

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

(підпис) Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)
“ ____ ” _____ 2026 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
(ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ БАКАЛАВРА)
на тему РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ
ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕНЬ

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Володимир БУЛГАКОВ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Ph.D
(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Олександр СПОДОБА
(ПІБ)

Виконала

(підпис)

Анастасія ЧЕРКАС
(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

Д.Т.Н., професор _____ Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)
“ _____ ” _____ 2026 р.

З А В Д А Н Н Я

**на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту
(на виконання дипломного проєкту бакалавра студенту)**

Черкас Анастасія Вікторівна

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра) **РОЗРОБКА
КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ПОШТОВИХ ВІДДІЛЕНЬ**

затверджена наказом ректора НУБіП України від “15” квітня 2026 р. №1044 «С»

Термін подання завершеної роботи (проєкту) на кафедру 2026 червня 01

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проєкту бакалавра)

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій роботизованих ліній для поштових відділень
2. Розглянути перспективи створення нових конструкцій роботизованих ліній для поштових відділень
3. Провести розрахунки для розробки конструкції роботизованої лінії
4. Розглянути питання охорони праці
5. Виконати розрахунок економічної ефективності.

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Загальний вид
2. Складальне креслення
3. Деталі

Дата видачі завдання “16”квітня 2026 р.

**Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи
(Керівник дипломного проєкту бакалавра)**

(підпис)

Олександр СПОДОБА
(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Анастасія ЧЕРКАС
(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СУЧАСНИХ ПОШТОВИХ ТА СОРТУВАЛЬНИХ СИСТЕМ.....	8
1.1 Огляд організації роботи поштових відділень.....	8
1.2 Аналіз існуючих систем автоматизації сортування.....	10
1.3. Недоліки існуючих рішень та напрямки їх удосконалення.....	14
РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ.....	18
2.1. Загальна структура роботизованої лінії.....	18
2.2. Розрахунок потужності та вибір приводного двигуна.....	20
2.3. Вибір черв'ячного редуктора	25
2.4. Розрахунок відкритої ланцюгової передачі	26
2.5. Розрахунок фрикційної передачі.....	32
2.6. Розрахунок пружин притискання ведучого диску до веденого ролика підвищуючої фрикційної передачі.....	35
2.7. Розрахунок пружини притискання веденого диску до ведучого ролика фрикційної передачі.....	39
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	44
3.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів.....	44
3.2. Заходи з охорони праці.....	45
3.3. Електробезпека.....	46
РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....	49
4.1. Вихідні данні для розрахунку економічної ефективності.....	49
4.2. Розрахунок капітальних витрат.....	49
4.3. Розрахунок витрати на оплату праці.....	50

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розроб.	Черкас А.В.				Зміст			
Перевір.	Сподоба О.О							
Н. контр.								
Затверд.					НУБіП України			

4.4. Розрахунок витрат на електроенергію.....	50
4.5. Розрахунок амортизаційних відрахувань та витрат на обслуговування.....	51
4.6. Розрахунок річного економічного ефекту.....	51
4.7. Розрахунок строку окупності.....	52
4.8. Розрахунок коефіцієнту економічної ефективності капіталовкладень.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ.....	57

РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота бакалавра, тема якої: “РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ ДЛЯ ПОШТОВИХ ВІДІЛЕНЬ” складається з чотирьох (4) розділів, що розміщені на п'ятдесяти восьми (58) сторінках друкованого тексту, дванадцяти (12) рисунків, семи (7) таблиць, висновків, тридцять одному (31) літературному джерелу і додатків до графічної частини.

В першому розділі бакалаврської кваліфікаційної роботи розглянуто організацію процесу сортування, конструкції існуючих прототипів сортувальних систем. Наведено їх характеристики.

В другому розділі роботи наведено загальну структуру роботизованої лінії. Проведено розрахунок потужності та вибір приводного двигуна, вибір черв'ячного редуктора, розрахунок відкритої ланцюгової передачі, розрахунок фрикційної передачі та розрахунок пружин притискання ведучого та веденого диску до ролика фрикційної передачі.

В розділі охорона праці розглянуто вимоги до безпечної роботи на сортувальній лінії, а саме проаналізовано небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Наведено заходи з охорони праці та електробезпеки.

Також в бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано розрахунок економічної ефективності розробки нової конструкції сортувальної лінії для поштових відділень.

Ключові слова: сортування, сортувальна лінія, дивертор, конвеєр, сортувальний процес, сортувальна система, роботизація.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розроб.	Черкас А.В.							
Перевір.	Сподоба О.О							
Н. контр.								
Затверд.								
					Лім.			Аркуш
								Аркушів
								5
								58
					Реферат			
					НУБіП України			

ВСТУП

Сучасний етап розвитку світової економіки характеризується дуже стрімким зростанням обсягів електронної комерції. З кожним роком кількість онлайн-покупок невідпинно збільшується, що створює велике навантаження на логістичні центри та мережі поштових операторів.

Оперативність доставки вантажів, посилок та листів стала ключовим фактором конкурентоспроможності на ринку. Споживачі прагнуть отримання посилок у найкоротші терміни, що в свою чергу змушує поштові служби шукати нові шляхи підвищення продуктивності своєї діяльності.

Традиційні методи обробки посилок, які базуються на використанні ручної праці, вичерпали свій потенціал ефективності. Ручне сортування, зважування, сканування та переміщення вантажів у межах поштового відділення супроводжуються великими часовими затримками. Окрім того, висока інтенсивність праці неминує призводить до помилок, зумовлених людським фактором, а саме неправильного розподілу посилок за напрямками, пошкодження крихких вантажів через необережність та втоми робітників під час нічних змін.

Єдиним ефективним інструментом подолання вище перелічених недоліків є комплексна роботизація виробничих процесів. Насамперед впровадження роботизованих комплексів дозволяє виключити людський фактор з монотонних та важких операцій.

Розробка конструкції роботизованої лінії для поштових відділень є надзвичайно актуальним науково-технічним завданням. Вона дозволяє суттєво підвищити продуктивність відділень, забезпечити безперервний цикл роботи у цілодобовому режимі. Відповідно можна знизити собівартість обробки кожної одиниці вантажу та підвищити якість надання логістичних послуг в загальному

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розроб.	Черкас А.В.							
Перевір.	Сподоба О.О							
Н. контр.								
Затверд.								
					Лім.			Аркушів
								58
					НУБіП України			

випадку.

Питанням автоматизації логістичних та поштових процесів присвячено багато сучасних досліджень як в Україні, так і за кордоном. Провідні світові оператори та машинобудівні компанії активно впроваджують високошвидкісні конвеєрні системи, матричні сортувальники та автоматизовані системи зберігання. Великі сортувальні центри оснащуються промисловими роботами-маніпуляторами та парками мобільних роботів, які в свою чергу переміщують вантажі по території терміналів.

Проте аналіз існуючих технічних рішень свідчить про те, що більшість сучасних промислових розробок орієнтовані виключно на великі логістичні центри з великими площами та великим потоком посилок на добу. Водночас невеликі міські поштові відділення малого та середнього розмірів залишаються практично поза процесами роботизації. Наявне на ринку обладнання є занадто громіздким та дорогим. Крім того, залишаються недостатньо вивченими питання створення універсальних, компактних і модульних роботизованих конструкцій, які можуть легко масштабуватися та адаптуватися під специфіку конкретного технологічного процесу сортування посилок.

З огляду на вище перелічене, метою даної роботи є розробка оптимальної конструкції роботизованої лінії, призначеної для автоматизації поштових відділень. Розробка конструкції базується на принципах модульності, гнучкості та простоти технічного обслуговування. Це дасть можливість експлуатувати дану систему з мінімальними витратами на монтаж та модернізацію.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		7

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ								
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата									
Розроб.	Черкас А.В.				Розділ 1. Аналіз сучасних поштових та сортувальних систем					Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Сподоба О.О											8	58
Н. контр.										НУБіП України			
Затверд.													

Основний цикл обробки відправлень включає кілька критичних етапів:

- розвантаження магістрального транспорту;
- первинну ідентифікацію вантажів;
- внутрішнє транспортування до зон розподілу;
- безпосередньо сортування за напрямками;
- фінальне формування поштових палет або контейнерів.

Кожен етап потребує чіткої синхронізації, оскільки будь-яка затримка на якомусь із етапів автоматично гальмує лінію, що призводить до низької ефективності та відповідно зниження продуктивності виконання технологічного процесу.

В свою чергу при ручному сортуванні вантажів основна проблема полягає в «людському факторі», тобто втомлюваність персоналу від монотонної роботи призводить до помилок при зчитуванні адрес, а робота з вантажами до 20-30 кг створює значне фізичне навантаження. Тому перехід до роботизації технологічного процесу сортування поштових вантажів є необхідністю для логістичного оператора.

Ключовим етапом роботизованої лінії є система сортування, вибір якої залежить від типу вантажів. Тому сьогодні на ринку представлений широкий перелік сортувальних механізмів, від простих «штовхачів» до складних «Cross-belt» систем, кожна з яких має свої переваги та недоліки для певного виду вантажів.

Проводячи аналіз існуючих роботизованих систем сортування для поштових відділень стає зрозуміло, що більшість з них є вузькоспеціалізованими або складними в експлуатації та дорогими в обслуговуванні.

У зв'язку з цим, виникає потреба у створенні більш універсальної та адаптивної системи, яка б поєднувала надійність лінійних конвеєрів із делікатністю роботизованих комплексів.

1.2. Аналіз існуючих систем автоматизації сортування

На сьогоднішній день в світі основну нішу в роботизованих сортувальних системах для поштових відділень зайняли наступні системи:

- Push tray sorter;
- Tilt-Tray Sorter;
- Shoe Sorter;
- Cross-belt sorter.

Push tray sorter (сортувальна система із штовхальними лотками) (рис. 1.1) – це роботизована система де кожен вантаж транспортується на окремому лотку. В даній системі технологічний процес сортування відбувається наступним чином. Від сканерів надходить інформація про необхідний для посилки порт і в потрібний момент система активує «пушер» який виштовхує вантаж у сортувальний канал.



Рис 1.1. Система сортування Push tray сортер

Дана сортувальна система передбачає можливість комплектації портів будь-якими пристроями відводу: роликowymi та стрічковими конвеєрами, стійками для полібоксів, тощо.

«Впровадження ліній сортування має такі переваги:

- продуктивність – до 15 000 посилок в годину (залежить від розміру посилки, навантаження 0,02 – 30кг)
- максимальна швидкість лінії – 1,0 – 1,2 м/с
- системи ідентифікації продукції – ручна або автоматична
- кілька типів подачі вантажу на конвеєр – ручна, автоматична, пряма або під кутом 45°/90°
- рівень шуму менше 70 дБ – забезпечує комфортні умови роботи для співробітників
- швидка і надійна інтеграція з системами управління складом (наприклад, WMS)» [3].

Tilt-Tray Sorter (сортувальна система із перекидними лотками) (рис. 1.2) – це високошвидкісна роботизована система, на якій вантажі переміщуються в індивідуальних перекидних лотках.

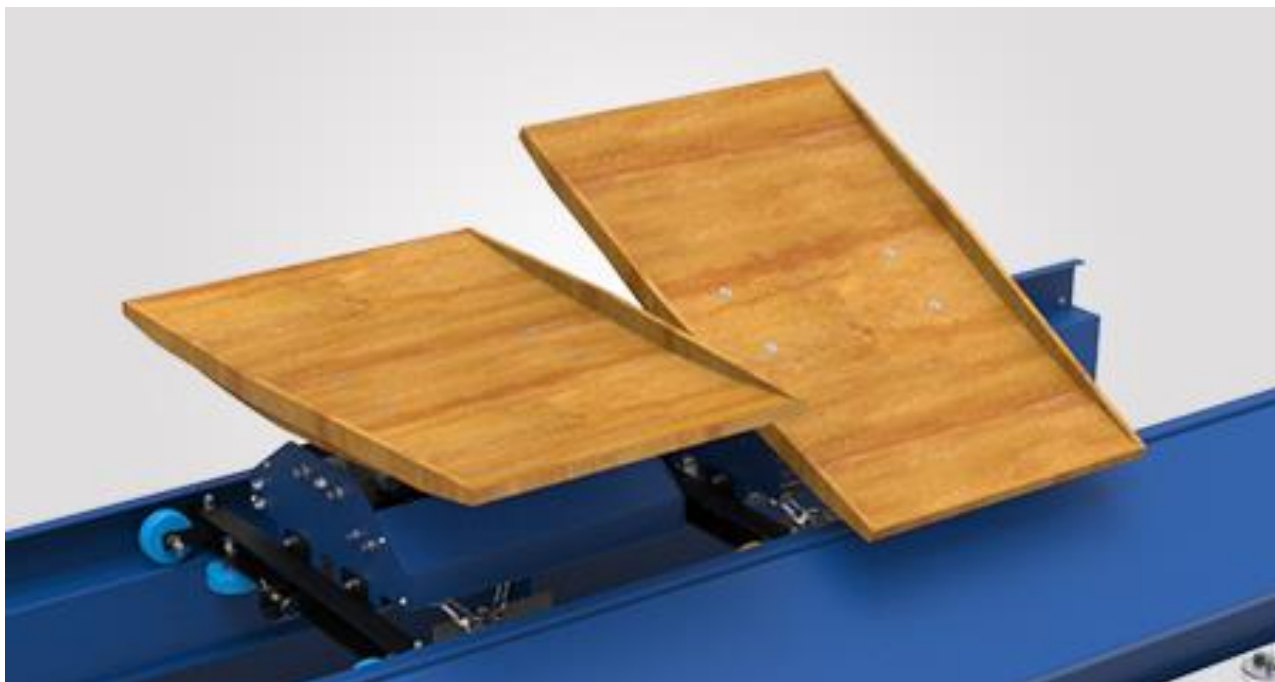


Рис. 1.2. Перекидні лотки Tilt-Tray Sorter

У місці призначення система керування нахиляє лоток, після чого посилка під дією гравітаційної сили зісковзує у спеціальний жолоб, після чого порожні лотки автоматично перезавантажуються для наступного циклу.

«Особливості та переваги даної сортувальної лінії:

- висока продуктивність - до 8 000 посилок за годину;
- максимальна швидкість лінії – 1,25 м/с;
- системи ідентифікації продукції – лазерна;
- кілька типів подачі вантажу на конвеєр – автоматична, пусті лотки автоматично перезавантажуються для наступного циклу;
- кут нахилу лотка - 15 - 30°;
- адаптації – можливість до комплектації датчиками заповнення, можливість адаптації для різної тари, групової упаковки, можливість до комплектації індикаторами портів скидання» [4].

Система сортування Shoe Sorter (рис. 1.3) – це конвеєрна лінія сортування вантажів, яка складається з довгого прямолінійного конвеєра. Сам робочий орган конвеєра виконаний із пластинчастої стрічки із алюмінієвого сплаву.



Рис. 1.3. Система сортування Shoe Sorter

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		12

На даних пластинах переміщуються спеціальні керовані елементи у вигляді башмаків, які в свою чергу виконують функцію пере направлення кожної одиниці вантажу в необхідний порт розвантаження.

«Особливості даної сортувальної лінії:

- висока продуктивність - до 10 000 одиниць за годину;
- максимальна швидкість лінії – до 2,2 м/с;
- вага товарів – від 0.5 до 30 кг;
- кут розміщення – можливе розміщення під кутом 30° або 22°;
- системи ідентифікації продукції – автоматична;
- гнучкість конфігурації – індивідуальний підбір кількості портів, довжини;
- модульність – швидке встановлення та введення в експлуатацію завдяки модульним компонентам» [3].

Система сортування Cross-belt sorter (поперечно-стрічковий сортер) (рис. 1.4) – ефективне роботизоване логістичне сортувальне обладнання, яке забезпечує високу швидкість і точне маркування посилок, товарів та інших предметів за допомогою кругового конвеєра та кількох сортувальних точок.

Основні сфери застосування:

- експрес доставка;
- електронна комерція;
- виробництво та інші галузі.

Принцип роботи полягає в тому, що предмети поміщаються на кільцевий конвеєр і переміщуються вперед у міру обертання стрічки, далі на конвеєрі встановлено кілька сортувальних вказівок, кожен з яких відповідає сортувальному результату, система керування зчитує інформацію про місце призначення за допомогою сканування штрих коду і керує сортувальними вказівками, щоб проштовхнути предмети у відповідні ринви у відповідному положенні.

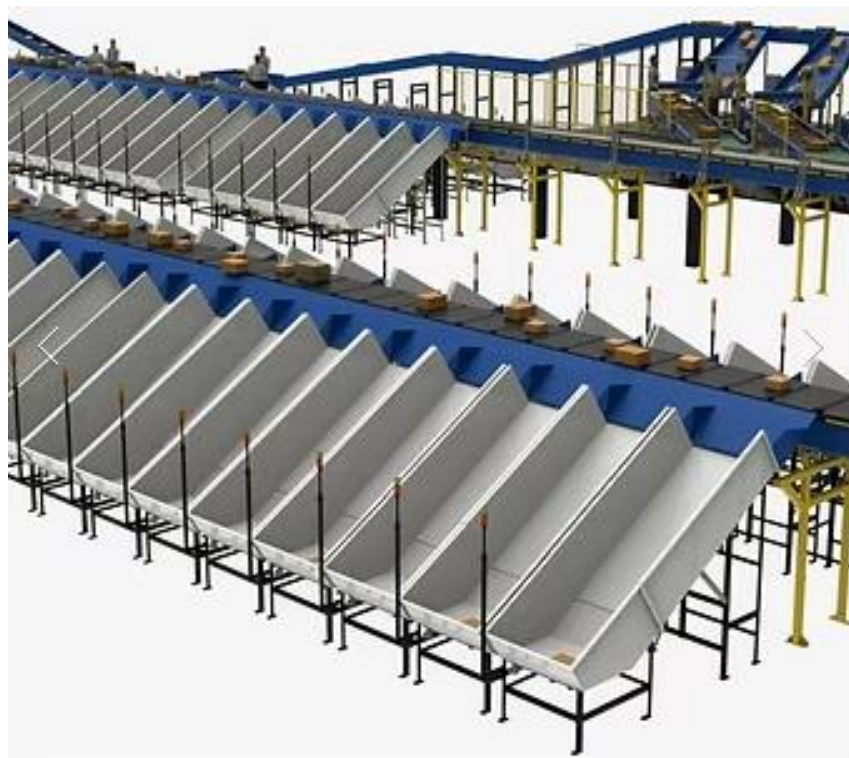


Рис. 1.4. Система сортування Cross-belt sorter

«Особливості даної сортувальної лінії:

- висока продуктивність - до 20 000 одиниць за годину;
- різновид системи - Annular та Linear;
- максимальна швидкість лінії – до 2,5 м/с;
- вага товарів – від 0.05 до 35 кг;
- подача товару – автоматична та напіваавтоматична;
- модульність – модульність та масштабованість сортувальної системи під необхідну конфігурацію» [3].

1.3. Недоліки існуючих рішень та напрямки їх удосконалення

Не зважаючи на високу продуктивність та швидку і надійну інтеграцію з системами управління складом система **Push tray sorter** має свої недоліки.

Перш за все можна виділити *механічний вплив на вантаж*. Так як, принцип роботи полягає в виштовхуванні товару з лотка, є великі ризики пошкодження вантажу. Посилки можуть перекидатися, вдарятися об борти чи

					01.09 – КР. 368 “С” 2024.03.11. 052 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		14

інші посилки, що робить систему не придатною до сортування крихких товарів, товарів без належного пакування чи електроніки.

Також ще одним недоліком є те що посилка може бути виштовхана не коректно, що призводить до застрягань та відповідно пошкодження.

Слабким місцем також є *низька універсальність* – лотки мають фіксований розмір, тому сортування негабаритних або надто дрібних посилок стає проблематичним, вони можуть застрягати в зазорах між рухомими частинами механізму.

Іншим важливим аспектом є *низька гнучкість конфігурації* – така система дозволяє здійснювати скидання вантажу лише в одну сторону від напрямку руху конвеєра. Це значно обмежує можливості при плануванні поштового відділення, особливо в умовах обмеженого простору.

Недоліки системи **Tilt-Tray Sorter**: *Вимоги до центрування вантажу* - для точного скидання посилка має лежати чітко по центру лотка. Якщо при завантаженні посилка змістилася, під час нахилу вона може вилетіти не по тій траєкторії або зачепити конструктивні елементи сортувальника.

З експлуатаційної точки зору, слабким місцем в цій системі є *шум та вібрація*. При постійному спрацюванні механічних направляючих створюється специфічний гуркіт, який вимагає додаткових заходів з шумоізоляції та віброгасіння металоконструкцій, що підвищує вартість обладнання.

Крім того, варто звернути увагу на той факт, що існує *обмеження по щільності розміщення*, тобто лотки мають фіксований крок. Якщо посилка занадто довга, вона може займати два лотки, що вимагає складної синхронізації системи керування для їх одночасного нахилу.

У цьому ж контексті не можна оминати питання *складності механізму нахилу*, коли кожен лоток має власну механічну засувку або сервопривод для перекидання, що збільшує ймовірність механічних поломок. Якщо вийде з ладу механізм повернення лотка в горизонтальне положення, це може призвести до аварійної зупинки всієї лінії.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		15

Незважаючи на високу технологічність запропонованої системи **Shoe Sorter**, існують певні експлуатаційні обмеження, які потребують детального розгляду, і першим та основним недоліком є *висока вартість та складність конструкції* - це одна з найдорожчих сортувальних систем.

Кожен «башмак» (shoe) — це окремий пластиковий елемент, що ковзає по алюмінієвому профілю. Велика кількість прецизійних деталей збільшує вартість виготовлення, та відповідно усієї лінії в цілому.

Також до переліку недоліків входять *вимоги до чистоти та догляду*. Оскільки елементи ковзають по рейках, будь-який бруд, пил від коробок або дрібне сміття можуть забити направляючі. Це призводить до заклинювання «башмаків» і може спричинити серйозну аварію на великій швидкості. Підвищене тертя при переміщенні «башмаків» несе негативний фактор в енергетичному плані.

Паралельно з цим існують ще й *обмеження по вазі (верхня межа)*. Попри те, що вони переміщують важкі коробки, існує ліміт. Занадто важкі вантажі створюють надмірне тертя на пластиковий штовхач, що може призвести до його деформації або поломки направляючого штифта.

Водночас, прагнення до універсальності системи **Cross-belt sorter** зумовлює появу специфічних конструктивних нюансів, таких як *енергоспоживання* - на відміну від механічних сортувальних систем, де один потужний двигун приводить в дію весь ланцюг, у системах Cross-belt сотні маленьких двигунів по чергово вмикаються та вимикаються для виконання технологічного процесу сортування вантажу. Це створює пікові навантаження на електромережу та підвищує витрати на енергію за рахунок перевитрати енергії при постійних пускових моментах.

Також варто звернути увагу на *вимоги до ідеального позиціонування вантажу*, Щоб система Cross-belt спрацювала коректно, вантаж має бути завантажений чітко по центру робочої стрічки. Якщо вантаж лежить невірно, при активації поперечного руху він може зміститися не по заданій траєкторії, що призведе до не потрапляння вантажу у відповідний жолоб.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		16

Ще один важливий аспект є *маса системи* - через наявність двигунів на кожній каретці, відповідно вся конструкція виходить досить важкою. Це вимагає використання посилених фундаментів та опорних металоконструкцій у виробничому приміщенні.

Провівши аналіз існуючих систем та виявивши їх переваги та недоліки в даній роботі пропонується в якості системи сортування використати окремий модуль. Який в свою чергу міг би працювати, як із роликовими так і стрічковими конвеєрами. Для зміни руху вантажів пропонується не використовувати механічні штовхачі, а змінювати саме траєкторію переміщення вантажу, зміною напрямку його руху. Таке рішення дозволяє забезпечити плавне відведення посилок різної конфігурації без ударних навантажень, зберігаючи при цьому високу ремонтпридатність сортувального обладнання та гнучкість налаштування системи під конкретні потреби поштового терміналу.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		17

РОЗДІЛ 2. ОБҐРУНТУВАННЯ ТА РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ЛІНІЇ

2.1. Загальна структура роботизованої лінії

Розробка загальної структури роботизованої лінії базувалася на необхідності створення максимально адаптивної системи, яка була б позбавлена критичних недоліків класичних сортувальних установок, розглянутих у першому розділі. Аналіз існуючих аналогів, таких, як стрічкові конвеєри з пневматичними штовхачами або поворотними важелями, показав, що вони мають значні обмеження, а саме:

- висока інерційність;
- високий рівень шуму;
- високий ризик пошкодження крихких вантажів при різкому механічному контакті.

Запропонована система сортування має принципово інший підхід, де замість грубої механічної дії на вантаж використовується кінематична гнучкість масиву омно-коліс. Така структура є набагато універсальнішою, оскільки дозволяє сортувати об'єкти різних габаритів та має без переналагодження механічних упорів. А програмне керування на базі мікроконтролера дає змогу змінювати алгоритми розподілу потоків, що практично неможливо в жорстко зафіксованих механічних системах.

Центральним і найважливішим вузлом лінії є інтелектуальний дивертор (рис. 2.1.) — сортувальна платформа, реалізована на базі матриці омно-коліс. Принцип роботи цього механізму ґрунтується на використанні унікальної конструкції колеса, обід якого оснащений вільними роликами, розташованими перпендикулярно до основної осі обертання. Це дозволяє колесу передавати

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ							
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата								
Розроб.	Черкас А.В.				Розділ 2. Обґрунтування та розробка конструкції роботизованої лінії				Літ.	Аркуш	Аркушів	
Перевір.	Сподоба О.О										18	58
									НУБіП України			
Н. контр.												
Затверд.												

тягове зусилля в напрямку свого обертання і водночас абсолютно вільно проковзувати в боковому напрямку. У розробленій конструкції дивертор складається з восьми паралельних рядів таких коліс (рис 2.2.). Кожен ряд коліс приводиться в дію від асинхронного двигуна.

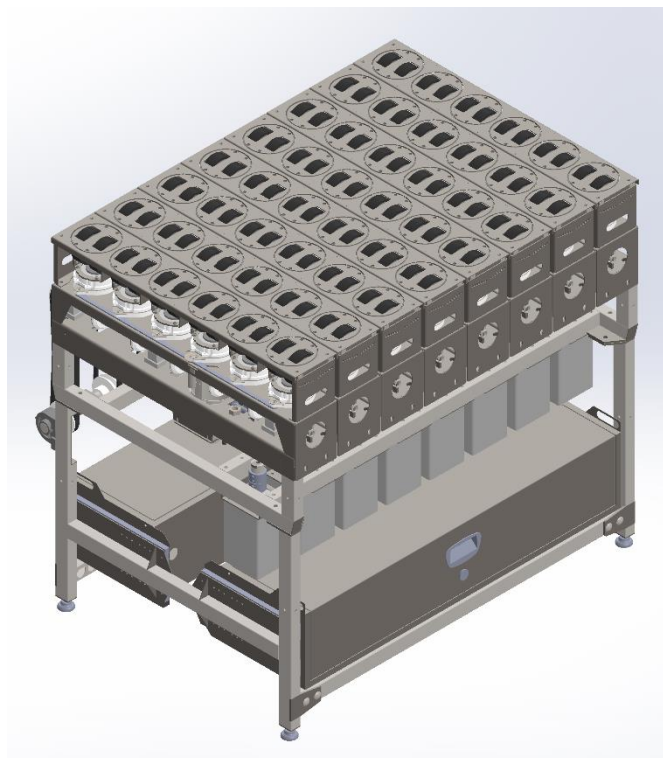


Рис. 2.1. Дивертор сортувальної лінії

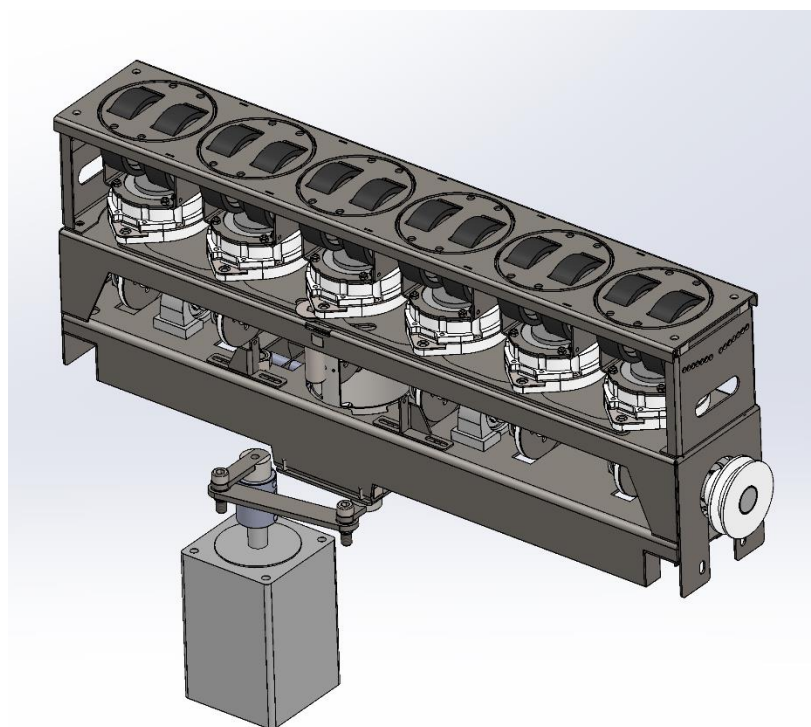


Рис. 2.2. Ряд коліс дивертора сортувальної лінії

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		19

Коли вантаж потрапляє на платформу, система зчитує маркування і, залежно від завдання, змінює вектор руху. Якщо потрібно змінити напрямок, колеса починають обертатися з різними швидкостями або в різних напрямках, створюючи результуючий вектор сили, що плавно зміщує посылку в потрібний лоток під будь-яким кутом.

Порівняно з традиційними системами, така схема є набагато простішою в обслуговуванні та монтажі. Відсутність складних систем важелів, пневматичних циліндрів та компресорних установок суттєво знижує енергоспоживання лінії та рівень шуму в робочому приміщенні. Крім того, омно-дивертор забезпечує безперервність потоку. Тобто вантажу не потрібно зупинятися для зміни траєкторії, що значно підвищує пропускну здатність термінала.

Модульна структура системи дозволяє легко масштабувати лінію, додаючи нові зони сортування без переробки всієї рами конвеєра. Таким чином, запропоноване рішення є не просто автоматизацією процесу, а переходом до гнучкого робототехнічного комплексу, де механічна простота поєднується з високою точністю програмного керування, що робить його ідеальним для сучасних логістичних центрів, орієнтованих на швидку обробку великої кількості різнотипних відправлень.

В результаті, ми отримуємо систему, яка за всіма ключовими параметрами — від вартості виготовлення до надійності та функціональності — перевершує типові промислові рішення, представлені на світовому ринку, і пропонує новий стандарт ефективності для поштових та складських операцій.

2.2. Розрахунок потужності та вибір приводного двигуна

Привод дивертора складається із асинхронного двигуна, крутний момент від якого передається на черв'ячний редуктор і через ланцюгову передачу до загального валу. На загальному валу розміщено вісім рядів коліс. До кожного із рядів коліс потужність передається через клинопасову передачу. В свою чергу

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		20

привод робочих роликів здійснюється через лобову фрикційну передачу. Кінематична схема приводу дивертора зображена на рис. 2.3.

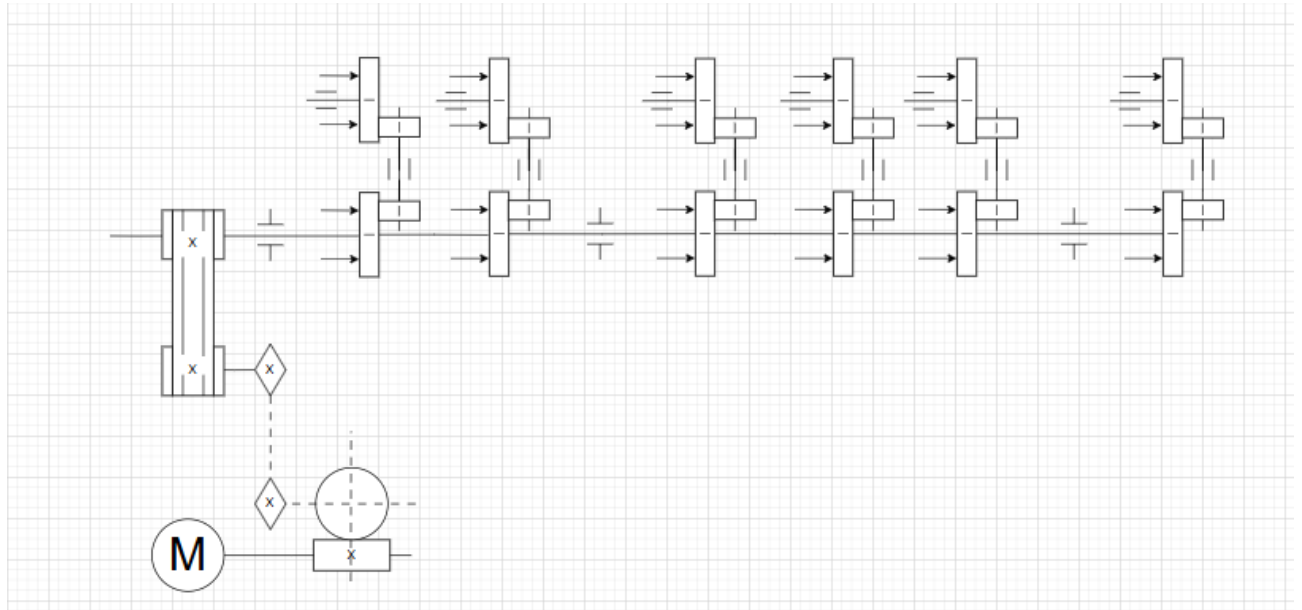


Рис. 2.3. Кінематична схема дивертора

Виходячи із кінематичної схеми визначимо ККД приводу дивертора за наступною формулою:

$$\eta_{\text{заг}} = \eta_1 \cdot \eta_2 \cdot \eta_3 \cdot \eta_4 \cdot \eta_5, \quad (1)$$

Де: $\eta_1 = 0,9$ - ККД черв'ячної передачі

$\eta_2 = 0,97$ - ККД ланцюгової передачі

$\eta_3 = 0,95$ - ККД пасової передачі

$\eta_4 = 0,99$ - ККД підшипникового вузла

$\eta_5 = 0,9$ - ККД фрикційної передачі

$$\eta_{\text{заг}} = 0,9 \cdot 0,97 \cdot 0,95 \cdot 0,99 \cdot 0,9^2 = 0,67.$$

Потужність приводного двигуна визначимо за наступною формулою:

$$P_{\text{дв}} = \frac{L \cdot m \cdot g \cdot V \cdot \eta_{\text{заг}}}{367}, \quad (2)$$

де: L - відстань між осями роликів дивертора, м

m - маса одиниці вантажу, кг

g - прискорення вільного падіння, м/с²

V - швидкість переміщення вантажу, м/с

$\eta_{\text{заг}}$ - загальний ККД приводу дивертора

$$P_{\text{дв}} = \frac{0,95 \cdot 50 \cdot 9,81 \cdot 1,6 \cdot 0,67}{367} = 1,36 \text{ кВт}.$$

Для приводу дивертора оберемо асинхронний електродвигун АИР 80 А2. Габаритні та приєднувальні розміри наведено на рис. 2.4 та таблиці 2.1. Характеристика двигуна наведена в таблиці 2.2.

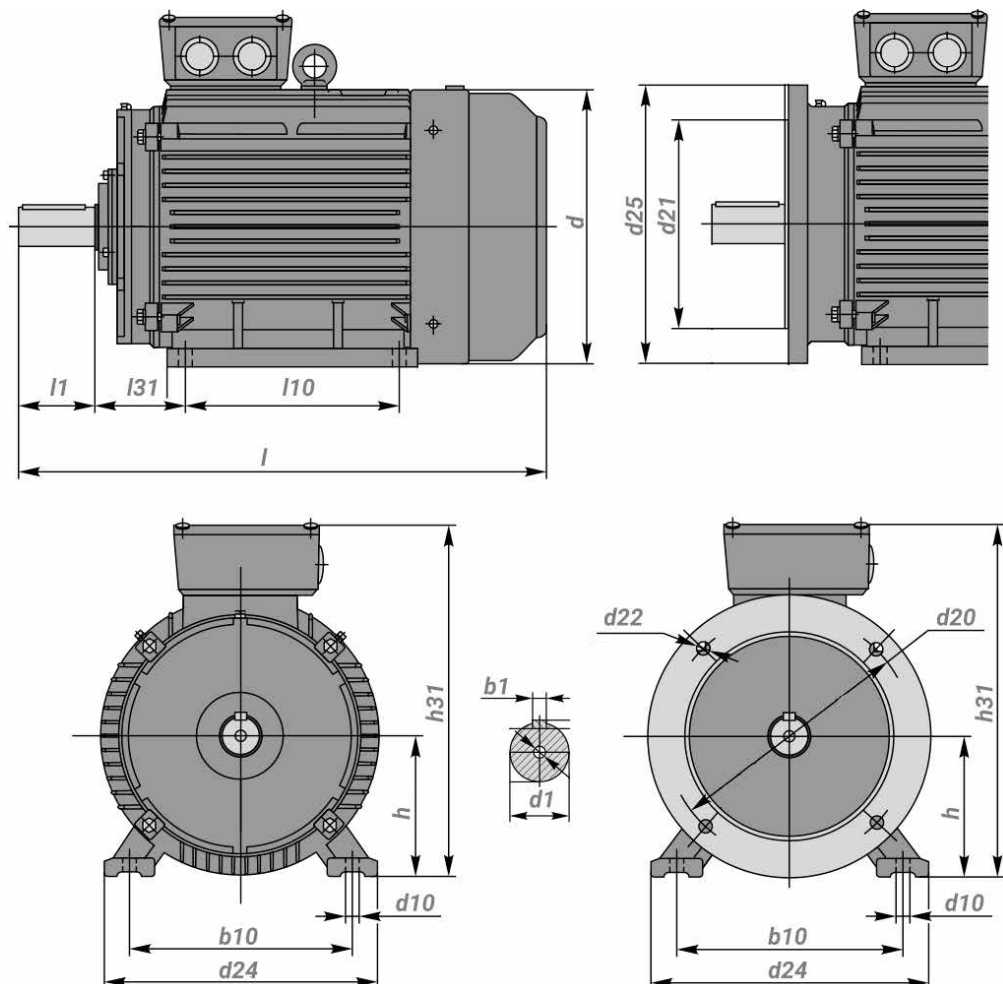


Рис. 2.4. Габаритні розміри асинхронного електродвигуна АИР 80 А2

Таблиця 2.1.

Габаритні розміри двигуна АИР80А2

Габаритні та приєднувальні розміри електродвигуна АИР 80 А2	Позначення на рис. 2.2.	Значення
Висота осі обертання	h, мм	80
Довжина ширина висота	l/d24/h31	310/165/214
Відступ між лапами та валом	l31, мм	50
Діаметр валу	d1, мм	22
Довжина валу	l1, мм	50
Ширина шпонки	b1, мм	6
Відстань між кріпленнями на лапі	l10, мм	100
Відстань між кріпленнями лап	b10, мм	125
Діаметр отворів на лапах	d10, мм	10
Ширина	d24, мм	165
Зовнішній діаметр фланця	d25, мм	200
Діаметр замку на фланці	d21, мм	130
Відстань між кріпленнями на фланці	d20, мм	165

Таблиця 2.2.

Характеристики електродвигуна АИР 80 А2

Група значень	Найменування характеристики	Значення
Вихідні параметри	Потужність Р, кВт	1,5
	Умовна частота обертання поля статора N _н , об/хв	3000
	Фактична частота обертання валу N _ф , об/хв	2850
Параметри живлення	Тип мережі, частота	Трифазна, 50 Гц
	Напруга живлення U _{Δ/Y} , Вольт	220/380

					01.09 – КР. 1044 "С" 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		23

Група значень	Найменування характеристики	Значення
Параметри живлення	Номінальна сила струму I_n при 220В/380В, Ампер	6,6/3,8
	Співвідношення пускового струму та номінального I_p / I_n	7,0
Паспортні данні	Принцип дії	Асинхронний
	Коефіцієнт потужності $\cos\varphi$	0,84
	ККД, %	78,5
	Число полюсів	2
	Маса міді в обмотці, кг	1,59-1,78
	Момент інерції, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$	0,0011
	Вага, кг	17-19,1
Експлуатаційні обмеження	Ступінь захисту від пилу та вологи	IP 55
	Клас ізоляції обмотки	F (150 °C)
Експлуатаційні обмеження	Режим роботи S1	Тривалий
	Рівень шуму, Дб	72
	Кліматичне виконання та категорія розміщення	У1, У2, У3, Т2
Обертаючий момент	Відношення максимального моменту, до номінального $M_{\max} / M_n$	2,3
	Крутний момент макс $M_{\max}$, N_m	12,932
	Момент, що крутить, номінальний M_n , N_m	4,974
	Відношення пускового моменту, до номінального M_p / M_n	2,2
Підшипники кочення	Підшипник переднього щита, приводний кінець валу.	6205 ZZ-C3
	Підшипник заднього щита	6204 ZZ-C3

Група значень	Найменування характеристики	Значення
ГОСТ	Стандартизація за способами монтажу	ГОСТ 2479-79
ГОСТ	Стандарт прив'язки потужності до габаритів	ГОСТ 51689-2000
	Стандарт номінальних даних та робочих характеристик	ГОСТ 28173-89
Виробники	Маркування АИР, 4А, 4АМ, 4АМУ, АИРУ, АИРМ, АИРЕ габариту 80 мм	Україна, Китай

2.3. Вибір черв'ячного редуктора

Черв'ячний редуктор оберемо типорозміру NMRV-075 із передаточним відношенням $i = 10$. Габаритні та приєднувальні розміри черв'ячного редуктора наведено на рис. 2.5 та таблиці 2.3.

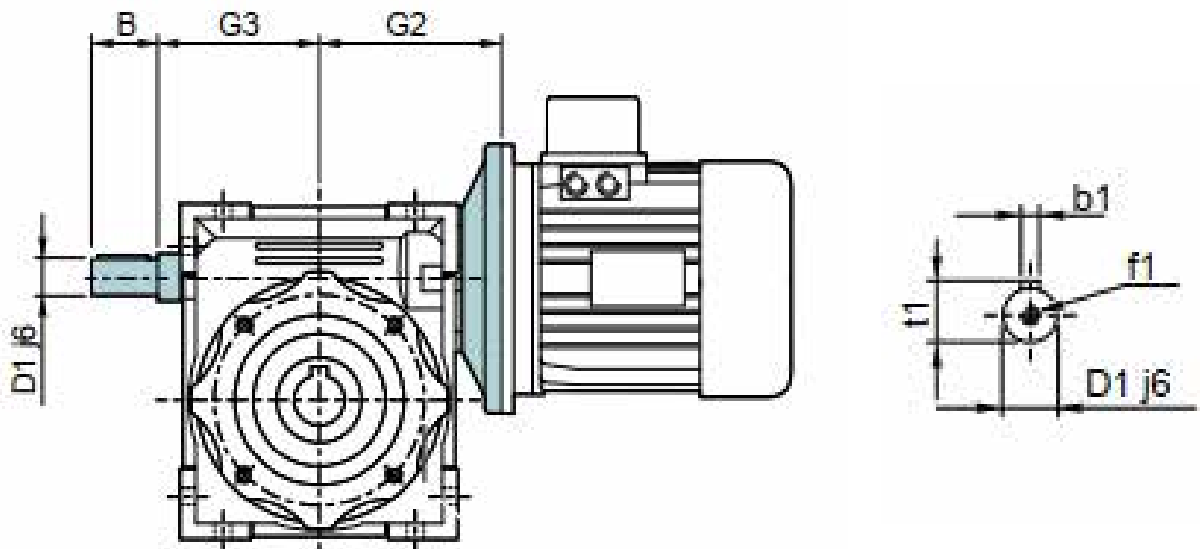


Рис. 2.5. Габаритні розміри черв'ячного редуктора NMRV-075

Таблиця 2.3.

Габаритні та приєднувальні розміри черв'ячного редуктора NMRV-075

Розмір на рис. 2.3.	Значення розміру, мм
B	50
D1 j6	24
G2	105
G3	90
B1	75
f1	M8
t1	27

2.4. Розрахунок відкритої ланцюгової передачі.

Головним критерієм роботи здатності ланцюгових передач є зносостійкість і по цьому критерію підбирається типорозмір ланцюга, а по іншим критеріям проводиться перевірка ланцюга.

Основний параметр ланцюга – це крок t . Він визначається із умови забезпечення допустимого питомого тиску в шарнірах за наступною формулою:

$$t = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{P \cdot K_e}{z_1 \cdot \omega_1 \cdot [\eta] \cdot m_p}}, \quad (3)$$

де P - потужність на ведучій зірочці, кВт;

K_e - коефіцієнт експлуатації, який характеризує фактори, що впливають на довговічність ланцюга;

ω_1 - кутова швидкість ведучої зірочки, рад/с;

z_1 - кількість зубів на ведучій зірочці;

$[\eta]$ - допустимий питомий тиск в шарнірі, МПа;

m_p - коефіцієнт рядності ланцюга.

Визначимо коефіцієнт експлуатації за наступною формулою:

$$K_e = K_D \cdot K_{Pez} \cdot K_\beta \cdot K_M \cdot K_a \cdot K_{pet} \cdot K_a, \quad (4)$$

де: K_D - коефіцієнт динамічності ($K_D = 1,1$);

K_{Pez} - коефіцієнт, який залежить від способу регулювання ($K_{Pez} = 1$ для варіанту пересування однієї із опор);

K_β - коефіцієнт, який враховує нахил лінії центрів до горизонту ($K_\beta = 1$ для горизонтального розміщення передачі);

K_M - коефіцієнт навантаження ($K_M = 1,5$ для періодичного навантаження);

K_a - коефіцієнт довжини ланцюга ($K_a = 1,25$ при $a_t \leq 25$)

K_{pet} - коефіцієнт, який враховує час роботи передачі ($K_{pet} = 1$ для режиму роботи в одну зміну);

$$K_e = 1,1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1 \cdot 1,25 = 2,06.$$

Визначимо кількість зубів на ведучій зірочці:

$$z_1 = 29 - 2 \cdot U_{\text{лн}} \geq 13, \quad (5)$$

$$z_1 = 29 - 2 \cdot 1 = 27 \geq 13.$$

Визначимо кутову швидкість ведучої зірочки:

$$\omega_1 = \frac{n_{\text{дв}} \cdot U_{\text{зр}} \cdot \pi}{30}, \quad (6)$$

$$\omega_1 = \frac{28900 \cdot 10 \cdot 3,14}{30} = 30,26 \text{ рад/с}.$$

Відповідно крок ланцюга буде дорівнювати:

$$t = 280 \cdot \sqrt[3]{\frac{1,5 \cdot 0,9 \cdot 2,06}{27 \cdot 30,26 \cdot 28,5 \cdot 1}} = 13,795 \text{ мм}.$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		27

Для ланцюгової передачі оберемо ланцюг BS/ISO 10B-1 (рис. 2.6)
геометричні та силові параметри якого наведено в таблиці 2.4.

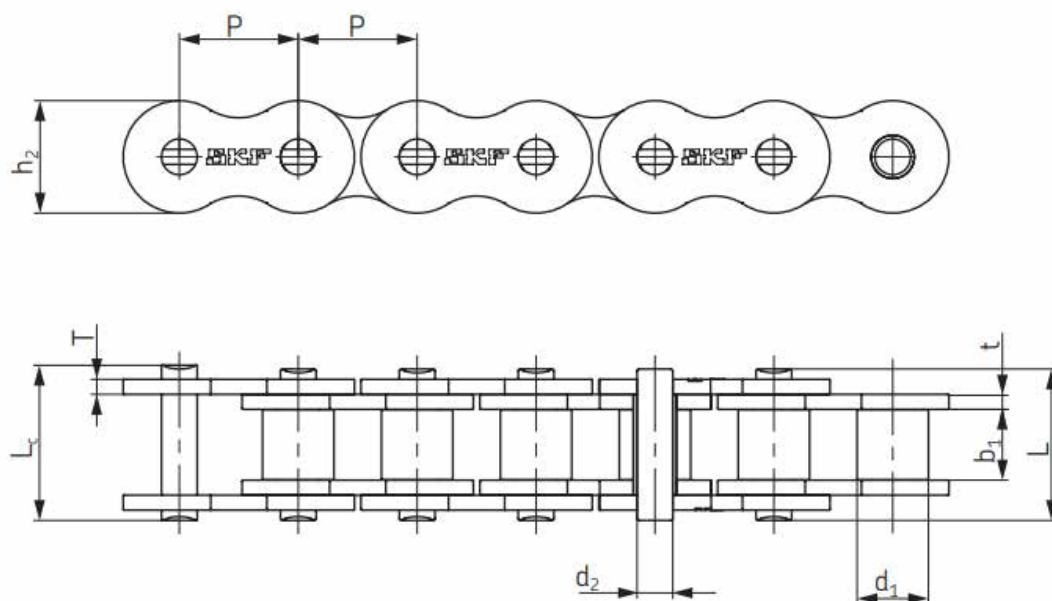


Рис. 2.6. Геометричні параметри приводного роликового ланцюга BS/ISO 10B-1

Таблиця 2.4.

Геометричні параметри приводного роликового ланцюга 10B-1

Найменування	Позначення на рис. 2.4.	Значення
Крок, мм	P	15,875
Діаметр ролика, мм	d_1	10,16
Відстань між внутрішніми пластинами, мм	b_1	9,65
Діаметр штифта, мм	d_2	5,08
Довжина штифта, мм	L/L_c	19,50/20,9
Висота внутрішньої пластини, мм	h_2	14,70
Товщина пластини, мм	T	1,70
Руйнуюче навантаження, кН	Q	22,7
Маса 1 м.п.	q	0,75

Визначимо максимально допустиму лінійну швидкість руху ланцюга:

$$V_{\max} = 7,3 \cdot \sqrt{\frac{z_1}{t}}, \text{ м/с}, \quad (7)$$

$$V_{\max} = 7,3 \cdot \sqrt{\frac{27}{15,875}} = 9,52$$

Визначимо дійсну лінійну швидкість ланцюга:

$$V = \frac{z_1 \cdot t \cdot \omega_1}{2000 \cdot \pi}, \quad (8)$$

$$V = \frac{27 \cdot 15,875 \cdot 30,26}{2000 \cdot 3,14} = 2,06$$

Визначимо міжосьову відстань:

$$a = a_t \cdot t, \quad (9)$$

$$a = 10 \cdot 15,875 = 158,75 \text{ мм}.$$

Визначимо довжину ланцюга в кроках:

$$L_t = 2a_t + \frac{z_1 + z_2}{2} + \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi}\right)^2 \cdot \frac{1}{a_t}, \quad (10)$$

$$L_t = 2 \cdot 10 + \frac{27 + 27}{2} + \left(\frac{27 - 27}{2 \cdot 3,14}\right)^2 \cdot \frac{1}{10} = 47.$$

Так, як $z_1 = 27$ не парне число відповідно для підвищення робото здатності передачі прийmemo $L_t = 48$.

Проведемо уточнюючий розрахунок міжосьової відстані:

$$a = \frac{t}{4} \cdot \left(L_t - \frac{z_1 + z_2}{2} + \sqrt{\left(L_t - \frac{z_1 + z_2}{2} \right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{z_2 - z_1}{2 \cdot \pi} \right)^2} \right), \quad (11)$$

$$a = \frac{15,875}{4} \cdot \left(48 - \frac{27 + 27}{2}\right) + \sqrt{\left(48 - \frac{27 + 27}{2}\right)^2 - 8 \cdot \left(\frac{27 - 27}{2 \cdot 3,14}\right)^2} = 166,688 \text{ мм}.$$

Визначимо кількість ударів ланки ланцюга за секунду об зуб зірочки. Для ланцюга із кроком 15,875 допустиме значення $[\nu] = 50$

$$\nu = \frac{2 \cdot z_1 \cdot \omega_1}{\pi \cdot L_t} \leq [\nu], \quad (12)$$

$$\nu = \frac{2 \cdot 27 \cdot 30,26}{3,14 \cdot 48} = 10,84 \leq 50.$$

Визначимо зусилля, які діють у вітках ланцюгової передачі та сили тиску на ведучий та ведений вали.

Визначимо колову силу:

$$F_t = \frac{10^3 \cdot P_{\text{дв}} \cdot \eta_{\text{ун}}}{V}, \quad (13)$$

$$F_t = \frac{10^3 \cdot 1,5 \cdot 0,9}{2,06} = 653,98 \text{ Н}.$$

Визначимо силу натягу ланцюга під дією гравітаційної складової:

$$F_q = K_f \cdot q \cdot a \cdot 10^{-3} \cdot g, \text{ Н}, \quad (14)$$

де, K_f - коефіцієнт провисання ($K_f = 6$ для горизонтальних передач)

$$F_q = 6 \cdot 0,75 \cdot 166,688 \cdot 10^{-3} \cdot 9,81 = 7,36 \text{ Н}.$$

Визначимо силу натягу ланцюга від впливу відцентрових сил:

$$F_u = g \cdot V^2, \text{ Н}, \quad (15)$$

$$F_u = 0,75 \cdot 2,06 = 3,2 \text{ Н}$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		30

Визначимо загальне зусилля у ведучій вітці:

$$F_{\text{заг1}} = F_t \cdot K_{\text{д}} + F_q + F_w H, \quad (16)$$

$$F_{\text{заг1}} = 653,98 \cdot 1,1 + 7,36 + 3,2 = 729,94 \text{ Н}.$$

Визначимо загальне зусилля у веденій вітці:

$$F_{\text{заг2}} = F_q + F_u H, \quad (17)$$

$$F_{\text{заг2}} = 7,36 + 3,2 = 10,56 \text{ Н}$$

Визначимо зусилля яке діє на вали ведучої та веденої зірочок:

$$F_{\text{в}} = F_t \cdot K_{\text{д}} + 2 \cdot F_q H, \quad (18)$$

$$F_{\text{в}} = 653,98 \cdot 1,1 + 2 \cdot 7,36 = 734 \text{ Н}$$

Проведемо перевірку ланцюга по питомому тиску в шарнірах:

$$\eta = \frac{F_t \cdot K_e}{S \cdot M_p \cdot 10^2} \leq [\eta], \quad (19)$$

$$\eta = \frac{653,98 \cdot 2,06}{0,67 \cdot 1 \cdot 10^2} = 20,132 \leq 28,5.$$

Визначимо запас міцності:

$$n = \frac{Q \cdot 10^3}{F_{\text{заг1}}}, \quad (20)$$

$$n = \frac{22,7 \cdot 10^3}{729,94} = 31,09.$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		31

Таблиця 2.5.

Характеристики ланцюгової передачі

Параметри і значення	Формули
Силова схема ланцюгової передачі	
Кут γ , град	Вихідні дані
Кут δ , град	$\delta = \arcsin \frac{d_{d1}(u-1)}{2a}$
Вертикальна складова F_y , Н	$F_y = F_{y1} = F_{y2} = F_{y0} \sin(\gamma + \delta) + (F_0 + F_1) \sin(\gamma - \delta)$
Горизонтальна складова F_x , Н	$F_x = F_{x1} = F_{x2} = F_{x0} \cos(\gamma + \delta) + (F_0 + F_1) \cos(\gamma - \delta)$

2.5. Розрахунок фрикційної передачі

Фрикційна передача складається із двох ступенів: I ступінь підвищуюча, II ступінь понижуюча.

Проведемо розрахунок підвищуючої фрикційної передачі:

Вихідні дані:

$u_1 = 0,625$ - передаточне відношення I ступені фрикційної передачі

Визначимо оберти валу:

$$n_1 = \frac{n_\partial}{u_{pe\partial}}, \quad (21)$$

$$n_1 = \frac{2890}{10} = 289 \text{ об/хв.}$$

$d_2 = 40 \text{ мм}$ - діаметр веденого ролика;

$f = 0,8$ - коефіцієнт тертя;

$[q] = 20 \text{ Н/мм}$ - допустиме лінійне навантаження;

$K = 1,25$ - коефіцієнт запасу.

Визначимо крутний момент на ведучому диску:

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{P_{\text{дв}}}{n_1}, \quad (22)$$

$$T_1 = 9550 \cdot \frac{0,25}{289} = 8,26 \text{ Нм.}$$

Визначимо крутний момент на веденому ролику:

$$T_2 = T_1 \cdot u_1 \cdot \eta \quad (23)$$

$$T_2 = 8,26 \cdot 0,625 \cdot 0,9 = 4,65 \text{ Нм.}$$

Визначимо робочий діаметр диску:

$$D_1 = \frac{d_2}{u_1}, \quad (24)$$

$$D_1 = \frac{40}{0,625} = 64 \text{ мм.}$$

Визначимо силу притискання ведучого диску до веденого ролику:

$$F_r = \frac{2 \cdot T_2 \cdot K}{d_2 \cdot 10^{-3} \cdot f}, \quad (25)$$

$$F_r = \frac{2 \cdot 4,65 \cdot 1,25}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 363,043 \text{ Н.}$$

Визначимо ширину гумового покриття веденого ролика:

$$b = \frac{F_r}{[q]}, \quad (26)$$

$$b = \frac{363,043}{20} = 18,15 \text{ мм}.$$

Ширину гумового покриття веденого ролика приймаємо $b = 19 \text{ мм}$.

Проведемо розрахунок понижуючої передачі:

Вихідні дані:

$$n_3 = \frac{n_1}{0.625} = 462,4 - \text{швидкість обертання ведучого ролика.}$$

$$u_2 = 1,1 - \text{передаточне відношення фрикційної передачі.}$$

$$d_3 = 40 \text{ мм} - \text{діаметр ведучого ролика.}$$

Визначимо крутний момент на ведучому ролику:

$$T_3 = 9550 \cdot \frac{P_{\text{дв}}}{n_3}, \quad (27)$$

$$T_3 = 9550 \cdot \frac{0,25}{462,4} = 5,16 \text{ Нм}.$$

Визначимо крутний момент на веденому диску:

$$T_4 = T_3 \cdot u_2 \cdot \eta, \quad (28)$$

$$T_4 = 5,16 \cdot 1,1 \cdot 0,9 = 5,11 \text{ Нм}.$$

Визначимо робочий діаметр диску:

$$D_4 = d_3 \cdot u_z, \quad (29)$$

$$D_4 = 40 \cdot 1,1 = 44 \text{ мм}.$$

Визначимо силу притискання веденого диску до ведучого ролику:

$$F_r = \frac{2 \cdot T_3 \cdot K}{d_3 \cdot 10^{-3} \cdot f}, \quad (30)$$

$$F_r = \frac{2 \cdot 5,16 \cdot 1,25}{40 \cdot 10^{-3} \cdot 0,8} = 403,381 H.$$

Визначимо ширину гумового покриття ведучого ролика:

$$b = \frac{F_r}{[q]}, \quad (31)$$

$$b = \frac{403,381}{20} = 20,17 \text{ мм}.$$

Ширину гумового покриття веденого ролика приймаємо $b = 22 \text{ мм}$.

2.6. Розрахунок пружин притискання ведучого диску до веденого ролика підвищуючої фрикційної передачі

Розрахунок пружного елемента виконано по методиці, яка викладена в ГОСТ 13765-86

Вихідні дані:

$F_1 = 181,5 H$ - сила пружного елемента при попередній деформації

$F_2 = 363 H$ - сила пружного елемента при робочій деформації

$h = 8 \text{ мм}$ - робочий хід

Витривалість пружного елемента $1 \cdot 10^7$ згідно ГОСТ 13764-86.

Знайдемо діапазон сили пружини при максимальній деформації:

$$F_{3 \min} = \frac{F_2}{1 - 0,05}, \quad (32)$$

					01.09 – КР. 368 “С” 2024.03.11. 052 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		35

$$F_{3\min} = \frac{363}{1 - 0,05} = 382H .$$

$$F_{3\max} = \frac{F_2}{1 - 0,4} , \quad (33)$$

$$F_{3\max} = \frac{363}{1 - 0,4} = 605H .$$

Виходячи із умов роботи приймемо пружину І класу розряду 3.

Згідно ГОСТ 13768-86 виберемо пружину № 47 з наступними параметрами:

$F_3 = 400H$ - сила пружини елемента при максимальній деформації;

$D_1 = 48\text{мм}$ - зовнішній діаметр пружини;

$d = 4,5\text{мм}$ - діаметр дроту;

$C_1 = 48,82H / \text{мм}$ - жорсткість одного витка пружини;

$S'_3 = 8,193\text{мм}$ - максимальна деформація одного витка;

Розрахуємо жорсткість пружини:

$$C' = \frac{F_z - F_1}{h} , \quad (34)$$

$$C' = \frac{363 - 181,5}{8} = 22,6875H / \text{мм} .$$

Розрахуємо число робочих витків пружини:

$$n = \frac{C_1}{C'} , \quad (35)$$

$$n = \frac{48,82}{22,6875} = 2,15 .$$

Приймаємо число робочих витків $n = 2,5$.

Розрахуємо уточнену жорсткість пружини:

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		36

$$C = \frac{C_1}{n}, \quad (36)$$

$$C = \frac{48,82}{2,5} = 19,528 \text{ Н / мм.}$$

Розрахуємо повне число витків пружини:

Пружину виготовимо із підібраними витками та підшліфованими на $\frac{3}{4}$ тому опорне число витків $n_2 = 1,5$

$$n_1 = n + n_2, \quad (37)$$

$$n_1 = 2,5 + 1,5 = 4.$$

Розрахуємо середній діаметр пружини:

$$D_c = D_1 - d, \quad (38)$$

$$D_c = 48 - 4,5 = 43,5 \text{ мм.}$$

Визначимо індекс пружини:

$$i = \frac{D_c}{d}, \quad (39)$$

$$i = \frac{43,5}{4,5} = 9,67.$$

Розрахуємо попередню деформацію пружини:

$$S_1 = \frac{F_1}{C}, \quad (40)$$

$$S_1 = \frac{181,5}{24,41} = 9,29 \text{ мм.}$$

Розрахуємо робочу деформацію пружини:

					01.09 – КР. 368 “С” 2024.03.11. 052 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		37

$$S_2 = \frac{F_2}{C}, \quad (41)$$

$$S_2 = \frac{363}{24,41} = 18,589 \text{ мм}.$$

Розрахуємо максимальну деформацію пружини:

$$S_3 = \frac{F_3}{C}, \quad (42)$$

$$S_3 = \frac{400}{24,41} = 20,483 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини при максимальній деформації:

$$L_3 = (n_1 + 1 - n_2) \cdot d, \quad (43)$$

$$L_3 = (3,5 + 1 - 1,5) \cdot 4,5 = 15,75 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини у вільному стані:

$$L_0 = L_3 + S_3, \quad (44)$$

$$L_0 = 15,75 + 20,483 = 36,233 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини при попередній деформації:

$$L_1 = L_0 - S_1, \quad (45)$$

$$L_1 = 36,233 - 9,29 = 26,939 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини при робочій деформації:

$$L_2 = L_0 - S_2, \quad (46)$$

$$L_2 = 36,233 - 18,589 = 17,645 \text{ мм}.$$

Розрахуємо крок навивки пружини у вільному стані:

$$t = S'_3 + d, \quad (47)$$

$$t = 8,193 + 4,5 = 12,693.$$

Розрахуємо довжину дроту розгорнутої пружини:

$$L \approx 3,2 \cdot D_1 \cdot n_1, \quad (48)$$

$$L = 3,2 \cdot 48 \cdot 4 = 556,8 \text{ мм}.$$

Навантажувальна характеристика розрахованої пружини наведена на рис. 2.7.

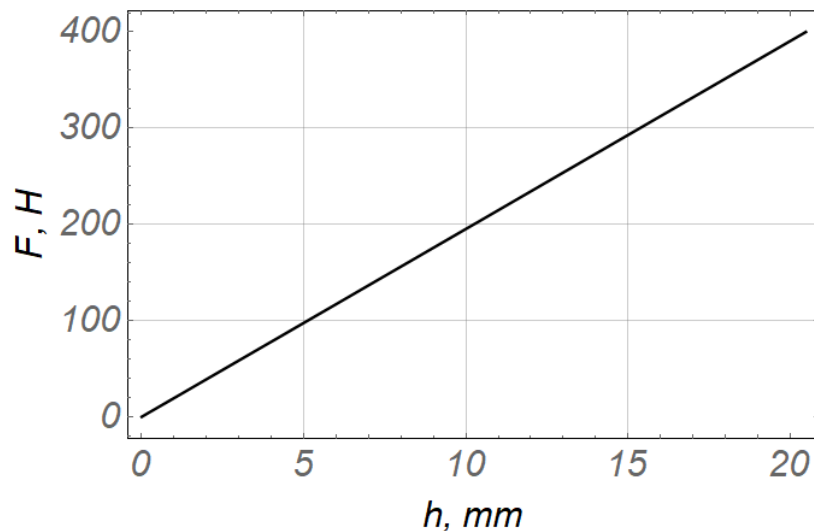


Рис. 2.7. Навантажувальна характеристика розрахованої пружини

2.7. Розрахунок пружини притискання веденого диску до ведучого ролика фрикційної передачі.

Розрахунок пружного елемента виконано по методиці, яка викладена в ГОСТ 13765-86.

Вихідні дані:

$F_1 = 200 \text{ H}$ - сила пружного елемента при попередній деформації

$F_2 = 403 \text{ H}$ - сила пружного елемента при робочій деформації

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		39

$h = 1,5\text{мм}$ - робочий хід

Витривалість пружного елементу 10^7 згідно ГОСТ 13764-86

Знайдемо діапазон сили пружини при максимальній деформації:

$$F_{3\min} = \frac{F_2}{1 - 0,05}, \quad (49)$$

$$F_{3\min} = \frac{403}{1 - 0,05} = 424,21\text{Н}.$$

$$F_{3\max} = \frac{F_2}{1 - 0,4}, \quad (50)$$

$$F_{3\max} = \frac{403}{1 - 0,4} = 671,667\text{Н}.$$

Виходячи із умов роботи приймемо пружину I класу розряду 3.

Згідно ГОСТ 13768-86 виберемо пружину №49 з наступними параметрами.

$F_3 = 425\text{Н}$ - сила пружини елементу при максимальній деформації

$D_1 = 20\text{мм}$ - зовнішній діаметр пружини

$d = 3,5\text{мм}$ - діаметр дроту

$C_1 = 327,40\text{Н/мм}$ - жорсткість одного витка пружини

$S'_3 = 1,298\text{мм}$ - максимальна деформація одного витка

Розрахуємо жорсткість пружини:

$$C' = \frac{F_z - F_1}{h}, \quad (51)$$

$$C' = \frac{403 - 200}{1,5} = 135,333\text{Н/мм}.$$

Розрахуємо число робочих витків пружини:

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		40

$$n = \frac{C_1}{C'}, \quad (52)$$

$$n = \frac{327,40}{135,333} = 2,42.$$

Приймаємо число робочих витків $n = 2,5$

Розрахуємо уточнену жорсткість пружини:

$$C = \frac{C_1}{n}, \quad (53)$$

$$C = \frac{327,40}{2,5} = 130,96 \text{ Н / мм.}$$

Розрахуємо повне число витків пружини:

Пружину виготовимо із підібраними витками та підшліфованими на $\frac{3}{4}$ тому опорне число витків $n_2 = 1,5$.

$$n_1 = n + n_2, \quad (54)$$

$$n_1 = 2,5 + 1,5 = 4.$$

Розрахуємо середній діаметр пружини:

$$D_c = D_1 - d, \quad (55)$$

$$D_c = 20 - 3,5 = 16,5 \text{ мм.}$$

Визначимо індекс пружини:

$$i = \frac{D_c}{d}, \quad (56)$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		41

$$i = \frac{16,5}{3,5} = 4,71.$$

Розрахуємо попередню деформацію пружини:

$$S_1 = \frac{F_1}{C}, \quad (57)$$

$$S_1 = \frac{200}{130,96} = 1,53 \text{ мм}.$$

Розрахуємо робочу деформацію пружини:

$$S_2 = \frac{F_2}{C}, \quad (58)$$

$$S_2 = \frac{403}{103,96} = 3,08 \text{ мм}.$$

Розрахуємо максимальну деформацію пружини:

$$S_3 = \frac{F_3}{C}, \quad (59)$$

$$S_3 = \frac{425}{130,96} = 3,25 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини при максимальній деформації:

$$L_3 = (n_1 + 1 - n_2) \cdot d, \quad (60)$$

$$L_3 = (2,5 + 1 - 1,5) \cdot 3,5 = 12,25 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини у вільному стані:

$$L_0 = L_3 + S_3, \quad (61)$$

$$L_0 = 12,25 + 3,25 = 15,5 \text{ мм}.$$

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		42

Розрахуємо довжину пружини при попередній деформації:

$$L_1 = L_0 - S_1, \quad (62)$$

$$L_1 = 15,5 - 1,53 = 13,97 \text{ мм}.$$

Розрахуємо довжину пружини при робочій деформації:

$$L_2 = L_0 - S_2, \quad (63)$$

$$L_2 = 15,5 - 3,08 = 12,42 \text{ мм}.$$

Розрахуємо крок навивки пружини у вільному стані:

$$t = S'_3 + d, \quad (64)$$

$$t = 1,298 + 3,5 = 4,798.$$

Розрахуємо довжину дроту розгорнутої пружини:

$$L \approx 3,2 \cdot D_1 \cdot n_1, \quad (65)$$

$$L = 3,2 \cdot 20 \cdot 4 = 211,2 \text{ мм}.$$

Навантажувальна характеристика розрахованої пружини наведена на рис. 2.8.

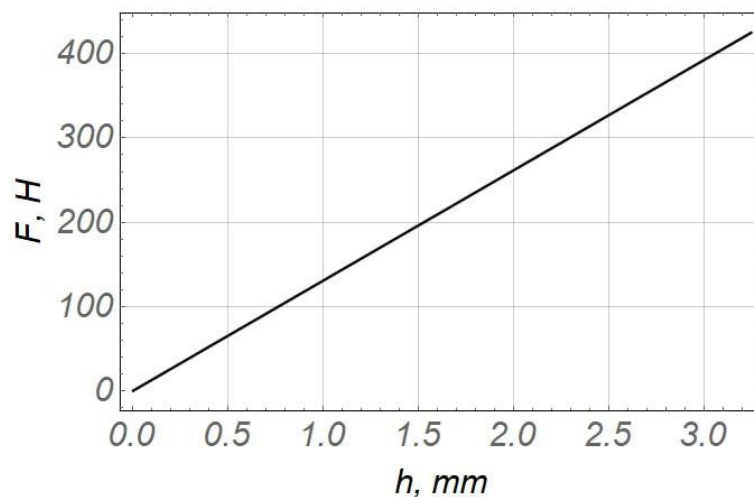


Рис. 2.8. Навантажувальна характеристика розрахованої пружини

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		43

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

3.1. Аналіз небезпечних і шкідливих виробничих факторів

Безпека під час роботи з цією сортувальною системою гарантується завдяки поєднанню технічних рішень та чітких правил для персоналу. Усі робочі місця та процеси сервісного обслуговування розроблені відповідно до Закону України про охорону праці (від 14. 10. 92, № 49, ст. 668). [9]

При експлуатації автоматизованої сортувальної лінії на базі матричного роликового дивертора, робоче середовище характеризується наявністю ряду небезпечних та шкідливих виробничих факторів згідно з ГОСТ 12.0.003-74. [12]

При виконанні загальних вимог безпеки (ДСТУ 3738-98 [10]) оператор забезпечує безпечну експлуатацію робота, який оснащений запобіжниками, сигнальними та блокуючими засобами, вимоги до програмного забезпечення описано у ДСТУ ISO/IEC 14598-2:2005. [9]

Основним технічним викликом при роботі з роликовими диверторами є наявність великої кількості зон захоплення та затягування, що вимагає відповідності конструкції вимогам ДСТУ EN 619:2014 щодо безпеки конвеєрів та систем безперервної дії. [11]

Особливу увагу слід приділити акустичному навантаженню. Робота великої кількості поворотних роликів на швидкостях понад 1,5 м/с створює широкосмуговий шум, рівень якого згідно з ДСН 3.3.6.037-99 [13] не повинен перевищувати 80 дБА. Крім того, при роботі з картонним пакуванням виникає підвищена запиленість повітря робочої зони (пил рослинного походження), що регламентується ГОСТ 12.1.005-88 [14].

Важливим психофізіологічним фактором є напруженість праці оператора, зумовлена високим темпом сортування та необхідністю постійного візуального

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ		
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата			
Розроб.	Черкас А.В.				Розділ 3. Охорона праці		
Перевір.	Сподоба О.О						
Н. контр.							
Затверд.							
						Літ.	Аркуш
							44
							58
						НУБіП України	

контролю за коректністю зчитування ШК, що при тривалій зміні може призводити до зниження концентрації уваги та підвищення ризику помилок.

3.2. Заходи з охорони праці

«Працівник зобов'язаний:

- додержувати зобов'язань щодо охорони праці, передбачених колективним договором (угодою, трудовим договором) та правилами внутрішнього трудового розпорядку підприємства;
- проходити у встановленому порядку попередні та періодичні медичні огляди;
- співробітничати з власником у справі безпечних умов праці, особисто вживати заходів щодо усунення будь-якої виробничої ситуації, яка створює загрозу його життю чи здоров'ю або людей, які його оточують, і навколишньому природному середовищу, повідомляти про небезпеку свого безпосереднього керівника або іншу посадову особу;
- утримувати в порядку і чистоті своє робоче місце;
- дотримувати встановленого протипожежного режиму;
- вміти надавати першу домедичну допомогу потерпілим при нещасних випадках;
- знати і виконувати вимоги даної інструкції, правила виробничої санітарії, правила поводження з машинами, устаткуванням і іншими засобами виробництва;
- не знаходитись на території в нетверезому стані, не вживати спиртні напої та наркотичні речовини;
- курити і приймати їжу тільки в спеціально відведених місцях» [15].

Огородження всіх частин і деталей машин що обертаються, муфт і передач, інших небезпечних зон, знімати і працювати при відсутності яких забороняється.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		45

Вивішування попереджувальних знаків безпеки на всіх пускачах для попередження випадкового пуску устаткування, що знаходиться в ремонті, наладці або очистці.

Окрім базових правил, особливу увагу слід приділити експлуатаційним характеристикам автоматизованої лінії, де обов'язковою є щозмінна перевірка справності систем екстреної зупинки та візуальний контроль цілісності ізоляції кабельних трас, що підведені до приводів. Враховуючи специфіку роботи з омно-колесами та конвеєрними стрічками, будь-які маніпуляції з вилучення вантажів, що застрягли, дозволяються лише після повної зупинки двигунів і блокування пускової апаратури, щоб виключити ризик затягування рук оператора в механізм.

Оскільки постійне переміщення поштових відправлень провокує накопичення статичної електрики, всі металеві секції рами мають бути надійно заземлені згідно з нормами електробезпеки.

Також важливо стежити за станом захисних кожухів на вузлах передачі моменту, адже навіть незначне послаблення кріплень може призвести до аварійної ситуації.

Працівники повинні використовувати спецодяг прилеглого крою та засоби захисту органів слуху, якщо рівень фонового шуму від працюючих двигунів перевищує допустимі норми, а освітленість робочих зон має бути достатньою для чіткої ідентифікації маркування вантажів без зайвої напруги зору, що суттєво знижує загальну втому та ризик виникнення помилок через людський фактор.

3.3. Електробезпека

«Питання електробезпеки при експлуатації автоматизованої сортувальної лінії є одним із пріоритетних, оскільки система поєднує в собі силові приводи високої потужності та чутливу мікропроцесорну техніку.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		46

Основним фактором ризику тут є можливість ураження електричним струмом через пошкодження ізоляції або появу напруги на металевих частинах конструкції, що в нормальних умовах не повинні бути під напругою. Для запобігання таким ситуаціям усі металеві елементи рами конвеєра, корпуси електродвигунів та металеві шафи керування підлягають надійному заземленню відповідно до вимог ПУЕ. Це створює шлях з малим опором для струму витоку, що забезпечує спрацювання захисної автоматики у разі пробію.

Перед кожним запуском лінії працівник зобов'язаний візуально перевіряти цілісність заземлювальних провідників та відсутність видимих пошкоджень ізоляції силових кабелів, які мають бути прокладені в спеціальних захисних коробах або гофрованих трубах для унеможливлення їх механічного стирання чи перетискання рухомими деталями лінії або вантажами.

Особливу увагу слід приділити роботі з шафами керування, доступ до яких дозволяється лише кваліфікованому персоналу з відповідною групою допуску. Категорично забороняється залишати дверцята електричних щитів відкритими під час роботи лінії або захаращувати підходи до них сторонніми предметами чи поштовою тарою, оскільки це може завадити швидкому доступу до вимикачів у разі аварії.» [16].

Оскільки сортувальна лінія працює в умовах постійного тертя пакувальних матеріалів об ролики та омно-колеса, виникає значне накопичення статичної електрики, що може призвести не лише до збоїв у роботі контролерів, а й до неприємних ударів струмом для персоналу. Для нейтралізації цього явища необхідно використовувати антистатичні покриття та забезпечувати безперервність електричного ланцюга між усіма секціями конвеєра.

У разі виникнення будь-яких ознак несправності електрообладнання, таких як поява специфічного запаху горілої ізоляції, іскріння, нехарактерний гул двигунів або відчуття дії струму при дотику до корпусу, працівник має негайно припинити роботу, натиснути кнопку аварійної зупинки та знеструмити лінію за допомогою головного вимикача.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Лис
						т
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		47

Важливо розуміти, що будь-який ремонт, заміна датчиків чи регулювання положення приводів повинні проводитися тільки при повному знятті напруги, причому на пускових пристроях обов'язково вивішується плакат «Не вмикати! Працюють люди». Такий плакат є критично важливим заходом безпеки, що запобігає випадковому подаванню живлення іншим співробітником, який може не знати про проведення робіт.

Крім технічних засобів захисту, не менш важливою є організаційна складова, що включає регулярні інструктажі та перевірку знань персоналу щодо алгоритмів дій при ураженні людини струмом. Кожен оператор лінії повинен чітко знати, як безпечно звільнити потерпілого від дії електричного струму, не наражаючи на небезпеку себе, та вміти надати першу домедичну допомогу до приїзду фахівців. Дотримання чистоти навколо електроустановок також є частиною електробезпеки, адже накопичення пилу чи вологи в зоні контактів може спровокувати коротке замикання.

Тільки комплексний підхід, що поєднує технічну справність ізоляції, надійне заземлення, використання автоматичних вимикачів та суворе дотримання регламентів обслуговування, дозволяє гарантувати безпечну роботу автоматизованого сортувального вузла та мінімізувати ризики виробничого травматизму.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		48

РОЗДІЛ 4. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

4.1. Вихідні данні для розрахунку економічної ефективності

Для оцінки доцільності економічної ефективності проведено порівняльний аналіз ручного та запропонованого роботизованого варіантів організації процесу сортування посилок.

Вихідні данні:

- Проектна продуктивність роботизованої лінії:
 $Q = 4000$ посилок/годину.
- Режим роботи: 2 зміни по 8 годин, 300 робочих днів на рік.
- Річний обсяг обробки: $N = 12000000$ посилок/рік.
- Кількість персоналу при ручному сортуванні: $П_1 = 12$ осіб (по 6 в зміну).
- Кількість персоналу при роботизації: $П_2 = 2$ особи (оператори лінії, по 1 в зміну).
- Середня заробітна плата 1 робітника (з нарахуваннями ЄСВ 23%): 25000 грн/місяць.
- Загальна потужність роботизованої сортувальної лінії: $P = 7,5$ кВт.
- Вартість електроенергії $Ц_e = 8$ грн/кВт.

4.2. Розрахунок капітальних витрат

Капітальні витрати складаються з:

- вартості обладнання;
- доставки обладнання;

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ						
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата							
Розроб.	Черкас А.В.				Розділ 4. Розрахунок економічної ефективності				Літ.	Аркуш	Аркушів
Перевір.	Сподоба О.О									49	58
									НУБіП України		
Н. контр.											
Затверд.											

- монтажу та пуско-налагоджувальних робіт.

Вартість капітальних затрат наведена в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1.

Вартість капітальних затрат

Найменування витрат	Вартість, грн
Вартість конструктивних елементів та механізмів роботизованої сортувальної лінії	1800000
Вартість системи керування, датчиків та програмного забезпечення	450000
Транспортні витрати (5% від вартості)	112500
Монтажні та пусконалагоджувальні роботи (10%)	225000
Загальні капітальні вкладення ($K_{заг}$)	2587500

4.3. Розрахунок витрати на оплату праці

Річні витрати на оплату праці при ручному сортуванні:

$$ЗП_1 = \Pi_1 \cdot ЗП \cdot 12 \quad (66)$$

$$ЗП_1 = 12 \cdot 25000 \cdot 12 = 3600000, \text{ грн/рік}$$

Річні витрати на оплату праці при роботизованому сортуванні:

$$ЗП_2 = \Pi_2 \cdot ЗП \cdot 12 \quad (67)$$

$$ЗП_2 = 2 \cdot 25000 \cdot 12 = 600000, \text{ грн/рік}$$

4.4. Розрахунок витрат на електроенергію

Режим роботи: 2 зміни.

Тривалість зміни: 8 год.

Кількість робочих днів на рік: 300.

$$B_e = P \cdot T \cdot C_e \quad (68)$$

$$B_e = 7,5 \cdot (2 \cdot 8 \cdot 300) \cdot 8 = 288000, \text{ грн/рік}$$

4.5. Розрахунок амортизаційних відрахувань та витрат на обслуговування

Норма амортизації механічного, електричного та електронного обладнання на рік становить $N_a = 12\%$

Норма витрат на поточний ремонт та технічне обслуговування на рік становить $P_m = 5\%$

$$A_g = K_{\text{заг}} \cdot (N_a + P_m) \quad (69)$$

$$A_g = 2587500 \cdot (0,12 + 0,05) = 439875, \text{ грн/рік}$$

Таблиця 4.2.

Річні експлуатаційні витрати

Найменування витрат	Ручне сорткування, грн	Роботизоване сорткування, грн
Витрати на оплату праці	3600000	600000
Витрати на електроенергію	0	288000
Амортизаційні відрахування	0	439875
Річні витрати	3600000	1327875

4.6. Розрахунок річного економічного ефекту

$$\Delta C = C_1 - C_2 \quad (70)$$

$$\Delta C = 3600000 - 1327875 = 2272125, \text{ грн/рік}$$

4.7. Розрахунок строку окупності

$$T_{ок} = \frac{K_{заг}}{\Delta C} \quad (71)$$

$$T_{ок} = \frac{2587500}{2272125} = 1,14, \text{ року}$$

4.8. Розрахунок коефіцієнту економічної ефективності капіталовкладень

$$E_p = \frac{1}{T_{ок}} \quad (72)$$

$$E_p = \frac{1}{1,14} = 0,88.$$

Отримане значення $E_p = 0,88$ значно перевищує нормативний коефіцієнт ефективності для галузі машинобудування та автоматизації $E_H = 0,15$. Відповідно це свідчить про високу доцільність реалізації запропонованої роботизованої системи сортування для поштових відділень.

ВИСНОВКИ

В результаті виконання кваліфікаційної роботи бакалавра (дипломного проєкту бакалавра) було проведено:

Аналіз існуючих технічних рішень, наведено перелік недоліків використання існуючих роботизованих систем сортування для поштових відділень. А також запропоновано удосконалення в якості системи сортування, використати окремий модуль.

В другому розділі розбір запропонованої системи сортування, де основна ідея полягає в тому, щоб змінити грубу механічну дію штовхачів на кінематичну гнучкість омно-коліс. Описана схема роботи дивертора. В результаті, ми отримуємо систему, яка за всіма ключовими параметрами — від вартості виготовлення до надійності та функціональності — перевершує типові промислові рішення, представлені на світовому ринку, і пропонує новий стандарт ефективності для поштових та складських операцій.

Також були проведені такі розрахунки: розрахунок потужності та вибір приводного двигуна; наведено кінематичну схему приводу дивертора; обрано черв'ячний редуктор типорозміру NMRV-075; розраховано відкриту ланцюгову передачу, в якій крок ланцюга дорівнює 15,875, а кількість зубів на ведучій зірочці дорівнює 27; розрахунок фрикційної передачі; розрахунок пружини притискання ведучого диску до веденого ролика підвищуючої фрикційної передачі та розрахунок пружини притискання веденого диску до ведучого ролика фрикційної передачі.

В розділі охорона праці були перелічені шкідливі фактори при експлуатації автоматизованої сортувальної лінії на базі матричного роликового дивертора. Наведено методику заходів електробезпеки. Окрім базових правил, особливу увагу приділили експлуатаційним характеристикам автоматизованої

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ									
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата										
Розроб.		Черкас А.В.			Висновки					Літ.	Аркуш	Аркушів		
Перевір.		Сподоба О.О										53	58	
										НУБіП України				
Н. контр.														
Затверд.														

лінії. Крім технічних засобів захисту, не менш важливою є організаційна складова, що включає регулярні інструктажі та перевірку знань персоналу щодо алгоритмів дій при ураженні людини струмом.

В четвертому розділі наведена методика розрахунку економічної доцільності розробки та виготовлення запропонованої роботизованої системи сортування для поштових відділень. Розрахувавши капітальні витрати, витрати на оплату праці, витрати на електроенергію, амортизаційних відрахувань та витрати на обслуговування, річного економічного ефекту, строку окупності, коефіцієнт економічної ефективності капіталовкладень, я прийшла до висновку, що отримане значення значно перевищує нормативний коефіцієнт ефективності для галузі машинобудування та автоматизації. А це свідчить про високу доцільність реалізації запропонованої роботизованої системи сортування для поштових відділень.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		54

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Штельмашук М. С. Цифровізація та автоматизація логістичних процесів: сучасний стан та перспективи. Економіка та суспільство. 2024 вип. 68
DOI: <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2024-68-193>
2. Коваленко І.П. Сучасні системи автоматизації виробництва. Харків: ХНУРЕ, 2019. – 180 с.
3. Сортивальні системи: веб-сайт. URL: <https://kapelou.com/product/systemy-sortyvannya> – дата звернення: 25.05.2026.
4. Сортингові системи: веб-сайт. URL: <https://www.inlog.com.ua/uk/blank-4> – дата звернення: 25.05.2026.
5. Конвеєрна лінія сортування посилок та вантажів: веб-сайт. URL: <https://konsort.com.ua/catalog/rozsvuvnyj-cortuvalnyk-vzuttya-konveyer-shoe-sorter/> – дата звернення: 25.05.2026.
6. Електродвигун АИР80А2: веб-сайт. URL: <https://slemz.com.ua/catalogue/obshchepromyshlennye/elektrodvigatel-air-80a2-1-5kvt-3000obmin> – дата звернення: 25.05.2026.
7. Редуктор NMRV 075: веб-сайт. URL: <https://slemz.com.ua/reductory-catalog/chervyachni/nmr-ua/nmr-075> – дата звернення: 25.05.2026.
8. Ланцюг 10В-1: веб-сайт. URL: <https://impk.com.ua/uk/rolikovi-lancyugi-po-iso/11829-lancyug-10v-1.html> – дата звернення: 25.05.2026.
9. ДСТУ ISO/IEC 25000:2016 Інженерія систем і програмних засобів. Вимоги до якості систем і програмних засобів та її оцінювання (SQuaRE). Настанова до SQuaRE (ISO/IEC 25000:2014, IDT) Київ : Держстандарт України, 2006. – 27 с.
10. ДСТУ EN ISO 10218-1:2014 Роботи та роботизовані пристрої. Вимоги щодо безпеки для промислових роботів. Частина 1. Роботи (EN ISO 10218-

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ			
Змн.	Арк	№ докум.	Підпис.	Дата				
Розроб.	Черкас А.В.				Список літературних джерел		Літ.	Аркуш
Перевір.	Сподоба О.О							Аркушів
								55
								58
Н. контр.					НУБіП України			
Затверд.								

1:2011, IDT) Київ : Держстандарт України, 2014. – 42 с.

11. ДСТУ EN 842:2014 Безпечність машин. Візуальні сигнали небезпеки. Загальні вимоги, проектування та випробування (EN 842:1996+A1:2008, IDT) Київ : Держстандарт України, 2014. – 13 с.

12. ДСТУ 2293:2014 Охорона праці. Терміни та визначення основних понять. Київ : Держстандарт України, 2014. – 24 с.

13. ДСН 3.3.6.037-99 Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку. Київ : Міністерство охорони здоров'я України, 1999. – 24 с.

14. ДСТУ-Н Б А.3.2-1:2007 Система стандартів безпеки праці. Настанова щодо визначення небезпечних і шкідливих факторів та захисту від їх впливу при виробництві будівельних матеріалів і виробів та їх використанні в процесі зведення та експлуатації об'єктів будівництва Київ : Держстандарт України, 2007. – 62 с.

15. Стаття 14. Обов'язки працівника щодо додержання вимог нормативно-правових актів з охорони праці: веб-сайт. URL: https://protocol.ua/ua/pro_ohoronu_pratsi_stattya_14/ – дата звернення: 25.05.2026.

16. Закону України «Про охорону праці»: веб-сайт. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12#Text> – дата звернення: 25.05.2026.

17. Кошель С. О. Проектування промислових роботів та маніпуляторів: посібник / С. О. Кошель, Ю. Ковалёв, О. П. Манойленко — К. :Центр навчальної літератури, 2019. — 256 с.

18. Михайлов Є. П., Лінгур В. М. Навчальний посібник з дисципліни "Маніпулятори та промислові роботи". Одеса, 2019. 233 с.

19. Бучинський М. Я., Горик О. В., Чернявський А. М., Яхін С. В. Основи творення машин / [За редакцією О. В. Горика, доктора технічних наук, професора, заслуженого працівника народної освіти України]. — Харків: Вид-во «НТМТ», 2017. — 448 с. : 52 іл. ISBN 978-966-2989-39-7

20. Проектування і конструювання робототехнічних систем: Навчальний посібник / Д. О. Міщук. – К.: 2020. – 185 с.: іл.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		
						56

21. Войналович О.В., Марчишина Є.І., Білько Т.О. Охорона праці у сільському господарстві: підручник. К.: Центр учбової літератури. 2017. 691 с.

2. Жидецький В.Ц. Основи охорони праці. Львів: Українська академія друкарства, 2006. 335 с.

22. Хмельовський В.С., Марчишина Є.І., Білько Т.О., Мотрич М.М., Скібчик В.І. Охорона праці. К.: Центр учбової літератури. 2021, 603 с.

23. Економіка праці й соціально-трудова відносини: навчальний посібник / Ткачук В.А., Ланченко Є.О., Балан О.Д., Гаврилюк І.П. К.: НУБіП України, 2022. 616 с.

24. ISO 10218-1:2011. Robots and robotic devices — Safety requirements for industrial robots — Part 1: Robots. International Organization for Standardization, 2017. 42 p.

25. Стручок В.С. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / В.С.Стручок. — Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. — 156 с.

26. Seyed Mojtaba Shafaei, Hossein Mousazadeh. (2021). Development of a mobile robot for safe mechanical evacuation of hazardous bulk materials in industrial confined spaces. Jurnal of Field Robotics. First published: 16 November 2021. DOI: 10.1002/rob.22047.

27. Kim, Changwon, Junho Suh, and Je-Heon Han. (2020). Development of a Hybrid Path Planning Algorithm and a Bio-Inspired Control for an Omni-Wheel Mobile Robot. Sensors. 20, no. 15: 4258. DOI:10.3390/s20154258.

28. Luis A. Mateos; Wei Wang; Banti Gheneti; Fabio Duarte; Carlo Ratti; Daniela Rus. (2019). Autonomous Latching System for Robotic Boats. The International Conference on Robotics and Automation (ICRA). 20-24 May. Montreal, QC, Canada. DOI: 10.1109/ICRA.2019.8793525.

29. Pons, P., Jaen, J. (2020). Interactive spaces for children: gesture elicitation for controlling ground mini-robots. J Ambient Intell Human Comput. Volume: 11. P. 2467–2488. DOI:10.1007/s12652-019-01290-6.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		57

30. Hoang VuPhan, Hoon CheolPark. (2020). Mimicking nature's flyers: a review of insect-inspired flying robots. Current Opinion in Insect Science. Volume 42, Pages 70-75. DOI: 10.1016/j.cois.2020.09.008.

31. Pop, Cornel Vlad; Tătar, Mihai Olimpiu. (2021). Studies and Research on the Locomotion of Mobile Robots Inspired By Biosystems. Robotica & Management. Vol. 26 Issue 2, P. 35-42.

					01.09 – КР. 1044 “С” 2026.04.15.032 ПЗ	Арк
Змн.	Арк.	№ докум.	Підп.	Дата		58

ДОДАТКИ

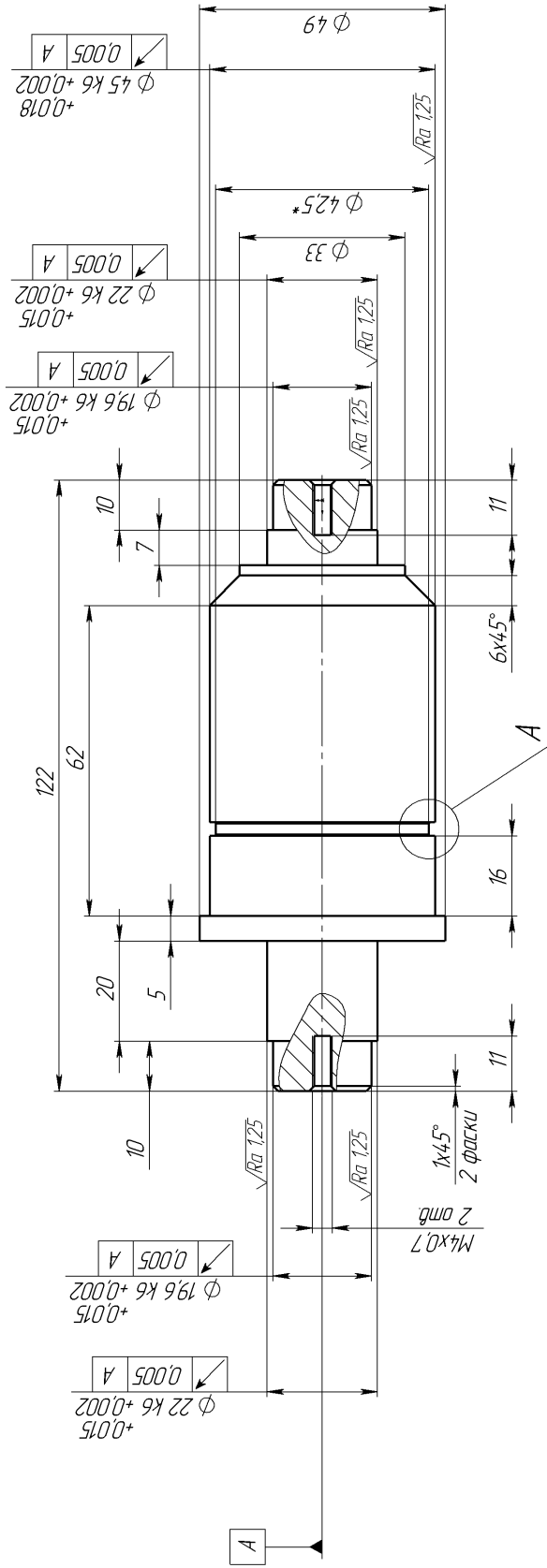
Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка
				Документація		
A1			01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.00.000 ЗВ	Загальний вид		
				Складальні одиниці		
A1		1	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.000 СК	Конфорка	48	
Д/К		2	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.02.000 СК	Клинопасовий привід	1	
Д/К		3	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.03.000 СК	Ланцюговий привід	1	
Д/К		4	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.04.000 СК	Фрикційна передача	48	
Д/К		5	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.05.000 СК	Блок приводу	8	
Д/К		6	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.06.000 СК	Блок керування	2	
Д/К		7	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.07.000 СК	Рама	1	
Д/К		8	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.08.000 СК	Механізм повороту конфорки	8	
Д/К		9	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.09.000 СК	Кронштейн редуктора	1	
				Стандартні вироби		
		10		Електродвигун АИР80А2	1	
		11		Редуктор NMRV 063 80 B5	1	
		12		Кроковий двигун NEMA 43		
				43HS5842 6.0A	8	
		13		Відхоптора ОВ-60	4	
		14		Підшипник UCSPA 2052	2	
		15		Підшипник UCSPA 2042	24	
				01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.00.000 ЗВ		
Зм	Лист	№ докум	Підп.	Дата	Дивертор	
Розроб.	Черкас А. В.					
Перев.	Григорук О.О					
Н.контр.						
Перевір.					НУБІП України	
					Літ.	Аркуш
						1
						1

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Назва	Кільк.	Примітка.
				Документація		
A1			01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.000СК	Складальний кресленник		
				Деталі		
A3		1	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.001	Вал	1	
Д/К		2	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.002	Ролик ведучий	2	
A4		3	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.003	Притискна шайба	1	
A4		4	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.004	Розпірна втулка	1	
A4		5	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.005	Втулка	1	
Д/К		6	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.006	Корпус 1	1	
Д/К		7	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.007	Корпус 2	1	
A3		8	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.008	Пластина	1	
A3		9	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.009	Піджимна пластина	1	
Д/К		10	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.010	Бандаж	2	
Д/К		11	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.011	Колесо	2	
A4		12	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.012	Вісь	1	
A4		13	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.013	Пружина	1	
A4		14	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.014	Фланець	1	
A4		15	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.015	Кришка	1	
Д/К		16	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.016	Кільце	1	
A4		17	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.017	Фрикційний диск	1	
A4		18	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.018	Шайба	1	
A4		19	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.019	Дистанційна втулка	1	
Зм	Лист	№ докум	Підп.	Дата	01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.000СК Конфорка НУБІП України	
Розроб.	Черкас А.В.					
Перев.	Григор'юк О.О.					
Н.контр.						
Перевір.						
					Літ.	Аркуш
						1
						2

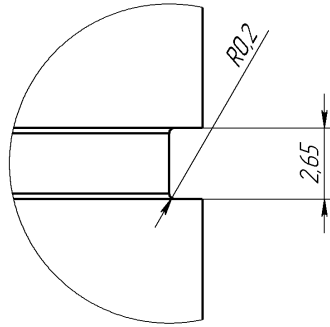
[illegible]

0109-КР.1044.Г.2026.04.15.032.01001

$\sqrt{Ra\ 6,3(\checkmark)}$



A
5:1



- 1. Гострі кройки притупити
- * Розміри для довідок
- 3. Не вказані граничні відхилення розмірів $\pm t/2$ по ГОСТ 25670-83

0109-КР.1044.Г.2026.04.15.032.01001																	
Вал										Лит		Маса		Масштаб			
										Лист 1		Листов 1					
Круг ст. 45 ГОСТ 535-2005																	
Зм		Лист		№ докум		Підп		Дата									
Розроб				Черкас АВ													
Перев				Складов ОО													
Т. кантр																	
Н кантр																	
Затв																	

0109-КР.1044"С"2026.04.15.032.01004

№ 1

√Ra 6,3(✓)

Перв. застосує.

Справ. №

Підп. і дата

Інв. № дудл.

Взам. інв. №

Підп. і дата

Інв. № друг.

Ø 70

Ø 66 H7 +0.030
0.000

Ø 70

Ø 66 H7 +0.030
0.000

А

А

А-А

А-А

√Ra 3.2

√Ra 3.2

12

12

1. Гострі кромки притупити

2. Не вказані граничні відхилення розмірів ±t/2 по ГОСТ 25670-83

0109.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01004

Разпірна втулка

Круг ст. 45 ГОСТ 535-2005

Лім.

Маса

Масштаб

0.04

1:1

Лист 1

Листів 1

НУБіП

Зм.

Лист

№ докум.

Підп.

Дата

Разраб.

Черкас АВ.

Перев.

Спадаба О.О.

Т. кантр.

Н. кантр.

Затв.

1

Копіював

Формат А4

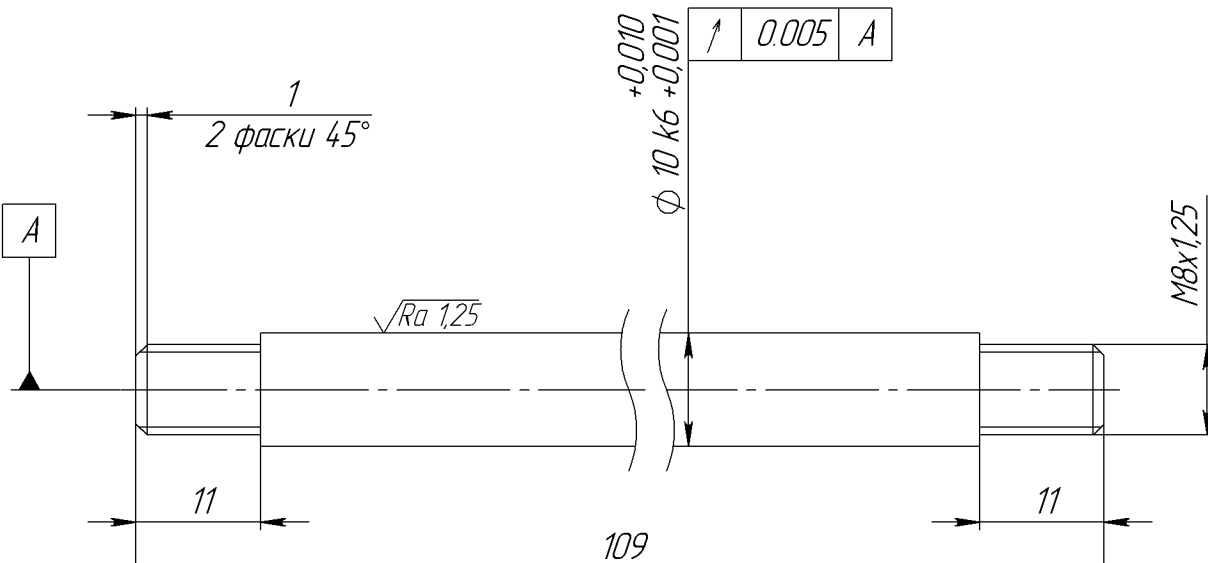
Файл: 0109.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01004

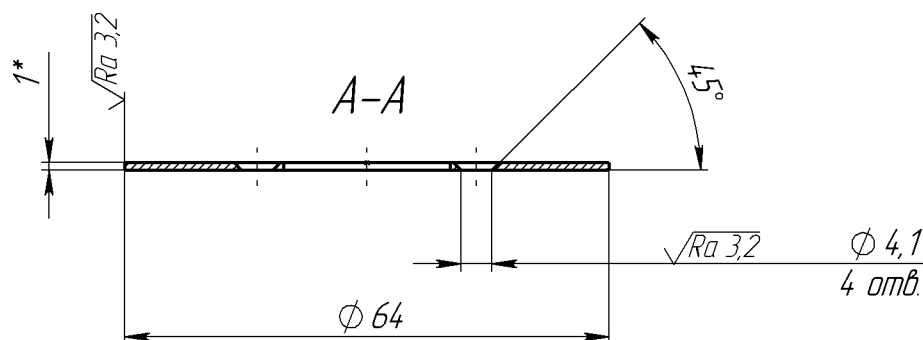
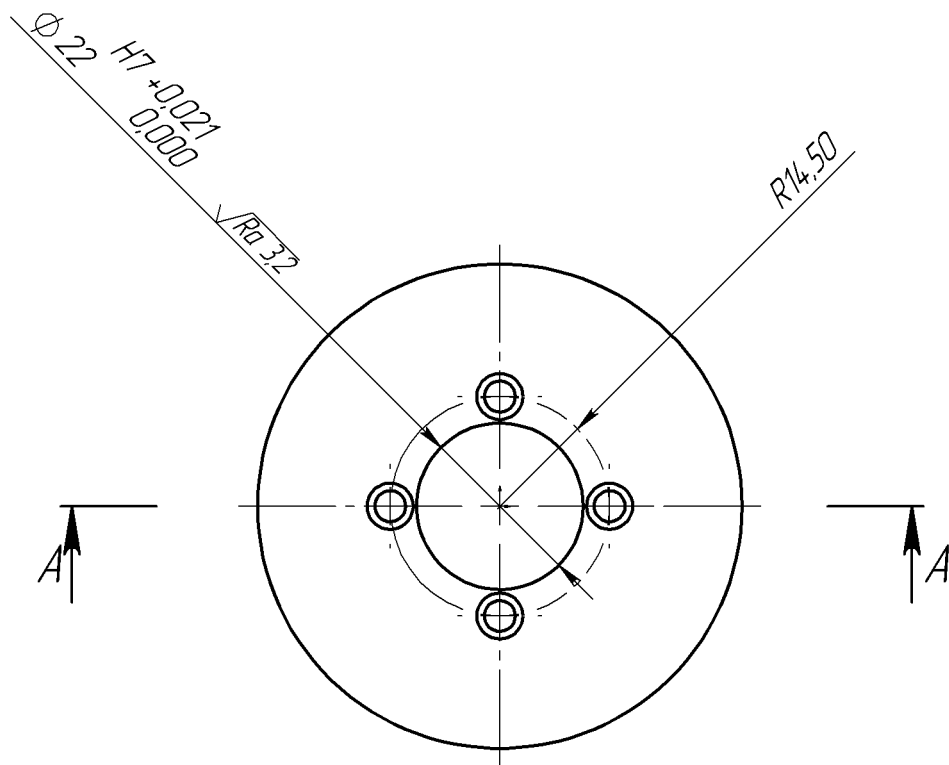
Перв. застосув.		Справ. №		0109-КР.1044"С"2026.04.15.032.01005		$\sqrt{Ra\ 3,2(\sqrt{ })}$	
Підп. і дата		Взм. інв. №		інв. № дубл.		А	
Підп. і дата		Взм. інв. №		інв. № дубл.		А	
інв. № орг.		Т. кантр.		Н. кантр.		Затв	

1. Гострі кромки притупити

2. Не вказані граничні відхилення розмірів $\pm t/2$ по ГОСТ 25670-83

0109-КР.1044"С"2026.04.15.032.01005					Лім.			Маса		Масштаб	
Втулка								0.05		1:1	
Круг ст. 45 ГОСТ 535-2005					Лист 1			Листів 1			
НУБІП											

Справ. №		Перв. застосов.	
0109-КР.1044"С"2026.04.15.032.01012		$\sqrt{Ra\ 3,2}(\checkmark)$	
1			
			
1. Гострі кромки притупити 2. Не вказані допустимі відхилення розмірів $\pm t/2$ по ГОСТ 25670-83			
Підп. і дата		Підп. і дата	
Взм. інв. №		інв. № дубл.	
інв. № ориг.		інв. № дубл.	
Зм.		Лист	
Разраб.		Черкас А.В.	
Перев.		Спадаба О.О.	
Т. кантр.			
Н. кантр.			
Затв.			
01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01012			
Вісь		Літ.	
		Маса	
		Масштаб	
Лист 1		Листів 1	
Круг ст. 45 ГОСТ 535-2005		НУБІП	



1. Гострі кромки притупити
2. * Розміри для довідок
3. Не вказані граничні відхилення розмірів $\pm t/2$ по ГОСТ 25670-83

					01.09.-КР.1044"С"2026.04.15.032.01.017							
					Фрикційний диск	Літ.			Маса		Масштаб	
									0,02		1:1	
						Лист 1			Листів 1			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Лист <u>Б-0-ПН-1 ДСТУ 8540:2015</u> <u>Ст 3 ГОСТ 14637-89</u>	НУБіП						
Разраб		Черкас А.В.										
Перев.		Спадава О.О.										
Т. кантр.												
Н. кантр.												
Затв.												