: AISI 304 – основні деталі, стрічка – пластик;
- Швидкість транспортерів: 0...1 м/с;
- Ширина модульної стрічки: 300 мм;
- Продуктивність: 25000 фл/год.

До переваг транспортерів цієї компанії можна віднести:

- Простота в експлуатації;
- Можливість зупинки транспортерів однією кнопкою;
- Розділення одного потоку продукції на два;
- Двигуни закриті захисними кожухами;
- Можливість регулювання натягу стрічки у великих діапазонах;
- Простий доступ до змашування натяжних підшипників;
- Форматні частини для поворотного вузла.

Крім переваг, у представленій системі є і недоліки:

- Гігієнічне виконання натяжного вузла не повністю задовольняє потреби фармацевтичним стандартам;
- В конструкції присутні багато важкодоступних місць для прибирання;
- Велика відстань винесення двигуна, що створює зону яка не використовується;

- Кожух не повністю закриває двигун, що може призвести до його швидкого пошкодження.

- Конструкція містить проблеми під час регулювання натягу стрічки, вимоги до точності підгонки перехідної пластини набагато вищі.

Таким чином, видно, що побудова конвеєру по «класичній» схемі має достатньо недоліків, які потребують модернізації концепту розробки транспортних систем.

1.3.2. Ротаційний стіл компанії «Coveser»

Ротаційний стіл виробництва «Coveser» має конфігурацію обладнання наведену на рис 9.



Рисунок 9. – Ізометричний вид на ротаційний стіл.

Ротаційні столи створені задля рівномірного вивантаження продукції на транспортер, який приєднується з боку направляючих. В такий ротаційний стіл завантажувати продукт на поверхню диску потрібно вручну рис.10.



Рисунок 10. – Ізометричний вид на обладнання з протилежної сторони

Рисунки 9 та 10 ілюструють в ізометрії обладнання компанії «Coveser», які є відомим італійським виробником транспортних систем фармацевтичних підприємств. З моделей обладнання можна побачити що електрична шафа інтегрована в конструкцію ротаційного столу, що дозволяє спростити монтаж, а також обслуговування цієї одиниці обладнання.

На балці, до якої кріпляться направляючі руху флаконів, розміщена кнопка аварійної зупинки, що дозволяє оператору швидко зупинити процес виробництва у випадку аварійних ситуацій.

Основна конструкція побудована з нержавіючих труб задля зменшення економічних витрат на виготовлення. Борти, направляючі бортів і окремі елементи виходу продукції з поверхні диску ротаційного столу виготовлені з листового металу марки AISI 304, що відповідає всім вимогам до фармацевтичного обладнання.

Згідно наданою виробником інформацією, дана одиниця обладнання виготовляється під замовлення. Відповідно, продуктивність, швидкість обертання диску і діаметр столу підбирається на задоволення потреб виробництва замовника.

До основних переваг даної одиниці обладнання можна віднести:

240269.КР.01.000 ПЗ	Інд. змін.	Дата видання	Мова UA	Аркуш 21/110
---------------------	------------	--------------	------------	-----------------

- 1) Виготовлення з нержавіючих сталей відповідно до всіх фармацевтичних вимог;
- 2) Контролер швидкості, що дає змогу змінювати швидкість вивантаження продукції;
- 3) Можливість запустити ротаційний стіл як за годинниковою так проти годинникової стрілки;
- 4) Простота обслуговування електричної шафи;
- 5) Простота в експлуатації на дільниці.

Основними недоліками даної конструкції обладнання виступають:

- 1) Недостатній захист внутрішніх елементів обладнання, двигуна і електричної шафи;
- 2) Ручне завантаження продукції;
- 3) Багато важкодоступних місць через те що внутрішні елементи не закриті листовим металом;
- 4) Немає додаткових роликів підпору, що призведе до скручування поверхні диску під час експлуатації;
- 5) Немає універсальних кріплень для з'єднання з іншим обладнанням.

У результаті аналізу процесу транспортування лікарських засобів встановлено, що використання скляного пакування (ампул та флаконів) для ін'єкційних препаратів та ліофілізованих порошків висуває жорсткі вимоги до технологічного обладнання. Забезпечення якості продукції відповідно до стандартів GMP, зокрема стерильності, апірогенності та відсутності механічних домішок, є критичним фактором, який має враховуватись при проектуванні транспортних ліній. Специфіка роботи з крихкою тарою на дільницях ліофільного сушіння вимагає від конвеєрних систем високої плавності ходу, використання спеціалізованих матеріалів (з низьким коефіцієнтом тертя) та конструкції, що дозволяє легке та ефективне санітарне прибирання.

Огляд існуючих аналогів транспортного обладнання, зокрема систем компаній «Altan Mekatronik» та «Coveser», виявив низку конструктивних недоліків, таких як наявність важкодоступних зон, недостатній захист приводних механізмів та відсутність належної підтримки ротаційних дисків, що призводить до їх деформації та перекосів. Ці фактори, разом із проблемами ручного завантаження та ризиком пошкодження флаконів при високих швидкостях, обґрунтовують необхідність модернізованої лінії. Розробка нових рішень має бути спрямована на підвищення динамічної стійкості флаконів, усунення «мертвих зон» та забезпечення повної відповідності гігієнічним нормам фармацевтичного виробництва.

РОЗДІЛ 2.

2.1 Проблема статичної і динамічної стійкості скляних флаконів на переходах між приміщеннями з класами чистоти і обладнанням.

Проблема стійкості флаконів – достатньо складна інженерно-технологічна проблема. На підприємствах пов'язаних з фармацевтичним виробництвом, а особливо при умовах асептики, де скляні флакони є основною упаковкою препарату, забезпечення стабільності при переміщенні цих флаконів як між одиницями обладнання, так і між приміщеннями з різними класами чистоти є дуже важливою складовою дотримання всіх норм. Загальна проблема як статичної, так і динамічної стійкості спостерігається на всіх форматах об'ємом до 100 мл. Відповідно найменші формати, такі як 10 або 15 мл найбільш вразливі до вібрацій, різких змін швидкостей і неточності в геометрії ножових переходів між обладнанням.

Статична стійкість флакону – це можливість витримувати постійні механічні навантаження, найбільш критично це при умовах зберігання великих партій продукції, так зване штабелювання. Під час штабелювання, продукцію зберігають в картонних коробках, одна на одній, і при умові якщо стійкість флаконів недостатня, наслідком стане руйнування скла і відповідно утилізація всієї партії. Щоб забезпечити достатню стійкість, потрібно розглянути фактори які безпосередньо впливають на можливість витримувати статичні навантаження, такими факторами є:

- Хімічний склад скла: Існують різні типи скла, вони відрізняються за своїм хімічним складом і наслідком є відповідно різні фізичні показники та допустимі навантаження. Скляні флакони поділяються на три групи по міцності, до першої групи відносять боросилікатне скло, до другої і третьої содово-вапняне. Найпоширенішим типом скла є содово-вапняне, воно має добрі показники міцності, стійкості до термічної і хімічної обробки, воно

підходить для виробництв звичайних препаратів які не є хімічно агресивними і не вимагають особливих умов зберігання, а також цей тип скла є дуже дешевим. Що до боросилікатного скла, цей тип можна назвати еталонним, тому що воно має чудові показники стійкості до механічних пошкоджень, за рахунок більш щільної кристалічної сітки, також воно втричі менше розширяється під час нагрівання і витримує агресивні хімічні речовини, основні переваги наведені в табл. 2.

Тип скла, (група міцності)	Боросилікатне (I група)	Содово- вапняне (II і III група)
Застосування	Ін'єкційні препарати, вакцини, біологічні ліки, агресивні хімічні розчини.	Преоральні препарати, порошки для відновлення, зовнішні засоби.
Обробка	Може безпечно стерилізуватися в автоклаві та витримувати високі температури.	Може вимагати обережніших умов стерилізації.
Вартість	Вища через дорожчу сировину та більш високі температури виробництва.	Значно нижча, що робить його економічно вигідним для багатьох продуктів.
Міцність	Висока механічна, термічна та хімічна міцність.	Стандартна міцність, може бути посилена за рахунок

		оптимальної форми та товщини стінок.
--	--	--------------------------------------

Таблиця 2. Загальна відмінність між типами скла.

- Товщина і конструкція флакону: достатню механічну стійкість можна також забезпечити за допомогою оптимально підібраної висоти, діаметру, геометричної форми а також збільшивши товщину стінок, до прикладу на рис. 11. і рис. 12. зображені стандартні конструкції флаконів за системою ISO.

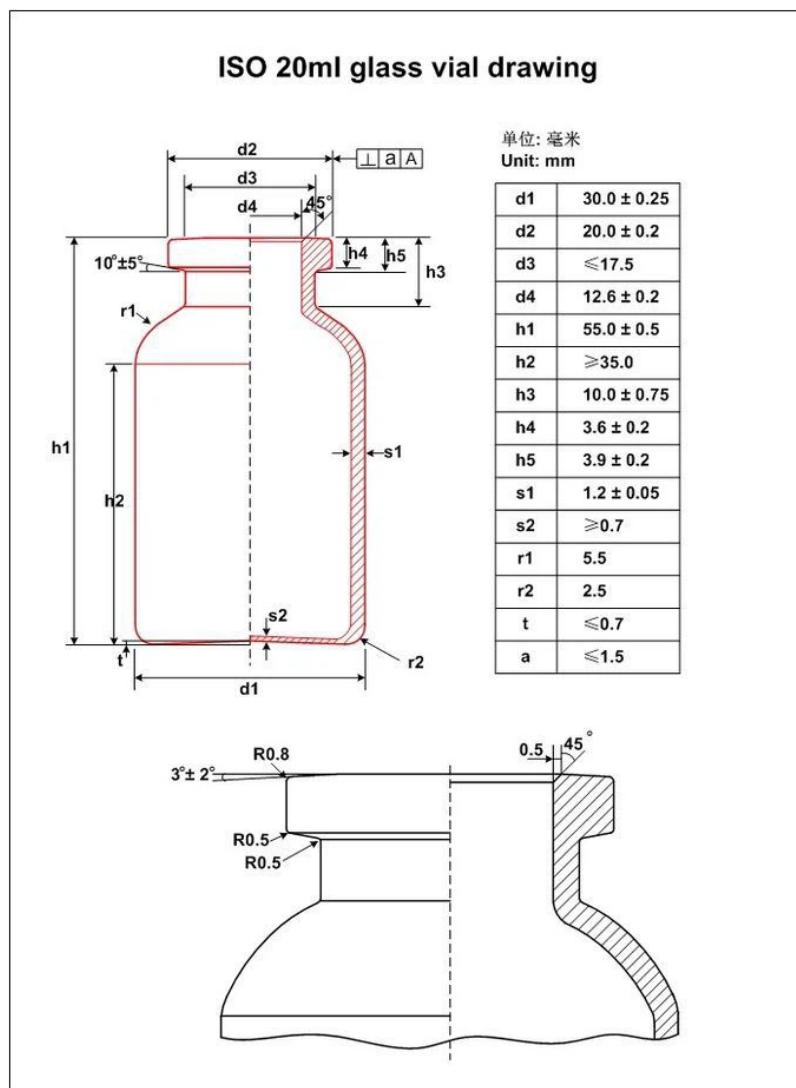


Рисунок 11. Стандартна конструкція флакону об'ємом 20 мл.

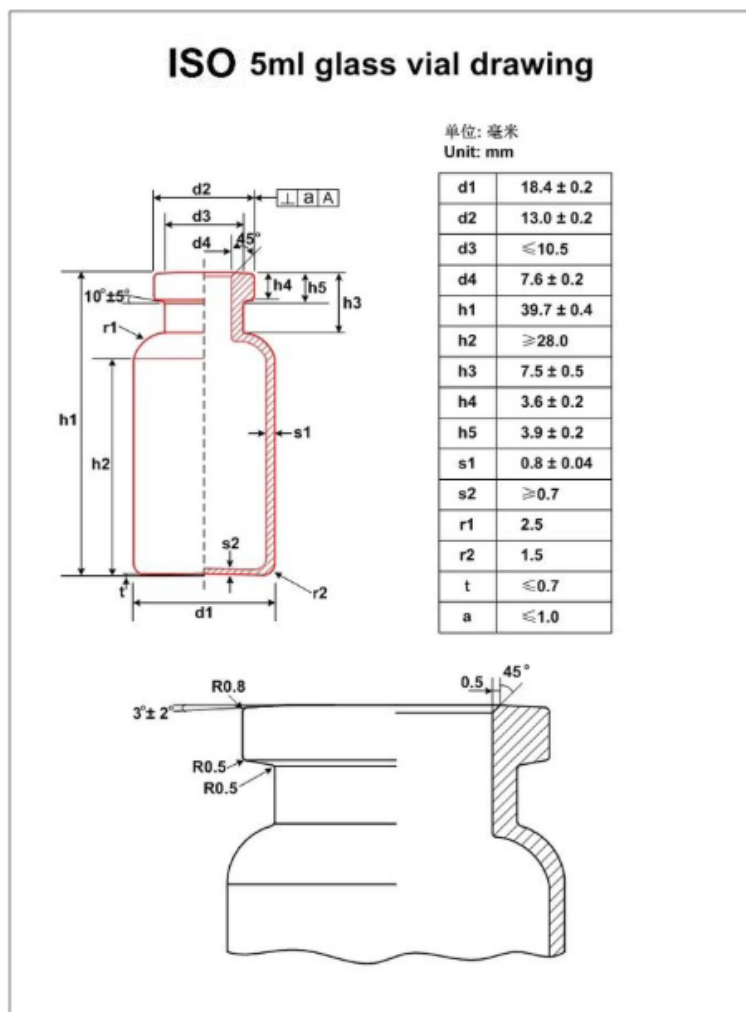


Рисунок 12. Стандартна конструкція флакону об'ємом 5 мл.

Динамічна стійкість флакону - здатність протистояти змінним навантаженням під час руху, вібрацій, ударів і прискорень, кожен з цих факторів впливає на загальну стійкість флакона. Найбільш критично проблема динамічної стійкості флакона проявляється на переходах між обладнанням, а також при переході між приміщеннями з різними класами чистоти. Весь час флакони знаходяться під дією різних сил, таких як: сила тяжіння, прискорення, сила тертя між поверхнею флаконів і бортами-направляючими, стрічкою, а також ножовими переходами. У кожній поверхні будуть різні коефіцієнти тертя, що буде впливати на швидкість кожного флакона і може призвести до падіння на переході між обладнанням, якщо швидкість стане занадто великою і буде втрачена динамічна стійкість.

Щоб вирішити проблему динамічної стійкості флякону, потрібно підійти комплексно до вирішення і розглянути не тільки наслідки втрати стійкості флякону, а і причини по яких виникають небажані сили тертя, вібрації що і призводять до аварійних ситуацій. Першочерговим і найбільш важливим є виникнення небажаних вібрацій в обладнанні. Існує багато причин які викликають вібрації, до них можна віднести безпосередню вібрацію від двигуна, від стрічки, також конструкція обладнання може стати причиною, якщо існують деталі які не мають достатньої жорсткості. Щоб уникнути виникнення вібрацій, на обладнання встановлюються спеціальні віброгасники – на з'єднаннях між обладнанням рис. 13., а також спеціальні антивібраційні опори рис. 14.



Рисунок 13. Віброгасник.

Віброгасники добре поглинають вібрації між обладнанням за рахунок того, що між двох металевих кріплень знаходиться гумова прокладка, яка забезпечує поглинання вібрацій і не дозволяє входити в резонанс. Таку ж дію виконує і антивібраційна опора, вона може виконуватись з різних матеріалів, але обов'язковою умовою є наявність гумового елемента який виконує функцію прокладки між двома поверхнями які можуть вібрувати.



Рисунок 14. Антивібраційна опора.

Також небажані вібрації виникають внаслідок відкручених гвинтів, адже абсолютно всі гвинтові з'єднання з часом можуть розкручуватись, одним з методів вирішення є встановлення пружинних шайб рис. 15. які створюють додаткову прижимну силу на різьбі і не дозволяють самовільне розкручування з'єднань.



Рисунок 15. Пружинна шайба.

Крім небажаних вібрацій, не менш важливою проблемою є точність виготовлення приводних і паразитних роликів. Якщо ролик рис. 16. виготовляється з двох елементів – вал і барабан який встановлюється на вал за допомогою підшипників і стопорних кілець, то дуже важливим є

концентричність нарізання отворів, тому що невідповідність призводить до небажаного биття ролика, що в подальшому буде негативно впливати на кінематику руху стрічки, а головне флаконів які будуть рухатись по ній.

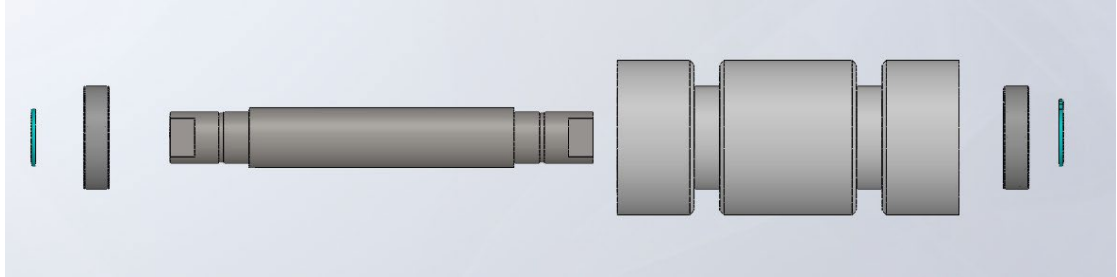


Рисунок 16. Натяжний ролик в розібраному виді.

Також важливо розглядати не тільки конструкцію обладнання, а і продукт який транспортується. Флакони з великим діаметром і малою висотою мають значно кращі показники стійкості ніж високі ампули. Це накладає додаткові обмеження у виборі стрічок конвеєра, привідних зірок і матеріалів з яких будуть виконуватись елементи бортів-направляючих. Існують різні типи стрічок, модульні, поворотні, гумові, з додатковими роликками та інші. Кожен тип стрічки має своє призначення, до прикладу поворотні модульні стрічки призначені для транспортування продукції і горизонтального повороту системи транспортерів на дев'яносто градусів, цей тип стрічки рис. 17 виготовляється невеликими по ширині щоб максимально зменшити радіус по якому буде рухатись продукція.

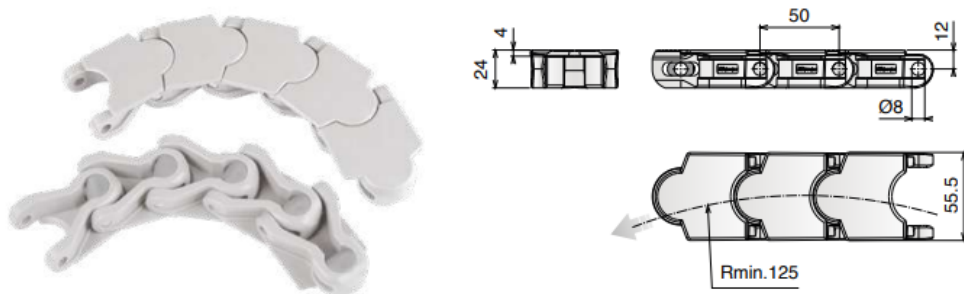


Рисунок 17. Поворотна модульна стрічка

В той же час звичайні прямі модульні стрічки мають більший асортимент, вони простіші у виготовленні і відповідно дешевші, підходять для

перенесення більшості типів продукції без потреби встановлення складних бортів-направляючих. Цей тип стрічки рис. 18. найбільш поширений, і зарекомендував себе як універсальне рішення більшості проблем пов'язаних з транспортуванням.

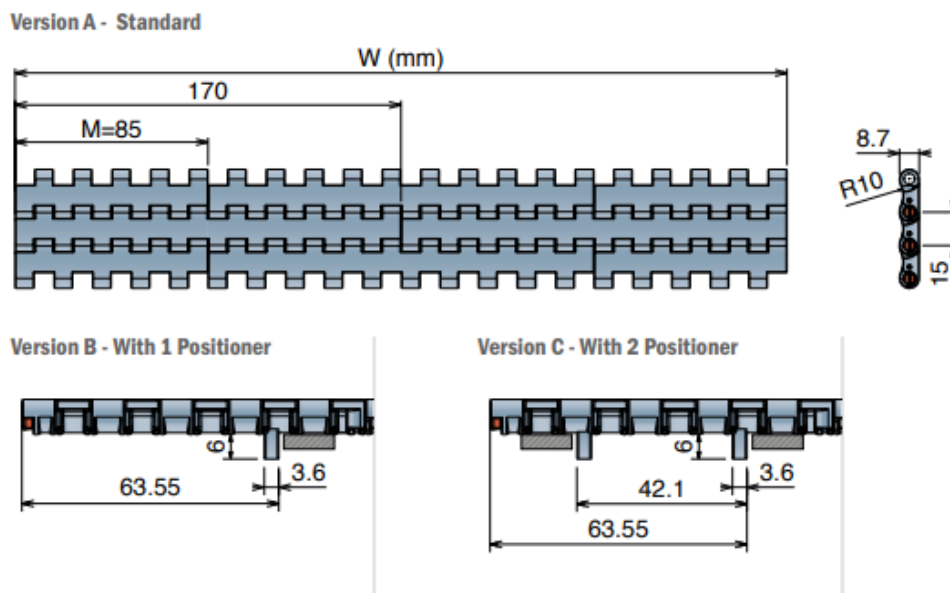


Рисунок 18. Пряма модульна стрічка.

Для того щоб правильно обрати тип стрічки і її габаритні розміри, першочергово потрібно розглянути діаметри всіх флаконів, тому що під час руху стрічки на привідній зірці, або основному ролику, вирішальним є мінімальна ширина між сегментами модульної стрічки. Під час проходження по барабану стрічка перегинається, і розмір між двома сегментами є вирішальними у виборі стрічки, ця відстань повинна бути мінімально можливою, але не меншою ніж 20-40% від ширини флакона. При умові якщо ця довжина буде більшою, буде з'являтися ризик падіння флакона рис. 19.

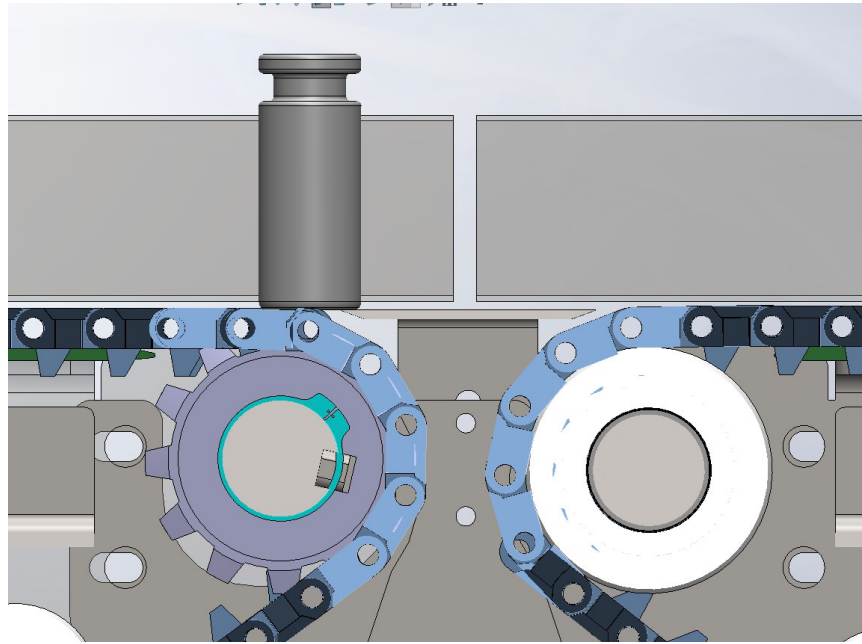


Рисунок 19. Флакони на переході між конвеєрами.

Також потрібно враховувати центр мас флакона рис. 20, дно і горловина мають значно більшу товщину, через це центр мас порожнього флакона набагато вищий що призводить до втрати стійкості на перегибах стрічки, і на переходах між обладнанням в місці встановлення ножових переходів. При умові якщо частину ділянки транспортування флакони їдуть пустими, а потім заповнюються і продовжують рух, то вимоги до точності ножових переходів кардинально відрізняються. Основною силою в цьому випадку є сила тертя, вона з'являється на всій довжині переходу, і одною з основних вимог є абсолютна гладкість поверхні і відсутність горизонтального перекосу, адже при виникненні перекосів, флакони будуть зміщуватись до одного з бортів і це може призвести до падіння. Крім вимог абсолютно гладкої поверхні ножового переходу, схожі вимоги стосуються і бортів-направляючих. Весь час поки продукція рухається по конвеєрам вона контактує з бортами, і щоб не подряпати скло, всі поверхні бортів повинні бути полірованими при використанні металевих направляючих, а при використанні пластикових – відповідно використовується тільки високомолекулярний тип пластику через те що він менше зношується, і довше зберігає свою гладку поверхню що дозволяє не дряпати поверхню флакона.

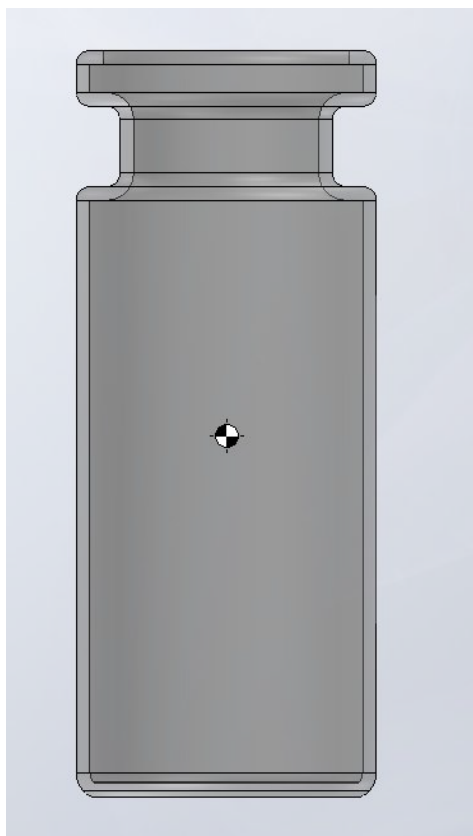


Рисунок 20. Центр мас скляного флакона.

Ще варто зазначити, що в приміщеннях з класами чистоти, різний тиск повітря. Відповідно в приміщенні з найвищим класом чистоти буде найбільший тиск, все це задля того, щоб повітря яке містить небажані частки не потрапило в препарат, що може призвести до псування, або відхилень в лікувальному ефекті. Існує декілька класів чистоти: А, В, С, D, різниця тисків між кожним класом повинна становити щонайменше 10-15 Паскалів, задля того щоб забруднення з менш класифікованих приміщень не потрапляли в приміщення з вищим класом де можуть міститись чутливі речовини з яких формують препарат для лікування. Найвищим класом чистоти є клас А. На основі перепаду тисків між приміщеннями, виникає ще одна проблема пов'язана з динамічною стійкістю флаконів, адже найменші флакони можуть просто здуватись сильним потоком повітря і це призведе до падіння флакону з подальшим закупоренням конвеєра, і наступна партія не буде проходити далі по транспортерним системам.

2.2. Проблема перекосу диска ротаційного столу

Важливо розглянути ще одну проблему яка на сьогодні є критично важливою як в сфері фармацевтики, так і в сфері машинобудування. Це перекоси дисків великих діаметрів на ротаційних столах. Це обладнання призначене для накопичування продукції і подальшого формування буферу, що дозволяє підвищити загальну продуктивність лінії. Також ротаційні столи використовуються для перенаправлення транспортерних потоків під довільний кут, адже не завжди можна досягнути плавний поворот напрямку транспортування продукції, використовуючи лише конвеєра, а головне, конвеєрні системи не здатні формувати в собі буфер. Що до проблеми з дисками великих діаметрів, ця проблема з'являється лише тоді, коли виникає потреба у виготовленні диску для ротаційного столу більше ніж 600 міліметрів

рис. 21.

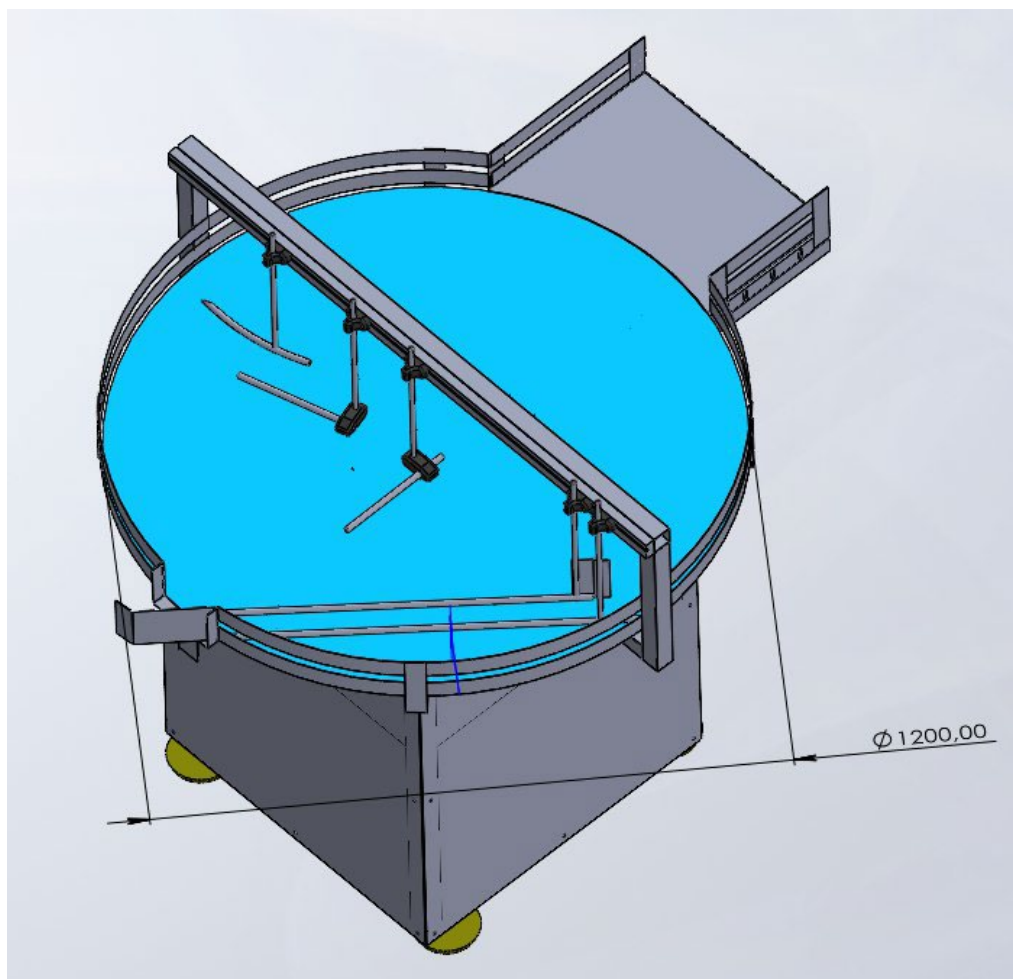


Рисунок 21. Стіл з монолітним диском, шириною 1200 мм.

Класично, диск виготовляють з одного товстого листа металу, товщиною близько 6 або 10 мм, при такій товщині і невеликому діаметрі, метал майже не деформується під своєю вагою і це дозволяє не додавати складні вузли які будуть вирівнювати площину диска щоб не було перепадів висот на вході і виході з ротаційного столу на подальший транспортер. Щоб виправити проблему з перепадами висот, під диск встановлюють великі гумові колеса (Рис. 19.), але знову ж таки, проблема вирішується лише частково, тому що колеса можуть вирішити цю проблему лише на дисках малих діаметрів, якщо діаметр становить більше а ніж 600 міліметрів рис. 22. – диск починає самовільно провисати під своєю вагою і додавання навіть в два ряди коліс допомагають лише частково, адже якщо буде встановлено два ряди коліс, виникне нова проблема, як відрегулювати висоту кожного колеса без потреби знімання всього диску.

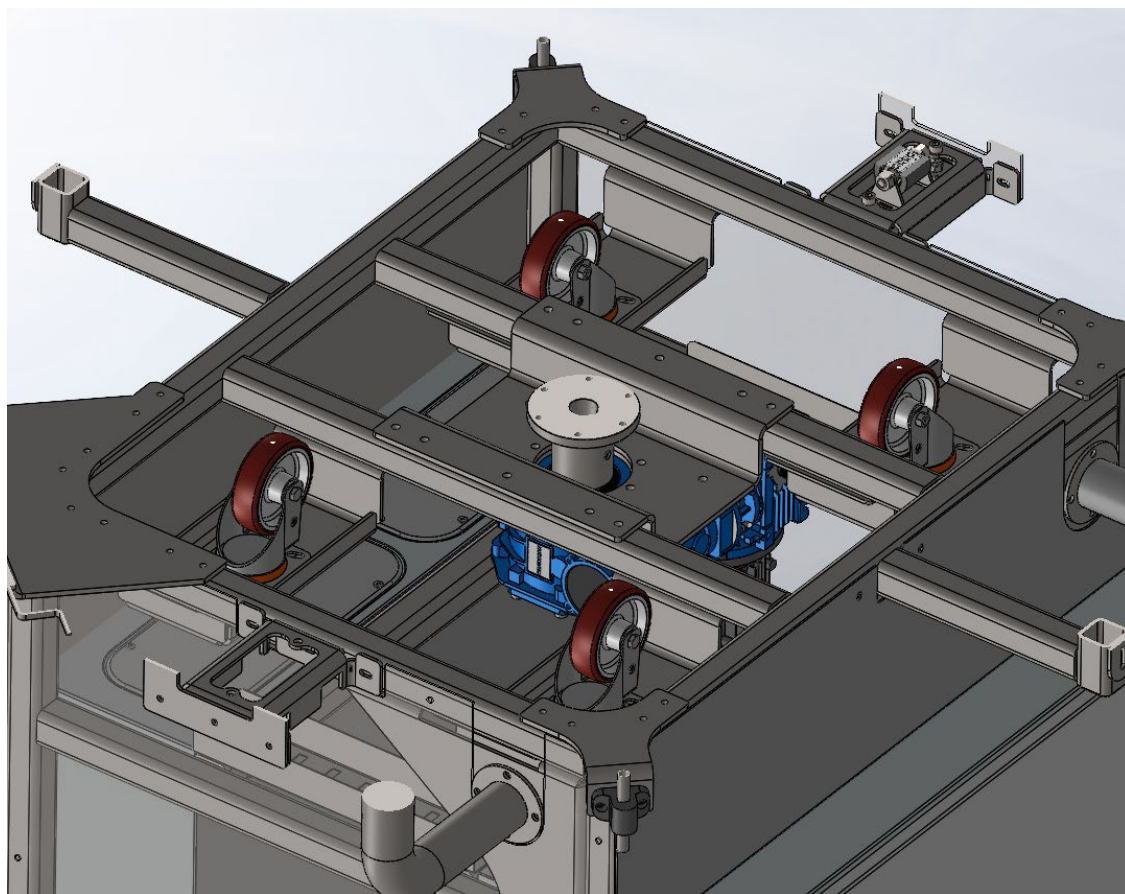


Рисунок 22. Вид на гумові колеса, диск прихований.

Варто зазначити, що можна виготовити диск не тільки з нержавіючого металу марки AISI 304, а і з композиту, декілька тонких листів нержавіючої сталі і алюмінію, що дозволить зробити верхню поверхню по якій ковзають флакони гладкою, а алюміній - для зменшення ваги, це рішення теж вирішує проблему лише частково, навіть якщо такий диск буде виготовлений, через те що матеріали не є одним цілим, на краях диску відбувається розшарування і скручування металу, що є неприпустимим для дисків які вимагають майже ідеальної горизонтальної площини, без провисань.

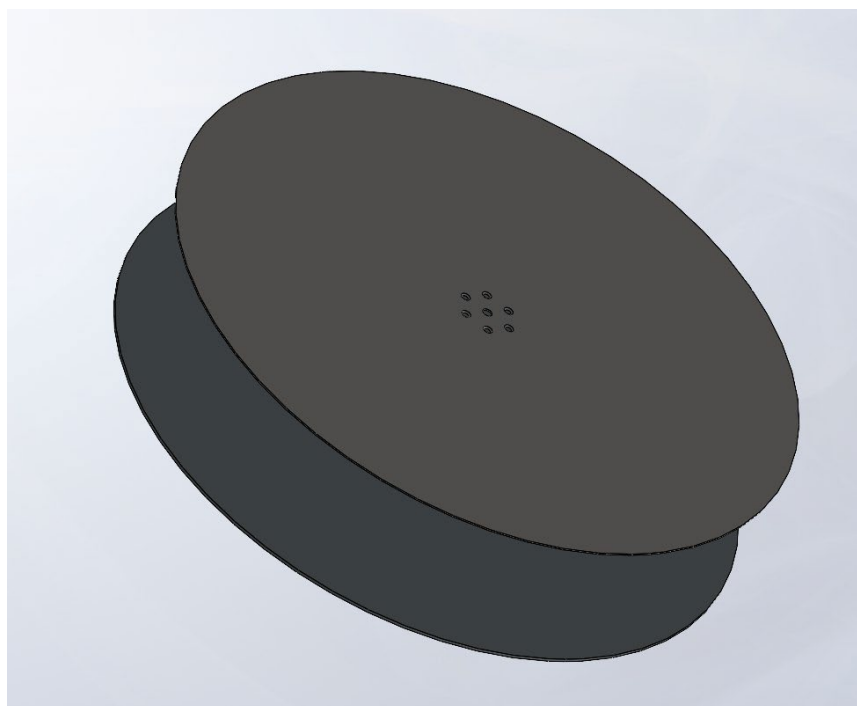


Рисунок 23. Композитний диск з нержавіючої сталі і алюмінію.

2.3. Проблема модернізації ліній ліофільного сушіння

Щоб модернізувати лінію ліофільного сушіння, і загалом фармацевтичне обладнання, потрібно використовувати тільки нержавіючі сталі марки AISI 304, пластик який стійкий до агресивних розчинів, таких як спирт, адже прибирання на таких підприємствах проводиться дуже часто саме розчинами з вмістом спирту, а також всі поверхні обладнання, повинні не містити важкодоступних місць та відповідати вимогам GMP. Також потрібно враховувати всі особливості обладнання, щоб вирішити проблеми які є на сьогодні.

На основі цього, а також використовуючи лейаут з плануванням розміщення обладнання рис. 24. на дільниці ліофільного сушіння, в наступному розділі буде запропоноване комплексне рішення проблем наведених в розділі 2.

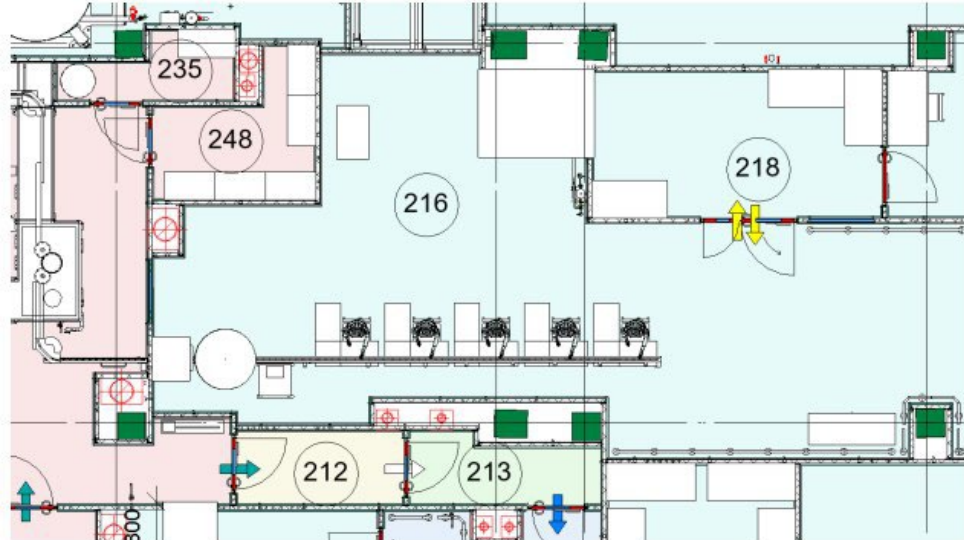


Рисунок 24. Лейаут з плануванням розміщення системи конвеєрів і ротаційного столу.

На наведеному лейауті можна побачити що лінія буде складатись з вхідного транспортера який знімає флакони з закатувальної машини і передає з приміщення з вищим класом чистоти, в даному випадку це клас В, в приміщення з класом чистоти D. Передача відбувається через маленький отвір в стіні, після чого флакони переходять на ротаційний стіл, на якому відбувається накопичення флаконів, і подальший вихід на ще два конвеєра які розташовані один за одним, до них приєднані п'ять робочих місць, де працівники знімають флакони з транспортера і вкладають в лотки для подальшої ліофілізації.

На габаритному лейауті, детально можна побачити кожну одиницю обладнання, їх розміри, принципи з'єднання. Першим транспортером, з номером 1, є конвеєр який призначений для того, щоб флакони з машини яка закупорює флакони переходили на транспортерну лінію, і направлялись в інше приміщення через отвір у стіні. Після того як флакони переходять з приміщення з класом чистоти В, вони потрапляють в клас чистоти D і відповідно транспортування продовжується на транспортері з номером два, це є найменший конвеєр, який передає продукцію в свою чергу на ротаційний стіл. Уже коли флакони знаходяться на диску ротаційного столу, вони накопичуються, і під дією відцентрових сил прямують на вихід який сформований деталями з листового металу, з невеликими радіусами гнуття, далі флакони виходять на два прямих конвеєра, відповідно з номером 3 і 4, до яких в подальшому будуть примикати робочі місця для працівників підприємства. Зовнішній вигляд лінії зображено на рис. 26.

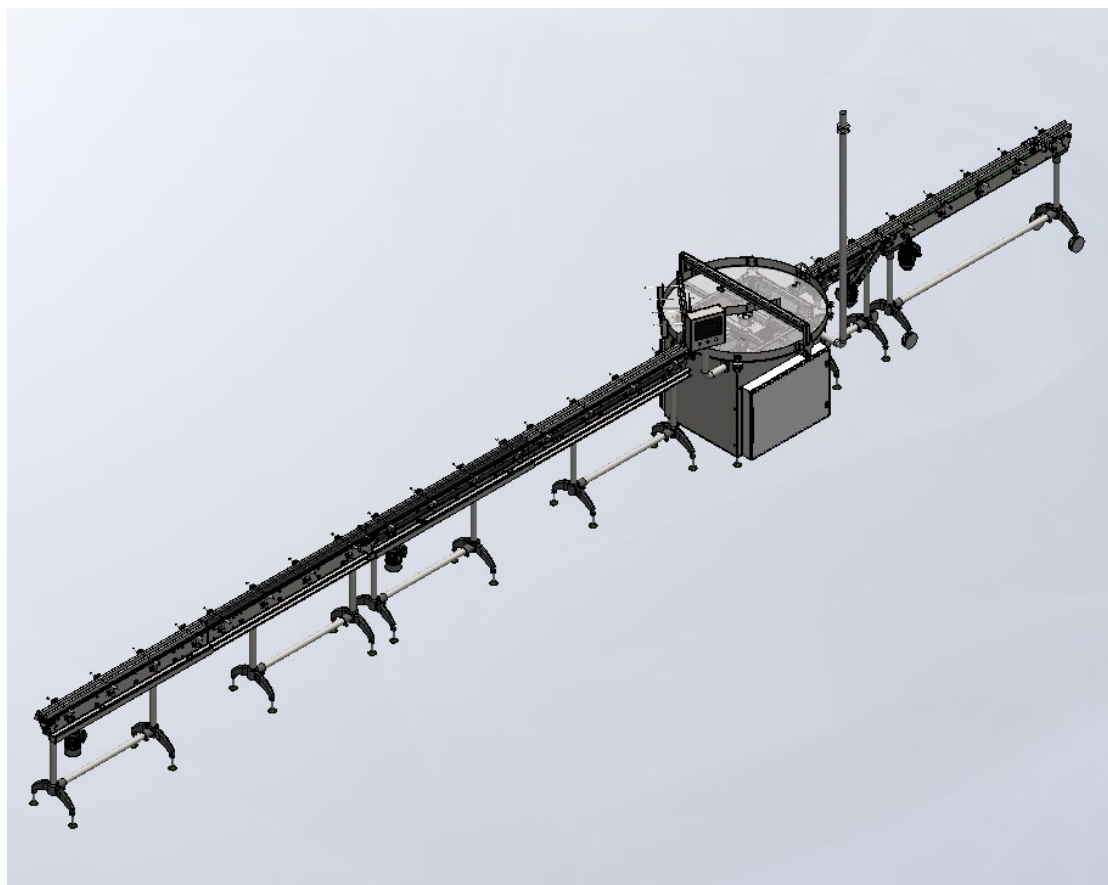


Рисунок 26. Загальний вигляд всієї лінії.

Також можна побачити що перший конвеєр, стоїть на поліуретанових колесах рис. 27., причиною цього, була потреба в можливості від'єднання транспортера, для доступу персонала щоб проводити обслуговування машини яка закупорює флакони.



Рисунок 27. Конвеєр з колесами вмонтованими в ніжки

3.1. Принцип роботи і конструкція транспортерів

3.1.1 Конвеєр з габаритною довжиною 700 міліметрів

До транспортерів які використовуються на фармацевтичних підприємствах заявляються дуже великі вимоги. Першочергово це повне виконання з матеріалів які не кородують під дією вологи, не розповсюджують дрібні частки під час роботи обладнання і є хімічно стійкими. На основі цього, допустимі метали – алюмінієві сплави, метали марки AISI 304 або 316, пластик

лише хімічно стійкий, і той, який не розкладається з плином часу. На рис. 28. зображений конвеєр, який спроектований з урахуванням всіх вимог.



Рисунок 28. Конвеєр габаритною довжиною 700 мм.

Цей транспортер складається з декількох основних вузлів: натяжно-приводний вузол в який входить безпосередньо сам двигун, і кронштейн рис. 29. Позиція 1 за допомогою якого можна натягнути пасову передачу, вузол

те, що велика кількість фурнітури, монтується саме до борту конвеєра, і в металі товщиною 3 міліметри, можна добре нарізати різьбу, що дозволяє не використовувати клепальні гайки для закріплення елементів, які не є критично важливими. Фурнітура, пластикові направляючі, модульна стрічка а також ніжки, виробництва компанії Movex, ця компанія яка знаходиться в Італії, зарекомендувала себе як лідер виробництва всіх комплектуючих для транспортних систем, в їх каталозі є абсолютно всі деталі, які потрібні для того щоб виготовити надійне обладнання.

Модульна стрічка обрана шириною 85 міліметрів і мінімальною довжиною між двома сегментами відповідно 15 міліметрів, матеріал – поліацеталь. Ця стрічка задовольняє всі фармацевтичні вимоги, а поліацеталь, дозволяє не перейматись про міцність. Щоб привести в рух стрічку, потрібна приводна зірка яка постачається разом з стрічкою.

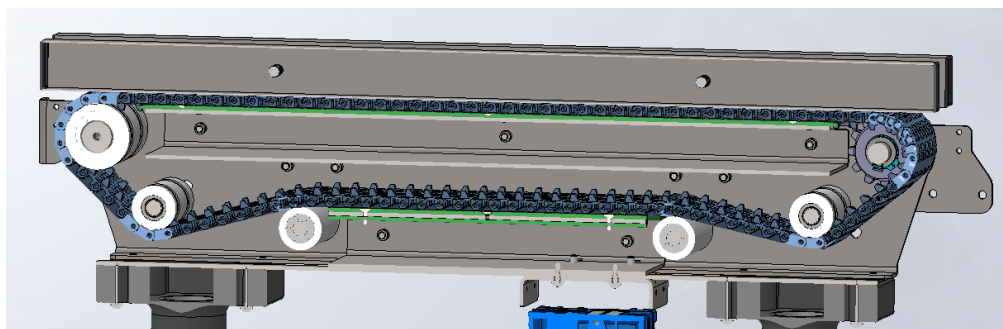


Рисунок 30. Боковий переріз конвеєра

На рис. 30. наведений боковий переріз конвеєра, де видно повний шлях руху стрічки, розміщення приводної зірки, а також нестандартне рішення що до натягу стрічки.

Класично, щоб натягнути стрічку конвеєра, використовується натяжний ролик, який за допомогою пружини, або гвинта регулює натяг рис. 31.

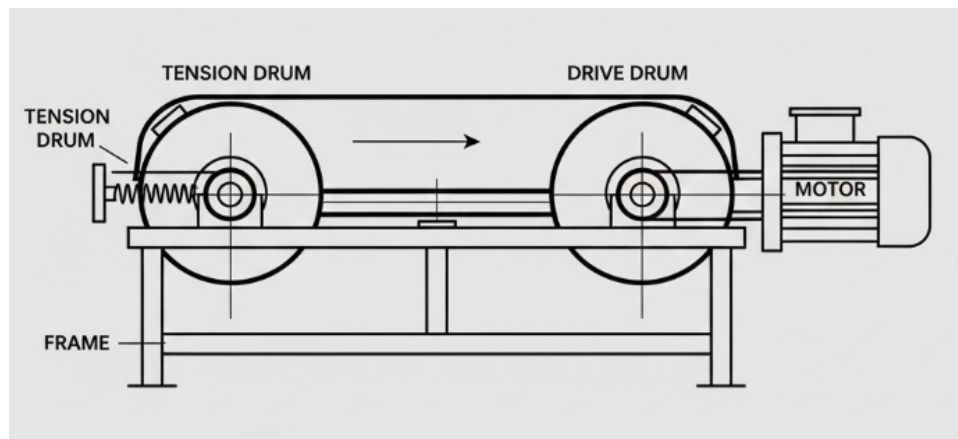


Рисунок 31. Класична схема натягу стрічки конвеєра

Але у цього метода натягу є суттєві недоліки. Дуже багато важкодоступних місць які майже неможливо легко прибирати, конструкція кронштейнів які утримують гвинт, або пружину яка і натягає стрічку, не є асептичним рішенням. Також під час того, як стрічка натягується, змінюється габаритна довжина конвеєра, це є критичним фактором, адже при умові якщо по транспортері рухається флакон з малим діаметром тіла, то в ділянках ножових переходів між двома конвеєрами за рахунок зміни габаритної довжини, шанс падіння флакону кратно зростає. Тому було прийняте рішення, об'єднати технологію натягу стрічки, з роликом, але перенести цей вузол таким чином, щоб він мав максимальну продуктивність за рахунок невеликого ходу щоб не збільшувати габаритні розміри конвеєра, а також бути простим в обслуговуванні рис. 32.

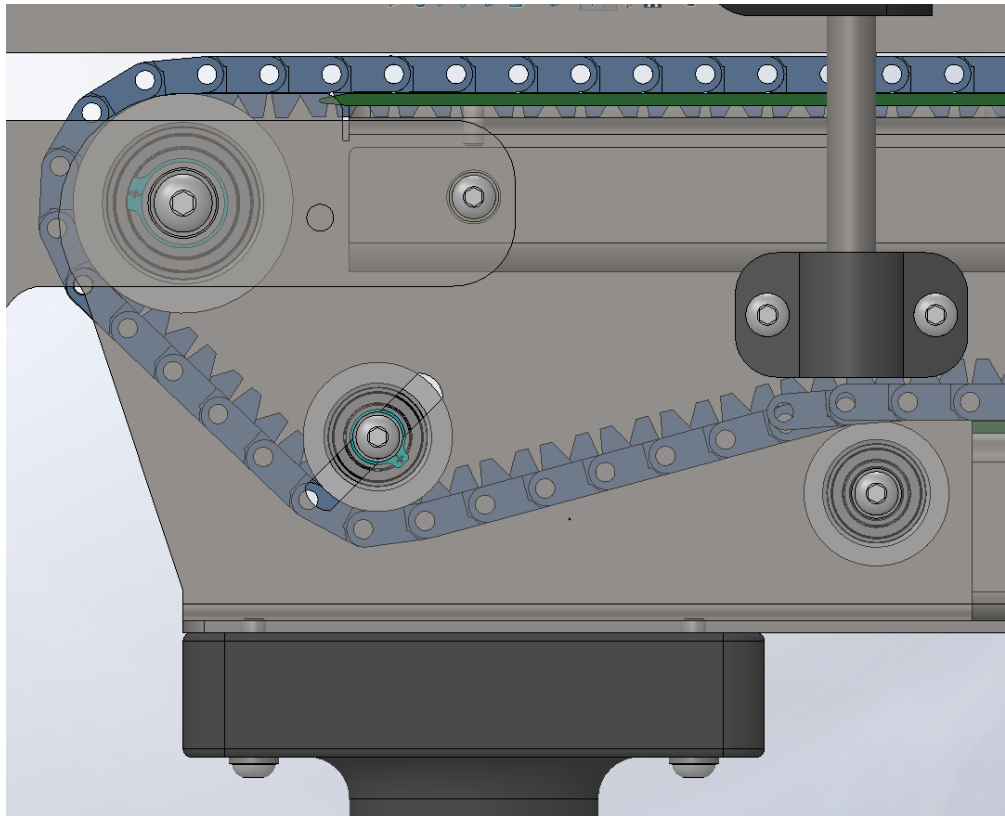


Рисунок 32. Натяжний ролик конвеєра

На рис. 32. зображене рішення, яке допомагає вирішити проблему натягу, це ролик який знаходиться в прорізі, і фіксується за допомогою шайби, яка прижимається до борту конвеєра гвинтом. Також, потрібно звернути увагу на те, що прорізь розташована під кутом, це дозволяє досягти максимальної продуктивності такої системи, без потреби збільшення корпусу конвеєра щоб вмістити в нього класичний пристрій натягу. Конструкція натяжного ролика рис. 33. є класичною, пластиковий барабан, стоїть на підшипниках які фіксуються на валу за допомогою стопорних кілець.

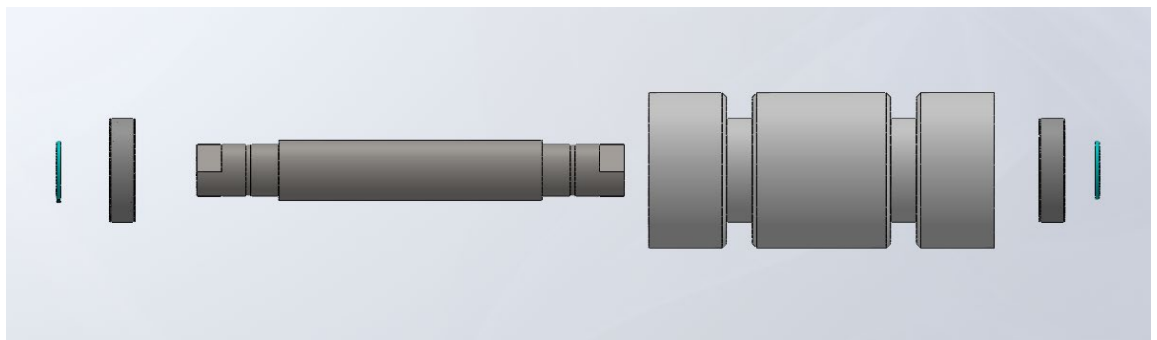


Рисунок 33. Натяжний ролик конвеєра, подетальний вид

Щоб натяг стрічки можна було регулювати в широкому діапазоні, такі ролики встановлені з двох сторін конвеєра, що дозволяє персоналу дуже просто натягати стрічку, а головне, при таких умовах рішення натягу, абсолютно відсутні важкодоступні місця на зовнішній поверхні конвеєра, що дозволяє очищати обладнання набагато легше.

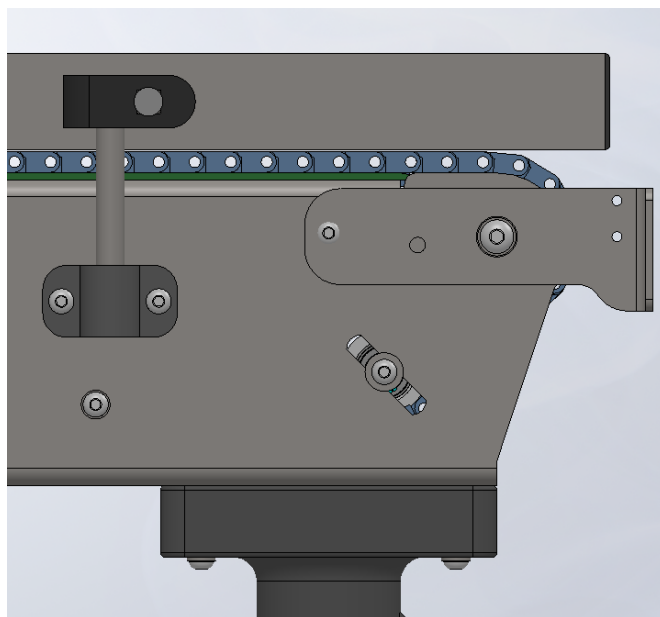


Рисунок 34. Зовнішній вигляд вузла натяжного ролика

За схожою схемою, зроблено і натяг ремня на пасовій передачі рис. 35., двигун монтується на кронштейн з прорізями, за рахунок гвинтів і широких шайб здійснюється фіксація двигуна на потрібній висоті, прорізі зроблені вертикально, тому навіть якщо гвинти під час роботи послабляться, під дією гравітації, і достатньо великої ваги двигун буде сам натягати пасову передачу, і шанс аварійної ситуації коли на двигуні послабилось закріплення і втратився натяг в пасовій передачі, майже неможливий. Кронштейн виконаний з листового металу товщиною 3 міліметри, а за рахунок декількох ліній гнуття, міцність деталі стала набагато вище, внаслідок чого, під час роботи двигуна, не виникають небажані вібрації.

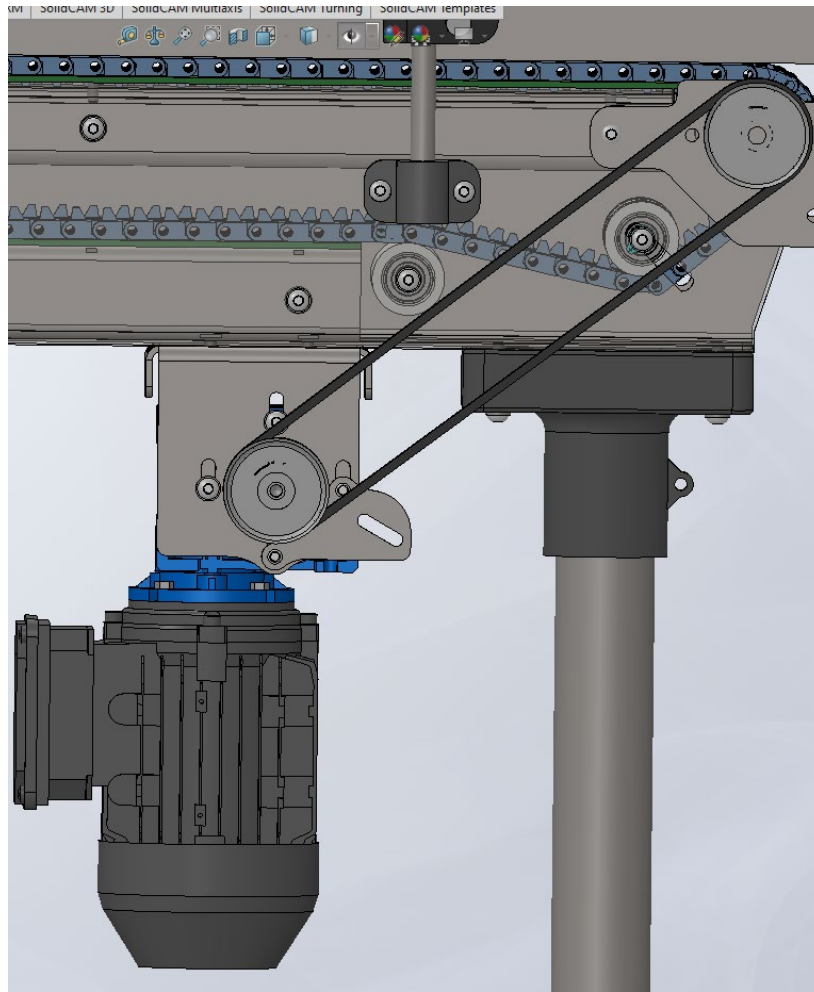


Рисунок 35. Зовнішній вигляд приводно-натяжного вузла

Також варто зазначити, що зазвичай двигуни закривають спеціальними кожухами, але у випадку, зображеному на рис. 35. двигун знаходиться далеко від елементів які безпосередньо контактують з скляними флаконами, а також корпус двигуна виконаний з сплаву алюмінія, що дозволяє не обшивати двигун додатковими кожухами. Лише потрібно встановити захист на пасову передачу для безпеки працівників рис. 36.



Рисунок 36. Зовнішній вигляд захисного кожуха пасової передачі

Борти-направляючі флаконів рис. 37., виконані зі звичайної профільної труби 40 x 20, але важливою умовою є те, що ці труби повинні бути з зеркальним покриттям, адже цей тип покриття має не тільки естетичний вид, а і найменшу шорсткість поверхні, що дозволяє не пошкоджувати флакони, під час транспортування. Всі борти фіксуються за допомогою хрестовидних пластикових блоків виробництва Movex, а також нержавіючих труб, діаметром 12 міліметрів.



Рисунок 37. Змонтований конвеєр

Щоб забезпечити міцність конвеєра, і спростити транспортування, було прийняте рішення, борти корпусу транспортера з'єднати за допомогою двох гнутих деталей з листового металу. В той же час, нижня деталь додатково є направляючою по якій ковзає модульна стрічка. Для того щоб модульна стрічка проходила по деталях конвеєра і не дряпалась, на місця контакту встановлюються зелені пластикові направляючі, які виготовлені з високомолекулярного поліетилену, цей тип пластику має чудові показники довговічності і низький коефіцієнт тертя що дозволяє стрічці добре ковзати, і не пошкоджуватись під час роботи обладнання.

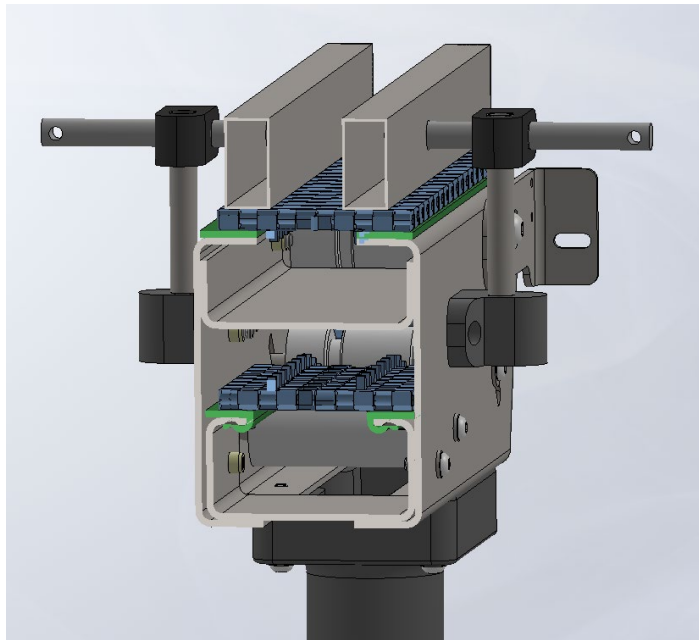


Рисунок 38. Поперечний переріз конвеєра

На основі цього конвеєра з габаритною довжиною яка складає 700 міліметрів, розроблені і всі інші транспортери, загалом їх чотири, по одному довжиною 700 і 1900 міліметрів і два довжиною 3250 мм, які в свою чергу складаються з двох сегментів. Причиною того, що ці конвеєра складаються з двох сегментів, є те, що стандартний розмір листа металу – менший ніж габаритна довжина борту конвеєра.

3.1.2. Конвеєр з габаритною довжиною 1900 міліметрів

Конструктивно, конвеєр довжиною 1900 міліметрів, є тим ж самим конвеєром довжиною 700 міліметрів, тут збереглась вся конструкція, вузли і їх розміщення. Відмінним є лише те, що в пластикові ніжки, замість віброопор, монтуються поліуретанові колеса з гальмом, тому що саме цей транспортер повинен бути відкатним задля того, щоб був доступ до машини яка закупорює флакони.

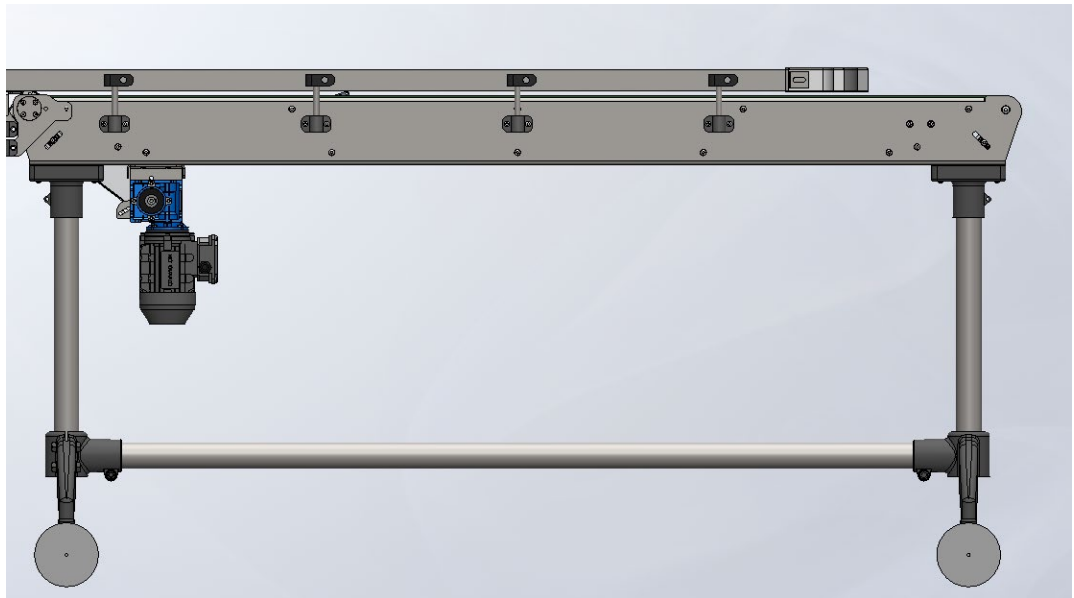


Рисунок 39. Зовнішній вигляд конвеєра довжиною 1900 міліметрів

Внаслідок того, що в даному транспортері використовуються колеса, приєднання до інших машин повинно бути швидкоз'ємним, це сприятиме простоті доступу до обладнання, а також спрощує керування лінією. Рішенням цього, є встановлення з'єднувального вузла, який складається з декількох пластин які жорстко кріпляться до бортів конвеєра, на кожен пластину встановлений пластиковий блок, який дозволяє відцентрувати і зафіксувати транспортер. Фіксація виконується за допомогою прута діаметром 12 міліметрів з різьбою, а також ручки з листового металу рис. 40 і рис. 41.



Рисунок 40. Зовнішній вигляд змонтованого вузла

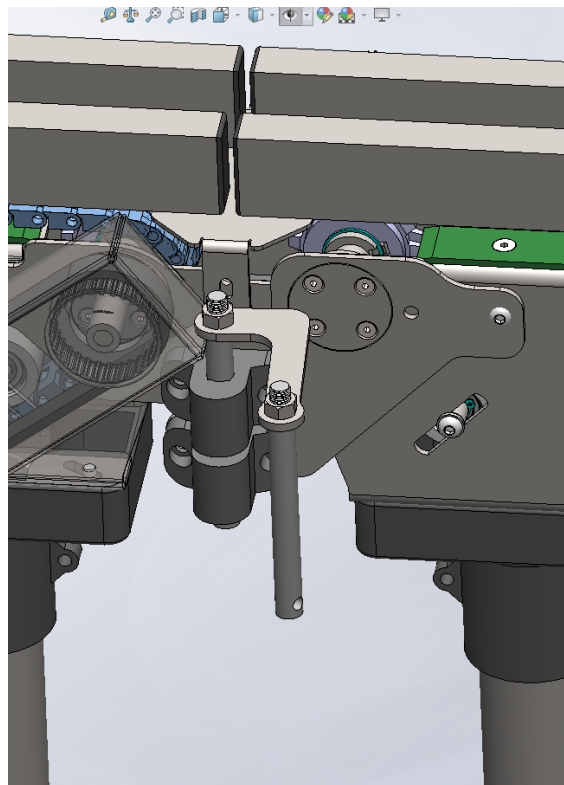


Рисунок 41. Проектний зовнішній вигляд вузла

3.1.3 Конвеєр з габаритною довжиною 3250 міліметрів

Якщо розглядати конвеєр з габаритною довжиною 3250 міліметрів, можна побачити що він схожий до попередніх, але тут також є декілька відмінностей. Тепер ніжки розбиті на два окремих вузла, адже якщо зберегти один вузол, то в центральній частині транспортера, будуть провисання, і загальна міцність конструкції буде набагато нижчою, аніж коли є рознесення опорних конструкцій на однакову відстань. Також в даній конфігурації, транспортер поділений на дві окремі частини, які з'єднуються по середині за допомогою додаткової внутрішньої деталі, а не за допомогою зовнішньої пластини, як це роблять класично.

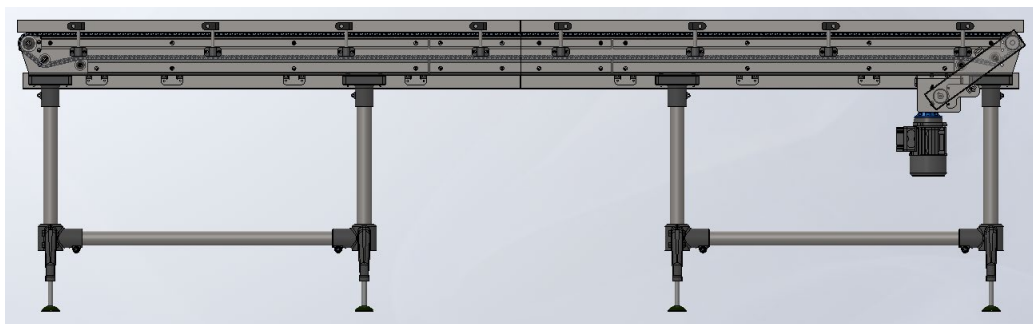


Рисунок 42. Конвеєр з габаритною довжиною 3250 міліметрів

Також варто зазначити, що кількість натяжних, приводних і паразитних роликів не змінилась, це дозволяє не використовувати складні вузли, а замінити їх звичайними направляючими з високомолекулярного поліетилену.

Основною відмінністю цього транспортера від попередніх, є додавання металевого лотка для виведення кабелів з двигунів, на кожен сегмент конвеєра відповідно монтується також сегмент лотка, його конструкція – це гнута деталь з листового металу як основний короб, так і кришка. Щоб закрити кришку лотка, потрібно вставити її у відповідні пази які виконані методом гнуття металу, після чого кришка буде сама утримуватись, за рахунок напружень створених оптимальними полками гнуття.



Рисунок 43. Зовнішній вигляд лотка для кабелів, змонтованого з кришкою і без

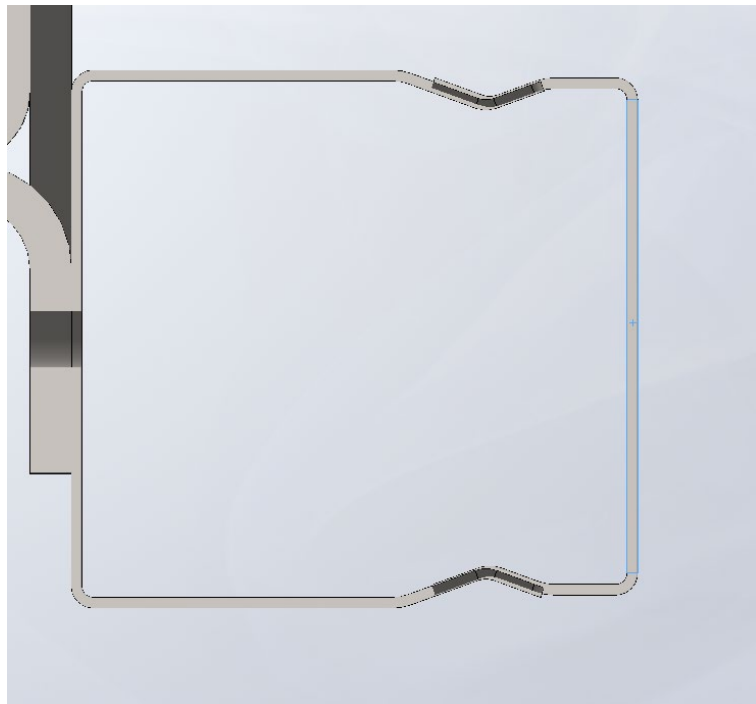


Рисунок 44. Поперечний переріз лотка для кабелів

Ці лотки закріплюються до бортів конвеєрів за допомогою кронштейнів і несуть в собі мету, безпечного прокладання кабелів від електричних шаф, до двигунів, а в подальшому розеток які будуть потрібні для організації робочих місць персоналу біля конвеєрів.

3.2 Використання методу 3D друку, для створення деталей

Крім класичних методів виготовлення деталей для обладнання, існує і сучасний метод, метод 3D друку деталей. Ця технологія достатньо нова, тому зустрічається дуже рідко як в повсякденному житті, так і в промисловості. Сам принцип, друку, базується на процесі створення тривимірних об'єктів шляхом послідовного нашарування матеріалу на основі цифрової моделі. Для виробництва деталей цей метод пропонує унікальні переваги порівняно з традиційними технологіями. Можна самому створити деталь розмірами від декількох міліметрів, і до декількох сотень міліметрів, що дозволяє друкувати як декоративні деталі, так і деякі вузли які можна виготовити лише методом фрезерування, який є в декілька разів дорожчим і затратнішим по часу.

До основних переваг технології 3D друку, можна віднести:

- Складні геометрії: Можливість створення деталей зі складними внутрішніми структурами, порожнинами недоступними для традиційного виробництва.
- Індивідуалізація: Легка адаптація дизайну під конкретні потреби без додаткових витрат на оснастку.
- Швидке прототипування: Значне скорочення часу від ідеї до готового виробу.

Всі ці переваги, створюють такі умови, що значно легше надрукувати прототип виробу, відтестувати на ньому весь робочий процес деталі, внести корективи, і після цього, буде виготовлена деталь яка буде точно виконувати всі закладені функції, без потреби витрат додаткового часу конструктора і виробництва на усунення проблем.

Якщо говорити про матеріали які використовуються у 3D друці, то є як звичайні типи пластику – PLA або ABS, так і інженерні, які є надміцними,

витримують екстримальні температури, вплив хімічних речовин ба більше можуть навіть бути гнучкими, до них відносять: PA6, PETG, TPU 95A і інші. У випадку такого матеріалу як TPU 95A, це фактично суміш гуми і пластику, що дозволяє друкувати гнучкі елементи, такі як заглушки, прокладки, ущільнювачі, демпфери.

Під час розробки транспортерів, була проблема на ділянці виходу флаконів з машини закупорювання флаконів, було декілька варіантів рішення, це виготовлення комплекту фрезерованих деталей, виготовлення з нержавіючої сталі або друк на 3D принтері. У випадку фрезерування, ціна була занадто високою, а виготовити просту конструкцію з нержавіючої сталі – буде неможливо надати оптимальних кутів щоб флакони не створювали затор. Тому було прийняте рішення створити концепт поворотного вузла, і після внесення декількох корекцій, надрукувати на 3D принтері.

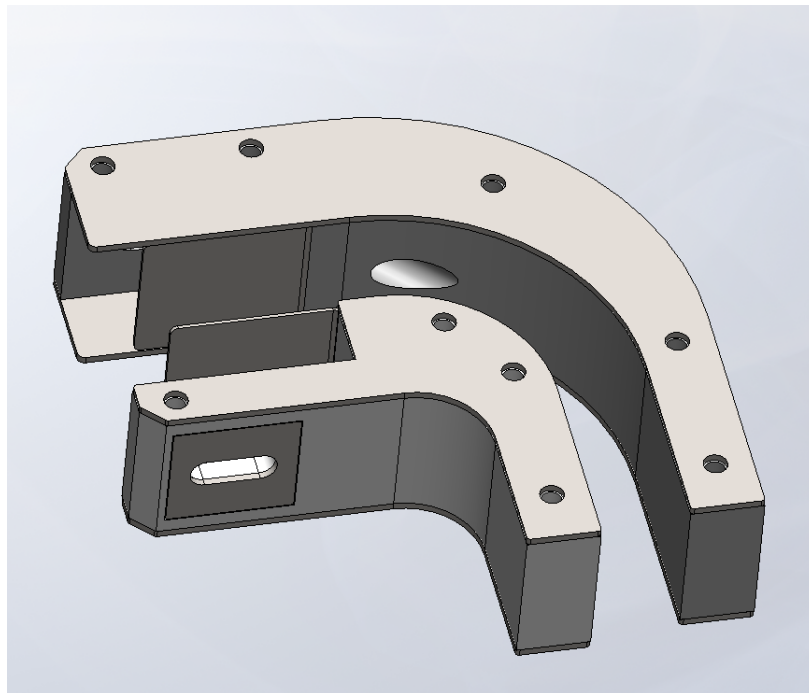


Рисунок 46. Комплект поворотного вузла.

На рис. 46. зображене рішення поворотного вузла. Це дві пластикові деталі, надруковані з матеріалу PETG-HF, адже він має добру хімічну стійкість і міцність, а також для підсилення пластику, зверху і знизу додано по одній тонкій пластині нержавіючої сталі.



Рисунок 47. Встановлений поворотний вузол під час тестів.

Також варто зазначити, що деталі які друкуються на 3D принтері, не завжди мають суцільне заповнення, що дозволяє виготовляти легкі, але в той же час дуже міцні конструкції які додатково можна підсилювати металевими пластинами.



Рисунок 48. Поворотний вузол під час друку.

3.3 Принцип роботи і конструкція ротаційного столу

Конструкція сучасного ротаційного столу являє собою комплекс взаємопов'язаних механічних, електричних та програмних компонентів, які забезпечують безперебійну роботу обладнання, і простоту зміни швидкості обертання диску за допомогою панелі керування. Ротаційний стіл складається з таких основних частин:

Каркас

Виконання каркасу може бути різним, але зазвичай, для ротаційних столів використовують труби квадратного перерізу, вони мають добрі показники міцності і непогано витримують основні навантаження, такі як згин і скручування. Також варто зазначити, що такий тип каркасу, є достатньо легким і в трубу можна встановити клепальну гайку яка буде виконувати функцію додаткового кріплення для монтажу зовнішніх елементів.

Кронштейн кріплення мотор-редуктора

На кожному ротаційному столі, розміщення привідного двигуна унікальне. Жорстку фіксацію привідного вузла забезпечує спеціальний кронштейн, який повинен бути з товстого металу, щоб витримувати навантаження які виникають під час роботи двигуна, а також з рахунок товщини, трохи глушити вібрації які виникають. Зазвичай цей кронштейн закріплюють на гвинти, але можливе і приварювання до каркасу.

Диск ротаційного столу

Головний елемент цього обладнання до якого ставляться жорсткі вимоги, адже диск повинен бути в один і той же час, великої товщини, щоб забезпечити рівну поверхню по якій буде проходити продукція, легким, а також не деформуватись під своєю ж вагою. Внаслідок цих основних вимог, технічне і технологічне виготовлення цього елемента є найбільш затратним по часу і людським ресурсам.

Підпорні колеса

Встановлюються для того щоб підтримувати диск ротаційного столу знизу, і захистити його від деформацій під своєю вагою.

Електричні шафи

Дуже рідко інтегруються безпосередньо в конструкцію ротаційного столу, адже потрібно розробляти значно складнішу конструкцію що не завжди є можливим, але в той же час інтеграція шаф всередину ротаційного столу дозволяє економити багато місця біля обладнання.

Панель керування

Для того щоб керувати ротаційним столом, або одразу всією лінією яка складається з декількох одиниць обладнання, на корпус монтується панель керування з сенсорним екраном.

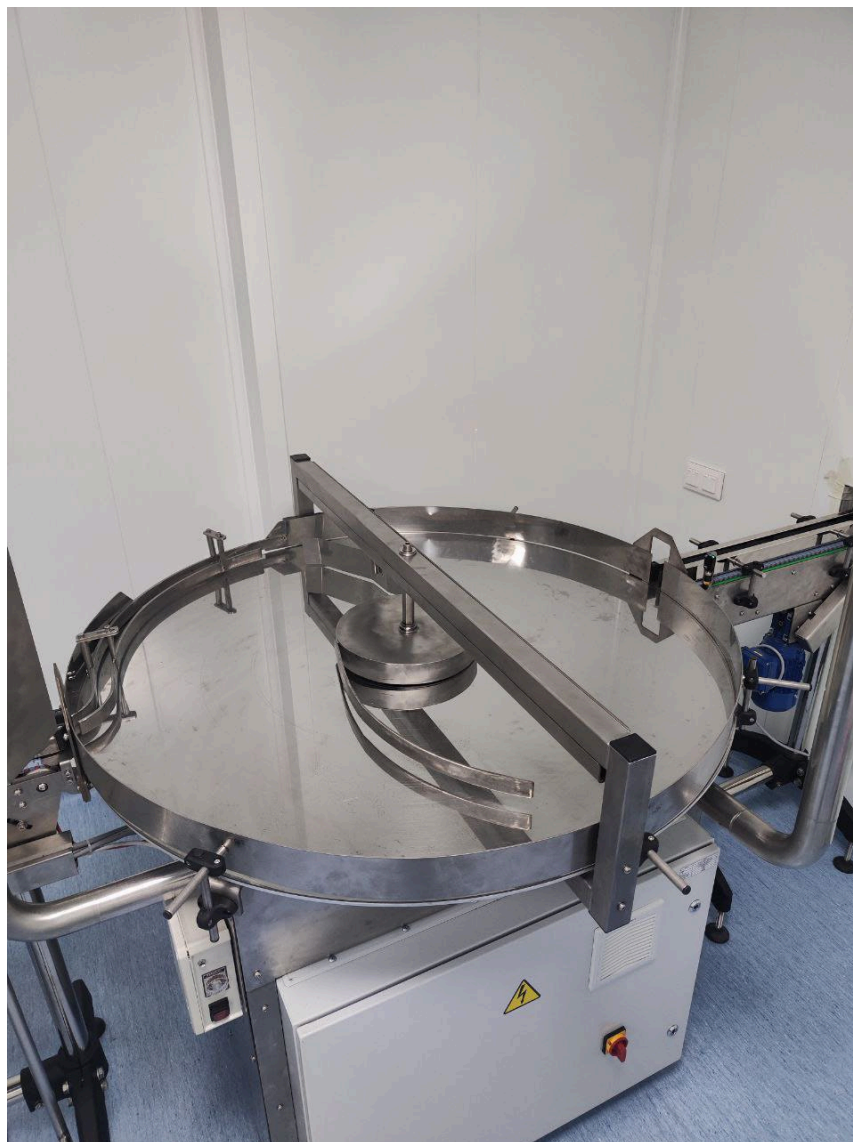


Рисунок 49. Змонтований ротаційний стіл

На рис. 49. зображений змонтований ротаційний стіл на дільниці, а також видно примикання вхідного і вихідного конвеєра для продукції. Ця одиниця обладнання побудована за класичною схемою, але в той же час є деякі відмінності. На рис. 50. зображений ротаційний стіл в середовищі проектування.

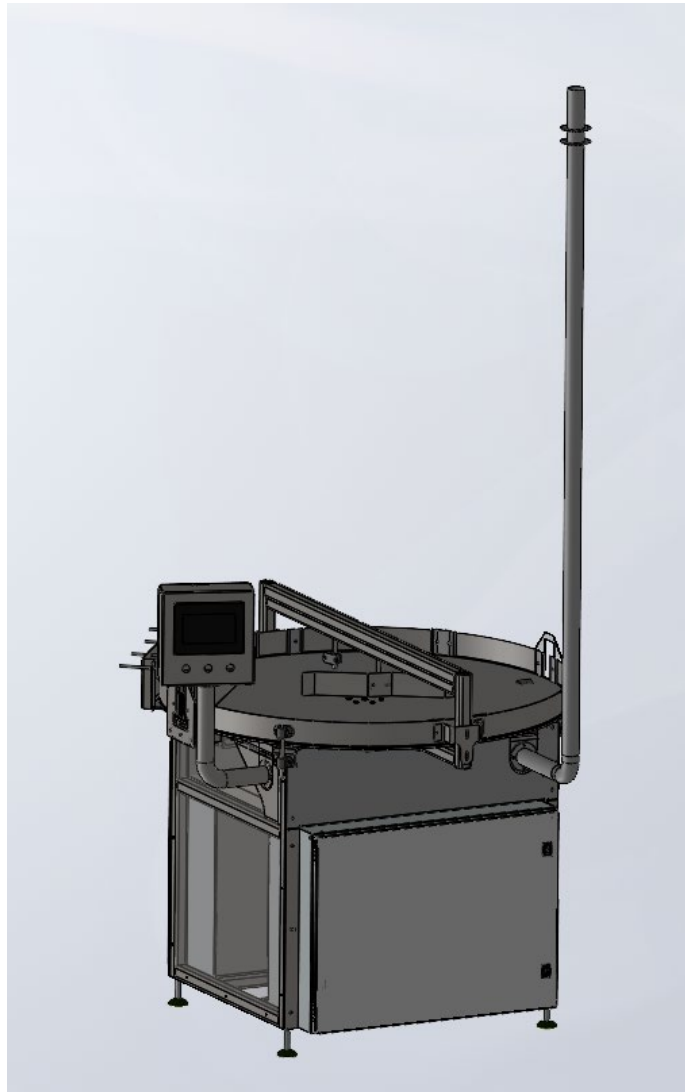


Рисунок 50. Ротаційний стіл в середовищі проектування

Каркас виконаний з нержавіючих труб, що сильно спрощує транспортування, а також встановлення клепальних гайок. Також можна побачити зліва панель керування, яка монтується на жорстко закріпленій трубі з поворотом під кутом 90 градусів, а також справа вертикальна труба – вона призначена для прокладання кабелів за стелею, щоб підключити все обладнання до електромережі. Одним з незвичайних рішень, є повна

інтеграція всіх електричних шаф в конструкцію ротаційного столу, на рис. 51. можна побачити розміщення двох електричних шаф які кріпляться напряму до каркасу з труб, а також розміщення мотор-редуктора, передача крутного моменту на диск відбувається напряму через перехідний фланець, що дозволяє спростити конструкцію і відмовитись від використання пасових передач.

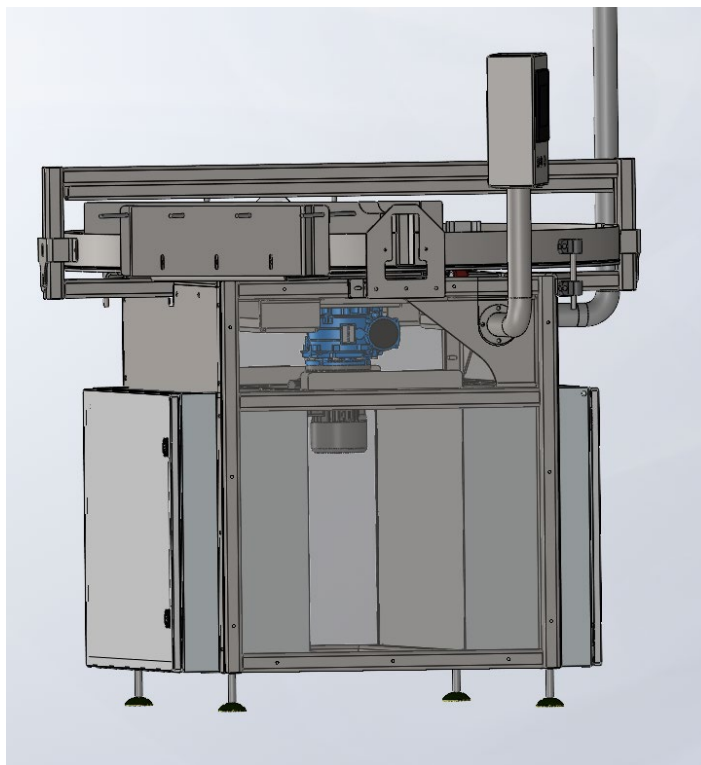


Рисунок 51. Розміщення електричних шаф і двигуна

Також було прийняте рішення не відмовлятись від класичного підпору диску ротаційного столу за допомогою великих поліуретанових коліс рис. 52., кожне колесо розміщається в спеціальному полу-коробі і може прокручуватись на 360 градусів що дозволяє запускати ротаційний стіл як за годинниковою стрілкою, так і проти.

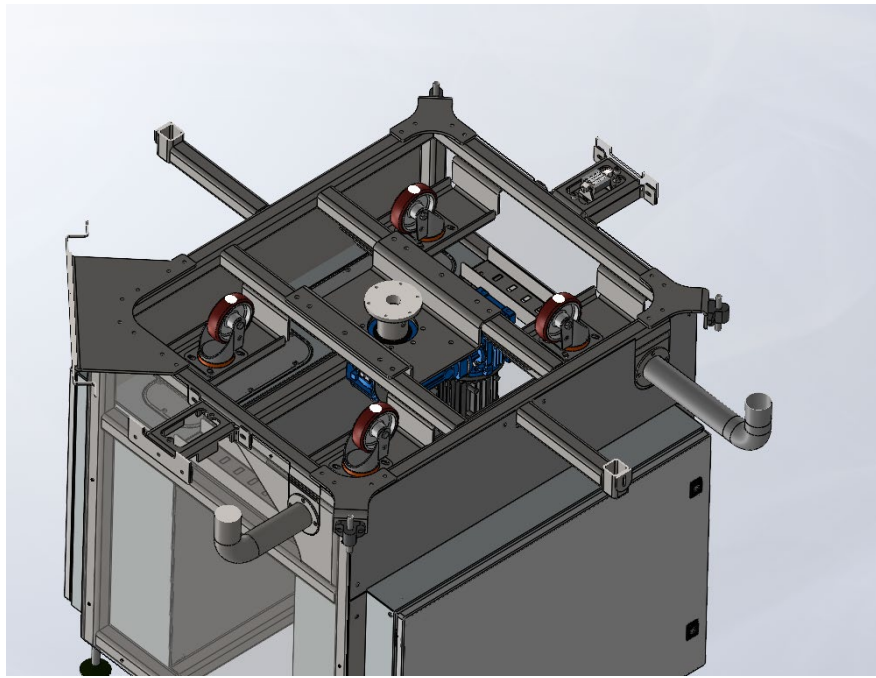


Рисунок 52. Розміщення коліс підпору

Також на рис. 52. зображено кріплення мотор-редуктора, це широка пластина з товстого металу виготовлена методом гнуття з отворами під кріплення гвинтами, щоб можна було закріпитись за фланець редуктора, в той же час двигун вільно висить, і його не потрібно додатково фіксувати.

Щоб передавати крутний момент від двигуна, на диск ротаційного столу, використовують частотний перетворювач, який розміщений всередині електричної шафи змонтованої на каркас ротаційного столу, в той же час, диск, який приводиться в рух, виконаний з декількох шарів металу, основний – алюміній товщиною 6 міліметрів, а також зовнішній шар – дзеркальна нержавіюча сталь AISI 304 товщиною 3 міліметра, два шари металу з'єднані між собою клеєм, а також додатково гвинтами.

4. Розрахунки

4.1. Розрахунок і підбір двигунів

Першочергово буде розрахований двигун який в подальшому буде змонтований на транспортер. Всі вхідні дані обрані для найдовшого конвеєра, а за рахунок частотних перетворювачів швидкість руху флаконів по транспортеру можна буде змінювати.

Розрахуємо потрібну потужність двигуна за наступними формулами:

$$M_1 = F * l$$

M_1 – крутний момент

F – сила з якою конвеєр тягне стрічку

L – розмір найбільшого флакону

Знайдемо силу, з якою конвеєр тягне стрічку:

$$F = k * F_2$$

k – середній коефіцієнт тертя (контакт скла і пластика)

F_2 – вага флаконів на транспортері при умові завантаженості

$$F = k * F_2 = 0.7 * 500 = 140H$$

Сила тяги стрічки повинна становити 140 Ньютонів, на основі цього розраховуємо крутний момент.

$$M_1 = F * l = 140 * 0.04 = 5.6 \text{ Н/м}$$

Далі потрібно розрахувати кількість обертів на хвилину на виході з редуктора:

$$N = \frac{V}{X}$$

N – кількість обертів на хвилину

V – радіальна швидкість приводної зірки

X – довжина кола шківа через який передається тяга

Щоб розрахувати кількість обертів, потрібно спершу розрахувати з якою швидкістю повинні рухатись флакони виходячи з продуктивності в 15000 флаконів на годину.

$$A = \frac{15000}{3600} = 4.16 = 4.2 \text{ фл/с}$$

Швидкість проходження флаконів по конвеєру, щоб забезпечити продуктивність становить близько 4.2 флаконів на секунду, далі потрібно розрахувати швидкості з якими повинні рухатись флакони найменшого і найбільшого діаметрів. Найменший флакон має діаметр 22.7 міліметри, найбільший 35 міліметри. На основі цього проведемо розрахунки:

$$B = 4.2 * 22.7 = 95.3 = 100 = 0.1 \text{ м/с}$$

Де B – швидкість руху найменшого флакона

$$C = 4.2 * 35 = 150 = 0.15 \text{ м/с}$$

Де C – швидкість руху найбільшого флакона

Додатково додамо 50% швидкості для забезпечення більшої продуктивності лінії, отже швидкість зросте до 0.22 м/с

На основі попередніх розрахунків розрахуємо швидкість обертання привідної зірки для того щоб забезпечити швидкість флаконів яка становить 0.22 м/с, при цьому знаючи діаметр привідної зірки який становить 52.5 міліметрів і одразу переведемо в довжину кола яке становитиме 0.165 метри.

$$n_2 = \frac{V}{l}$$

V – швидкість руху

l – довжина кола привідної зірки

$$n_2 = \frac{V}{l} = \frac{0,22}{0,165} = 1.33 \frac{\text{об}}{\text{с}} = 80 \text{ об/хв}$$

Кількість обертів яке повинна робити привідна зірка щоб забезпечити розраховану швидкість руху флаконів, повинна становити 80 об/хв.

Повернемось до формули розрахунку кількості обертів на хвилину на виході з редуктора і підставимо отримані значення:

$$N = \frac{V}{X} = \frac{0.22}{0.25} = 0.88 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 52.8 \text{ об/хв}$$

Тепер в нас є всі потрібні дані для того щоб обрати двигун, і користуючись асортиментом мотор-редукторів компанії: «Перша редукторна компанія», розглянемо таблицю з мотор-редукторами рис. 53.

Тип	P1 max (кВт.)	n2 (об/мин.)	M2 (Нм.)
030 i=5	0.18	280	5
030 i=7.5	0.18	186.7	7.8
030 i=10	0.18	140	10
030 i=15	0.18	93.3	14
030 i=20	0.18	70	18
030 i=25	0.18	56	21
030 i=30	0.12	46.7	16
030 i=40	0.12	35	19
030 i=50	0.09	28	17
030 i=60	0.09	23.3	19

Рисунок 53. Таблиця основних значень мотор-редукторів NMRV

Підставивши значення, можемо побачити, що найближчими по показниках, є мотор-редуктор розміром 030, потужністю 0.18 кВт, і передавальним числом $i=25$, цей редуктор повністю задовольняє наші потреби.

Далі потрібно розрахувати мотор-редуктор який буде встановлений на ротаційний стіл. Першочергово розглянемо диск ротаційного столу, він має діаметр 1200 міліметрів, тому проведемо наступні розрахунки:

$$L = 1200 * 3.14 = 3.77 \text{ м}$$

L – довжина кола

$$n_2 = \frac{0.2}{3.77} = 0.053 \frac{\text{об}}{\text{сек}} = 3 \text{ об/хв}$$

На основі розрахованого значення n_2 знайдемо передавальне число яке повинно становити на мотор-редукторі який буде встановлено на ротаційний стіл.

$$I = \frac{1400}{3} = 446.6$$

Зкорегуємо це значення відповідно до таблиці мотор-редукторів:

NMRV 40/75	300	4.7	0.36	390
	400	3.5	0.27	360
	500	2.8	0.21	320
	600	2.3	0.19	390
	750	1.9	0.16	390
	1000	1.4	0.14	410
	1200	1.2	0.11	360
	1500	0.93	0.10	390
	1800	0.78	0.09	390
	2400	0.58	0.07	360
	3000	0.47	0.05	320
	4000	0.35	0.04	250
	5000	0.28	0.03	230

Рисунок 54. Таблиця основних значень мотор-редукторів NMRV

Відповідно до таблиці, найближчим за значенням буде мотор-редуктор з сумарним передавальним числом $I=400$, щоб досягти такого передавального числа потрібно обрати двоступеневий черв'ячний мотор-редуктор. Таким чином обираємо мотор-редуктор 40/75 з передавальним числом $I=400$, потужністю 0.27 кВт.

4.2 Розрахунок і підбір підшипників

Для встановлення на вал підшипника, потрібно розрахувати чи витримає він навантаження які будуть діяти під час роботи. Оберемо підшипник 6802 2RS і розрахуємо чи витримає він всі навантаження

Вихідні дані підшипника 6802 2RS:

Тип: Радіальний підшипник однорядний із двостороннім ущільненням (2RS).

Розміри: $d=15$ мм, $D=24$ мм, $B=5$ мм.

Динамічна вантажопідйомність (C): ~ 4.65 кН (за даними основних виробників, наприклад SKF, NSK).

Статична вантажопідйомність (C_0): ~ 2.30 кН.

Обмеження швидкості: ~ 28000 об/хв (теоретичне, для нашого випадку неактуальне).

Припущення до розрахунку:

Для конвеєра характерні:

Навантаження: Переважно радіальне (вага ролика, стрічки, вантажу).

Осьове навантаження: Мінімальне, тільки від натягу стрічки або перекосу.

Швидкість: від низької до середньої (в середньому від 50 до 500 об/хв)

Режим роботи: безперервний, тривалий ($L_h \geq 10\,000$ годин).

Тип конвеєра: транспортер який використовує модульну стрічку.

Розрахунок з динамічної вантажопідйомності:

Основна формула для розрахунку номінального терміну служби у годинах:

$$L_{10h} = (10^6 / (60 * n)) * (C / P)^p$$

де:

L_{10h} — розрахунковий термін служби.

n - частота обертання, об/хв. Візьмемо для оцінки 200 об/хв.

C - динамічна вантажопідйомність (4650 Н).

P – еквівалентне динамічне навантаження на підшипник.

p - Показник ступеня: для підшипників $p = 3$.

Крок 1: Визначаємо еквівалентне навантаження (P)

Для радіальних підшипників:

$$P = X * F_r + Y * F_a.$$

При невеликому осьовому навантаженні та співвідношенні:

$$F_a / F_r \leq e, X=1, Y=0.$$

Для нашого випадку візьмемо суто радіальне навантаження $P = F_r$.

Вага ролика конвеєра: ~ 0.5 кг (5 Н).

Вага стрічки та вантажу на ділянці над роликом - ключовий параметр.

Для конвеєра з вантажем до 3 кг на ролик приблизно 30-40 Н.

Візьмемо до розрахунку $F_r = P = 40$ Н (4 кгс)

Крок 2: Розрахунок терміну служби

$$L_{10h} = (1\,000\,000 / (60 * 200)) * (4650 / 40) * 3$$

$$L_{10h} \approx (83.33) * (46.5)^3$$

$$L_{10h} \approx 83.33 * 100\,544 \approx 8\,378\,000 \text{ годин.}$$

Це надзвичайно великий термін, що перевищує 950 років безперервної роботи. Він говорить про те, що при навантаженні 40 Н підшипник сильно недовантажений.

Крок 3: Визначення максимального припустимого навантаження для розумного терміну служби

Для конвеєрів зазвичай цільовий термін служби $L_{10h} = 10\ 000 - 30\ 000$ годин.

Виведемо формулу для P:

$$P = C / ((L_{10h} * 60 * n / 10^6) * (1/3))$$

Для $L_{10h} = 20\ 000$ годин та $n = 200$ об/хв:

$$P = 4650 / ((20000 * 60 * 200 / 1\ 000\ 000) * (1/3))$$

$$P = 4650 / ((240) * (1/3)) \approx 4650 / 6.21 \approx 750\ \text{Н (близько 75 кгс)}.$$

Висновок з динамічного розрахунку: Підшипник 6802 2RS здатний нести радіальне навантаження до 750 Н протягом 20 000 годин при 200 об/хв. Це досить вагоме навантаження для його розмірів.

4. Перевірка по статичній вантажопідйомності

Перевіряємо, щоб максимальне навантаження (у момент запуску, при заклинунанні) не викликало неприпустимої пластичної деформації.

$$P_0 \leq C_0 / S_0$$

де:

P_0 - еквівалентне статичне навантаження.

S_0 – коефіцієнт запасу. Для нормальних умов роботи конвеєра $S_0 = 1.5-2$.

При $C_0 = 2300\ \text{Н}$ і $S_0 = 1.5$: Допустимо:

$$P_0 = 2300 / 1.5 \approx 1530\ \text{Н}.$$

Це значення вище за розраховане динамічне навантаження (750 Н), отже в статистиці, підшипник повністю підходить для конвеєра, тому обираємо його.

4.3 Розрахунок і підбір оптимальних товщин металу

Щоб перевірити, чи витримає конвеєр вагу продукції яка буде проходити по ньому, а також оптимальну товщину металу, розрахуємо на міцність внутрішню деталь підтримки бортів на яку буде діяти найбільше навантаження:

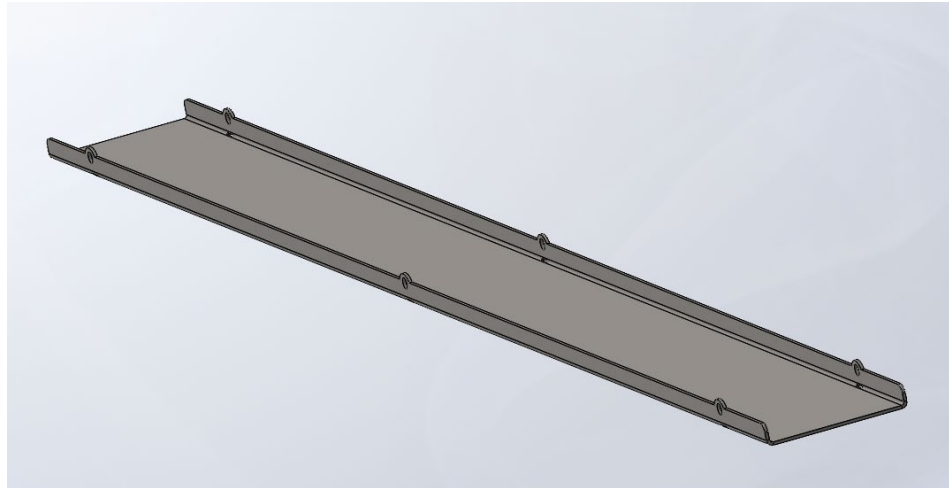


Рисунок 55. Розраховувана деталь

Матеріал: AISI 304

Межа плинності: $\sigma = 205 \text{ МПа}$ (205 Н/мм^2)

Модуль пружності: $E = 193 \text{ гПа}$ (193000 Н/мм^2)

Геометрія профілю:

Висота стінки: $h = 18 \text{ мм}$

Ширина полиці: $b = 92 \text{ мм}$

Товщина: $t = 3 \text{ мм}$

Довжина: $L = 1217 \text{ мм}$

Схема навантаження: Балка на двох опорах (шарнірне закріплення)

Коефіцієнт запасу: Приймемо $n = 1.5$ (для статичних навантажень)

Розрахунок геометричних характеристик перерізу:

П-подібний профіль (швеллер) складається з трьох прямокутників:

1. Визначення центру мас перерізу:

Площа стінки:

$$A = h \times t = 18 \times 3 = 54 \text{ мм}^2$$

Площа однієї полки:

$$A_2 = b \times t = 92 \times 3 = 276 \text{ мм}^2$$

Загальна площа:

$$A_3 = A + 2 \times A_2 = 54 + 552 = 606 \text{ мм}^2$$

Так як переріз симетричний щодо вертикальної осі, центр ваги розташований на середині висоти стінки:

$$Y_c = h/2 = 9 \text{ мм (від низу профілю)}$$

2. Розрахунок моменту інерції (I):

Вважаємо щодо центральної горизонтальної осі X.

Для стінки (вертикальний елемент 3×18 мм):

$$I_{ct} = (t \times h^3)/12 = (3 \times 18^3)/12 = (3 \times 5832)/12 = 1458 \text{ мм}^4$$

$D_{ct} = 0$ (центр мас стінки збігається із центром мас перерізу)

$$I_{ct} = I_{ct} + A_3 \times d_{ct}^2 = 1458 + 0 = 1458 \text{ мм}^4$$

Для кожної полиці (горизонтальний елемент 92×3 мм):

$$I_{п} = (b \times t^3)/12 = (92 \times 3^3)/12 = (92 \times 27)/12 = 207 \text{ мм}^4$$

$$D_{п} = (h/2) - (t/2) = 9 - 1.5 = 7.5 \text{ мм}$$

$$I_{п1} = 207 + 276 \times 7.5^2 = 207 + 276 \times 56.25 = 207 + 15525 = 15732 \text{ мм}^4$$

Сумарний момент інерції:

$$I = I_{ct} + 2 \times I_{п1} = 1458 + 2 \times 15732 = 1458 + 31464 = 32922 \text{ мм}^4$$

3. Момент опору (W):

$$Y_m = h/2 = 9 \text{ мм}$$

$$W = I / Y_m = 32922 / 9 = 3658 \text{ мм}^3 \text{ (або } 3.658 \text{ см}^3\text{)}$$

4. Розрахунок допустимого навантаження за міцністю (без пластичних деформацій)

Допустима напруження:

$$\sigma_1 = \sigma / n = 205 / 1.5 = 136.67 \text{ МПа (Н/мм}^2\text{)}$$

Допустимий згинальний момент:

$$M = \sigma_1 \times W = 136.67 \times 3658 \approx 500\,000 \text{ Нмм} = 500 \text{ Нм}$$

При умові зосередженої сили в середині конструкції:

$$M_m = (P \times L) / 4$$

$$P = (4 \times M) / L = (4 \times 500) / 1.217 = 2000 / 1.217 \approx 1643 \text{ Н}$$

У кілограмах:

$$(\approx 9.81 \text{ Н/кгс}): 1643 / 9.81 \approx 167.5 \text{ кг}$$

5. Перевірка на жорсткість

Часто буває, що прогин обмежує навантаження раніше, ніж міцність.

Допустимий прогин:

$$f=L/200$$

$$[f] = 1217 / 200 = 6.085 \text{ мм}$$

Для зосередженої сили $P = 1643 \text{ Н}$:

$$f = (P \times L^3) / (48 \times E \times I)$$

$$f = (1643 \times 1217^3) / (48 \times 193000 \times 32922) \approx 9.72 \text{ мм}$$

9.72 мм > 6.085 мм - прогин перевищує допустимий

Для розподіленого навантаження $Q = 3286 \text{ Н}$:

$$f = (5 \times q \times L^4) / (384 \times E \times I)$$

При $q = 2700 \text{ Н/м} = 2.7 \text{ Н/мм}$

$$f \approx 12.14 \text{ мм теж перевищує допустимий.}$$

6. Визначення навантаження за умов жорсткості

Перерахуємо, щоб прогин не перевищував 6.085 мм.

Для зосередженої сили:

$$P_d = (48 \times E \times I \times [f]) / L^3$$

$$P_d = (48 \times 193000 \times 32922 \times 6.085) / (1217^3) \approx 1029 \text{ Н}$$

У кілограмах:

$$1029 \text{ Н} / 9.81 \approx 105 \text{ кг}$$

Для розподіленого навантаження:

$$Q_d = (384 \times E \times I \times [f]) / (5 \times L^4)$$

$$Q_d \approx 1353 \text{ Н/м}$$

Повне навантаження:

$$Q_d = 1353 \times 1.217 \approx 1646 \text{ Н}$$

У кілограмах:

$$1646 / 9.81 \approx 168 \text{ кг}$$

Висновком розрахунку напружень, є те, що деталь яка виготовлена з металу AISI 304 товщиною 3 мм, буде повністю задовольняти наші вимоги, навіть перевищувати міцність в декілька разів, але дуже важливим є те, що саме в металі товщиною 3 міліметри, можна добре нарізати різьбу для закріплення різної фурнітури, а також основних елементів конструкції які будуть завжди під навантаженням. Також варто зазначити, що при умові використання більш тонких металів, єдиним варіантом закріплення до борту конвеєра, різної фурнітури, а також конструкційних елементів є клепальні гайки, але у порівнянні з нарізаною різьбою, клепальна гайка дуже просто може вийти з ладу внаслідок занадто сильного закручування гвинта, що у випадку фінального монтажу на ділянці підприємства є критичним.

5. FAT і SAT у виробництві обладнання

У фармацевтичному виробництві кожен елемент обладнання, що впливає на якість лікарського засобу, має бути не просто функціональним, а документовано підтверджено як такий, що відповідає суворим стандартам. Система валідації обладнання забезпечує цю впевненість, а Factory Acceptance Testing (FAT) та Site Acceptance Testing (SAT) є двома критично важливими етапами цього процесу. Це не просто формальні перевірки, а механізми управління ризиками, спрямовані на забезпечення якості продукції, безпеки пацієнтів та дотримання вимог GMP (Належної виробничої практики).

Визначення та стратегічна важливість FAT та SAT:

Factory Acceptance Testing (FAT), або заводські приймальні випробування, — це серія випробувань, що проводяться на виробничому майданчику постачальника обладнання до його відвантаження замовнику. Метою FAT є перевірка того, що обладнання або система зібрані та функціонують відповідно до затверджених проектних специфікацій, технічного завдання та регуляторних вимог у контрольованих заводських умовах.

Site Acceptance Testing (SAT), або приймальні випробування на майданчику, проводяться на виробничому майданчику замовника після доставки, монтажу та підключення обладнання. Основна мета SAT — надати документоване підтвердження того, що обладнання не постраждало під час транспортування та монтажу, правильно інтегроване з комунікаціями та інфраструктурою підприємства і функціонує відповідно до специфікацій у реальних експлуатаційних умовах.

Важливість FAT та SAT:

- Управління ризиками та економія ресурсів: Виявлення та усунення несправностей на етапі FAT значно дешевше і швидше, ніж на майданчику замовника. Це дозволяє уникнути дорогого простою виробництва, затримок у графіку проекту та додаткових логістичних витрат.
- Забезпечення регуляторної відповідності: FAT і SAT є ключовими елементами документованого доказу для регуляторних органів, що обладнання було належним чином кваліфіковано. Вони закладають основу для подальших етапів кваліфікації.
- Перевірка інтеграції та експлуатаційних умов: Тільки SAT може остаточно підтвердити, що обладнання працює з належною точністю та стабільністю в реальному середовищі, з урахуванням специфічних параметрів чистоти приміщення, температури, вологості та якості комунікацій.
- Чіткий перехід відповідальності: FAT формально завершує відповідальність постачальника за функціональність обладнання на своєму майданчику, тоді як SAT підтверджує прийняття обладнання замовником після встановлення.

5.1. Проведення FAT і SAT

Відповідно до всіх процесів проведення тестування на підприємстві виробника – FAT, було проведено перші тести транспортерних систем, а також ротаційного столу, під час цих тестів були виявлені деякі проблеми, які в подальшому були усунуті табл. 3.

Назва обладнання	Проблема	Наявність проблеми	Звіт
Транспортер К700			
	Вібрація двигуна	+	Затягнути гвинти кріплення
	Вібрація корпусу	-	
	Послаблені гвинтові з'єднання	+	Затягнути гвинти кріплення
	Биття роликів	-	
Транспортер К1900			
	Вібрація двигуна	-	
	Вібрація корпусу	-	
	Послаблені гвинтові з'єднання	-	
	Заклинювання коліс	+	Неякісні колеса
	Биття роликів	+	Перевиготовлення
Транспортер К3250			

	Вібрація двигуна	+	Заміна кронштейна
	Вібрація корпусу	-	
	Послаблені гвинтові з'єднання	-	
	Замалий кронштейн двигуна	+	Перевиготовлення
Ротаційний стіл			
	Послаблені гвинтові з'єднання	-	
	Недостатня висота кронштейнів кріплення бортів	+	Перевиготовлення
	Перекося диску	+	Регулювання висоти коліс

Таблиця 3. Проведення FAT на підприємстві виробника

Під час проведення тестувань, були знайдені деякі проблемні вузли які потрібно було перевиготовити, після того як ці проблеми були усунуті, обладнання було готове до відправки замовнику, для подальшого монтажу, а також проведення SAT уже на ділянці фармацевтичного підприємства.

Після того як обладнання було доставлено на ділянку замовника, змонтоване і виставлене в положення згідно загального лейауту – почалось проведення SAT. Вимоги SAT заявляє сам замовник обладнання, відповідно для успішної задачі обладнання, і повного проходження SAT, основною вимогою до обладнання були наступні пункти:

- Проходження флаконів без падінь, допустиме падіння 1% флаконів за зміну;
- На ротаційному столі повинні бути відсутні елементи, через які можливе падіння флакона (шляпки гвинтів, тощо);

- Після того як ротаційний стіл буде повністю завантажений флаконами, він повинен сам вивантажити всі наявні флакони на диску на транспортер;
- На ротаційному столі не повинно бути «мертвих зон» де флакони можуть застрягти.

Всі тести проводились за наявності представників з підприємства яке виготовляло обладнання, а також комісії зі сторони замовника, під час проведення тестів з флаконами, на ділянці ліофільного сушіння, були виявлені наступні проблеми табл. 4.

Зона обладнання	Проблема	Метод вирішення
Перехід між транспортерами K1900 і K700	Падіння флаконів на ножовому переході	Перевиготовлення ножевих переходів
Вхід з транспортеру K700 на ротаційний стіл	Падіння флаконів через те що диск провисає	Додавання нового вузла для підпору диска
Борти ротаційного столу	Наявні шляпки гвинтів на зовнішній поверхні борту	Перевиготовлення борту
Направляюча виходу флаконів з ротаційного столу	Направляюча даної конфігурації погано працює	Перевиготовлення направляючої

Таблиця 4. Проведення SAT на підприємстві замовника

Для того щоб вирішити дані проблеми, які виникли під час проведення SAT, потрібно провести дослідження, на основі яких з'явиться можливість спроектувати нові вузли, а також оновити конструкцію обладнання, щоб задовольнити всі вимоги і успішно передати обладнання замовнику.

5.2. Дослідження причин падіння флаконів в динаміці руху

Падіння флаконів на конвеєрній лінії — це комплексна проблема, яка виникає через поєднання конструктивних, динамічних та експлуатаційних факторів. Найбільш критичними ділянками є ножові переходи між конвеєрами, де умови руху змінюються.

Динамічні фактори під час руху:

- Зміна швидкості: різке прискорення при запуску або гальмування перед зупинкою може перевищити силу тертя флакона об стрічку. Важливо уникати різкого старту під навантаженням та зупиняти систему порожньою;
- Вібрації та удари: нерівномірний знос роликів, розбалансування приводних зірок або барабанів створюють вібрацію. На переходах це може призвести до "підстрибування" флаконів і втрати стійкості;
- Відцентрова сила: на поворотних ділянках флакони зсуваються до зовнішнього краю. Без правильних бортів або направляючих вони можуть впасти.

Властивості скляних флаконів:

- Геометрія та центр ваги: Високі та вузькі флакони менш стійкі. Зміщення центру ваги (наприклад, через мікроставку всередині) підсилює цей ефект.
- Матеріал поверхні: Гладке скляне або пластикове дно має низький коефіцієнт тертя зі стрічкою, особливо якщо вона також гладка.

Динамічні фактори є найбільш складною групою причин падіння флаконів, оскільки вони виникають в результаті взаємодії сил під час руху.

Основні фізичні принципи та сили, що діють на флакон:

- Кожен флакон на стрічці є об'єктом, на який одночасно діє комплекс сил:
- Сила тяги від стрічки: передається через тертя між дном флакона і поверхнею стрічки. Це єдина сила, що рухає флакон вперед.

- Сила інерції: прагне зберегти стан флакона (спокій або рівномірний рух). Будь-яка зміна швидкості стрічки зустрічає опір інерції.
- Сила тяжіння: діє вертикально вниз через центр ваги флакона.
- Сила реакції опори: Діє з боку стрічки вертикально вгору, врівноважуючи силу тяжіння.
- Відцентрова сила (на поворотах): Діє радіально від центру повороту, прагнучи зсунути флакон.

Падіння відбувається, коли рівнодія цих сил призводить до втрати стійкості або перевищення сили тертя, що утримує флакон.

Критичні динамічні явища та їх природа:

Різкі зміни швидкості

Це найпоширеніша причина. Умова стійкості: сила інерції (F) не повинна перевищувати максимальну силу тертя (F_T).

$$F_T = \mu * m * g$$

Де: μ — коефіцієнт тертя, m — маса, g — прискорення вільного падіння.

При прискоренні стрічки з прискоренням a , виникає сила інерції $F = m * a$.

Умова стійкості:

$$m * a \leq \mu * m * g \rightarrow a \leq \mu * g.$$

Критичне прискорення залежить виключно від коефіцієнта тертя μ та g ($\approx 9.8 \text{ м/с}^2$). Для гладкого пластика по склі ($\mu \approx 0.15-0.25$) максимальне прискорення — лише 3-4 м/с^2 . Будь-який різкий старт конвеєра під навантаженням легко перевищує це значення, спричиняючи ковзання флакона відносно стрічки, а потім і падіння.

Вібрації та ударні навантаження

Джерелами вібрацій можуть бути різні:

Нерівномірний знос або розбалансування приводних і натяжних роликів, вони створюють вимушені коливання з частотою, що дорівнює частоті обертання ролика;

Стикові шви стрічки: кожен шов при проходженні по ролику генерує мікроудар.

Зношені підшипники роликів: створюють хаотичну вібрацію з широким спектром частот.

Ножовий перехід: зазвичай має невеликий зазор або різницю в рівні. Падаючи з краю ведучого конвеєра на ведений, флакон отримує вертикальний імпульс. Якщо амплітуда цього удару достатня, флакон може підстрибнути, втративши контакт зі стрічкою, і при приземленні опинитися в нестійкому положенні внаслідок чого може впасти.

5.3 Дослідження і тестування деталей для вирішення проблем падаючих флаконів в критичних зонах

Для того щоб виправити проблеми які виникли під час проведення SAT, потрібно розглянути вузли, і зони в яких спостерігаються падіння і застрягання флаконів.

Першою зоною де спостерігались проблеми, було місце з'єднання транспортера довжиною 700 міліметрів з транспортером довжиною 1900 міліметрів рис. 56.

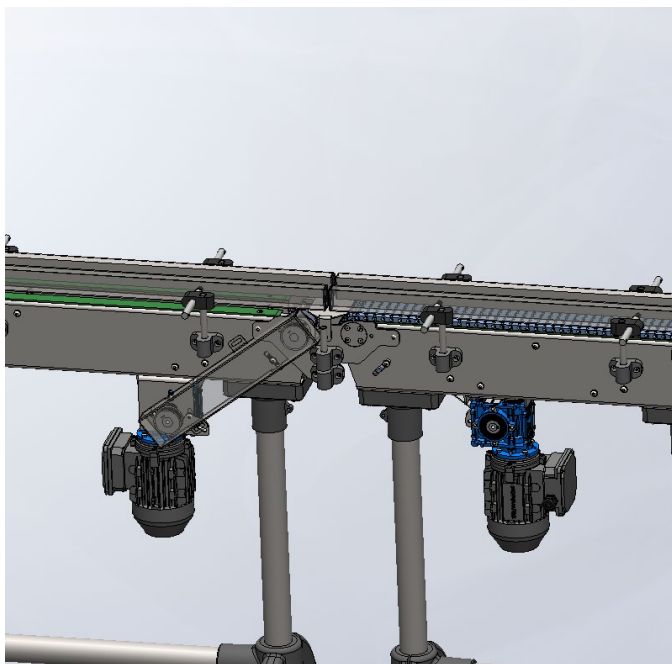


Рисунок 56. Зона з'єднання двох конвеєрів

Розглядаючи більш детально цю зону, що складається з ножового переходу, було виявлено наступне, довжина ножового переходу, була занадто

малою а також відсутня заточка з сторони конвеєра, що стало першопричиною падіння флаконів рис. 57. після того як було виправлено цю деталь і виготовлено нову рис. 58. проблему було усунуто.

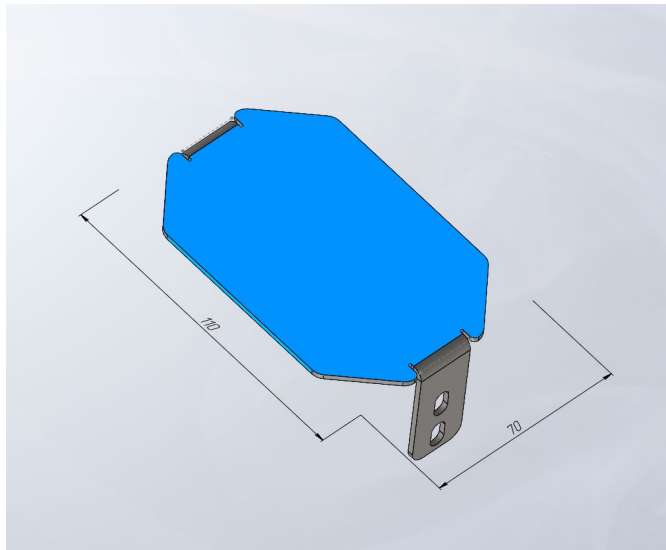


Рисунок 57. Ножовий перехід без заточки

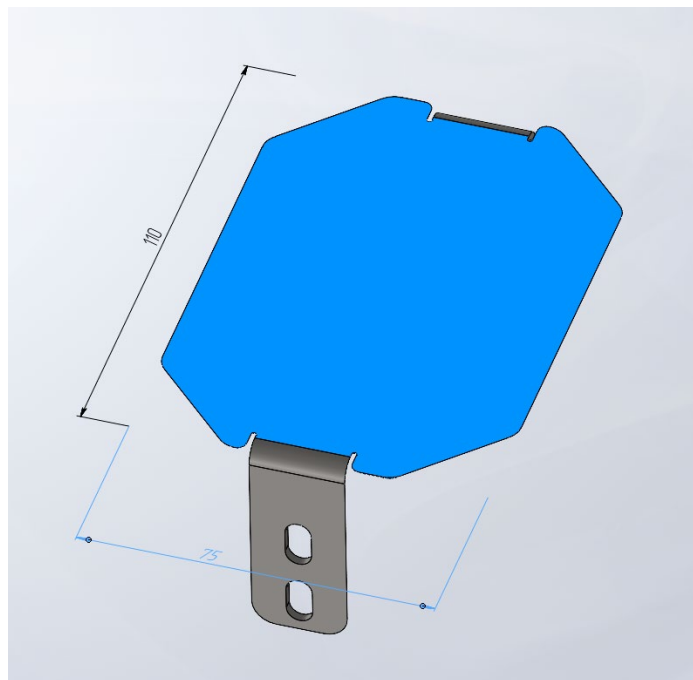


Рисунок 58. Збільшений ножовий перехід

Після того як деталь була виготовлена і встановлена, проблема була вирішена, також під час проектування були зкореговані відстані

встановлення транспортерів, наслідком чого стало проектне положення деталі яка відповідала реальному розміщенні рис. 59.

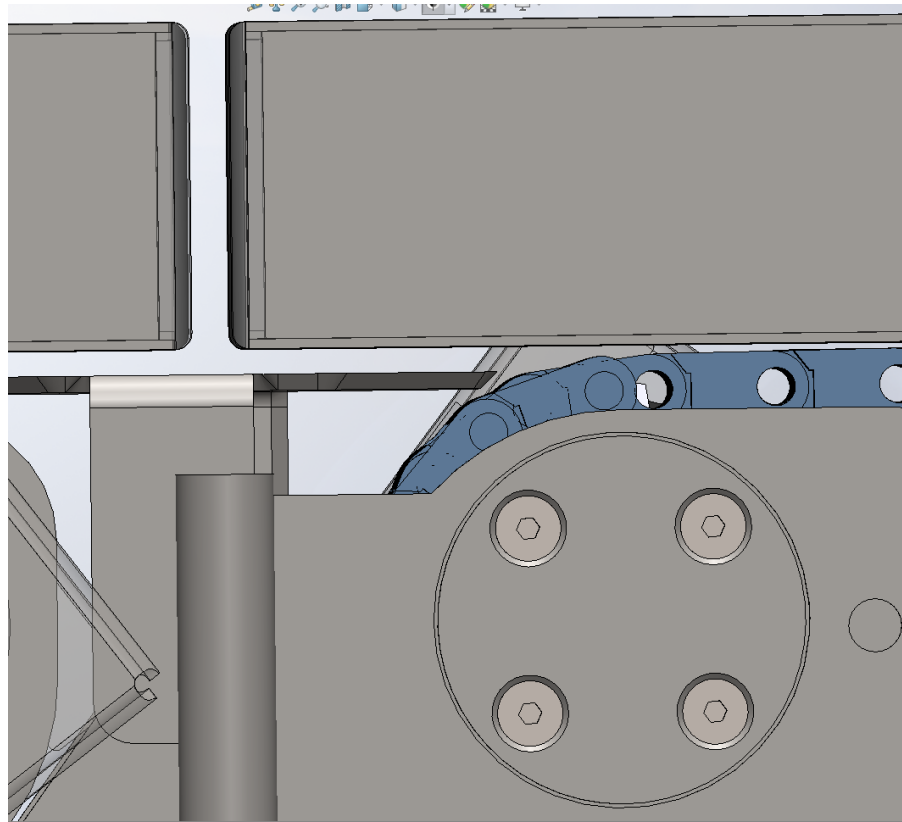


Рисунок 59. Розміщення ножового переходу

Другою зоною де спостерігалось падіння флаконів, була зона переходу з конвеєра довжиною 700 міліметрів, на ротаційний стіл. Причиною падіння було те, що диск ротаційного столу був не в ідеальному горизонті, внаслідок чого виникали перепади висот на вхідному транспортері близько 3 міліметрів, що було критичним для обладнання такого типу. Проаналізувавши проблему, був виготовлений вузол, який повністю вирішив цю проблему рис. 60. Основною метою цього вузла було механічна дія на нижню поверхню диска, за допомогою надрукованого на 3D принтері ролика з інженерного пластику високої міцності в який встановлюються підшипники для забезпечення рівномірного прокручування під час роботи.

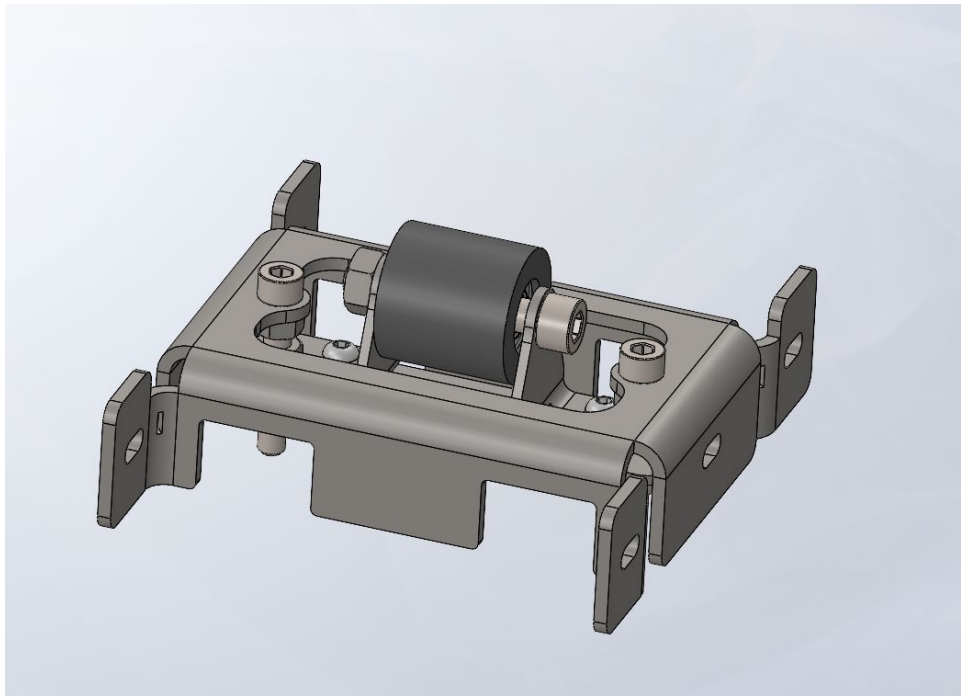


Рисунок 60. Вузол підпору диска ротаційного столу

Для того щоб зрозуміти як діє цей вузол, потрібно розглянути осьовий переріз рис. 61. Ролик з великою товщиною стінки змонтований на 4 підшипника для розподілення ваги, в той же час ця конструкція встановлюється на великий гвинт який працює як вал, для того щоб регулювати висоту, з двох сторін платформи яка утримує ролик, наявні гвинти за допомогою яких можна підняти або опустити всю конструкцію

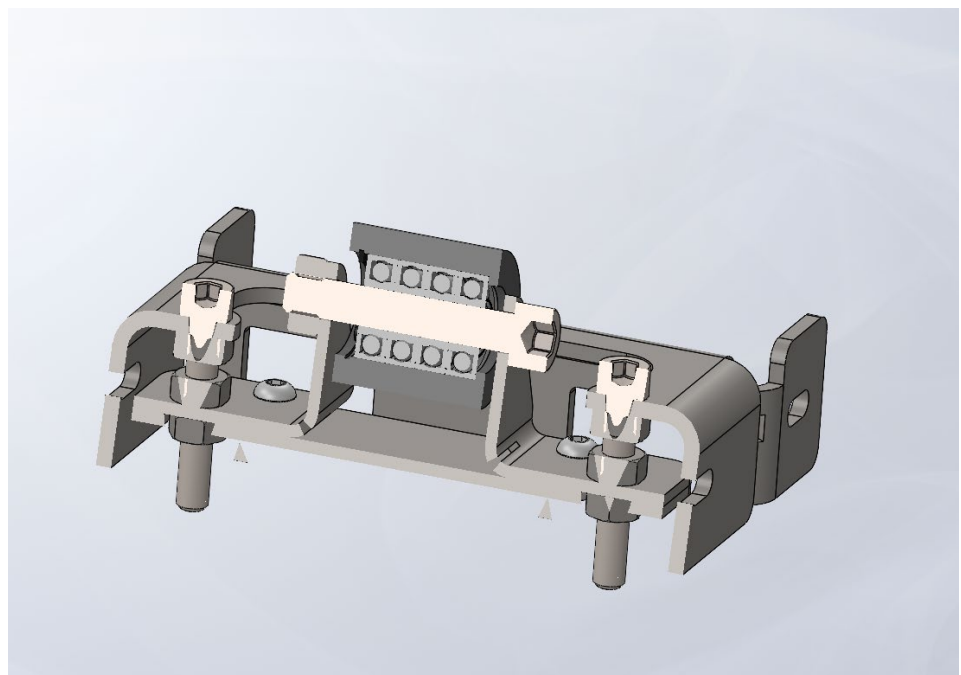


Рисунок 61. Осьовий переріз вузла підпору диска

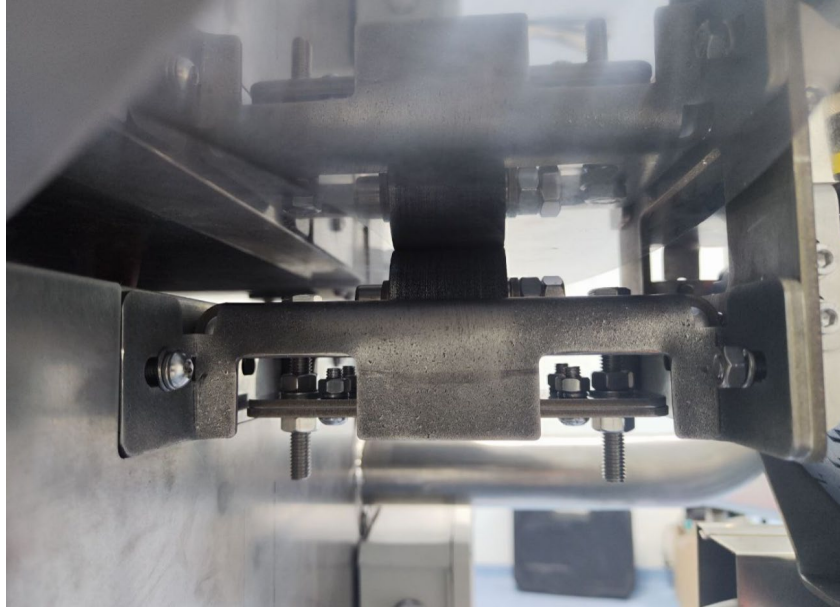


Рисунок 62. Змонтований вузол підпору на обладнанні

Третьою проблемною зоною яка була наявна вже на ротаційному столі, були шляпки гвинтів, які були розташовані з сторони де проходять флакони, за рахунок цього, була можливість того, що один з флаконів впаде, внаслідок чого спрацює ефект доміно, і на поверхні ротаційного столу буде знаходитись критична кількість флаконів які упали, і виникне затор.

Щоб уникнути цього, потрібно було провести повний демонтаж бортів ротаційного столу, замінити всі гвинтові з'єднання, на приварені трубки, які будуть змонтовані на пластикову фурнітуру виробництва Movex рис. 63.



Рисунок 63. Приварені трубки для заміни гвинтових з'єднань

Останнім з зауважень по протоколу SAT, була направляюча для виходу флаконів з ротаційного столу, стара конфігурація рис. 64. була не ефективною, а також в ній часто застрягали флакони. Для того щоб виправити цю проблему, потрібно було повністю переробити цей вузол.

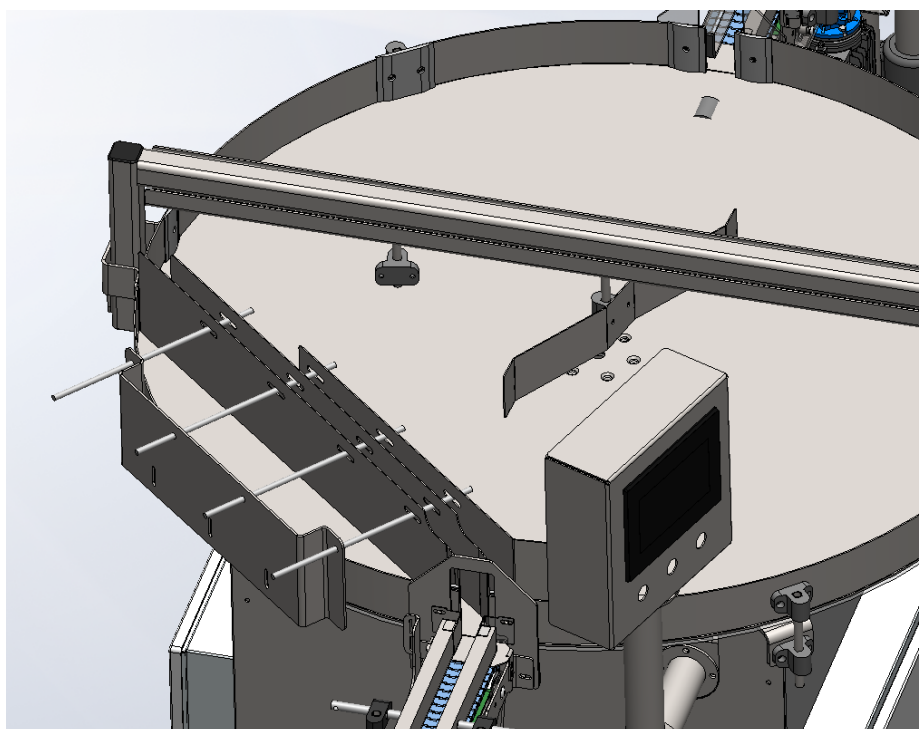


Рисунок 64. Перша конфігурація направляючої виходу флаконів

Внаслідок повної переробки вузла, проблема з застрягаючими флаконами була вирішена, новий вузол це дві направляючі зігнуті по дузі рис. 65., внаслідок чого, рух флаконів став більш плавним і передбачуваним, за час тестів, в цій зоні не було помічено жодного падіння або застрягання флакона, що є знаком того, що оновлений вузол є більш ефективним за старий. Також були проведені тести на всіх форматах флаконів, що підтвердили ефективність цього вузла.

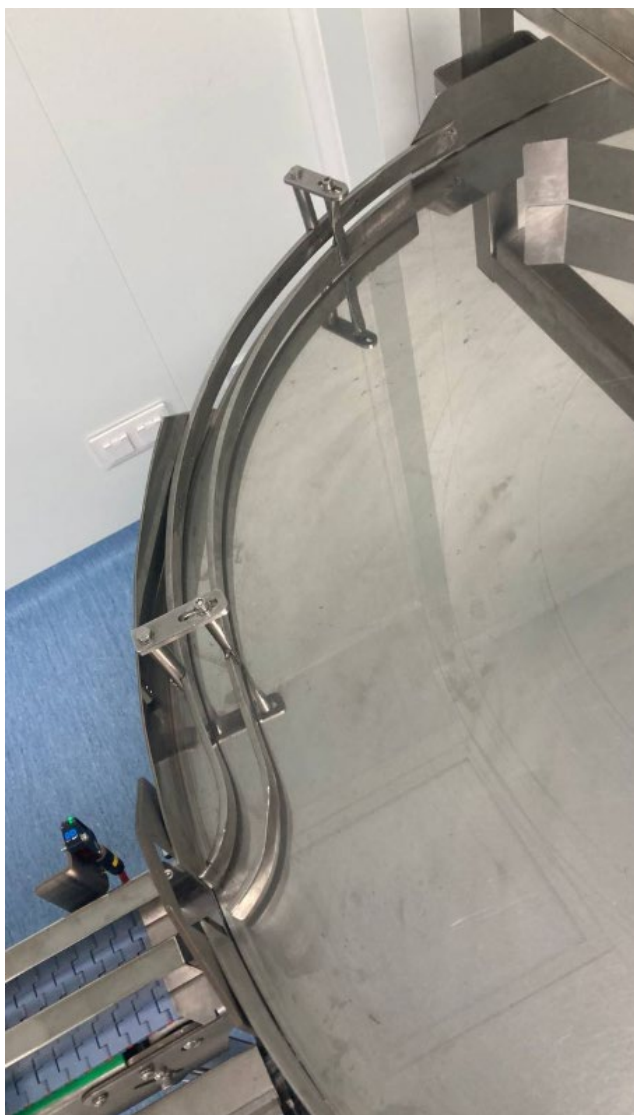


Рисунок 65. Оновлений вузол направляючої флаконів

6. Обробка результатів і обґрунтування рішень проблем

Після проведення декількох циклів тестів з малою партією флаконів за умов коли обладнання було привезено і змонтовано, а також після виправлення проблемних вузлів згідно протоколу SAT і відповідно тестувань з повним циклом виробництва, можна сформулювати результати тестів і подати у вигляді таблиць. Першочергово потрібно розділити лінію, на зони, в яких можуть падати флакони рис. 66.

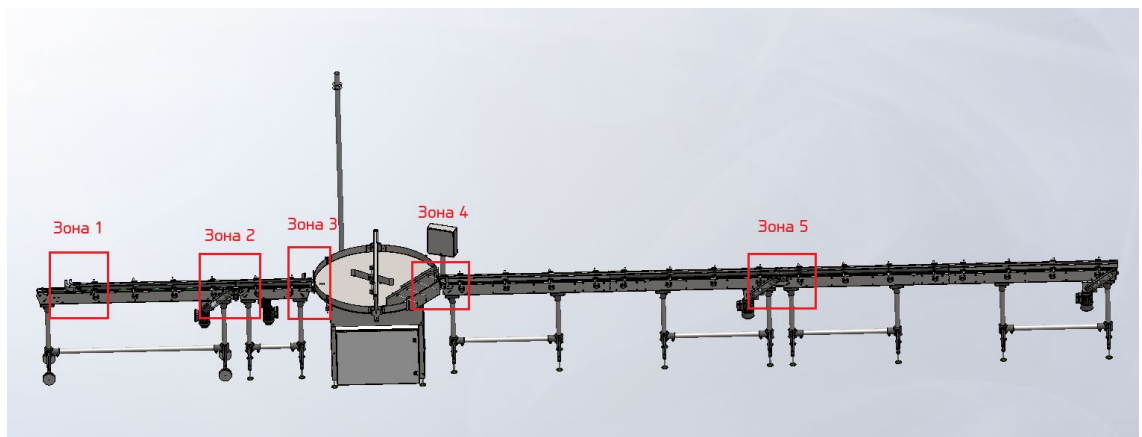


Рисунок 66. Зони де можуть падати флакони

№ Тесту	Зона обладнання	Кількість прогнаних флаконів	%, скільки флаконів не впало
1	Зона 1	200	~95%
2	Зона 1	200	~93%
3	Зона 1	200	~96%
4	Зона 2	200	38%
5	Зона 2	200	25%
6	Зона 2	200	32%
7	Зона 3	200	44%
8	Зона 3	200	38%
9	Зона 3	200	47%
10	Зона 4	200	68%

11	Зона 4	200	60%
12	Зона 4	200	66%
13	Зона 5	200	100%
14	Зона 5	200	100%

Таблиця 5. Тестування з малою кількістю флаконів одразу після монтажу обладнання.

Обробляючи результати перших тестів, одразу видно проблемні зони, найбільш проблемною зоною є Зона 2, також Зона 3, добре себе показала Зона 4, відповідно зона 1 є найменш проблемною, але потрібні додаткові регулювання переходу з машини закупорювання флаконів на транспортер, а в Зоні 5, не потрібно додаткових регулювань, або змін конструкції.

Після того як всі зони були записані в протокол SAT, і внесені правки в конструкцію ножових переходів, виготовлено додаткові вузли, або змінені старі, були проведені ще одні тести, на основі яких було занесено задовільні оцінки що до працездатності лінії.

№ Тесту	Зона обладнання	Кількість прогнаних флаконів	%, скільки флаконів не впало
1	Зона 1	1000	99.7%
2	Зона 2	1000	99.1%
3	Зона 3	1000	99.5%
4	Зона 4	1000	99.3%
5	Зона 5	1000	99.8%

Таблиця 6. Проведення тестів для протоколу SAT

Підбиваючи підсумки, всі додані і заново виготовлені вузли і деталі, добре вплинули на загальну працездатність всієї лінії, порівнюючи тести які проводились після монтажу з тестами які були проведені для протоколу SAT і безпосередньо комісії зі сторони підприємства для якого була виготовлена транспортерна лінія, можна побачити що по окремих зонах, відсоток флаконів

які проходять без падіння, збільшився більш ніж на 60%, що є чудовим показником.

Також потрібно звернути увагу на вузол підпору диску ротаційного столу, завдяки розробленому принципово новому рішенню з поєднанням технології 3D друку і класичною металообробкою, вдалось досягти чудових результатів і вирішити критичну проблему яка базується на тому, що виготовити ідеально рівний диск для ротаційного столу, який буде легким, і не деформуватись через великий діаметр навіть використовуючи композитну конструкцію яка складається з декількох листів різних металів з різною товщиною не тільки технічно, а і технологічно складно. Наслідком цього, є ротаційний стіл з диском діаметром в 1200 міліметрів який має перепад висот на вході і виході, менше аніж 1 міліметр.

7. Висновки

За результатами магістерської роботи зроблено наступні висновки:

- Проаналізовано сучасні аналоги транспортерних ліній, які складаються з конвеєрів а також ротаційних столів. В ході аналізу було виявлено що рідко поєднуються транспортери з ротаційним столом, через велику технічну складність виготовлення;
- Спроектвана, протестована і встановлена на ділянці ліофільного сушіння, транспортерна лінія що включає в себе декілька конвеєрів та ротаційний стіл;
- На основі проведених досліджень, розроблено вузол підпору диску, який повністю вирішив проблему перекосу диску ротаційного столу;
- Інтегровано сучасні методи виготовлення форматних деталей на основі технології 3D друку;
- Проведено процедуру валідації FAT і SAT, що обладнання відповідає всім вимогам технічного завдання, а також нормам GMP.

8. Монтаж, експлуатація та ремонт

Підготовка системи до монтажу:

Перед монтажем потрібно провести зовнішній огляд та перевірити чи не пошкоджені складові частини системи транспортування флаконів (транспортери і ротаційний стіл) під час транспортування на ділянку. Усі роботи слід проводити у приміщеннях технічно підготовлених, з всіма наявними засобами які будуть потрібні для проведення монтажних робіт.

Механічний монтаж і регулювання:

Машина встановлюється на тверду горизонтальну поверхню.

Необхідно встановити всі транспортери і ротаційний стіл на горизонтальну поверхню, відрегулювати висоту і положення кожної одиниці обладнання, щоб горизонтальні площини були паралельними площині підлоги, при цьому всі одиниці обладнання повинні знаходитись на однаковій висоті. Після того як все обладнання відрегульовано по висоті, потрібно вибудувати лінію і жорстко закріпити обладнання один до одного, за допомогою кронштейнів і гвинтових з'єднань.

Експлуатація обладнання:

Всі складові частини системи транспортування флаконів розроблені з урахуванням експлуатації обладнання з робочим графіком 24 години, 7 днів на тиждень на протязі 10 років, за умови своєчасного проходження технічного обслуговування, змащування окремих вузлів, а також дотримання всіх правил з експлуатації наданими компанією-виробником обладнання.

Регламент проведення технічного обслуговування:

Вузол	Операція
Кутовий поворот входу на транспортер	Перевірка пластикових направляючих
Транспортери (всі)	Очищення стрічки
Ротаційний стіл	Регулювання направляючих
Перехідні пластини між конвеєрами	Регулювання висоти
Вся система транспортування	Візуальний огляд зношування

Таблиця. 7. Щоденне технічне обслуговування

Вузол	Операція	Кожні, днів
Ролики	Перевірка зносу	90
Ремені	Перевірка натягу	14
Стрічка	Перевірка зносу	30
Стрічка	Перевірка натягу	7
Електрична система	Перевірка кабелів	14
Система безпеки	Перевірка функціонування всіх кнопок аварійної зупинки	30

Таблиця. 8. Графік технічного обслуговування

9. Охорона праці

Робота з конвеєрами та ротаційними столами є невід'ємною частиною виробничих процесів у багатьох галузях промисловості. Це обладнання значно підвищує продуктивність, але водночас створює низку специфічних небезпек, які вимагають ретельного дотримання правил охорони праці. Основною метою є запобігання травмам, таким як затягування в рухомі

частини, ушкодження кінцівок, удари, падіння та розвиток профзахворювань.

1. Основні небезпеки при експлуатації конвеєрів:

- Зтягування в рухомі частини: Найсерйозніша загроза. Рухомі елементи (привідні барабани, натяжні ролики, з'єднання стрічки) можуть захопити одяг, волосся, руки. Особливо небезпечні зони в точках натягу та входу/виходу стрічки.
- Защемлення в зонах передач: Місця, де стрічка змінює напрямок або проходить під роликами.
- Падіння вантажу з стрічки: Неправильно укладений або перевантажений матеріал може впасти, завдаючи травми.
- Контакт з рухомою стрічкою: Можливі потертості, опіки (при роботі з гарячими матеріалами), поранення, якщо на стрічці є гострі елементи, такі як скло.
- Неізольовані електромеханічні частини: Ризик ураження електричним струмом.

2. Основні небезпеки при роботі з ротаційними столами:

- Защемлення або здавлювання між обертовою частиною столу та нерухомою конструкцією (станиною, порученнями, іншим обладнанням).
- Удар виступаючими елементами деталей або оснастки, закріпленими на столі.
- Травми кінцівок при спробі виправити деталь або взяти її без зупинки столу.
- Ергономічні навантаження через незручне положення тіла під час роботи з обертовою поверхнею.

3. Захисні заходи та організаційні вимоги:

- Огорожі: Усі небезпечні рухомі частини (приводи, ролики, зони затискання) мають бути надійно огорожені стаціонарними або

блокуючими огорожами. Блокування повинно вимикати привод при спробі відкриття.

- Аварійні зупинні пристрої вздовж конвеєра та кнопки аварійного зупину у доступних місцях біля обох видів обладнання.
- Захисні кожухи на гвинтових, ланцюгових передачах ротаційних столів.
- Системи сигналізації (світлові, звукові) про пуск та зупинку.
- Антикотвоне покриття на робочих майданчиках навколо обладнання та на підлозі.
- Чіткі інструкції з охорони праці: Розробка та ознайомлення працівників з посадовими інструкціями, що містять безпечні методи роботи.
- Допуск до роботи: До обслуговування та експлуатації обладнання допускаються лише спеціально навчені працівники, які пройшли первинний та періодичний інструктаж.
- Безпечні процедури: Усі операції з обслуговування, очищення, усунення заклинювання (наприклад, заклинилої деталі на конвеєрі) проводяться виключно після повної зупинки обладнання та блокування його від випадкового пуску. Це найважливіше правило.
- Плановано-запобіжні огляди та ремонти обладнання.

Список використаної літератури

1. Технологічне обладнання фармацевтичної та біотехнологічної промисловості [Текст] : підручник / С. Т. Стасевич, А. О. Милянч, Л. С. Стрельников та ін. ; Нац. ун-т "Львів. політехніка", Нац. фармац. унт. — Львів : Новий світ-2000, 2017. — 500 с. 2.
2. Ванін В.В. Комп'ютерна інженерна графіка в середовищі AutoCAD / В.В. Ванін В.В. Перевертун, Т.М. Надкернична. — К.: Каравелла, 2006.— 334 с.
3. Охорона праці у фармацевтичній галузі [Текст] : навч. посіб. / О. В. Жуковіна, О. І. Зайцев, О. І. Жуковін, Г. А. Грецька. — К. : Медицина, 2009. — 432 с.
4. Федулова, І. В., Кундєєва, Г. О. Інноваційний потенціал підприємства. Київ: МВЦ «Медінформ», 2012.
5. Обладнання технологічних процесів фармацевтичних та біотехнологічних виробництв : навч. посібн. / М.В. Стасевич, А. О. 111 Милянч, І. О. Гузьова [та ін.] ; за ред. В. П. Новікова. — Вінниця : Нова Книга, 2012. — 408 с.
6. Настанови (діюча редакція). «Лікарські засоби. Належна виробнича практика»
7. Основи охорони праці [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів освітнього ступеня «бакалавр» денної та заочної форм навчання / В. С. Гуць, С. Д. Коваленко, О. В. Євтушенко та ін. — К. : НУХТ, 2016. — 97 с.
8. Штефан Є. В., Наукове обґрунтування вибору раціональних конструктивно-технологічних параметрів процесів і обладнання харчових та фармацевтичних виробництв [Текст] : автореф. дис.д-ра техн. наук: 05.18.12 / Є. В. Штефан ; НУХТ. — К., 2011.
9. Основи технічного сервісу транспортних засобів : навч. посіб. / Є. Ю. Форнальчик, Р. Я. Качмар ; М-во освіти і науки України,

Нац. ун-т "Львів. політехніка". – Львів : Вид-во Львів. політехніки, 2014. – 304 с. : іл. – Бібліогр.: с. 301 (10 назв). – ISBN 978-617-607-582-0

10. Сидоров Ю. І. Процеси і апарати хіміко-фармацевтичної промисловості [Текст] : навч. посіб. / Ю. І. Сидоров, В. І. Чуєшов, В. П. Новіков. — Вінниця : Нова книга, 2009. — 816 с.
11. Бабанов, Ігор Геннадійович. Монтаж, ремонт та експлуатація обладнання: практикум з дисципліни для студентів напряму 6.050503 "Машинобудування" професійного спрямування "Обладнання переробних і харчових виробництв" (Обладнання м'ясо-молочних виробництв) денної та заочної форм навчання / І. Г. Бабанов, В. М. Таран, О. І. Бабанова ; Нац. ун-т харч. технол. — К. : НУХТ, 2013. — 66 с. — каф. машиш і апаратів харчових та фармацевтичних виробництв.
12. В.І. Теличкун, О.М. Гавва, Ю.С. Теличкун, О.О. Губеня, М.Г. Десик, О.М. Чепелюк. Технологічні комплекси харчових виробництв: Навчальний посібник / Київ: Видавництво «Сталь», 2017. 456 с.
13. Кіселева Т.В., Михайлов В.Г. Методи оцінки і управління екологоекономічними ризиками як механізм забезпечення стійкого розвитку екологоекономічної системи: Системи управління та інформаційні технології, 2018. № 2. 69-74 с
14. Конструювання та технологія виробництва техніки реєстрації інформації: У 3-х кн. Кн. 2. Основи конструювання: Навчальний посібник / Є. М. Травніков, В. С. Лазебний, Г. Г. Власюк, В. В. Пілінський, В. М. Співак, В. Б. Швайченко. За загальною редакцією В. С. Лазебного – К.: «КАФЕДРА», 2015. – с.: іл. ISBN 966-8934-05-9 (кн. 1)

15. Сірий О.М., Шестеренко В.Є. Розрахунки при проектуванні та реконструкції систем електропостачання промислових підприємств: Навч. посібник – К.: ІСДОУ, 1993 – 592 с.
16. Правила улаштування електроустановок. – Видання офіційне. Міненерговугілля України. Х.: Видавництво «Форт», 2017. 760 с.

Додаток А

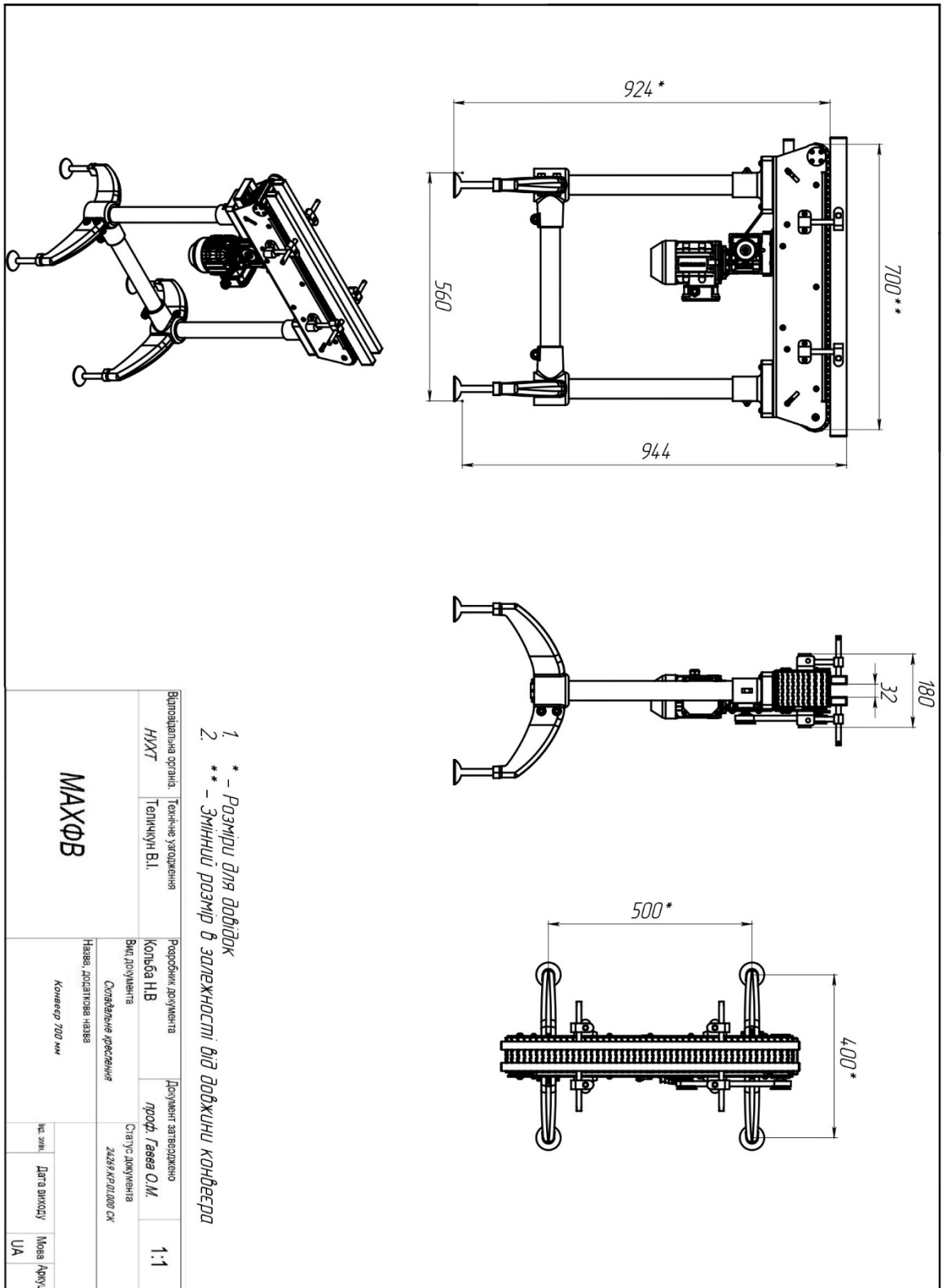


Рисунок А.1. Конвеєр 700 мм

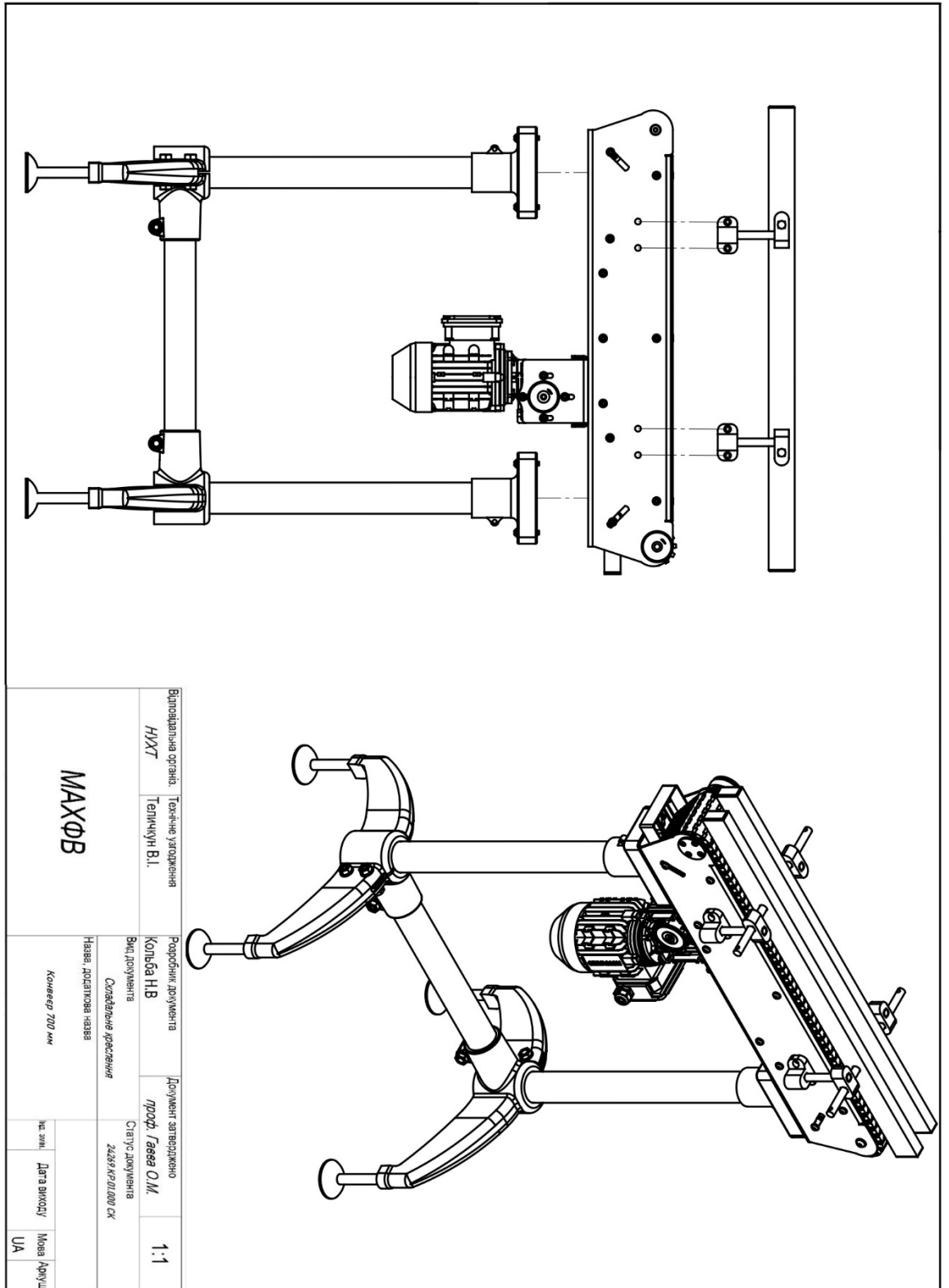
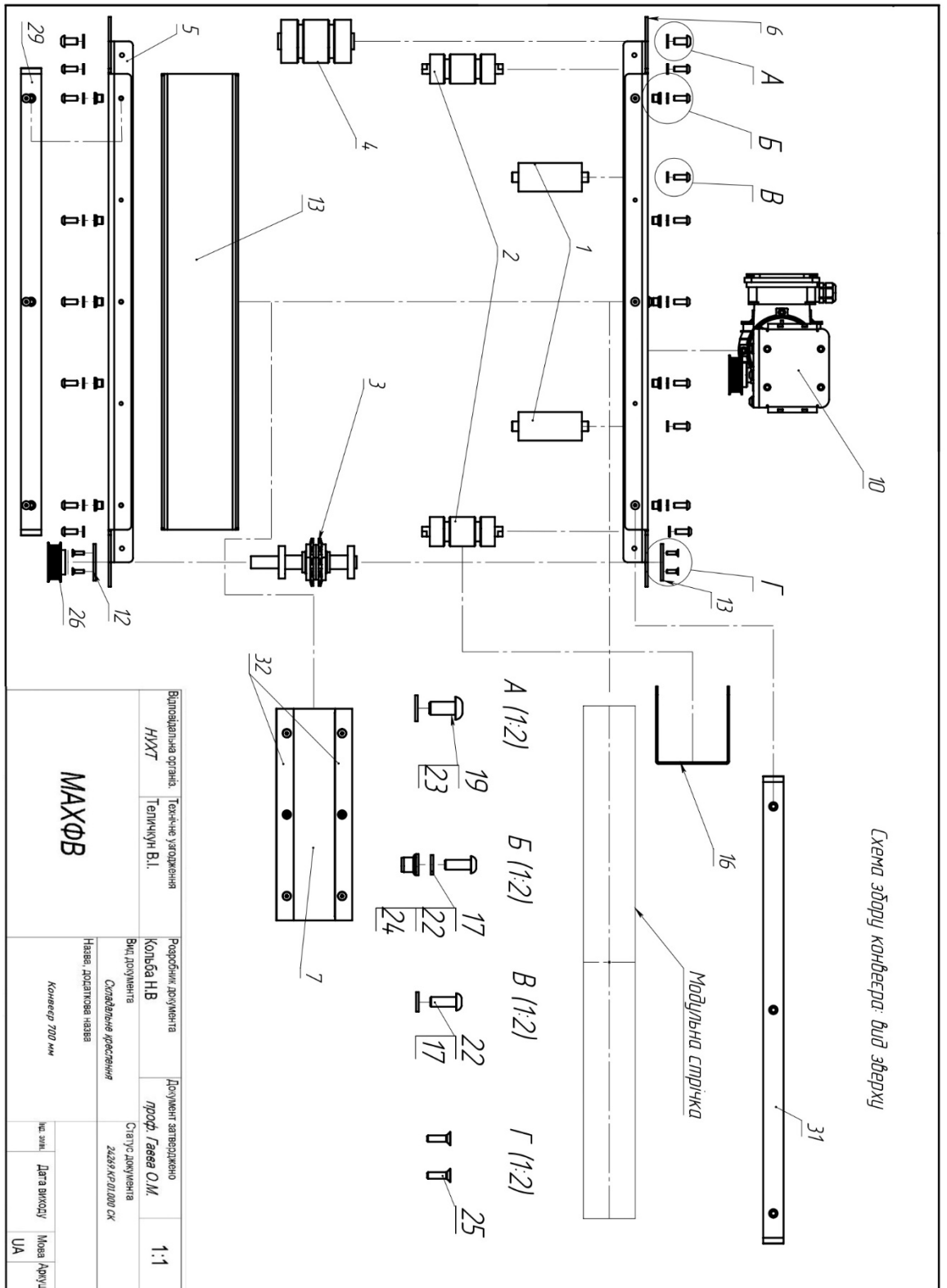
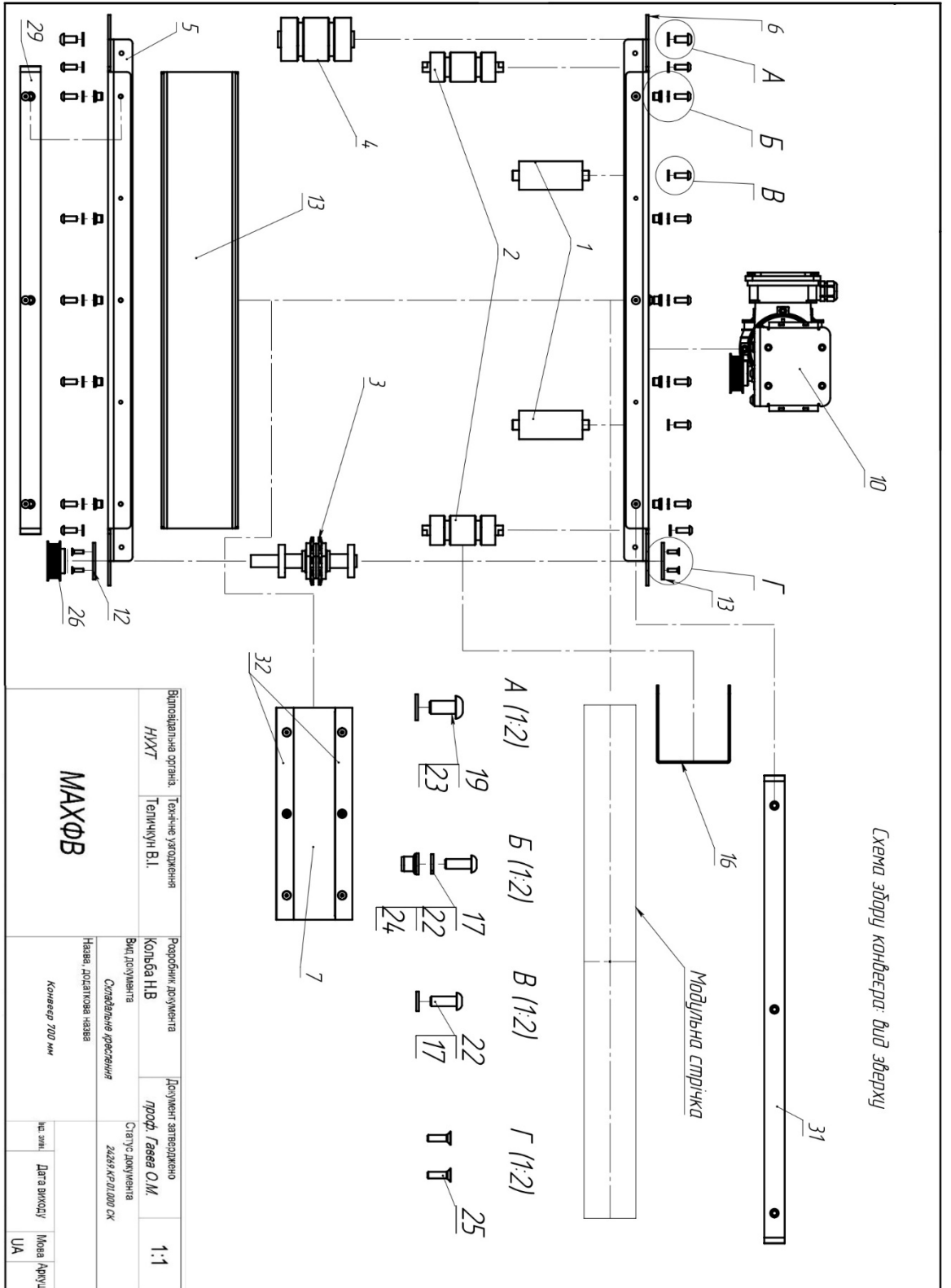


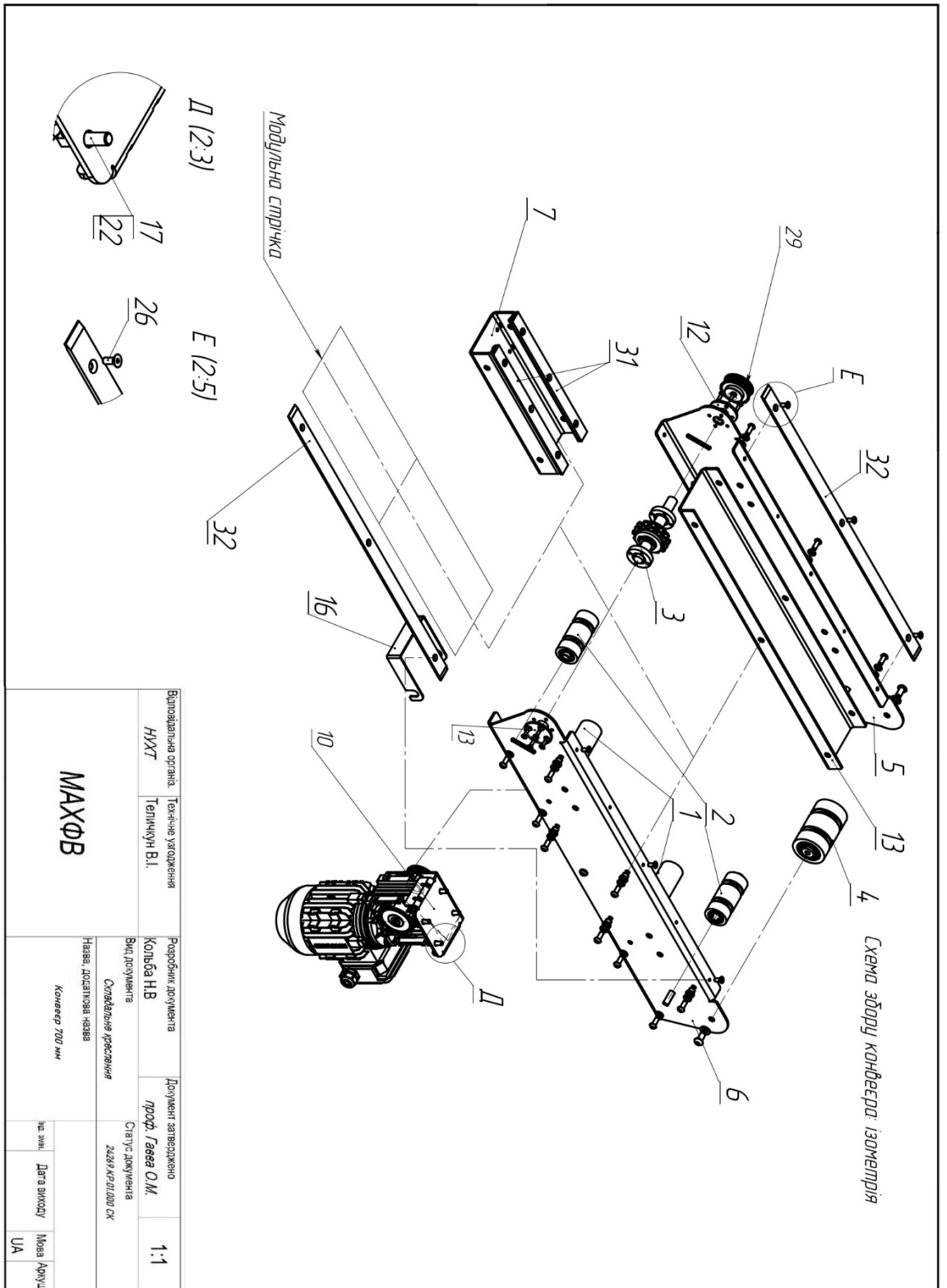
Рисунок А.2. Конвеєр 700 мм



Додаток А.3. Конвеєр 700 мм

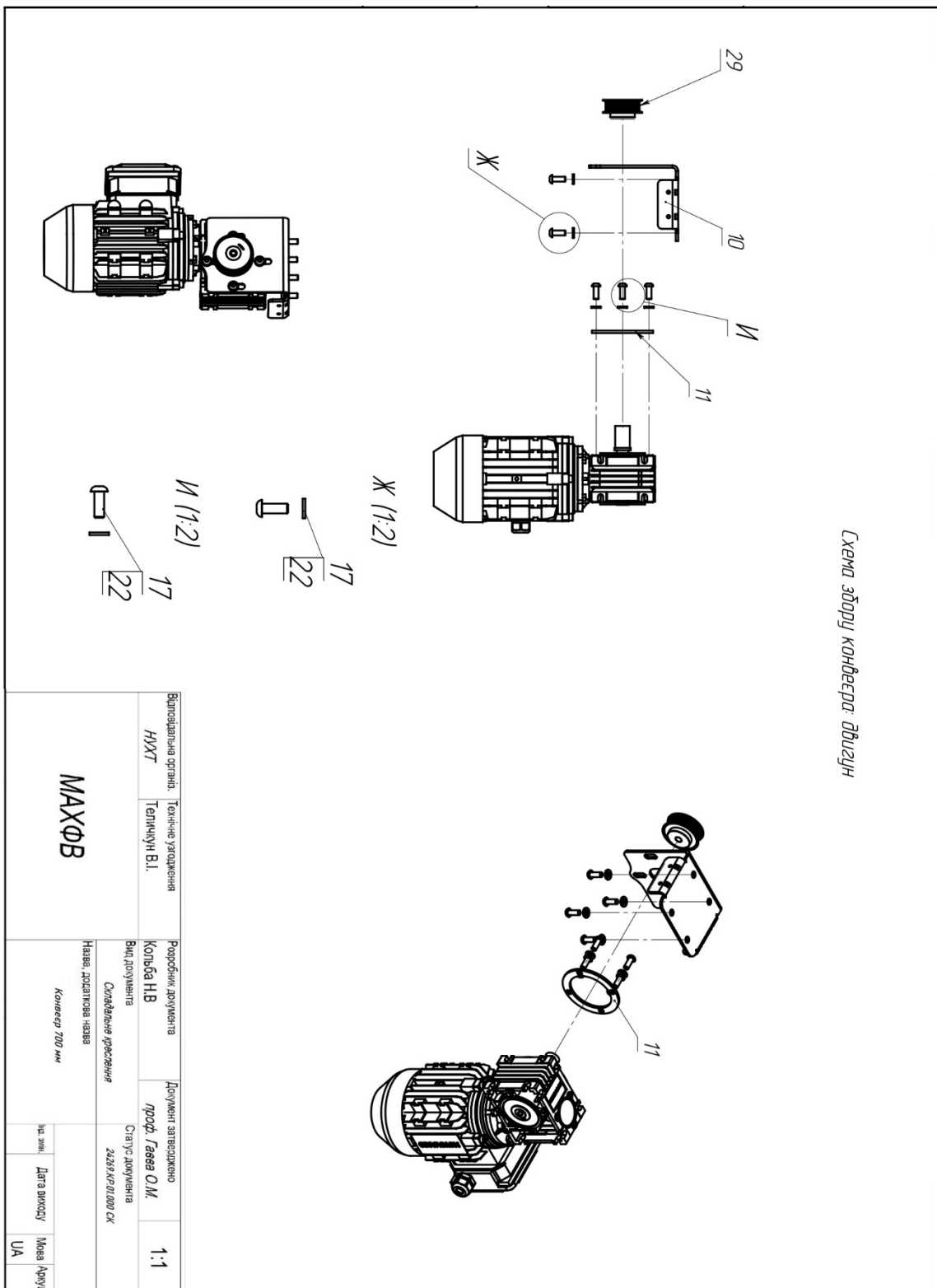


Додаток А.4. Конвеєр 700 мм



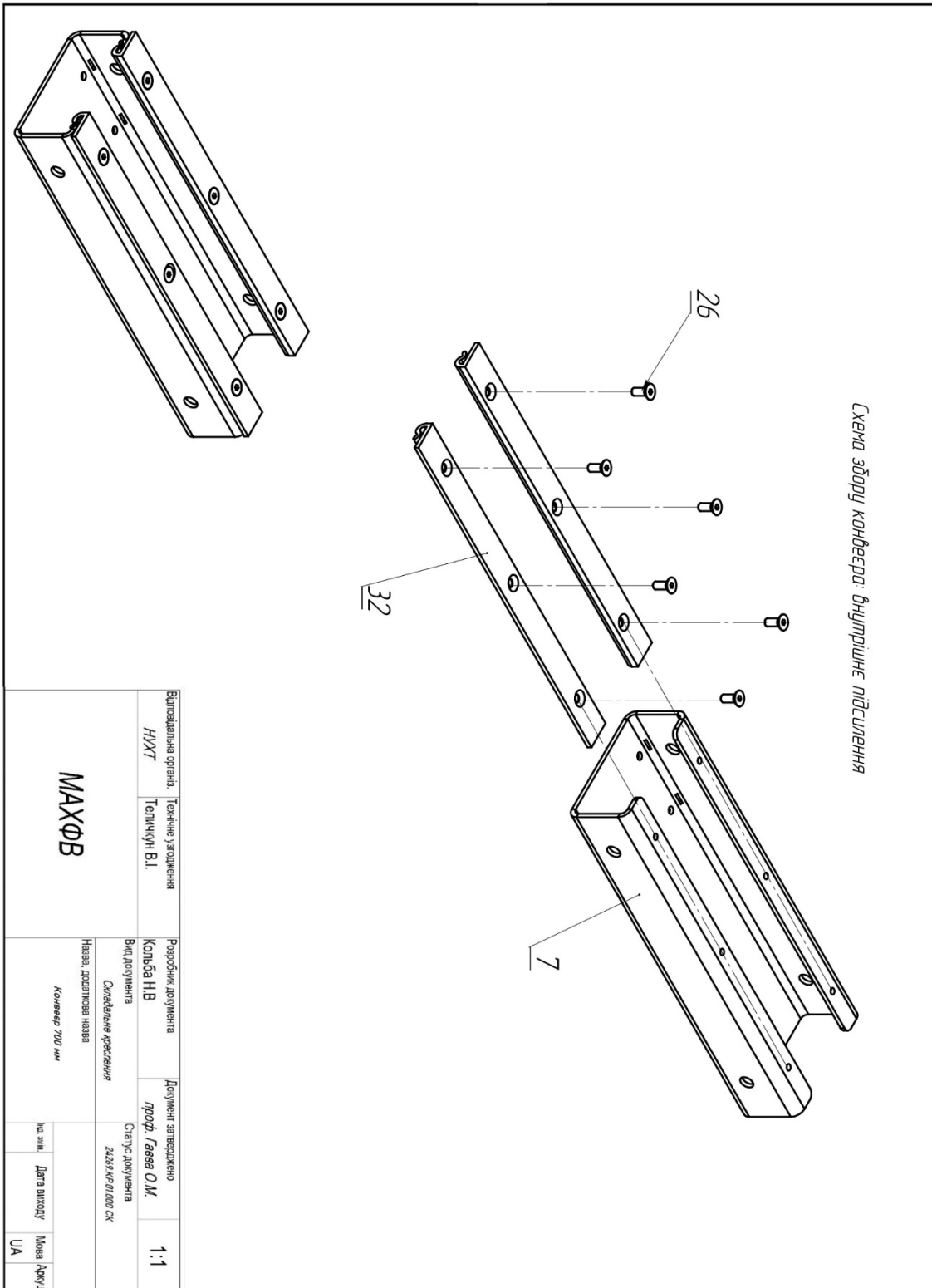
Додаток А.5. Конвеєр 700 мм

Схема збору конвеєра: двигун



Додаток А.6. Конвеєр 700 мм

Схема збору конденсера: внутрішнє підсилення



Виробничий орган:		Технічне узгодження		Документ затверджено	
МУХТ		Темішкін В.І.		проф. Гавва С.М.	
МАХФВ		Кольба Н.В.		Статус документа	
		Вид документа		240269.КР.01.000 СК	
		Назва, додаткова назва			
		Складальне креслення			
		Конвектор 700 мм			
		№ змін.		Дата видання	
		UA		UA	

Додаток А.7. Конвектор 700 мм

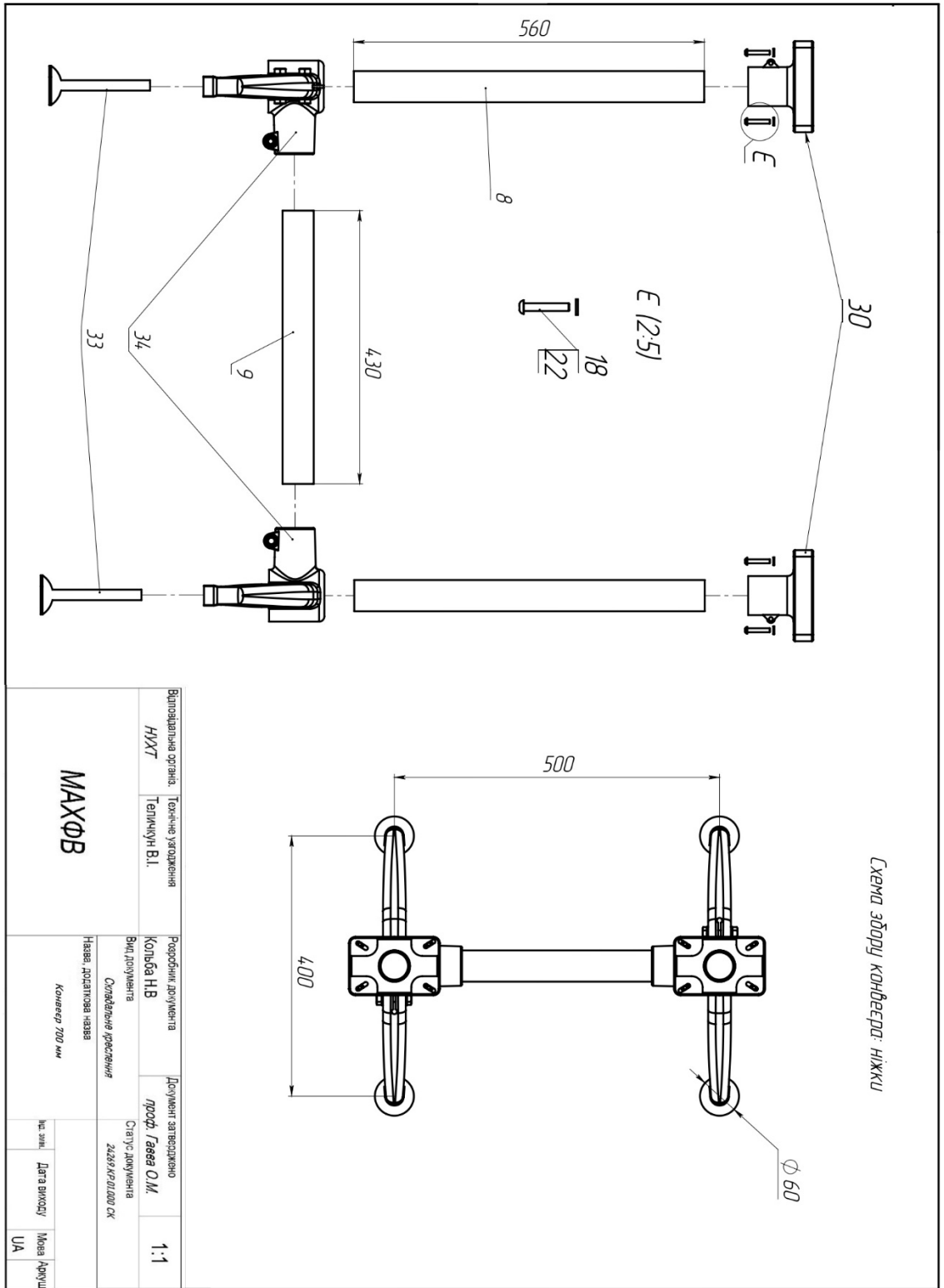


Схема збору конденсера: ніжки

Додаток А.8. Конвеєр 700 мм

Випробувальний орган:	Технічне управління	Резервний документ:	Документ затверджено:	Мас. змін.	Дата видання	Мова
НИХТ	Тепличин В.І.	Кольба НВ	проф. Гаєва О.М.			Українська
		Вид документа:	Святе доулення			UA
		Спеціальне ярвлення	24269.КР.01.000 СК			
		Назва, додаткова назва				
		Конвеєр 700 мм				

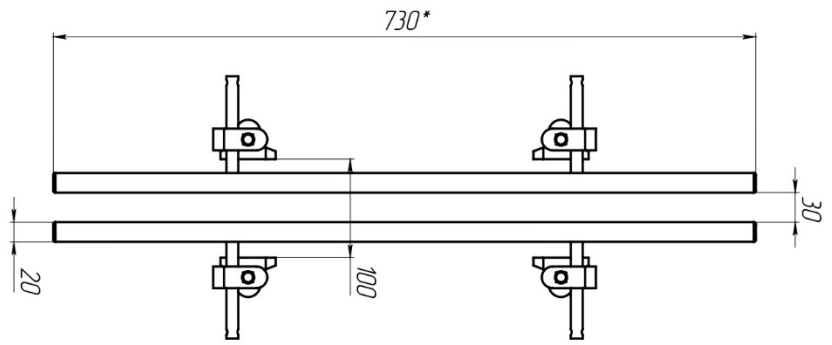
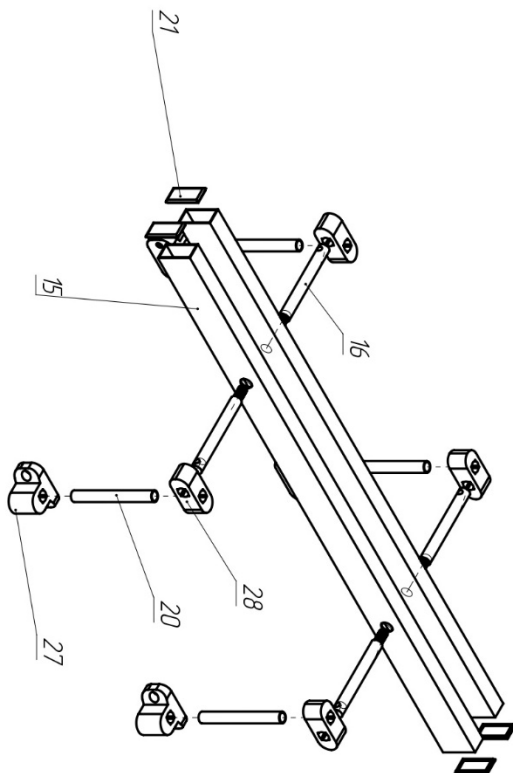


Схема зборки конденсера: Дорілки



Виробничий орган:	Технічне виконання	Розробник документа	Документ затверджено	Масштаб:	1:1
МУХТ	Теліччун В.І.	Кольба Н.В.	проф. / акад. О.М.	Чис. змін:	
		Вид документа	Статус документа	Дата виходу	Мова Аркуш
		Складальне креслення	24269.КР.01.000 СК		UA
МАХФВ		Назва, додаткова назва	Конвеєр 700 мм		

Додаток А.8. Конвеєр 700 мм

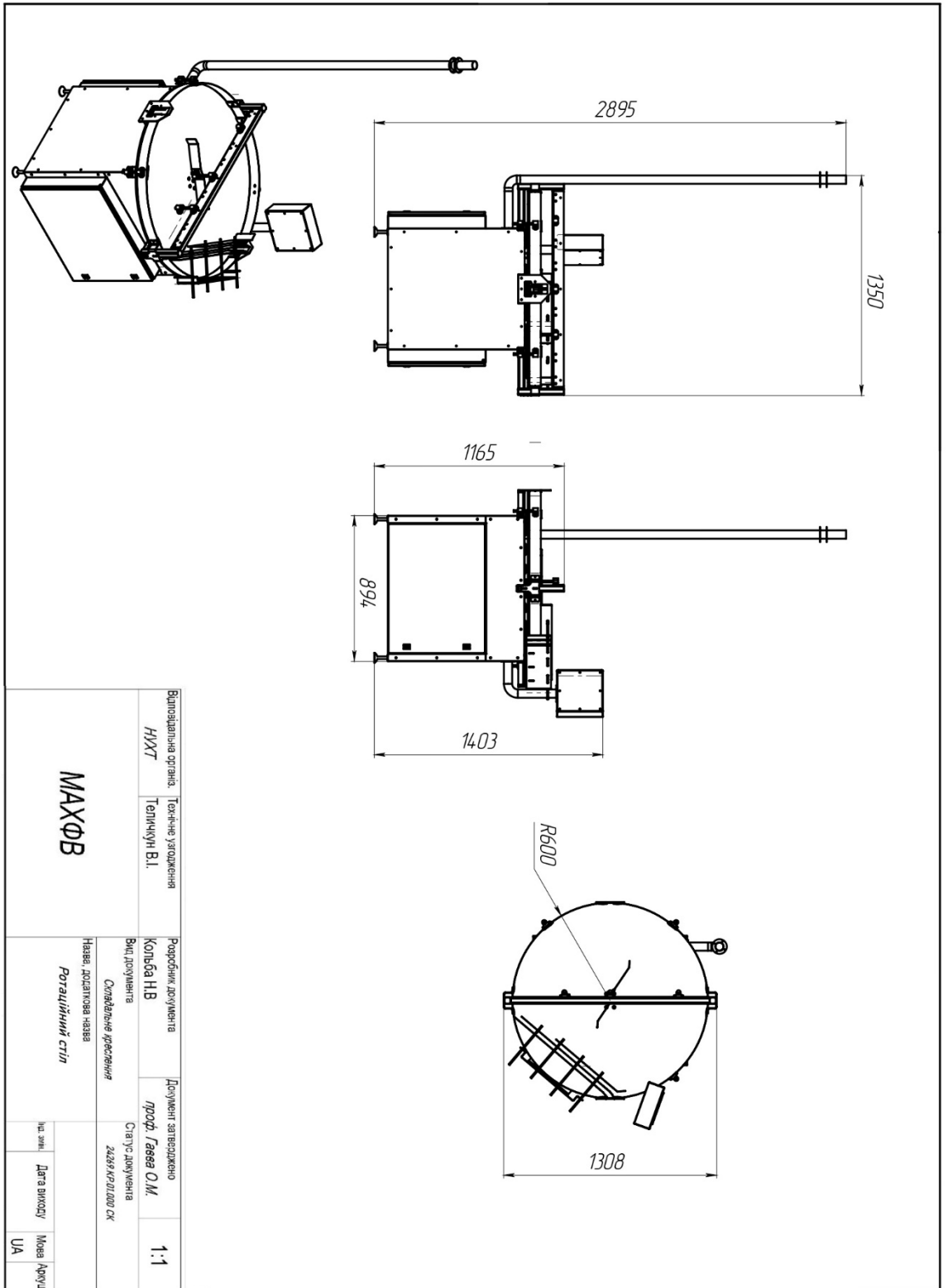
Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
			<i>EXM.001.00.000СБ</i>	<i>Сборочний чертеж</i>		
				<u>Складальні одиниці</u>		
A2		1	<i>EXM.001.01.000</i>	<i>Вузол роликів</i>	2	
A2		2	<i>EXM.001.02.000</i>	<i>Вузол натягуючих роликів</i>	2	
A2		3	<i>EXM.001.03.000</i>	<i>Вузол зірочки</i>	1	
A2		4	<i>EXM.001.04.000</i>	<i>Вузол барабана</i>	1	
				<u>Деталі</u>		
A3		5	<i>EXM.001.00.001</i>	<i>Бік корпусу</i>	1	
A3		6	<i>EXM.001.00.001</i>	<i>Бік корпусу</i>	1	
A4		7	<i>EXM.001.00.002</i>	<i>Підсилення</i>	1	
		8	<i>EXM.001.00.004</i>	<i>Труба 48.3 x 2</i>	2	560 мм
		9	<i>EXM.001.00.004</i>	<i>Труба 48.3 x 2</i>	1	430 мм
A4		10	<i>EXM.001.00.005</i>	<i>Кронштейн двигуна</i>	1	
A4		11	<i>EXM.001.00.007</i>	<i>Шайба двигуна</i>	1	
A4		12	<i>EXM.001.00.008</i>	<i>Заглушка</i>	1	
A4		13	<i>EXM.001.00.011</i>	<i>Заглушка М</i>	1	
A4		14	<i>EXM.001.00.012</i>	<i>Підсилення(А)</i>	1	
		15		<i>Труба 40x20</i>	2	730 мм
A4		16	<i>EXM.001.00.014</i>	<i>Ручка</i>	2	
Відповідальна організація			Технічне узгодження	Розробник документа	Документ затверджено	Масштаб
			<i>Теличкун В.І</i>	<i>Кольба Н.В.</i>	<i>Габба О.М.</i>	1:1
Власник документа				Вид документа	Статус документа	
МАХФВ				<i>Специфікація</i>		
				Назва, додаткова назва	<i>240269.КР.01.000 СК</i>	
				Інд. змін	Дата видання	Мова
						<i>UA</i>
						Аркуш
						<i>1/1</i>

Додаток А.9. Специфікація до конвеєра 700 мм

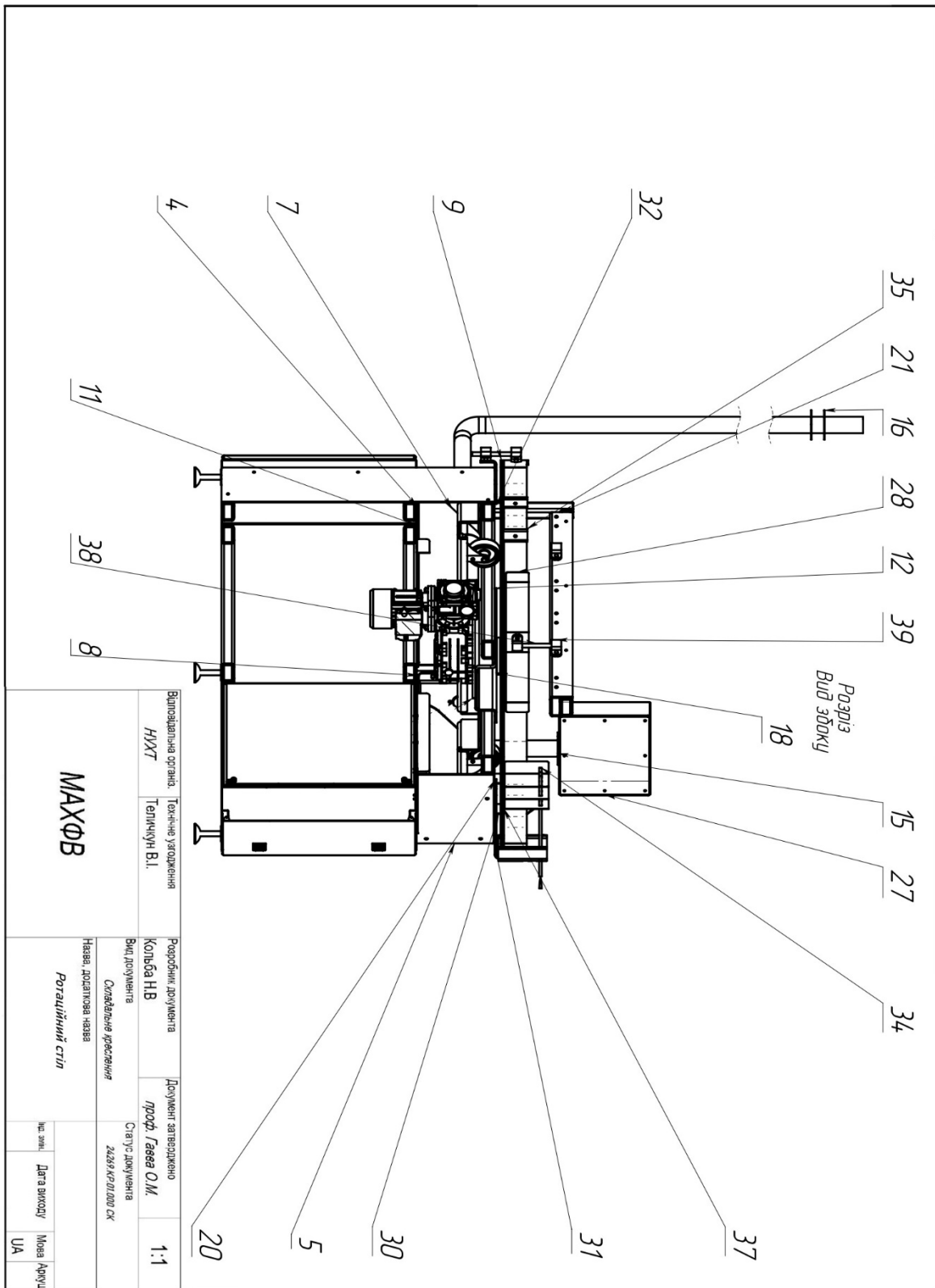
Формат Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки		
	16		Держатель NO6A	4			
			<i>Стандартні вироби</i>				
	17		1 винт ISO 7380-1 M6-16 A2-70	35			
	18		1 винт ISO 7380-1 M6-35 A2-70	8			
	19		1 винт ISO 7380-1 M8-16 A2-70	2			
A4	20	EXM.001.00.009	Трубка 12 x 1.2	4	110 мм		
	21		Заглушка 40x20	4			
	22		Шайба M6 A2-70 DIN125	35			
	23		Шайба M8 A2-70 DIN125	2			
	24		1 айка клеп.пот. RFr97M10 A2-70 M6x15 пакет 0.5	18			
	25		1 винт ISO 7991 M4 x 12 A2-70	8			
	26		1 винт ISO 7991 M5x10 A2-70	12			
	27		Хрестообразний блок NO2 A P37802	4			
	28		Хрестообразний блок NO1 A 38201	4			
			<i>Інші вироби</i>				
	29		Шків 21ST527	2			
	30		Верхнє кріплення ноги	2			
24269.KP.01.000 СК				Інд. змін.	Дата видання	Мова ua	Аркуш 2

Додаток А.10. Специфікація до конвеєра 700 мм

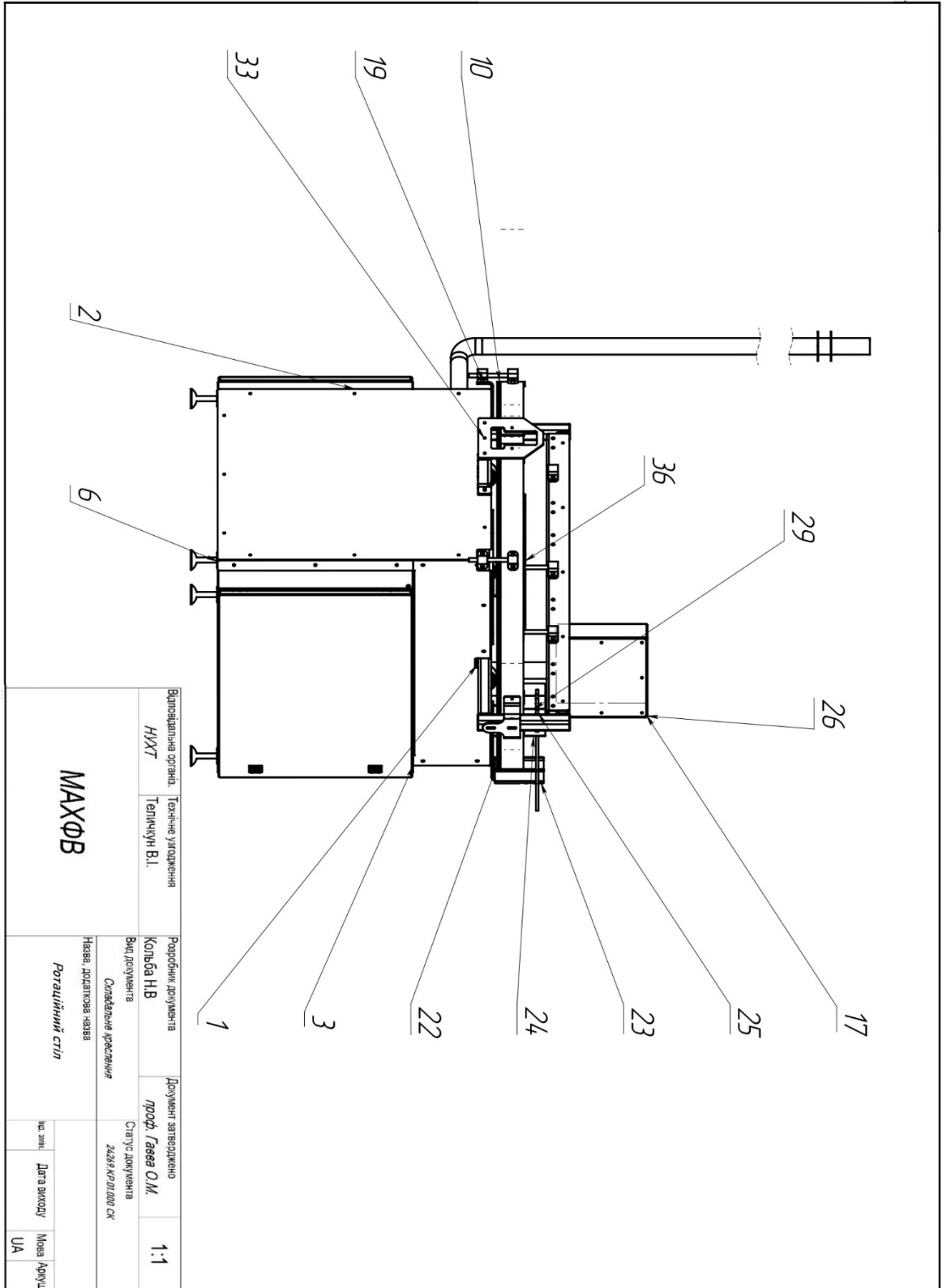
Додаток Б



Додаток Б.1. Ротаційний стіл



Додаток Б.2. Ротаційний стіл



Виповідальний орган:		Технічне узгодження		Розробник документів		Документ затверджено	
НИХТ		Телішчун В.І.		Кольба НВ		проф. Гаєва О.М.	
		Вид документа		Назва документа		Статус документа	
				Складальне креслення		24269.КР.01.000 СК	
		Назва деталі/назва		Назва документа		Дата видоду	
		Ротаційний стіл		МАХФВ		Мова друку	
						UA	
						1:1	

Додаток Б.3. Ротаційний стіл

Формат	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Примітки
				<u>Документація</u>		
			<i>EXM.002.00.000-1CB</i>	<i>Сборочный чертеж</i>		
				<u>Складальні одиниці</u>		
				<u>Деталі</u>		
A4		1	<i>EXM.002.00.001</i>	<i>Кронштейн коліс</i>	4	
A4		2	<i>EXM.002.00.002</i>	<i>Кришка А</i>	1	
A4		3	<i>EXM.002.00.002-1</i>	<i>Кришка А</i>	1	
A4		4	<i>EXM.002.00.003</i>	<i>Кришка Б</i>	1	
A4		5	<i>EXM.002.00.003-1</i>	<i>Кришка Б</i>	1	
A4		6	<i>EXM.002.00.004</i>	<i>Кришка В</i>	4	
A4		7	<i>EXM.002.00.005</i>	<i>Косинка</i>	1	
A4		8	<i>EXM.002.00.005-1</i>	<i>Косинка</i>	1	
A4		9	<i>EXM.002.00.006</i>	<i>Диск 1200 ал</i>	1	
A4		10	<i>EXM.002.00.006-1</i>	<i>Диск 1200 нж</i>	1	
A4		11	<i>EXM.002.00.007</i>	<i>Лоток проводів</i>	2	
A4		12	<i>EXM.002.00.008</i>	<i>Кронштейн двигуна М</i>	1	
Відповідальна організація		Технічне узгодження		Розробник документа	Документ затверджено	
		<i>Теличкун В.І.</i>		<i>Кольба Н.В.</i>	<i>Габба О.М.</i>	
Власник документа		Вид документа		Статус документа		
МАХФВ		Специфікація		240269.KP.01.000 СК		
		Назва, додаткова назва		Інд. змін.	Дата видання	Мова
						UA
						1/1

Додаток Б.4. Специфікація до ротаційного столу