

Хмельницький національний університет
Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА БАКАЛАВРА

Розробка пластинчастого конвеєра для транспортування відходів в процесі їх сортування

Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
Шифр, назва
Спеціальність 133 «Галузеве машинобудування»
Шифр, назва
Освітня програма Робототехнічні та мехатронні системи галузі


Шифр БРМА 25.00.00.000 ПЗ

Виконав студент 4 курсу
група РМ-21-1


Підпис

Петров Б. А.
Ініціали, прізвище

Керівник


Підпис, дата

Синюк О. М.
Ініціали, прізвище

Нормоконтролер


Підпис, дата

С. І. Лукшин
Ініціали, прізвище

До захисту допускаю:


Підпис, дата

В. С. Неймак
Ініціали, прізвище

Зав. кафедри МАЕЕС
2 06 2025 р.

Хмельницький 2025

ХМЕЛЬНИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури

Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем

Рівень вищої освіти перший(бакалавр)

Галузь знань 13 Механічна інженерія

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітня програма Робототехнічні та мехатроні системи галузі

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____.20__ р.

ЗАВДАННЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Гештов Богдан Дмитрович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

1. Тема роботи Розробка пластинчастого конвеєра для транспортування відходів при їх сортуванні

Керівник роботи Синюк Олег Миколайович проф. д.т.н.
Прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання

Затверджено наказом ректора університету від 7 02 2025 р. № 23

2. Строк подання студентом кваліфікаційної роботи на кафедру 02.06.25

3. Вихідні дані до роботи Характеристики конвеєра для сортування відходів при їх сортуванні

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. Огляд та аналіз сучасних технологій сортування відходів. Аналіз існуючих конструкцій пластинчастих конвеєрів. 2. Проектування конструкції пластинчастого конвеєра. Структурна модель пристрою
3. Розробка пластинчастого конвеєра

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслень)

Земли пластинчастих конвеєрів (А1, А0).

Пластинчастий конвеєр, складальне креслення (А1, СК)

Вузол підшипника приводного вала (А3)

Вузол підшипника введеного вала (А3), Мотор-редуктор (А3), Зв'язковий механізм (А3), Кінематична схема (А2, Д0)

Схема керування конвеєром (А2, Д0).

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата | |
|--------|---|----------------|------------------|
| | | завдання видав | завдання прийняв |
| | | | |
| | | | |
| | | | |
| | | | |


7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Назва етапів (розділів) кваліфікаційної роботи | Строк виконання етапів роботи | Примітки |
|---|-------------------------------|----------|
| 1. Огляд та аналіз сучасних технологій сортування. | | |
| 2. Проектування конструкції пластмасового ковбеса | | |
| 3. Розрахунок пластмасового ковбеса | | |
| 4. Оформлення пояснювальної записки та графічного матеріалу | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |
| | | |

Студент(ка)

Керівник роботи


 Підпис

 Підпис

Жетров Б. А.
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ
 Сидко О. М.
 Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

Факультет інженерії, транспорту та архітектури
Кафедра машин і апаратів, електромеханічних та енергетичних систем
Рівень вищої освіти перший (бакалавр)
Галузь знань 13 Механічна інженерія
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
Освітня програма Робототехнічні та мехатроні системи галузі

АНОТАЦІЯ НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Петров Богдан Анатолійович

Прізвище, ім'я, по батькові студента

Тема роботи Розробка пластинчастого конвеєра для транспортування відходів при їх сортуванні

1. Прізвище, ініціали, вчена ступінь та звання рецензента Гинюк Олег
Миколайович проф. у.т.и.

2. Обсяг бакалаврської роботи: креслень 5 арк, сторінок записки 74

3. Характеристика розділів пояснювальної записки:

У першому розділі описано сучасні технології сортування відходів. Освіджено проблеми експлуатації пластинчастих конвеєрів. У другому розділі спроектовано конструкцію пластинчастого конвеєра. Розроблено схему адаптивного керування рухом стрічки. У третьому розділі проведено розрахунок для пластинчастого конвеєра.

Підпис студента БЗ

" 02 " 06 20 25 р.

Р І Ш Е Н Н Я Е К ЗА М Е Н А Ц І Й Н О Ї К О М І С І Ї:

Протокол 5 від 30 06 20 25 р.

Оцінка роботи ЕК добре /с/ 4,0

Рекомендації ЕК _____

Особливі відмітки _____

Технічний секретар _____



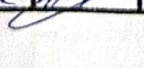

БЗ
Підпис

Буряк А.В.
Ім'я, ПРІЗВИЩЕ

" 30 " 06 20 25 р.

Зміст

| | Стор. |
|---|-------|
| Вступ..... | 6 |
| 1 Аналіз сучасних технологій сортування відходів і конструкцій пластинчастих конвеєрів..... | 7 |
| 1.1 Сучасні підходи до автоматизованого сортування промислових відходів..... | 7 |
| 1.2 Аналіз існуючих конструкцій пластинчастих конвеєрів та їх застосування у сортувальних лініях..... | 13 |
| 1.3 Проблеми експлуатації пластинчастих конвеєрів та можливі шляхи їх усунення..... | 19 |
| Висновки до розділу..... | 24 |
| 2 Проектування конструкції пластинчастого конвеєра для сортування відходів..... | 25 |
| 2.1 Визначення вимог до конструкції конвеєра з урахуванням умов експлуатації..... | 25 |
| 2.2 Розробка схеми адаптивного керування рухом стрічки з урахуванням сканування камерами та спектрометрами..... | 31 |
| 2.3 Структурна модель пристрою та опис принципу роботи..... | 41 |
| Висновки до розділу..... | 46 |
| 3 Розрахунок пластинчастого конвеєра..... | 48 |
| 3.1 Початкові дані для розрахунку..... | 48 |
| 3.2 Тяговий розрахунок і вибір електроприводу..... | 50 |
| 3.3 Розрахунок валів конвеєра..... | 54 |
| 3.4 Розрахунок зірочок і підшипників..... | 57 |
| 3.5 Розрахунок гвинтових натягувачів..... | 60 |
| 3.6 Розрахунок корпусу конвеєра..... | 62 |

| | | | | |
|----------------------|-----------|--------------------|---|------|
| БРМА 25.00.00.000.ПЗ | | | | |
| Мн | Лист | № докум | Підпис | Дата |
| | Розроб. | Петров Б.А. |  | |
| | Перев. | Синюк О.М. |  | |
| | Реценз. | | | |
| | Н. Контр. | Пудик |  | |
| | Затвердив | Меймак |  | |
| | | | Розробка пластинчастого конвеєра для транспортування відходів при їх сортуванні | |
| | | Арк | Аркушів | |
| | | 4 | 74 | |
| | | ХНУ гр. РМ-21-1 | | |

Вступ

У сучасних умовах інтенсивного розвитку промисловості та стрімкого зростання обсягів виробництва особливої актуальності набуває проблема поводження з відходами, зокрема - їх утилізації, сортування та повторного використання. Збільшення обсягів споживання, укорінення масового виробництва, а також глобальні тенденції щодо сталого розвитку вимагають переосмислення підходів до управління промисловими відходами, особливо в галузях легкої промисловості, таких як текстильна, швейна та взуттєва.

У цих секторах утворюється значна кількість відходів різного типу: обрізки тканини, неткані матеріали, залишки фурнітури, упаковка, синтетичні матеріали, тощо. Частина з них може бути утилізована або використана повторно, однак лише за умови попереднього сортування. Проблема полягає в тому, що більшість існуючих систем збору відходів не здатні забезпечити належне сортування матеріалів за їхніми фізико-хімічними властивостями, ступенем забруднення. Унаслідок цього суттєво знижується ефективність переробки, зростає навантаження на сміттєзвалища та підвищуються загрози для довкілля.

Тому дедалі більшої уваги потребує впровадження сучасних технологій сортування, що базуються на принципах автоматизації, точного аналізу та швидкого реагування. Сучасне сортувальне обладнання вже не обмежується лише механічними пристроями, а інтегрує спектральні аналізатори, сенсори, камери машинного зору та системи штучного інтелекту. Завдяки цим технологіям стає можливим визначення типу матеріалу, його стану, кольору, текстури тощо - і автоматичне спрямування об'єкта у відповідний потік для подальшої обробки чи утилізації. Такі системи демонструють високу швидкість роботи, адаптивність до змін у потоці матеріалів і здатність до самонавчання. Автоматизоване сортування дає змогу не лише зменшити витрати на ручну працю та підвищити ефективність переробки, але й сприяє реалізації принципів

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|---|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | 6 |

циркулярної економіки, що передбачає мінімізацію відходів і повторне використання ресурсів. Відтак актуальним стає завдання розробки та впровадження технологічного рішення, яке забезпечить стабільне, безпечне й ефективно переміщення та сортування відходів у межах виробничої або переробної лінії.

У межах цієї роботи передбачено дослідження процесів сортування промислових відходів у легкій промисловості, аналіз сучасного обладнання та технологій, а також розробка оптимального технічного рішення для реалізації автоматизованої сортувальної системи

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|---|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 7 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

1 Аналіз сучасних технологій сортування відходів і конструкцій пластинчастих конвеєрів

1.1 Сучасні підходи до автоматизованого сортування промислових відходів

Проблема утилізації та вторинної переробки промислових відходів набуває все більшої актуальності на тлі загострення екологічної ситуації у світі. Одним із важливих напрямів є удосконалення технологій сортування, які дозволяють виділити з потоку відходів ті компоненти, що можуть бути використані повторно або безпечно утилізовані. У контексті легкого промислового виробництва – наприклад, швейної, текстильної, трикотажної, взуттєвої галузей – мова йде про сортування текстильних відходів, обрізків тканин, пластикової упаковки, залишків фурнітури, паперу, а іноді – металевих елементів.

На зміну ручному сортуванню, яке супроводжується низькою продуктивністю, високим рівнем похибок та потребою в значній кількості працівників, приходять автоматизовані системи. Вони базуються на застосуванні сенсорних технологій, комп'ютерного зору, штучного інтелекту, спектрометрії та механізованих пристроїв для відокремлення матеріалів. Усі ці технології інтегруються в сортувальні лінії, де основним транспортним засобом є конвеєр, який забезпечує рівномірну подачу сировини під сканери або інші детектори.

Сучасні системи сортування здатні ідентифікувати матеріал за формою, кольором, щільністю, спектральною характеристикою або електропровідністю. Це дозволяє не лише класифікувати сміття на широкі категорії (пластик, метал, папір), але й розділяти подібні на вигляд об'єкти – наприклад, ПЕТ-пляшки від ПВХ-упаковки.

Найбільш поширені види автоматизованих сортувальних технологій(Таблиця 1.1):

1. Оптичне сортування – здійснюється за допомогою камер, які знімають об'єкти на стрічці, аналізують колір, форму, текстуру, і на основі машинного навчання

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|---|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 8 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

класифікують відходи. Наприклад, RGB-камери високої чіткості поєднуються з алгоритмами розпізнавання об'єктів, що працюють на основі нейронних мереж.

2. Інфрачервоне (NIR) сортування – використовується для розділення матеріалів за їх спектральними властивостями в ближньому інфрачервоному діапазоні. Дозволяє розпізнавати полімери, які мають однаковий зовнішній вигляд, але різну хімічну структуру.

3. Гіперспектральна спектрометрія – більш точна технологія, що фіксує повний спектр світлового відбиття матеріалу. Дає можливість розпізнавати до 20 типів пластиків і тканин з високою точністю.

4. Індукційне сортування – працює на основі електромагнітної індукції, що дозволяє відділяти металеві компоненти з потоку.

5. Пневматичне сортування – використовується як механізм фізичного відокремлення: після класифікації об'єкти направляються струменем повітря в потрібну сторону.

Таблиця 1.1- Основні технології автоматизованого сортування промислових відходів

| Технологія | Принцип дії | Що ідентифікує |
|--------------------------------|--|---|
| Оптичне сортування | RGB-камери + алгоритми розпізнавання зображень | Колір, форма, текстура |
| Інфрачервоне (NIR) сортування | Вимірювання спектральної відповіді в ближньому ІЧ-діапазоні | Типи полімерів, матеріалів |
| Гіперспектральна спектрометрія | Аналіз повного спектру відбитого світла | До 20 типів пластику та тканин |
| Індукційне сортування | Генерація електромагнітного поля для виявлення провідних тіл | Металеві елементи (мідь, алюміній, сталь) |

| | | |
|---|---|---|
| Пневматичне сортування | Направлення потоку матеріалу струменем повітря після класифікації | Фізичне відділення легких/важких об'єктів |
| Сортування на основі штучного інтелекту | Глибокі нейронні мережі, самонавчання, зворотний зв'язок | Складні фрагменти, комбіновані матеріали, забруднення |

Наведена таблиця демонструє, що сучасні системи сортування промислових відходів базуються на поєднанні фізичних, оптичних, спектральних та інтелектуальних методів ідентифікації. Особливої уваги набувають технології на основі штучного інтелекту, які дозволяють обробляти складні та комбіновані матеріали з високою точністю, забезпечуючи адаптивність і ефективність сортувального процесу в умовах змінного поток

Важливою перевагою таких систем є можливість адаптації швидкості роботи – наприклад, у разі великого потоку сміття, лінія може зменшити швидкість руху конвеєра, аби збільшити час на розпізнавання, або ж прискорити подачу при малому навантаженні. Ця властивість є особливо важливою для забезпечення стабільності та надійності сортувального процесу.

Типова сучасна сортувальна лінія складається з наступних основних елементів:

1. Завантажувальний бункер або приймальний стіл;
2. Пластинчастий або стрічковий конвеєр;
3. Камери або спектрометри для ідентифікації об'єктів;
4. Блок керування (контролер, мікрокомп'ютер, PLC);
5. Система пневмоклапанів або механічних відсікачів;
6. Бункери або канали для відведення відсортованого матеріалу.

У найновіших системах розпізнавання використовується не лише класична обробка зображень, але й елементи штучного інтелекту: алгоритми машинного

навчання, нейромережі, методи класифікації за деревами рішень. Такі рішення дозволяють досягати точності понад 90% при сортуванні змішаних відходів.

На сьогодні розробляються й експериментальні системи сортування, які поєднують гіперспектральний аналіз з роботизованими маніпуляторами, що дозволяє здійснювати повністю безконтактну і високоточну ідентифікацію та відбір відходів.

Таким чином, автоматизовані системи сортування – це складні комплексні рішення, що вимагають стабільної та керованої подачі матеріалу. Тому якість роботи конвеєра є критично важливою – від його конструкції залежить ефективність і точність усього процесу. У наступних підпунктах буде проаналізовано типи конвеєрів, особливо пластинчастих, та сформульовано вимоги до конструкції, яка буде розроблена у межах цього проєкту.

Значення автоматизації процесів сортування неможливо переоцінити в умовах постійного зростання кількості відходів. Звичайні ручні методи давно вичерпали себе, оскільки потребують значних трудових ресурсів, не гарантують стабільної точності, та часто не здатні впоратися з високими обсягами оброблюваного матеріалу. Саме це спонукало до впровадження технологічно складних рішень, орієнтованих на комплексний підхід до аналізу та сортування сировини на підприємствах.

Особливо важливо зазначити, що в умовах легкого промислового виробництва відходи є не лише різномірними за матеріалом, а й за формою, розміром, текстурою та ступенем забруднення. Скажімо, обрізки тканин можуть містити фурнітуру, блискавки, пластикові вставки або навіть металеві елементи. Це значно ускладнює процес автоматичного розпізнавання, адже типовий детектор або камера повинні ідентифікувати не лише матеріал, але й відокремити супутні компоненти. Відповідно, сортувальна система має бути не просто "розумною", а ще й швидкою, адаптивною, та гнучкою до змін.

Інтелектуальні камери, що поєднують оптичну фіксацію з обробкою даних у реальному часі, стали фундаментальним інструментом у таких системах. Їхня

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 11 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

функція виходить далеко за межі фіксації об'єкта – сучасні алгоритми обробки зображень дозволяють виявляти характерні особливості відходів, розпізнавати логотипи або шви на поверхні тканини, визначати залишкові забруднення. Візуальний аналіз, доповнений спектральною інформацією, дозволяє створювати умовно "цифровий відбиток" кожного фрагменту відходів, за яким і відбувається класифікація.

Ще одним важливим напрямом є використання штучного інтелекту. Алгоритми нейронних мереж вже сьогодні показують здатність до самонавчання на основі великої вибірки даних про відходи. Наприклад, якщо раніше система сортування могла помилково класифікувати темну тканину як гуму або ПВХ, то сучасні мережі враховують десятки параметрів – і кольорових, і текстурних, і спектральних. Більш того, у деяких системах впроваджується система "зворотного зв'язку", коли оператор позначає помилки класифікації вручну, а програма автоматично оновлює модель і враховує їх надалі.

Усе це функціонує лише за умови чіткого синхронізованого транспортування відходів по сортувальній лінії. Якщо подача нестабільна, з ривками, перевантаженнями або застоюванням матеріалу, то найточніша камера чи спектрометр не дасть очікуваного результату. І тут критичну роль відіграє конвеєр – саме він визначає рівномірність і темп всього процесу. У випадку, якщо на конвеєрі з'являється надмірна кількість сміття, або ж відходи перекривають один одного, система може або сповільнити рух, або призупинити його для повторного аналізу. Це стало можливим завдяки датчикам навантаження, камерам контролю подачі і зв'язку між ними та контролером приводу.

Впровадження адаптивного керування швидкістю – важлива інновація. Наприклад, за наявності складної фракції, яка вимагає більше часу на аналіз (скажімо, змішані тканини з пластиковими вставками), система автоматично зменшує швидкість, дозволяючи алгоритмам обробки точніше розпізнати

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 12 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

об'єкти. Коли ж потік стабільний і складається з однорідних елементів, стрічка пришвидшується, підвищуючи продуктивність без втрати якості.

Не менш важливо те, що інтелектуальні системи сортування не ізольовані. Сучасні лінії часто інтегровані в загальну інформаційну мережу підприємства: дані з камер або спектрометрів можуть передаватись на сервери, де ведеться статистика, аналітика, планування заміни витратних елементів, або навіть контроль за якістю партій відходів. Це відкриває шлях до повного цифрового контролю над утилізацією на виробництві.

У світовій практиці уже є приклади, коли сортувальні комплекси на підприємствах текстильної та взуттєвої галузі не лише сортують відходи, а й передають інформацію про потенційно повторно придатні матеріали в систему внутрішнього використання – тобто відходи одразу стають сировиною. В Україні подібна практика ще не є масовою, однак тренд на автоматизацію та повторне використання матеріалів швидко набирає обертів.

З урахуванням вищенаведеного, можна стверджувати, що ефективна система сортування відходів повинна будуватись на гармонійному поєднанні високоточної ідентифікації, гнучкого керування транспортною системою, та аналітичної підтримки в режимі реального часу. Саме таке рішення і пропонується реалізувати в рамках даного дипломного проєкту: поєднати надійний пластинчастий конвеєр з інтелектуальним блоком розпізнавання та динамічного контролю швидкості.

1.2 Аналіз існуючих конструкцій пластинчастих конвеєрів та їх застосування у сортувальних лініях

Серед основних типів транспортувальних систем, які використовуються у сортувальних лініях, найбільш поширеними є стрічкові, роликові, вібраційні та пластинчасті конвеєри. Кожен із них має свої особливості, проте саме пластинчасті забезпечують необхідну стабільність, міцність і сумісність із

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 13 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

сенсорною апаратурою. Нижче наведено аналіз таких конструкцій та обґрунтування вибору для цього проєкту.

Пластинчасті конвеєри є одним із найбільш поширених типів транспортувального обладнання у промисловості, що вирізняються високою надійністю, витривалістю до динамічних навантажень і здатністю транспортувати габаритні або нерівномірно розподілені матеріали. Їх конструкція базується на системі з'єднаних між собою металевих або пластикових пластин, що утворюють суцільну рухому поверхню. Цей принцип дозволяє забезпечити міцність та стабільність при транспортуванні складних за формою відходів, які характерні для легкої промисловості.

Конвеєри такого типу часто використовуються в умовах, де потрібне стійке до пошкоджень покриття, особливо при наявності гострих, важких або забруднених матеріалів. На відміну від стрічкових аналогів, які можуть зношуватись або рватися при механічному впливі, пластинчасті конструкції мають вищу довговічність і знижують потребу у частому технічному обслуговуванні.

Однією з головних переваг є можливість формування складних геометрій траси переміщення. Наприклад, пластини можуть рухатись не лише по горизонталі, а й під нахилом, по вигнутим траєкторіям, або з обертанням навколо осі. Це особливо зручно у багаторівневих сортувальних лініях, де потрібно подавати відходи до кількох точок розпізнавання чи відсікання.

За конструктивними особливостями пластинчасті конвеєри поділяються на:

- ланцюгові, де пластини прикріплені до тягового ланцюга (найпоширеніший тип);
- модульні, з окремих секцій, які дозволяють легку заміну частин;
- суцільнометалеві, що використовуються при екстремальних навантаженнях.

Залежно від матеріалу пластин, конвеєри бувають:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 14 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- металеві (сталь, нержавійка) – найстійкіші до агресивного середовища, але важчі та дорожчі;
- пластикові (поліацеталь, ПВХ) – легші, дешевші, але менш зносостійкі.



Рисунок 1.1 – Гібридний пластинчастий конвеєр

У сортувальних лініях для легкого промислового сміття найчастіше застосовують гібридні конструкції: металева рама та пластикові або композитні пластини. Це дозволяє зменшити вагу рухомої частини та уникнути іскроутворення при терті (актуально при наявності пилу, тканин, легкозаймистих часток).

Однак попри переваги, пластинчасті конвеєри мають і ряд недоліків:

- відносно висока вартість виготовлення;
- складність обслуговування у випадку пошкодження ланцюга чи пластин;
- більший рівень шуму порівняно зі стрічковими аналогами;
- потреба у точному налаштуванні натягу та синхронізації приводу;
- більша вага конструкції, що вимагає потужнішого електроприводу.

У багатьох випадках вітчизняні підприємства використовують застарілі конструкції радянського зразка або імпортоване обладнання з відновлення. Це

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | | |
| | | | | | | |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 15 |

зумовлює часті поломки, низьку адаптивність до сучасних технологій розпізнавання, неможливість інтеграції з сенсорною апаратурою, або обмежену швидкість руху без ризику зриву ланцюга. У деяких випадках спроба "модернізації" старого конвеєра до потреб автоматизованої лінії призводить до втрати ефективності всієї системи.

Водночас сучасні зразки, які використовуються в європейських або американських системах сортування, вже враховують можливість підключення до цифрових контролерів, підтримку змінної швидкості, знижену гучність роботи, а також механізми швидкої зупинки при виявленні перепон. У деяких з них вбудовані системи самоочищення, які запобігають накопиченню волокон тканини чи пилу, що особливо актуально у випадку переробки текстильних залишків.

У рамках даного дослідження буде здійснено аналіз технічних характеристик існуючих моделей, порівняння їх ефективності в умовах сортувальних ліній, адаптованих для легкого промислового сміття. Особливу увагу буде приділено таким параметрам, як:

- ширина та довжина полотна;
- швидкість транспортування;
- гранична вага навантаження;
- рівень вібрації при русі;
- можливість інтеграції з модулями розпізнавання.

Метою цього підpunkту є визначення недоліків типових пластинчастих конвеєрів, які можуть стати обмеженням при використанні в інтелектуальній системі сортування, а також формування переліку конструктивних вимог до нової розробки, яка буде створена в рамках даної дипломної роботи.

Поглиблений аналіз показує, що ключовою особливістю пластинчастого конвеєра є його здатність зберігати стійкість конструкції під дією нерівномірних та динамічних навантажень. Це забезпечується не лише міцністю окремих пластин, а й правильно підбраною геометрією їх з'єднання. Типова система

базується на паралельних тягових ланцюгах, до яких прикріплені металеві або пластикові елементи, що утворюють «гнучку платформу». Саме така платформа дозволяє утримувати як великі за розміром компоненти, так і дрібні залишки, які не провалюються між щілинами – на відміну від роликкових або решітчастих конвеєрів.

У світовій практиці, зокрема на підприємствах Німеччини, Франції, Швейцарії та США, спостерігається тенденція переходу на модульні пластинчасті конвеєри, які легко обслуговуються, мають змінні блоки, а також передбачають резервне живлення або аварійні приводи. Вони проєктуються з урахуванням інтеграції з електронними сенсорами – наприклад, камери встановлюються у верхній частині траси, а блоки спектрометрії – безпосередньо над стрічкою.

Інтеграція з інтелектуальними технологіями сортування висуває нові вимоги до самих конвеєрів: тепер недостатньо просто забезпечити рух. Необхідно гарантувати рівномірність цього руху, керованість швидкістю, можливість зупинки на певному етапі для точнішого аналізу, відсутність вібрацій, які можуть спотворити дані сканування. У цьому аспекті класичні радянські моделі, які досі присутні на багатьох українських підприємствах, застаріли морально та технічно (Таблиця 1.2).

Таблиця 1.2 - Характеристика поширених типів пластинчастих конвеєрів

| Тип конструкції | Матеріал пластин | Стійкість до навантажень | Інтеграція з камерами | Швидкість обслуговування | Придатність для сортування |
|---------------------|------------------|--------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| Ланцюговий сталевий | Сталь | Висока | Обмежена (високі вібрації) | Низька (важко ремонтувати) | Частково придатний |
| Модульний | Поліацета | Середня | Висока | Висока | Добре |

| | | | | | |
|-----------------------------------|--------------------|-------------|------------|-------------|--------------------|
| пластиковий | ль | | | | придатний |
| Гібридний композитний | Пластик + алюміній | Висока | Висока | Висока | Ідеально підходить |
| Застаріла суцільнометалева модель | Сталь | Дуже висока | Непридатна | Дуже низька | Не рекомендовано |

Як видно з таблиці, найбільш перспективними для реалізації автоматизованих сортувальних ліній є гібридні конструкції, які поєднують високу міцність із можливістю інтеграції новітніх технологій. Саме на такому підході й буде базуватись розробка дипломного проекту.

Сучасні конвеєри можуть бути обладнані безконтактними датчиками зупинки, інфрачервоними датчиками наявності об'єктів, енкодерами для точного відстеження пройденого шляху, а також елементами програмного керування. Завдяки цьому стає можливою не просто фіксація об'єктів, а й гнучке керування динамікою руху залежно від зміни потоку сміття, що надходить на лінію.



Рисунок 1.2 – Модульний пластиковий конвеєр

Не менш важливим є й ергономічний аспект. У сучасних зразках все частіше застосовуються шумозаглушувальні вставки, антивібраційні підшипники, захисні кожухи для приводів. Також впроваджуються автоматизовані системи змазування, що продовжують строк служби механізмів. Усі ці рішення створюють умови для стабільної та безпечної роботи не лише механізмів, а й персоналу.

У світлі нових екологічних норм ЄС і принципів «зеленої економіки» зростає попит на енергозберігаючі конвеєри. Тому дедалі частіше в таких системах використовуються частотні перетворювачі для електродвигунів, що дозволяють адаптувати швидкість без перевантаження системи та зайвих енерговтрат. Це відкриває широкі перспективи для реалізації концепцій «розумного виробництва», в якому всі компоненти – від камери до мотору – підключені до єдиної цифрової мережі.



Рисунок 1.3 – Гібридний композитний конвеєр

Враховуючи всі згадані фактори, можна стверджувати, що класичні лінії сортування вже не задовольняють вимоги сучасного виробництва. Розробка нового пластинчастого конвеєра повинна ґрунтуватись не лише на конструктивних параметрах, а й на здатності взаємодіяти з електронними та

аналітичними системами. Саме така взаємодія – апаратно-програмна – і лежить в основі проєкту, що реалізується в даній дипломній роботі.

Зважаючи на аналіз, для реалізації сортувальної лінії було обрано гібридний пластинчастий конвеєр. Його переваги - висока міцність, адаптивність до зміни навантаження, сумісність із системами розпізнавання та низька вібрація - роблять його оптимальним варіантом для роботи з відходами легкої промисловості.

1.3 Проблеми експлуатації пластинчастих конвеєрів та можливі шляхи їх усунення

Попри широке застосування та конструктивну надійність, пластинчасті конвеєри мають ряд проблем (таблиця 1,3), які обмежують їх ефективне використання в умовах сучасних сортувальних ліній. Ці проблеми стосуються не лише механічної частини, а й взаємодії з сенсорними системами, енергоспоживанням, безпекою обслуговування та інтеграції з інтелектуальними технологіями.

Таблиця 1,3 – Основні проблеми експлуатації пластинчастих конвеєрів та шляхи їх усунення

| Проблема | Причина виникнення | Можливі шляхи усунення |
|------------------------------|---|---|
| Нерівномірність руху стрічки | Зношування ланцюга, люфт у зірочках, перевантаження | Використання частотного перетворювача, синхронізація приводів |
| Вібрація під час роботи | Механічні зазори, невірноважені маси | Встановлення антивібраційних опор, амортизаторів |
| Надмірне енергоспоживання | Велика маса сталевих пластин, різкі пуски | Заміна матеріалу на полімерний композит, |

вібрації є впровадження антивібраційних опор, амортизаторів та підвищення точності збирання.

Ще одним критичним аспектом є надмірне енергоспоживання. Через велику масу рухомих елементів (особливо у сталевих пластинах) електродвигуни змушені працювати з підвищеним моментом. Для прикладу, необхідну потужність електроприводу можна оцінити за формулою:

$$P = \frac{F \times v}{\eta}, \quad (1.1)$$

де:

P – потужність двигуна, Вт;

F – сила тяги, Н;

v – швидкість руху конвеєра, м/с;

η – ККД приводу.

У випадках, коли відбувається часта зміна навантаження або потрібно варіювати швидкість руху в режимі реального часу, без використання частотного перетворювача енерговитрати можуть перевищити оптимальні на 25–30%.

Інша поширена проблема – нерівномірне навантаження по ширині конвеєра. Через хаотичне розміщення відходів на лінії, один бік може бути навантажений більше за інший, що призводить до перекосу конструкції, підвищеного тертя й ризику сходження ланцюга. Це потребує або впровадження систем автоматичного вирівнювання вантажу, або використання напрямних роликів з датчиками натягу.

Також значну небезпеку становить слизька поверхня пластин, особливо при транспортуванні забруднених або вологих відходів. Відомі випадки, коли частина відходів сповзала з платформи до моменту досягнення зони зчитування. Це можна вирішити за рахунок нанесення антиковзкого покриття або використання текстурованих поверхонь пластин, що збільшують коефіцієнт тертя.

Варто згадати й про проблему перевантаження системи приводу. У разі надходження на лінію надто великої кількості матеріалу можливий критичний

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 22 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

стрибок сили тяги, що призводить до зносу зубців ведучої зірочки або обриву ланцюга. Силу тяги можна розрахувати як:

$$F = \mu \times (G + Q), \quad (1.2)$$

де:

F – сила тяги, Н;

μ – коефіцієнт тертя;

G – вага рухомої частини конвеєра, Н;

Q – вага вантажу, Н.

Для мінімізації ризиків застосовуються контролери з функцією плавного старту, блоки аварійного відключення, або додаткові редуктори, що розподіляють навантаження рівномірно.

Окрема категорія проблем – несумісність старих моделей із сучасною автоматикою. Більшість вживаних на українських підприємствах пластинчастих конвеєрів не передбачають встановлення сенсорів, камер або керування з центрального контролера. В таких випадках модернізація може коштувати дорожче, ніж розробка нової конструкції з нуля.

Крім технічних проблем, мають місце й експлуатаційні труднощі:

- тривалий час заміни пластин або ланцюга;
- недоступність запчастин до старих моделей;
- висока вартість профілактичного обслуговування;
- відсутність адаптації до змінної ширини потоку відходів.

Як варіант вирішення – впровадження модульних пластин з фіксованими з'єднаннями, які дозволяють замінювати окремі елементи без повного демонтажу стрічки. Також перспективними є безланцюгові рішення з зубчастим ременем, які хоч і дорожчі на старті, однак мають менше механічних втрат і простіші в обслуговуванні.

У рамках дипломного проекту всі ці проблеми будуть враховані. Зокрема, буде:

- використано легкі, але міцні матеріали для зменшення загальної ваги стрічки;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 23 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- розроблено схему адаптивного приводу з можливістю зміни швидкості;
- передбачено можливість монтажу камер/спектрометрів на корпусі;
- спроектовано модульну конструкцію для швидкої заміни компонентів.

Окрім технічних і конструктивних недоліків, сучасні вимоги до екологічності та цифровізації виробництва ставлять перед розробниками конвеєрного обладнання нові виклики. У тому числі – необхідність підключення до систем обліку та моніторингу, використання енергоощадних технологій, автоматичного виявлення поломок або перевантажень у режимі реального часу.

Таким чином, нова розробка повинна не лише вирішити технічні проблеми існуючих моделей, а й відповідати вимогам майбутніх поколінь сортувальних ліній.

1.4 Висновки до першого розділу

У результаті аналізу сучасних технологій сортування відходів та конструкцій пластинчастих конвеєрів встановлено, що ефективне функціонування автоматизованих сортувальних ліній безпосередньо залежить від узгодженої роботи інтелектуальних систем розпізнавання та транспортного обладнання. Сучасні підходи до сортування базуються на використанні спектрометрії, комп'ютерного зору та штучного інтелекту, що вимагає стабільної і контрольованої подачі матеріалу.

Пластинчасті конвеєри, зокрема гібридні моделі, виявилися найбільш придатними до інтеграції з новітніми сенсорними системами завдяки своїй надійності, міцності та гнучкості у трасуванні руху. Попри низку недоліків, таких як підвищена маса, шумність чи складність техобслуговування, їх конструкція забезпечує рівномірність транспортування, адаптацію до складної геометрії відходів і сумісність із цифровим керуванням.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 24 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таким чином, обґрунтовано вибір пластинчастого конвеєра як базової платформи для реалізації інтелектуальної сортувальної лінії у межах даної дипломної роботи. У наступних розділах буде розглянуто технічне проектування, розрахунок та оптимізацію конструкції з урахуванням виявлених проблем і сучасних вимог до ефективності, екологічності та цифровізації виробництва.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 25 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. Проектування конструкції пластинчастого конвеєра для сортування відходів

2.1 Визначення вимог до конструкції конвеєра з урахуванням умов експлуатації

Успішне функціонування будь-якої сортувальної лінії починається з правильно підібраної та спроектованої системи транспортування матеріалів. У контексті цього дипломного проекту основою служить пластинчастий конвеєр, який має не лише забезпечувати переміщення відходів, а й ефективно взаємодіяти з інтелектуальними системами ідентифікації, забезпечувати стабільну швидкість руху, стійкість до навантаження та мінімізувати технічне обслуговування.

З урахуванням особливостей сортування відходів легкої промисловості, таких як текстиль, пластик, фурнітура та інші побутові компоненти, до конструкції конвеєра висуваються такі ключові вимоги:

1. Механічна надійність – витримування нерівномірного навантаження по всій ширині конвеєра, включаючи точкові навантаження від важких або незбалансованих об'єктів.
2. Гнучкість роботи – можливість регулювання швидкості стрічки в діапазоні 0,1–1 м/с для адаптації до режиму роботи камер/спектрометрів.
3. Сумісність із сенсорами – відсутність вібрацій та різких змін швидкості, які можуть вплинути на точність зчитування.
4. Стійкість до вологості, пилу та легких механічних забруднень – для уникнення зупинок через залипання матеріалу чи зношення компонентів.
5. Простота обслуговування – модульність конструкції, що дозволяє замінювати окремі елементи без демонтажу всього механізму.
6. Енергоефективність – використання двигуна з частотним перетворювачем для плавного запуску, регулювання швидкості та мінімізації споживання енергії.

На початковому етапі проектування необхідно провести попередню оцінку параметрів системи, які включають:

- довжину та ширину конвеєра;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 26 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- робочу швидкість транспортування;
- масу транспортованих матеріалів;
- тип та потужність приводу;
- крок і товщину пластин;
- тип опорної конструкції та ланцюгів.

Розглянемо типову ситуацію: середній потік відходів текстильної фабрики – до 200 кг на годину. Розміри фракцій: від 5 до 40 см. Для забезпечення стабільного потоку та точного зчитування камерою з роздільною здатністю 1080р потрібно, щоб кожен об'єкт залишався в полі зору не менше ніж 0,3–0,5 секунди. Це означає, що середня швидкість руху стрічки не повинна перевищувати:

$$v = \frac{l}{t} = \frac{0,3 \text{ м}}{0,5 \text{ с}} = 0,6 \text{ м/с}, \quad (2.1)$$

З урахуванням запасу та можливості регулювання обирається діапазон швидкості:

$$v = 0,2 - 0,8 \text{ м/с},$$

Щодо ширини робочої зони, вона повинна відповідати ширині потоку + запас по боках для уникнення падіння фрагментів. Якщо типова ширина потоку – 500 мм, то рекомендована ширина пластинчастої стрічки:

$$B = 0,5 \text{ м} + 2 \cdot 0,05 \text{ м} = 0,6 \text{ м}, \quad (2.2)$$

Робоча довжина конвеєра визначається за кількістю зон сканування (1–2 камери та зони пневматичного відсікання) та буферної частини. Мінімально необхідна довжина:

$$L = 3,0 \text{ м},$$

Таким чином, попередні основні параметри конвеєра:

- довжина: 3 м;
- ширина: 0,6 м;
- робоча швидкість: 0,2–0,8 м/с;
- навантаження: до 50 кг/м²;
- привід: електродвигун з редуктором і частотним перетворювачем;
- тип стрічки: пластинчаста, модульна, з текстурованою поверхнею.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 27 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

| | |
|--------------------------------|-------------------------|
| Навантаження на м ² | до 50 кг/м ² |
| Кількість пластин | 60 |
| Матеріал пластин | армований поліамід |
| Тяговий елемент | Ланцюг ПР-25,4 |

Площа однієї пластини орієнтовно складає 0,1 м², а загальна кількість пластин залежить від довжини стрічки та обраного кроку зчеплення. При довжині конвеєра 3 метри й кроці 0,15м потрібно:

$$N = \frac{L}{P} = \frac{0,3\text{м}}{0,15\text{ м}} = 20 \text{ пластин в ряд,} \quad (2.3)$$

де:

P – крок ланцюга, м;

L – довжина конвеєра, м;

а при ширині 0,6м з поперечними пластинами по 0,2м – ще 3 в поперек.

У підсумку:

$$20 \times 3 = 60 \text{ пластин (мінімально).}$$

Ці пластини повинні бути скріплені між собою шарнірно або через гнучкі осі. Передбачено, що в місцях кріплення будуть металеві втулки, щоб запобігти розбиттю посадочних отворів.

Щодо тягового елемента, вибір на користь дворядного роликового ланцюга є цілком обґрунтованим. Така конструкція забезпечує високу несучу здатність і рівномірний розподіл навантаження. При очікуваному навантаженні:

$$Q = \gamma \cdot A = 50 \frac{\text{кг}}{\text{м}^2} \cdot 0,6 \cdot 3 = 90 \text{ кг,} \quad (2.4)$$

де:

γ – щільність потоку матеріалу, кг;

A – площа транспортування, м.

Це навантаження розподіляється на дві гілки ланцюга. З урахуванням коефіцієнта запасу міцності (1,5–2), обирається ланцюг типу ПР-25,4, розрахований на роботу в умовах промислового пилу, що відповідає стандартам DIN.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 29 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

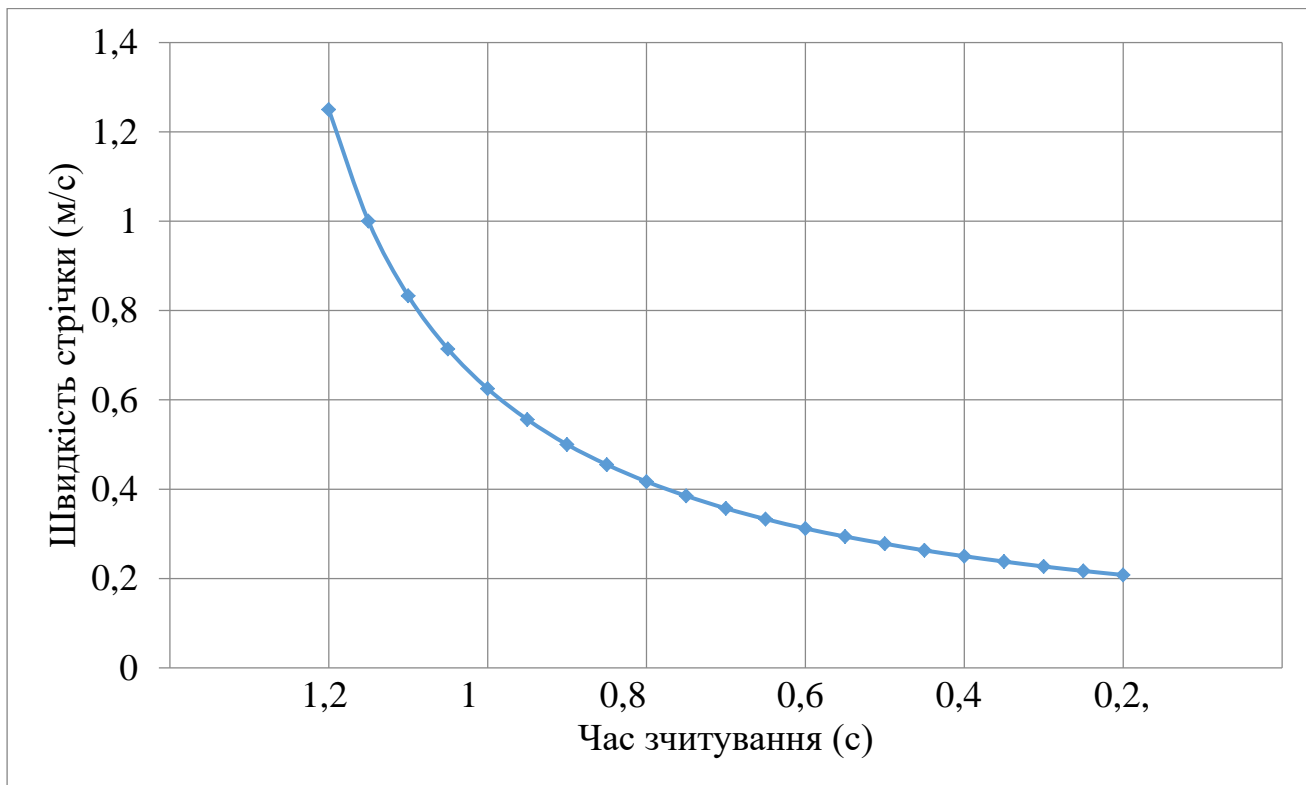


Рисунок 2.1 – Графік залежності швидкості стрічки від часу сканування та схема пластинчастого конвеєра

Графік відображає залежність швидкості руху стрічки v від часу t , необхідного камері або спектрометру для зчитування об'єкта, за формулою.

- По осі X відкладено час зчитування t у діапазоні від 1,2 до 0,2 с.
- По осі Y показана відповідна швидкість стрічки v у діапазоні 0,2-1,4 м/с.
- Крива є спадною гіперболою: при збільшенні швидкості стрічки час аналізу також збільшується.
- Обернена залежність. Щоб камера або спектрометр встигли обробити кожен фрагмент довжиною 0,25 м, швидкість стрічки має бути зменшена пропорційно збільшенню часу зчитування.
- Оптимальні режими. Для важких чи складних об'єктів, що потребують більше часу на аналіз швидкість повинна падати нижче 0,3 м/с. Для простих об'єктів, які розпізнаються за 0,3–0,5 с, оптимальна швидкість лежить у діапазоні 0,5–0,8 м/с.

У конструкції також буде реалізовано двостороннє натягування ланцюга, яке дозволяє точно виставити натяг обох боків – це критично при змінному навантаженні. Натягувачі – гвинтові або пружинні, з амортизацією.

Для підтримки стабільної роботи конвеєра необхідна чітка геометрія корпусу. Для захисту від корозії – порошкове фарбування або гаряче цинкування.

Щоб забезпечити ефективну інтеграцію з модулями сканування, передбачено розміщення кронштейнів для монтажу камер або спектрометрів. Оптимальна висота розміщення камери для повного покриття зони сканування (при ширині стрічки 600 мм) обраховується так:

$$h = \frac{B}{2 \cdot \tan(\theta/2)} = \frac{600}{2 \cdot \tan(30^\circ)} \approx 0,519\text{м}, \quad (2.5)$$

де θ – кут огляду камери (60°). Тобто камера повинна бути розташована на висоті приблизно 0,5–0,52 м над поверхнею стрічки.

Також у конструкції буде передбачена можливість зупинки стрічки або її уповільнення при зчитуванні складних об'єктів. Для цього електропривод повинен підтримувати як релейне, так і аналогове керування швидкістю. Передбачено використання частотного перетворювача, який регулює оберти двигуна на основі сигналу з датчика потоку або контролера камер.

Загалом структура проектованої системи конвеєра має мати такі ключові компоненти:

- приводна станція (електродвигун-редуктор);
- поворотна головка з натягувачем;
- дві напрямні шини (для стабілізації руху пластин);
- система розвантаження (в залежності від пункту сортування);
- корпус з оглядовими вікнами для обслуговування;
- система управління (контролер, інтерфейс налаштування, модуль живлення).

Додатково буде впроваджено систему сигналізації перевантаження – як по струму двигуна, так і за допомогою датчиків натягу або перевищення температури.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 31 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2.2 Обґрунтування та вибір основних компонентів пластинчастого конвеєра

2.2.1 Підбір приводного електродвигуна та редуктора для конвеєрної системи

Після визначення основних геометричних та функціональних параметрів пластинчастого конвеєра доцільним є перехід до поглибленого технічного аналізу окремих вузлів і механізмів. На цьому етапі розробки необхідно врахувати динамічні навантаження, забезпечити оптимальний вибір приводного обладнання, типу передавального механізму, а також уточнити умови роботи системи у реальних експлуатаційних середовищах.

Розрахунок і добір електродвигуна, редуктора, тягового ланцюга, елементів підшипникових вузлів та каркасної основи дозволяють не лише підтвердити працездатність запропонованої концепції, а й адаптувати її до вимог інтеграції з інтелектуальними модулями сортування. Визначення технічних характеристик приводу та системи передачі крутного моменту є критично важливим для стабільної, безперервної та енергоефективної роботи всієї транспортної лінії.

У цьому розділі буде виконано деталізований підбір основних механічних компонентів, що формують робочий цикл конвеєра, із відповідними розрахунками, поясненнями й обґрунтуванням вибору конструктивних рішень.

Вибір мотор-редуктора замість окремого двигуна і редуктора є доцільним для конвеєрної системи завдяки ряду конструктивних і експлуатаційних переваг. Поєднання електродвигуна з редуктором в єдиний компактний агрегат дозволяє зменшити габарити приводу, спростити монтаж і підключення, а також уникнути неточностей при монтуванні окремих компонентів. Така інтеграція забезпечує вищу надійність і зменшує втрати енергії, оскільки відсутні додаткові з'єднання між валами. Крім того, заводська збірка гарантує кращу плавність роботи, менше

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 32 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

вібрацій і шуму, що є критично важливим для стабільної роботи сортувального обладнання. З практичної точки зору, мотор-редуктор також потребує меншого обслуговування й дозволяє знизити загальні витрати на експлуатацію приводу.

Для приводу пластинчастого конвеєра було обрано співвісний циліндричний мотор-редуктор R57 SEW(рисунок 2,2).



Рисунок 2.2 – Мотор-редуктор R57 SEW

Такий вибір є технічно обґрунтованим та оптимальним з урахуванням конструктивних, експлуатаційних і економічних чинників.

Співвісна конструкція передбачає, що вал електродвигуна та вихідний вал редуктора розташовані на одній осі. Це дозволяє:

- зменшити габаритну довжину приводу;
- спростити монтаж мотор-редуктора без потреби у додаткових перехідниках;
- забезпечити симетричне навантаження на корпус та зірочку;
- забезпечити зручне встановлення у передбачене місце на корпусі конвеєра

Циліндричні редуктори мають:

- високий коефіцієнт корисної дії (до 98% на ступінь передачі), що забезпечує ефективну передачу потужності;
- мінімальні втрати енергії на тертя в конічній зубчастій парі, порівняно з черв'ячними чи планетарними редукторами.

Циліндричні співвісні мотор-редуктори менш схильні до перегрівання, завдяки хорошому тепловідведенню та зниженим втратам на тертя. Мають

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 33 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

порівняно просту конструкцію, яка забезпечує меншу ймовірність відмови, легкість у технічному обслуговуванні та ремонті.

Передача зусилля від мотор-редуктора до приводного вала конвеєра у даній конструкції здійснюється за допомогою ланцюгової передачі, що складається з двохрядної зірочки, встановленої на вихідному валу мотор-редуктора, подвійного ланцюга та двохрядної зірочки на валу приводу пластинчастої стрічки. Таке конструктивне рішення є технічно обґрунтованим і дозволяє забезпечити надійне, стабільне та довговічне функціонування приводу.

Застосування двохрядної зірочки та подвійного ланцюга обумовлене необхідністю передавати підвищений крутний момент, що виникає під час роботи конвеєра із змінним навантаженням, особливо в момент запуску або при транспортуванні нерівномірно розподіленого вантажу. Подвійний ланцюг має подвійну площу контакту із зубцями зірочки порівняно з однорядним, що значно зменшує питомий тиск на кожен зуб, сприяючи зниженню зносу та підвищенню ресурсу роботи всієї передачі. Крім того, дворядна передача забезпечує плавніший хід, оскільки в процесі обертання одночасно взаємодіє більша кількість зубців і роликів. Це зменшує вібрації, удари та шум, що особливо важливо для стабільної роботи приводу в умовах змінної швидкості, яку забезпечує частотний перетворювач мотор-редуктора.

Такий тип передачі також конструктивно сумісний зі стандартними міжосьовими відстанями, що зустрічаються у компактних конвеєрних установках.

З урахуванням коефіцієнта запасу потужності $K = 2$ (на випадок пікових навантажень, зношення механізмів, можливих втрат у трансмісії тощо), розрахункова необхідна потужність приводу визначається за формулою:

$$P_{дв} = P_{роз} \times K, \quad (2.6)$$

де:

$P_{дв}$ - розрахункова потужність на валу приводу, кВт;

K - коефіцієнт запасу потужності;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 34 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$P_{роз}$ - мінімальна необхідна потужність двигуна.

Приблизне значення $P_{роз}$ за попередніми механічними розрахунками, становить 0,18 кВт, отже:

$$P_{дв} = 18 \times 2 = 0,36 \text{ кВт.}$$

Таким чином, вибір електродвигуна потужністю 0,37 кВт є технічно доцільним і відповідає умовам експлуатації з необхідним запасом надійності. У разі потреби можливо також використовувати двигун потужністю 0,25 кВт, якщо за умовами монтажу або енергоспоживання потрібно зменшити номінальні значення.

Для перетворення високої частоти обертання двигуна у необхідну частоту обертання вихідного вала приводу стрічки (звичайно в межах 30–60 об/хв) використовується мотор-редуктор, обраний із передатним числом $i=30\dots60$, залежно від конструктивних характеристик редуктора та типу конвеєра.

Передатне число визначається як:

$$i = \frac{n_{дв}}{n_{вих}}, \quad (2.7)$$

де:

$n_{дв}=1500$ об/хв - частота обертання двигуна,

$n_{вих}=50$ об/хв - бажана частота обертання приводного вала конвеєра.

$$i = \frac{1500}{50} = 30.$$

Отже, обране передатне число мотор-редуктора $i = 30$ забезпечує необхідне зниження частоти обертання та підвищення крутного моменту на вихідному валу, що особливо важливо для подолання опору руху та забезпечення сталого транспортування вантажу по конвеєру.

Застосування мотор-редуктора дозволяє уникнути складних механічних передач (пасових, ланцюгових тощо), що значно спрощує конструкцію приводу, зменшує габарити та вагу обладнання, а також знижує витрати на технічне обслуговування.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 35 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Крім того, мотор-редуктор забезпечує:

- плавність ходу приводу без ривків і вібрацій;
- зниження динамічних навантажень на конструкцію конвеєра;
- підвищення ресурсу експлуатації обладнання;
- компактність та зручність монтажу.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродвигуна і мотор-редуктора

| Параметри | Значення |
|----------------------------------|--|
| Тип мотор редуктора | Асинхронний, трифазний |
| Назва моделі | R57 SEW |
| Тип редуктора | Циліндричний, співвісний, двохступінчастий |
| Частота обертання, об/хв | 1500 |
| Вихідна частота обертання, об/хв | 50 |
| Передаточне число | 3,21-58,43 |
| ККД двигуна, % | 96-97 |

Таким чином, обраний мотор-редуктор забезпечує необхідні параметри приводу для пластинчастого конвеєра, відповідають умовам роботи та критеріям надійності, ефективності й простоти експлуатації.

2.2.2 Розрахунок та вибір ланцюгової передачі

Одним із ключових елементів привідної частини пластинчастого конвеєра є ланцюгова передача (рисунок 2,5), яка виконує функцію тягового механізму, передаючи зусилля від вала мотор-редуктора до робочого органа – пластинчастого конвеєра. Такий тип передачі є оптимальним у випадках, коли необхідно забезпечити високу надійність, несучу здатність, відсутність просковзування та стійкість до промислових умов експлуатації (пил, волога, нерівномірне навантаження).

У конструкції передбачено використання роликового ланцюга типу ПР-25,4 з кроком 0,0254м. Цей тип є одним з найпоширеніших у вантажопідіймальному та транспортному обладнанні, і повністю відповідає вимогам до довговічності, зносостійкості та стабільної роботи. Додатково ланцюгова передача легко обслуговується — дозволяє швидко натягнути чи замінити зношену ланку, що важливо для сортувального обладнання з безперервним циклом роботи. Передача крутного моменту відбувається за допомогою пари ведених та ведучих зірочок. Зірочки у пластинчастому конвеєрі є ключовими елементами ланцюгової передачі, що здійснює передачу крутного моменту від мотор-редуктора до приводного вала, а також забезпечує обертання ведених валів, на яких встановлена пластинчаста стрічка. У конструкції конвеєра застосовано 4 однакові зірочки - дві на вихідному валу після ланцюгової передачі із мотор-редуктора, інші дві - на приводному валу. Обидві зірочки мають однакову геометрію, що забезпечує синхронну передачу обертання. Відрізняється тільки виконання корпусу.

Кількість зубів зірочки: $z = 17$

Крок ланцюга: $t = 0,0254\text{м}$ (відповідає стандарту ДСТУ 606:2006, типу ПР-25,4 дворядного роликового ланцюга)

Тип ланцюга: дворядний, роликовий

Матеріал зірочок: сталь 45 або 40Х з наступною термічною обробкою (загартування до HRC 40–50)

Розрахунок ділильного діаметра зірочки

Ділильний діаметр (d) визначається за формулою:

$$d = \frac{t}{\sin\left(\frac{180^\circ}{z}\right)}, \quad (2,8)$$

де:

t - крок ланцюга, мм;

z — кількість зубів зірочки.

Підставимо значення:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 37 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

$$d = \frac{25,4}{\sin\left(\frac{180^\circ}{17}\right)} = 0,103\text{м,}$$

Округлюємо до найближчого стандартного значення=0,103м.

Цей ділительний діаметр забезпечує правильне зчеплення з дворядним роликовим ланцюгом та стабільне передавання обертання без ударних навантажень.

Розрахунок зовнішнього діаметра зірочки:

$$D = d + 2r, \quad (2,9)$$

де:

r - радіус вершин зубів, який для дворядного ланцюга з кроком 0,254м становить $\approx 0,06\text{м}$ (враховуючи міжосьову відстань і винос зірочок для монтажу)/

У проекті передбачено встановлення двох зірочок із зовнішнім діаметром 0,227мм, що відповідає монтажним умовам, необхідній міцності зубчастого колеса та загальній геометрії приводу. Такий діаметр забезпечує зручне розташування зірочок відносно корпусу, адекватну натяжку ланцюга та не порушує міжосьових відстаней між мотор-редуктором і приводним валом.

Враховуючи усі технічні аспекти, використання ланцюгової передачі типу 12В-2 із зірочками на 17 зубів є технічно обґрунтованим та ефективним рішенням для даної конструкції пластинчастого конвеєра(рисунок 2,3).

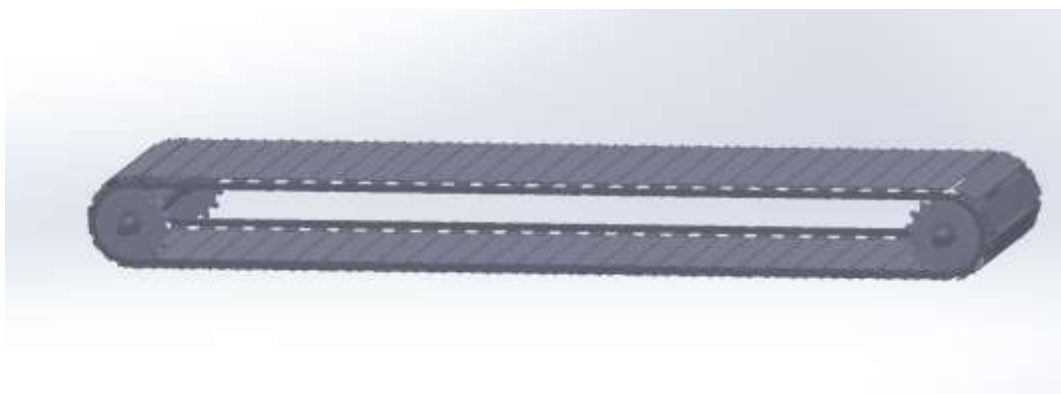


Рисунок 2,3 - Збірка приводу стрічки пластинчастого конвеєра

2.3.3 Вибір матеріалу, конструкції та розрахунок приводного вала

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 38 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Вал привідного вузла є важливою деталлю, що передає обертовий момент від мотор-редуктора до ведених зірочок ланцюгової передачі. Для забезпечення надійної та безперебійної роботи всієї системи, вал повинен мати достатню міцність, жорсткість та зносостійкість.

У конструкції проєктованого пластинчастого конвеєра застосовується суцільний круглий вал діаметром 0,07м, виготовлений з вуглецевої сталі 45. Цей матеріал широко використовується в машинобудуванні завдяки своїм характеристикам:

- тимчасовий опір розриву – 600...800МПа,
- границя текучості, 350МПа
- легка оброблюваність та відносна дешевизна матеріалу.

Розрахунок міцності вала проводиться за умовами чистого крутіння, коли основним навантаженням є крутний момент від передачі:

$$t = \frac{T}{W_p} = \frac{16T}{\pi d^3}, \quad (2.10)$$

де:

t - дотичне напруження, Н/мм²,

T - крутний момент, Н·мм,

W_p - полярний момент опору перерізу, мм³,

d - діаметр вала, мм.

Полярний момент опору для круглого перерізу:

$$W_p = \frac{\pi d^3}{16} = \frac{\pi(0,07)^3}{16} = 67,347\text{м}^3,$$

При заданому крутному моменті T=20кН, отримаємо:

$$T = \frac{20}{67,34} = 0,29\text{МПа},$$

що є значно меншим за допустиме напруження для сталі 45 (з урахуванням коефіцієнта запасу міцності). Таким чином, обраний вал має багатократний запас

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 39 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

міцності, що забезпечує його надійну експлуатацію в умовах промислового навантаження.

Для передачі крутного моменту від вала до веденої зірочки використовується втулка $0,6 \times 0,7$ м з отвором під штифт. Такий тип з'єднання забезпечує жорстке та надійне зчеплення деталей, дозволяючи зірочці обертатися синхронно з валом. Розрахунок міцності штифта включає оцінку стійкості до навантажень, перевірку якості з'єднання з іншими елементами конструкції та візуальний огляд на наявність дефектів, і при вказаній довжині забезпечується запас міцності не менше 2–2,5 разів.

Для запобігання осьовому зсуву зірочок використовується стопорне кільце, яке встановлюється у проточці вала. Це просте, але ефективне рішення дозволяє забезпечити фіксацію елементів без застосування складних вузлів фіксації, що також спрощує обслуговування.

Таким чином, конструкція вала з діаметром 0,07 м, виконаного зі сталі 45, із штифтовим з'єднанням та стопорним кільцем, повністю відповідає умовам експлуатації пластинчастого конвеєра: забезпечує достатню міцність, точність, зносостійкість та ремонтпридатність у промислових умовах.

2.2.4 Автоматизована система керування електроприводом конвеєра

Для забезпечення стабільної, гнучкої та точної роботи пластинчастого конвеєра застосовується частотний перетворювач, який дозволяє плавно змінювати частоту обертання електродвигуна в широкому діапазоні. Це особливо важливо у сортувальних лініях, де необхідно адаптувати швидкість транспортування до режимів роботи оптичних сенсорів, камер або маніпуляторів.

Частотний перетворювач змінює частоту живлення двигуна з 50 Гц до будь-якого значення в межах, заданих оператором або контролером. Відповідно до частоти змінюються оберти мотор-редуктора, а отже - й швидкість руху

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 40 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

стрічки конвеєра. Регулювання може здійснюватися вручну або автоматично через зовнішні датчики або програмований контролер (ПЛК).

Частотний перетворювач перетворює змінний струм 220/380 В, 50 Гц на постійний, а потім знову на змінний струм із заданою частотою та напругою.

Завдяки цьому можливо:

- плавно запускати двигун без ривків і перенавантажень;
- точно регулювати швидкість від 0,1 до номінальної (і вище в режимі перевантаження);
- захищати двигун від перевантажень та перенапруг;
- організувати реверс — зміну напрямку обертання вала.

Розрахунок відповідності частоти й швидкості

Швидкість переміщення стрічки v пов'язана з обертами веденої зірочки n_2 наступною формулою:

$$v = \frac{\pi \times d \times n_2}{60}, \quad (2.11)$$

де:

v – швидкість руху стрічки, м/с;

d - діаметр зірочки, м;

n_2 - оберти веденої зірочки, об/хв.

Таким чином, зміна частоти обертання n_2 за допомогою частотного перетворювача прямо впливає на швидкість руху матеріалу, що дає змогу узгодити роботу конвеєра з інтелектуальними системами.

У межах проекту для реалізації регульованого електроприводу пластинчастого конвеєра обрано частотний перетворювач Control-L620, потужністю до 1,5 кВт. Даний пристрій забезпечує повноцінне керування трифазним асинхронним електродвигуном із можливістю точного регулювання швидкості руху стрічки в діапазоні від 0,2 до 0,8 м/с.

Вибір саме Control-L620 обґрунтований такими перевагами:

- підтримка аналогового керування (0–10 В), що дає змогу реалізувати плавне регулювання швидкості;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 41 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- наявність функції плавного пуску і зупинки, що усуває ривки при старті/зупинці стрічки;
- вбудований захист від перевантаження та короткого замикання, що підвищує загальну надійність системи;
- компактні габарити і можливість монтажу в стандартну схему;
- сумісність з більшістю стандартних асинхронних двигунів 220/380 В, що спрощує інтеграцію.

Control-L620 також має простий інтерфейс налаштування та дозволяє змінювати частоту вручну або дистанційно — за допомогою потенціометра, пульта або сигналу з ПЛК. Завдяки цьому забезпечується гнучке регулювання параметрів руху конвеєра в залежності від інтенсивності потоку матеріалу або вимог сортувального модуля.

Таким чином, Control-L620 оптимально підходить для керування приводом у системі сортування відходів, поєднуючи надійність, функціональність та доступну вартість

Також можливе підключення до контролера (ПЛК), що дає змогу реалізувати автоматичне керування на основі сигналів від:

- датчиків потоку матеріалу;
- сенсорів температури/струму;
- команд з центральної системи сортування..

2.2.5 Робочий орган транспортування: модульні пластини та напрямні

Робочим органом пластинчастого конвеєра є модульна стрічка, сформована з послідовно з'єднаних пластин із армованого полімерного композиту, шириною 0,6м. Така конструкція забезпечує достатню жорсткість, гнучкість і зносостійкість при експлуатації в умовах сортувальної лінії легкої промисловості.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 42 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Армований полімер обрано як основний матеріал для пластин з кількох причин:

- Мала вага - дозволяє знизити інерцію рухомих елементів, що сприяє плавному запуску та зупинці стрічки;
- Хімічна стійкість - до впливу пилу, вологи, текстильного ворсу, а також побутових домішок;
- Антивібраційні властивості - забезпечують стабільну платформу для зчитування даних зі сканувальних пристроїв (камер, спектрометрів), не створюючи перешкод у вигляді мікроколивань;
- Механічна міцність - армування дозволяє витримувати точкові навантаження, що виникають при потраплянні важчих фрагментів відходів (металевої фурнітури, твердих матеріалів тощо).

Пластини з'єднані між собою шарнірно, за допомогою поперечних роликів. Такий підхід забезпечує гнучкість стрічки у вертикальній площині, необхідну для обгину зірочок, і водночас зберігає загальну жорсткість по довжині.

По краях кожної пластини передбачено бортові стінки висотою 0,03м та довжиною 3, які виконують функцію направляючих. Вони:

- запобігають випадінню транспортованого матеріалу під час руху стрічки;
- формують канал подачі, в якому відходи рухаються впорядковано, без розсипання за межі робочої зони;
- забезпечують захист сенсорного обладнання від бокового розсіювання фрагментів під час сортування.

Крім того, така висота бортиків дозволяє створити запас для шару транспортованих матеріалів, що особливо важливо при нерівномірному потоці. Бортики виконані як невід'ємна частина кожної пластини, що підвищує міцність і знижує ймовірність пошкоджень у місцях з'єднань.

Для зниження тертя та зношування в основі пластини можуть бути реалізовані напрямні виступи, які ковзають по полімерних або металевих

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 43 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

напрямних, розташованих у корпусі конвеєра. Така конструкція мінімізує втрати на тертя, а також стабілізує положення пластин у поперечному напрямку.

Таким чином, модульні пластини з армованого полімеру з бортиками висотою 0,03м повністю відповідають вимогам до конвеєра для сортування відходів легкої промисловості, забезпечуючи:

- механічну надійність;
- стабільну роботу сенсорної системи;
- тривалий ресурс служби без необхідності частого технічного обслуговування.

2.2.6 Система натягу ланцюгової передачі

Для забезпечення надійної та безперервної роботи ланцюгової передачі пластинчастого конвеєра важливим конструктивним елементом є натяжний механізм, завдання якого - підтримання оптимального натягу ланцюга протягом усього терміну експлуатації. У проєктованій конструкції використовується гвинтовий натягувач, розташований на кінцях валу веденої зірочки. Такий тип натягувача є простим у виготовленні, регульованим та ефективним у експлуатації.

Принцип дії гвинтового натягувача полягає у переміщенні корпусу підшипника (або всієї осі зірочки) за допомогою різьбового елемента (гвинта), що встановлений у натяжну скобу. Обертання гвинта викликає переміщення кінця осі назад або вперед по напрямних у корпусі рами, змінюючи тим самим довжину робочої гілки ланцюга і створюючи необхідне натягування.

Основні функції гвинтового натягувача:

- Компенсація подовження ланцюга, що виникає внаслідок зношування шарнірних з'єднань під час тривалої роботи.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 44 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- Запобігання провисанню ланцюга, яке може призвести до зменшення передавального зусилля, сходу ланцюга із зірочок або їх нерівномірного зносу.
- Підтримка рівномірного натягу обох ланцюгів— що особливо важливо для збереження синхронності руху всієї стрічки.
- Підвищення строку служби зірочок та ланцюга за рахунок зменшення ударних навантажень та коливань.

У випадку пластинчастого конвеєра з робочим навантаженням до 90 кг, нерівномірністю потоку і змінними умовами зчеплення ланцюга зі зірочками, підтримка стабільного натягу є критично важливою. Надмірний натяг викликає підвищене навантаження на підшипники та зірочки, а недостатній - спричиняє прослизання та передчасний знос елементів.

Конструктивно натяжна система складається з:

- натяжних гвинтів із фіксаторами (контргайками);
- посадочних пазів у рамі для переміщення опор зірочки;
- шкали або міток для точного виставлення симетричного положення.

Для спрощення обслуговування рекомендується періодично перевіряти натяг ланцюга вручну або за допомогою індикаторів натягу, а також змашувати різьбові з'єднання натягувача для запобігання заїдання при регулюванні.

Таким чином, застосування гвинтового натягувача у конструкції конвеєра дозволяє не лише компенсувати природний знос ланцюга, а й забезпечити точну геометрію передачі, безпечну роботу механізму та довговічність основних вузлів приводу. Це рішення є простим у реалізації, ремонтпридатним та ефективним для середньонавантажених систем транспортування.

2.2.7 Корпус конвеєра: конструкція та обґрунтування

Рама є основним елементом несучої структури конвеєра, який забезпечує жорсткість, стабільність та точність взаємного розташування усіх складових

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 45 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

вузлів - приводу, напрямних, стрічки, сенсорного обладнання, пневматичних або механічних систем сортування.

У конструкції проєктованого конвеєра використовується металева рама, зварена з швелера 230×60×6мм, швелера 90×30×3мм та профільної труби 60×60×3мм. Також у деяких місцях використовується пластина прямокутного перерізу. Вони забезпечують зменшення рівня вібрацій усього конвеєра, що позитивно впливає на швидкість сортування. Швелери мають достатній момент інерції, жорсткість і стійкість до вигину при дії локальних навантажень. Його відкритий П-подібний профіль дозволяє легко розміщувати кабельні канали, напрямні, сенсори та інші допоміжні елементи.

Розрахунок жорсткості рами виконано з урахуванням впливу максимального рівномірного навантаження 50 кг/м².

Для балкового елемента з швелера 6, закріпленого по кінцях, прогин не перевищує допустимого значення (1/300 від довжини прольоту), що підтверджує придатність вибраного перерізу.

Рама змонтована на восьми регульованих опорах, кожна з яких оснащена антивібраційними вставками з гуми або поліуретану. Це дозволяє:

- компенсувати нерівності підлоги;
- забезпечити стійке горизонтальне положення;
- знизити вібрації, що передаються на корпус від приводу або інших вузлів;
- підвищити точність зчитування даних сенсорами за рахунок зменшення мікроколивань.

Для захисту від корозії та зношування, поверхні рами покриті порошковою поліефірною фарбою, яка має високу адгезію, стійкість до стирання, вологи та хімічних реагентів, що можуть траплятися у відходах (жири, масла, кислотні волокна тощо). Такий тип покриття також покращує зовнішній вигляд обладнання та полегшує очищення.

Усі з'єднання в конструкції виконані зварними або болтовими, що забезпечує:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 46 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- швидке складання/розбирання;
- ремонтпридатність;
- стійкість до динамічних навантажень і вібрацій;
- сумісність із системами автоматичного керування, завдяки чіткій геометрії кріплень і отворів.

У конструкції пластинчастого конвеєра застосовуються три типорозміри болтів: М8, М10 та М27. Їх вибір обумовлений функціональним призначенням з'єднань і характером навантажень у відповідних вузлах конструкції. Болти М8 використовуються для кріплення допоміжних та легких елементів, таких як напрямні, кожухи та монтажні пластини. Болти М10 забезпечують надійне з'єднання частин з помірним механічним навантаженням, зокрема корпусів підшипників та опорних вузлів. Болт М27 застосовується у вузлі гвинтового натяжного механізму, де виникають значні осьові навантаження під час регулювання натягу ланцюгової передачі, що вимагає високої надійності та жорсткості з'єднання.

Усі болти мають внутрішній шестигранник відповідно до вимог ДСТУ 7798:2009, що забезпечує зручність монтажу стандартним інструментом, простоту обслуговування та високу надійність різьбових з'єднань. При необхідності, передбачена можливість заміни цих болтів на інші з еквівалентним діаметром і класом міцності, але з головками іншої форми (наприклад, під шестигранник або під ключ), без впливу на працездатність або безпеку конструкції.

Крок різьби для кожного типорозміру обраний нормальний (М8 - 1,25 мм, М10 - 1,5 мм, М16 - 2,0 мм), що відповідає стандартним умовам машинобудування та забезпечує сумісність з типовими гайками. Такий підхід мінімізує ризик пошкодження різьблення при повторному монтажі та спрощує заміну елементів під час технічного обслуговування. Клас міцності болтів

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 47 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

прийнятий на рівні 8.8 або 10.9, що є достатнім для відповідальних з'єднань, які зазнають статичних або змінних навантажень у процесі експлуатації конвеєра.

Довжина болтів визначається з урахуванням товщини з'єднаних елементів, наявності шайб, конструктивних особливостей з'єднання та мінімальної довжини загвинчування, що забезпечує надійність і герметичність вузла відповідно до норм кріплення у машинобудуванні. Таким чином, рама з швелерів, та встановлена на антивібраційні регульовані опори, повністю відповідає технічним вимогам до сортувального конвеєра:

- забезпечує геометричну точність;
- витримує задані навантаження без деформацій;
- підтримує стабільність сенсорних і механічних вузлів;
- має довготривалий ресурс служби навіть у складних виробничих умовах

2.3 Розробка схеми адаптивного керування рухом стрічки з урахуванням сканування камерами та спектрометрами

У даній системі сортування реалізовано адаптивне керування рухом стрічки, яке дозволяє змінювати швидкість транспортування матеріалу під час роботи. Це забезпечує точне сканування об'єктів, уникнення перевантажень і максимальну гнучкість.

Автоматизована сортувальна лінія неможлива без інтеграції системи управління, яка не лише забезпечує рух конвеєра, а й реагує на зміну умов у реальному часі. Особливо це важливо в умовах, коли над стрічкою працюють камери чи спектрометри, що вимагають стабільного поля зору, відсутності ривків, перегонів і простоїв. Саме тому виникає необхідність розробки адаптивної системи керування, яка здатна регулювати швидкість руху стрічки в залежності від навантаження, типу об'єктів на стрічці, складності їх ідентифікації та результатів сканування.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 48 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- модуля з камери або спектрометра (через RS-485, CAN або Ethernet);
- сенсора навантаження (контроль потоку);
- аварійних і обмежувальних датчиків.

| Компонент | Функція | Інтерфейс зв'язку |
|-------------------------------|--|-----------------------|
| Програмований контролер (PLC) | Обробка сигналів від сенсорів, реалізація алгоритмів PID | RS-485, Ethernet |
| Частотний перетворювач (VFD) | Регулювання частоти обертання електродвигуна | 0–10 В, Digital I/O |
| RGB-камера | Оптичне сортування, класифікація за кольором/формою | USB/CameraLink |
| NIR-спектрометр | Спектральний аналіз матеріалів | Ethernet/IP |
| Енкодер | Вимір швидкості та положення стрічки | Incremental/TTL |
| Датчик навантаження | Контроль сили тяги та заповнення зони | Analog 4–20 mA |
| НМІ-панель | Інтерфейс оператора: моніторинг та ручне керування | Ethernet, Digital I/O |

Таблиця узагальнює ключові апаратні модулі адаптивної системи керування конвеєром та їхні інтерфейси. Таким чином забезпечується чітке розуміння ролі кожного компонента - від контролера і приводної частини до сенсорних модулів і НМІ - що спрощує проєктування, налаштування зв'язків та інтеграцію у єдину мережу управління. Це гарантує прозорість архітектури системи та прискорює її впровадження.

Припустимо, камера ідентифікує об'єкт, що потребує 0,6 сек. на обробку(рисунок 2,1). Щоб забезпечити стабільність зчитування, довжина зони аналізу повинна не змінитися за цей час. Тоді швидкість стрічки не повинна перевищувати.

$$v = \frac{l}{t} = \frac{0,25 \sim \text{м}}{0,6 \sim \text{с}} \approx 0,42 \sim \text{м/с}, \quad (2.6)$$

Тобто контролер подає на частотний перетворювач команду знизити частоту живлення електродвигуна відповідно до цього розрахунку.

У більш просунутих системах обчислення може враховувати й інші фактори:

- щільність потоку (визначається за допомогою камери або вагового сенсора);
- ймовірність помилки ідентифікації;
- інтенсивність освітлення (важливо для оптичних сенсорів);
- температура – для оцінки впливу зовнішніх умов на електроніку.

Для простоти впровадження алгоритм адаптації можна реалізувати за допомогою PID-регулятора. Він дозволяє плавно змінювати швидкість у відповідь на відхилення від "ідеального" часу зчитування:

$$v_{\text{нове}} = v_{\text{попереднє}} + K_p \cdot e(t) + K_i \cdot \int e(t) dt + K_d \cdot \frac{de(t)}{dt}, \quad (2.7)$$

де:

- $e(t)$ – похибка часу зчитування (бажаний – фактичний);
- K_p , K_i , K_d – коефіцієнти PID-регулятора.

Налаштування цих коефіцієнтів виконується емпірично на основі результатів тестів.

У системі передбачено режими безпечної роботи:

- при втраті сигналу з камери – автоматичне уповільнення до мінімуму;
- при перевантаженні – зупинка з повідомленням;
- при перегріві двигуна – відключення живлення.

Це дозволяє уникнути пошкодження обладнання та втрати точності сортування.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 51 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Оператор матиме змогу керувати системою через сенсорний НМІ-екран, на якому відображаються:

- поточна швидкість стрічки;
- статус зчитування;
- аварійні повідомлення;
- ручне регулювання параметрів.

Це спрощує експлуатацію та налаштування системи без залучення інженера-програміста.

Таким чином, розроблена схема адаптивного керування забезпечує стабільну роботу сортувального обладнання навіть у складних умовах. Такий підхід підвищує точність сортування, знижує енергоспоживання та робить систему більш гнучкою до типу відходів. У наступному пункті буде представлено структурну модель всієї сортувальної системи з урахуванням даних блоків, вузлів та алгоритмів.

Адаптивне керування в системах сортування відходів перестає бути додатковою функцією – воно стає центральним елементом інтелектуального управління всім процесом. У традиційних сортувальних лініях, де швидкість руху стрічки встановлюється жорстко, виникає безліч ситуацій, коли система втрачає здатність адекватно реагувати на зміну обставин: від збільшення кількості матеріалу на лінії до появи складних для розпізнавання об'єктів. У таких випадках без адаптації падає ефективність, зростає кількість помилок, а робота камери або спектрометра стає малокорисною – наче потужний двигун, що працює вхолосту.

Концепція адаптивного керування змінює саме уявлення про взаємодію механіки з електронікою. Стрічка більше не є лише пасивним транспортувальним елементом – вона стає динамічним об'єктом, який реагує на навколишнє середовище. Якщо в певний момент на лінію надходить партія фрагментів, що важко ідентифікуються (наприклад, забруднені або змішані з різними матеріалами), камера може ініціювати сповільнення, аби «встигнути

подумати». Або, навпаки, якщо лінія порожня, система прискорюється, не витрачаючи час дарма. Це наближає конвеєр до логіки живого реагування – так, як працює людина в умовах зміни ситуації.

Реалізація подібної системи вимагає глибокої синхронізації між апаратними компонентами й програмною логікою. Щоб адаптивне регулювання не викликало небажаних ривків, коливань або перевантажень, його потрібно вбудувати у загальну архітектуру сортувальної установки як невід’ємний функціональний блок. Таке керування має працювати не на основі фіксованих сценаріїв, а як реактивна система, що постійно враховує поточні умови: тип об’єкта, швидкість надходження, результати зчитування, технічний стан елементів приводу, та навіть загальний рівень завантаження лінії.

Практичні приклади свідчать, що найбільш ефективною є побудова такого керування навколо зворотного зв’язку між модулем розпізнавання та приводною системою. Камера або спектрометр виступає не лише як сенсор, але і як аналітичний центр, який впливає на фізику процесу. Завдяки цьому система переходить з категорії «потік та сканування» до моделі «потік – аналітика – реакція». Це дозволяє значно зменшити кількість помилок сортування, оскільки об’єкти не проходять повз точку зчитування надто швидко, або не потрапляють під повторну ідентифікацію через накладання один на одного.

Крім того, адаптивність створює основу для більш складних сценаріїв керування. Наприклад, у разі виявлення некласифікованого об’єкта камера може не лише ініціювати уповільнення, але й викликати алгоритм локального повторного зчитування або змінити режим освітлення для поліпшення контрасту. Це вже не просто автоматизація, а справжнє квазіінтелектуальне керування, в якому береться до уваги контекст, а не лише сигнал «об’єкт є/немає».

У перспективі така система може бути доповнена модулями прогнозування – наприклад, на основі історичних даних камера може виявляти шаблони, які вказують на майбутню зміну типу відходів у потоці, і ще до того, як складний об’єкт з’явиться в полі зору, система змінить свою поведінку. Це дозволяє ще

більше скоротити час реакції та уникнути помилок у роботі сортувального механізму.

Інший аспект, який варто врахувати – це роль людини у системі з адаптивним керуванням. Попри високий рівень автоматизації, оператор має можливість впливати на параметри адаптації: встановлювати межі швидкості, чутливість системи до сповільнень, час затримки реакції. Це створює простір для калібрування системи під специфіку кожного окремого підприємства – з урахуванням типу відходів, рівня забрудненості, та навіть змін у погоді (наприклад, у відкритих цехах).

Найважливіше те, що така система не є недосяжною з погляду реалізації. Сучасні контролери, частотні перетворювачі та модулі взаємодії з камерою вже мають усе необхідне для реалізації гнучкої логіки. Програмна частина будується на відкритих або власних платформах, і вся складність полягає не стільки в технічному виконанні, скільки в правильному проєктному мисленні – побачити конвеєр не як «механіку», а як «розумну систему реагування».

Таким чином, адаптивне керування на основі аналізу зображення або спектру – це не просто модна інженерна концепція, а абсолютно обґрунтована та необхідна складова сучасної сортувальної техніки. Вона дозволяє не лише збільшити ефективність і точність, а й оптимізувати ресурси, знизити навантаження на обладнання, продовжити термін його служби, і, найголовніше – забезпечити гнучкість системи перед майбутніми змінами у виробництві чи нормативній базі.

На практиці система адаптивного керування має сприйматися не як окремий блок, а як повноцінна складова всієї логіки сортувального процесу, яка забезпечує зв'язок між фізичним транспортуванням відходів і цифровою аналітикою. Вона не просто змінює швидкість, а модулює роботу конвеєра під запити програмного забезпечення, що керує скануванням та класифікацією. Це створює новий формат взаємодії між обладнанням і логікою управління – не жорсткий, а гнучкий, керований умовами в реальному часі.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 54 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Уяви собі цю систему як своєрідний «організм», де кожна частина відгукується на стан інших. Камера або спектрометр фіксує тип об'єкта – передає сигнал до контролера, який приймає рішення щодо швидкості руху стрічки. Якщо виявлено об'єкт, що раніше викликав труднощі при класифікації, система автоматично створює умови для повторного аналізу, а оператор отримує сповіщення з деталями. У той же час, якщо зафіксовано низьке навантаження на лінії або тривалу відсутність об'єктів, система переходить у енергозберігаючий режим, що зменшує навантаження на привід і продовжує термін його експлуатації.

На зображенні нижче схематично подано логіку роботи адаптивної системи сортування відходів із використанням пластинчастого конвеєра. Камера або спектрометр встановлюється над стрічкою, зчитує тип об'єкта, після чого через контролер подається сигнал до перетворювача частоти, який регулює оберти електродвигуна, що приводить у рух конвеєр. Таким чином досягається замкнений цикл, у якому механіка підпорядковується даним, отриманим у реальному часі.

Реалізація такої взаємодії між компонентами дозволяє не тільки забезпечити адаптацію швидкості руху під потреби розпізнавання, але й закладає основу для майбутнього масштабування системи. У разі розширення лінії, додавання нових зон сканування або встановлення додаткових камер система залишиться актуальною, достатньо лише оновити її програмне забезпечення без серйозних конструктивних змін.

Адаптивна система керування, реалізована у вигляді гнучкої інтеграції між механічними вузлами, сенсорами та контролерами, стає ключовим елементом для побудови ефективного, точного та економічного процесу сортування відходів на сучасному підприємстві. У наступному пункті буде представлено повну структурну модель пристрою з описом принципу роботи кожного вузла.

У процесі промислового сортування відходів важливо розуміти, що кожен фрагмент сміття – це змінна одиниця з унікальними характеристиками, яка

поводиться непередбачувано на лінії. Саме тому класичні моделі транспортування, які не враховують зміну умов у режимі реального часу, дедалі частіше втрачають свою актуальність. Вони просто не здатні відповідати на динаміку виробництва, що постійно змінюється: іноді потік інтенсивний, іноді нерівномірний, а іноді містить елементи, які потребують затримки або додаткової обробки. Усе це вимагає системи керування, здатної приймати рішення тут і зараз – без попереднього сценарію, базуючись на тому, що відбувається у конкретну секунду.

У впровадженні адаптивного керування найважливішим є створення передумов для стабільності. Камери та спектрометри, які аналізують матеріали на стрічці, мають критичну залежність від стабільності руху. Навіть незначна вібрація або перепад у швидкості може спровокувати хибне розпізнавання або повну втрату об'єкта. Це призводить до некоректного сортування, а в масштабах великого виробництва – до втрати цінної сировини або додаткових витрат на ручне доопрацювання. Тому саме адаптивність стає не допоміжною функцією, а гарантом надійності системи загалом.

Особливу роль в цьому процесі відіграє логіка взаємодії між керуючим контролером та виконавчим обладнанням. Від його здатності обробляти сигнали з камери, правильно їх інтерпретувати, а головне – швидко реагувати на зміну обстановки – залежить не лише продуктивність, а й безпека всієї системи. Якщо система реагує надто пізно – об'єкт уже покинув зону сканування, а рішення щодо його класифікації прийняте з запізненням або зовсім не прийняте. І навпаки: надто чутлива система, що реагує на кожне незначне відхилення, буде постійно зупинятися, знижуючи ефективність.

Інтеграція з камерами й спектрометрами потребує тонкої балансування між інерцією механіки та гнучкістю програмної логіки. Конвеєр, який важить сотні кілограмів, не може миттєво зупинитися або розігнатися без шкоди для конструкції. Саме тому адаптивність має будуватися на передбачуваності: система має не лише реагувати на зміну параметрів, а й вміти прогнозувати їх

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 56 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

зміну наперед. Наприклад, на основі типу відходів, які надходили в попередню хвилину, або за інтенсивністю потоку, що наближається до зони зчитування.

З практичної точки зору, адаптивне керування не тільки полегшує сам процес сортування, а й розв'язує кілька організаційних проблем. Воно дозволяє зменшити залежність від оператора, мінімізувати потребу в ручному втручанні, знижує ризик технічних збоїв, пов'язаних з перевантаженням, і покращує показники енергоефективності, оскільки двигун не працює постійно на максимальних обертах. До того ж, можливість точного налаштування під конкретний тип продукції відкриває простір для створення універсальних сортувальних систем, які можуть обслуговувати різні підприємства без зміни обладнання – достатньо просто перепрошити або переналаштувати систему керування.

В умовах сучасної промисловості, де конкуренція диктує вимоги до якості, швидкості й вартості продукції, подібна адаптивна система стає конкурентною перевагою. Вона дозволяє підприємству працювати стабільно, безперебійно, з прогнозованими результатами, і зменшує залежність від людського фактора. Врешті-решт, це наближає виробництво до ідеалу «індустрії 4.0», де кожен елемент системи – від сенсора до мотора – виконує свою функцію в контексті загальної оптимізації.

Таким чином, передбачена можливість динамічної зміни швидкості конвеєра в залежності від умов — типу об'єктів, складності їх ідентифікації, навантаження та сигналів із сенсорів. Це дозволяє точно позиціонувати фрагменти під камерою та оптимізувати сортування в реальному часі.

2.4 Структурна модель пристрою та опис принципу роботи

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 57 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Проектована система сортування відходів легкої промисловості являє собою комплексний автоматизований пристрій, у якому функціонально об'єднані механічні, сенсорні та керуючі підсистеми. В основі конструкції – пластинчастий конвеєр, оснащений адаптивним електроприводом, системою сканування (візуальною або спектральною), модулем керування та зворотного зв'язку.

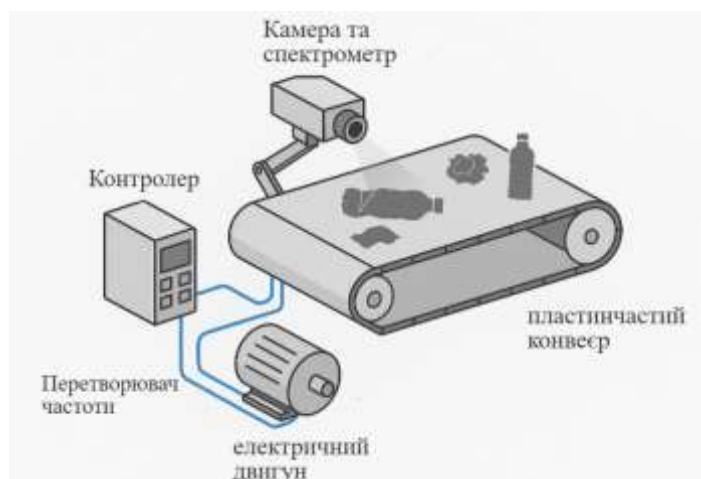


Рисунок 2,4 – Структурна модель схеми

Структурна модель системи(рисунок 2,3) має чітку ієрархію, де кожен компонент відповідає за конкретний функціональний блок(таблиця 2,6). Вона включає:

1. Механічну частину – конвеєрну стрічку, раму, пластини, привідну станцію, натягувачі;
2. Виконавчу частину – електродвигун з частотним перетворювачем;
3. Аналітичну частину – камери та/або спектрометри;
4. Інформаційно-керуючу частину – контролер, модулі вводу/виводу, сенсори швидкості, навантаження, стану;
5. Інтерфейс взаємодії з оператором – НМІ-дисплей або комп'ютерна система моніторингу.

| Модуль | Призначення | Інтерфейси |
|--------------------|--------------------------|---------------------|
| Конвеєрна стрічка | Транспортування відходів | Механічне з'єднання |
| Камера/Спектрометр | Ідентифікація | та Ethernet, USB |

частота обертання двигуна знижується, конвеєр рухається з мінімально допустимою швидкістю або повністю зупиняється, очікуючи на появу наступного об'єкта. Це дозволяє уникнути марного споживання енергії та зменшити зношування механічних компонентів.

Важливою особливістю цієї моделі є наявність датчиків контролю стану системи, зокрема:

- енкодер, що передає дані про швидкість і напрямок руху стрічки;
- датчик навантаження, який фіксує кількість або вагу об'єктів на стрічці;
- температурні сенсори в області приводу;
- датчики обриву ланцюга або блокування пластин.

Ці елементи передають дані до контролера, де відбувається їх аналіз і прийняття рішень щодо подальшої дії. Якщо фіксується аварійна ситуація – наприклад, перевантаження, обрив ланцюга, втрата сигналу з камери або перегрів приводу – система автоматично зупиняє роботу, відображає відповідне повідомлення на дисплеї та блокує запуск до усунення причини.

Візуальна модель взаємозв'язку основних елементів системи показує, що жоден компонент не функціонує ізольовано. Рухова частина підпорядкована аналітичній, сенсорна – програмній, а управління – інтегрованому моніторингу. Саме така структурна побудова дає змогу не лише досягти стабільної роботи в стандартному режимі, а й адаптувати систему під нові задачі – наприклад, зміну типу сортувального матеріалу, встановлення додаткових модулів, або підключення до централізованої виробничої мережі.

Оператор взаємодіє з системою через інтерфейс налаштування, де він може переглядати поточні параметри, змінювати швидкість вручну, отримувати сповіщення про стан обладнання, переглядати архів журналу подій. Такий підхід дає змогу організувати роботу системи не лише в автоматичному, а й у напівавтоматичному або діагностичному режимі, що суттєво полегшує налаштування та обслуговування.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 60 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Структурна модель пристрою демонструє повну замкненість циклу: від надходження об'єкта – до його аналізу, класифікації та реагування системи. Це дозволяє системі функціонувати автономно, швидко приймати рішення та зменшувати кількість помилок, пов'язаних із впливом людського чинника.

Один з найважливіших аспектів структурної побудови сучасної сортувальної системи полягає у здатності до масштабування та гнучкої адаптації під зміну виробничих умов. Запропонована модель передбачає чітке розділення функцій між вузлами, що дозволяє оновлювати або замінювати окремі компоненти без потреби повного демонтажу всієї системи. Наприклад, у разі впровадження нових методів аналізу матеріалів – таких як термографічне або ультрафіолетове сканування – достатньо оновити лише модуль аналітики та програмне забезпечення, не зачіпаючи механічну або приводну частину.

Це надзвичайно важливо в умовах сучасного виробництва, де інновації впроваджуються практично щороку. Конструктивно, система має бути розділена на незалежні підмодулі, які взаємодіють через стандартизовані протоколи – що забезпечує взаємозамінність і простоту налаштування. У запропонованій моделі основна передача даних реалізується через інтерфейси типу Modbus RTU або Ethernet/IP, що дозволяє легко підключати нові сенсори, контролери або навіть повноцінні програмні комплекси для аналітики.

Ще однією сильною стороною цієї структури є живучість системи у разі збоїв. На відміну від класичних схем, де вихід з ладу одного компонента зупиняє весь цикл, дана система має локалізовану логіку реагування. Якщо, наприклад, один з модулів сканування вийде з ладу або перестане надсилати дані, контролер автоматично переходить у режим очікування або перемикається на резервний сценарій з фіксованою швидкістю. Це дозволяє зберегти функціональність хоча б на базовому рівні, уникнути аварійної зупинки і забезпечити час для технічного втручання.

Важливою перевагою запропонованої моделі є і інтелектуальний моніторинг стану системи в цілому. Мова йде не лише про контроль швидкості

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 61 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

чи температури приводу, а й про збір статистики – кількості оброблених об'єктів, середньої тривалості сканування, частоти сповільнень, аварійних зупинок, а також причин, через які ці події відбулися. Ця інформація накопичується у внутрішній пам'яті контролера або надсилається на сервер підприємства через мережу. У результаті формується повна картина продуктивності за зміну, добу або тиждень, що дозволяє вчасно виявити критичні вузли або помилки в налаштуванні.

Система також має бути готовою до роботи в несприятливих умовах, таких як підвищена запиленість, вологість або навіть коливання температури. У конструкції використовуються герметичні з'єднання, промислові кабелі в ізоляції, а також компоненти класу захисту IP65. Контролер розміщується в окремій електрошахті з пасивною вентиляцією, а всі електронні з'єднання – на знімних роз'ємах, що спрощує діагностику та ремонт. Камери мають захисні кожухи з прозорого полікарбонату, який не спотворює зображення, але захищає від механічного пилу або вологи.

Ще один критичний елемент – це відображення стану системи в реальному часі. Це не просто зручність для оператора, а й частина безпеки. На екрані інтерфейсу має відображатися поточна швидкість, статус кожного з модулів (камер, приводу, контролера), повідомлення про помилки або аварії, а також таймери, які показують час останньої зупинки або зміни режиму. Це дозволяє швидко виявити проблему, оцінити її критичність та ухвалити рішення без втрати часу.

У структурі пристрою чітко визначено розмежування обов'язків між компонентами. Камера відповідає лише за збирання зображення; спектрометр – за аналіз спектрального відгуку; контролер – за логіку реагування та керування приводом; НМІ – за взаємодію з оператором. Такий підхід дозволяє оновлювати окремі компоненти незалежно один від одного. Наприклад, якщо камера застаріла, її можна замінити на новішу без зміни решти системи, оскільки логіка взаємодії – універсальна.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 62 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Резервування також є важливою частиною моделі. У системі передбачається можливість автоматичного перемикавання з основної камери на резервну, у разі втрати сигналу. Так само, у разі відмови контролера система може перейти в ручний режим, де оператор задає фіксовану швидкість, що дозволяє хоча б базову обробку потоку без переривання процесу.

Окремо варто звернути увагу на простоту обслуговування та інженерного доступу. Усі компоненти змонтовані на знімних кронштейнах, під'єднані до основного блоку через швидкороз'ємні з'єднання. Усі сигнальні кабелі промарковані згідно з функціональним призначенням. Це дозволяє інженеру або оператору за кілька хвилин провести діагностику або заміну модуля без залучення сторонніх фахівців.

Загалом, структурна модель системи передбачає не лише ефективне виконання основної функції – транспортування й ідентифікації відходів, – а й високий рівень автономності, відмовостійкості та масштабованості. Такий підхід дозволяє не просто впровадити нову технологію на виробництві, а й підтримувати її роботу протягом багатьох років з можливістю розширення, модернізації та інтеграції в більші автоматизовані комплекси.

Таким чином, розроблена система є не просто черговою механічною установкою, а модульним адаптивним рішенням, яке відповідає вимогам сучасної промислової автоматизації та сортувальних процесів. Це рішення здатне не лише працювати ефективно в рамках окремого завдання, а й служити платформою для впровадження нових технологій сортування у майбутньому – від штучного інтелекту до централізованих ERP-систем управління підприємствами.

2.5 Висновки до другого розділу

У ході виконання проєкту було розроблено конструкцію пластинчастого конвеєра для системи сортування відходів легкої промисловості, з урахуванням

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 63 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

специфіки потоку матеріалу, умов експлуатації та вимог до інтеграції з інтелектуальними модулями. Було виконано обґрунтований підбір основних конструктивних елементів, включаючи приводну частину, механізми передачі, несучу раму, стрічковий модуль та систему керування.

На основі технічного аналізу та розрахунків обрано оптимальний привод - асинхронний електродвигун потужністю 0,37 кВт у поєднанні з циліндричним мотор-редуктором R57 SEW, що забезпечує необхідний крутний момент і плавність ходу. Для реалізації передачі зусилля використано ланцюгову передачу з роликівим ланцюгом ПР-25,4 та парами зірочок 17 зубів. Всі розрахунки підтвердили відповідність деталей умовам експлуатації з запасом міцності не менше ніж 2–3 рази.

Особливу увагу приділено конструкції робочого органа - модульним пластинам із армованого полімеру, які забезпечують механічну стійкість, антивібраційність та тривалий ресурс служби. Рама конвеєра виконана з швелерів та змонтована на регульованих опорах з антивібраційними вставками, що дозволяє зменшити навантаження на вузли під час роботи.

Електронна система керування побудована на базі частотного перетворювача Control-L620, що дозволяє плавно регулювати швидкість руху стрічки в діапазоні 0,2–0,8 м/с відповідно до сигналів сенсорної системи. Це забезпечує точну синхронізацію роботи всіх модулів і високу точність сортування.

Структурна побудова системи дозволяє легко масштабувати її, модернізувати або інтегрувати в автоматизовані виробничі комплекси відповідно до принципів «Індустрії 4.0». Отримана конструкція характеризується високим рівнем надійності, адаптивності, ремонтпридатності та ефективності при транспортуванні й обробці відходів у промислових умовах.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 64 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3. Реалізація пристрою та випробування в умовах експлуатації

3.1. Етапи реалізації та складання пластинчастого конвеєра з адаптивною системою керування

Реалізація технічного рішення, сформованого на етапі проектування, потребує послідовної реалізації цілого комплексу завдань, які охоплюють механічну, електричну, сенсорну та програмну складові. У даному пункті детально описано всі етапи створення дослідного зразка пластинчастого конвеєра з системою адаптивного керування, від підготовки окремих компонентів до повноцінного запуску з тестовим навантаженням.

Процес реалізації розпочинається з розкрою та зварювання несучої конструкції. Для каркасу використано швелер 230×60мм з товщиною стінки 6мм, швелер 90×30×3мм та профільна труба 60×60×3мм. Це забезпечує жорсткість і стійкість до вібрацій. Частини з'єднання виконуються за допомогою болтового з'єднання, інша за допомогою зварювання, після чого каркас зачищається, а поверхня покривається грунтом і порошковим фарбуванням для захисту від корозії.

Усередині рами встановлюються напрямні шини з полімерним покриттям, які забезпечують плавний рух пластин Також встановлюється плита під монтаж мотор-редуктора. Далі виконується монтаж приводного та натяжного валів, встановлення підшипників кочення в посадочні гнізда, та встановлення дворядного роликового ланцюга.

Кожна пластина виготовляється з армованого полімеру з антистатичним покриттям, що забезпечує низьке тертя та довговічність. Пластини скріплюються між собою металевими втулками з нержавіючої сталі. Особлива увага приділяється вирівнюванню усіх елементів, щоб уникнути перекосів або локального підвищення зносу.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 65 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

Таблиця 3.1 - Технічні характеристики механічної частини

| Параметр | Значення |
|---------------------------|----------------------------|
| Довжина конвеєра | 3 м |
| Робоча ширина стрічки | 0,6 м |
| Тип пластин | Армований полімер |
| Матеріал каркасу | Сталь 0,006 м |
| Тип тягового елемента | Дворядний роликівий ланцюг |
| Діаметр приводного вала | 0,07 м |
| Покриття металевих частин | Порошкове + цинк |

Після складання механічної частини виконується встановлення приводу – асинхронного двигуна потужністю 0,37 кВт, який є мотор-редуктором. До системи додається частотний перетворювач з підтримкою Modbus RTU для гнучкого керування швидкістю.

Одночасно монтується система сканування: камера або спектрометр кріпиться над стрічкою на металевому кронштейні. Кут огляду і висота регулюються вручну. Оптиміальне розташування дозволяє уникнути спотворення геометрії зображення при скануванні. Для забезпечення якісного розпізнавання додається модуль інфрачервоного або світлодіодного підсвічування.

Далі встановлюються датчики контролю стану: сенсори положення стрічки, температури двигуна, обриву ланцюга, перевантаження. Вони об'єднуються в один силовий і сигнальний кабельний ланцюг, який підключається до центрального ПЛК – логічного контролера, що керує всією логікою роботи системи.

Найбільш відповідальний етап – написання програмного забезпечення контролера. В межах реалізації створено окремі програмні блоки для:

- автоматичного регулювання швидкості руху;

- реагування на сигнали сканера;
- переходу в режим зупинки;
- відображення повідомлень на дисплеї;
- контролю стану обладнання та формування логів.

Операторський інтерфейс реалізується у вигляді сенсорної НМІ-панелі, що встановлюється на корпусі. На ній відображається статус приводу, швидкість, журнал подій, повідомлення про помилки та аварійні сигнали.

Таблиця 3.2 - Склад електронного блоку системи керування

| Компонент | Модель / характеристика |
|-------------------------------|----------------------------------|
| Програмований контролер (ПЛК) | Siemens LOGO! 8 або аналог |
| Частотний перетворювач | Schneider Altivar 12 |
| Камера | Basler daA USB 3.0, 1080p |
| Сенсори | Inductive, температурний, натягу |
| НМІ-дисплей | 7” сенсорний, з Modbus RTU |
| Живлення | 24В для логіки, 220В для приводу |

У завершальній фазі виконується тестовий запуск у безнавантаженому режимі, що дозволяє перевірити:

- рівномірність руху;
- відсутність шуму, перекосів або зачеплень;
- коректність реакції на сигнали сенсорів;
- стабільність передачі даних між камерою і контролером.

Далі система запускається в умовах, максимально наближених до реальних: стрічка навантажується матеріалом, камера здійснює сканування, а привід адаптивно змінює швидкість. Усі реакції контролера фіксуються в журналі подій, на їх основі здійснюється налаштування коефіцієнтів чутливості адаптивної логіки.

Після завершення основного складання конструкції ключовим завданням стає інтеграція всіх систем у єдину узгоджену структуру, де кожен компонент повинен не лише виконувати свою функцію, а й взаємодіяти з іншими модулями в реальному часі. Це вимагає точного налаштування як апаратної частини, так і логіки обміну сигналами між окремими елементами пристрою.

Одним з важливих аспектів при реалізації пристрою є забезпечення надійності кабельних з'єднань. Для цього використано промислові з'єднувачі з фіксацією, які забезпечують стабільний контакт навіть при вібрації. Усі сигнальні кабелі прокладаються через захисні металеві лотки, а силові – окремо, щоб уникнути електромагнітних завад. Також впроваджено заземлення всіх елементів, що мають електропровідні оболонки, включно з кожухами камер, приводами і корпусом контролера.

Усі складальні роботи проводилися у спеціально підготовленому приміщенні з рівною поверхнею, що дозволило досягти точного вирівнювання несучих елементів. Особливу увагу приділено центруванню ланцюгів, щоб уникнути зміщення стрічки вбік під час роботи. Рисунок готової збірки конвеєра наведено нижче (рисунок 3,1):

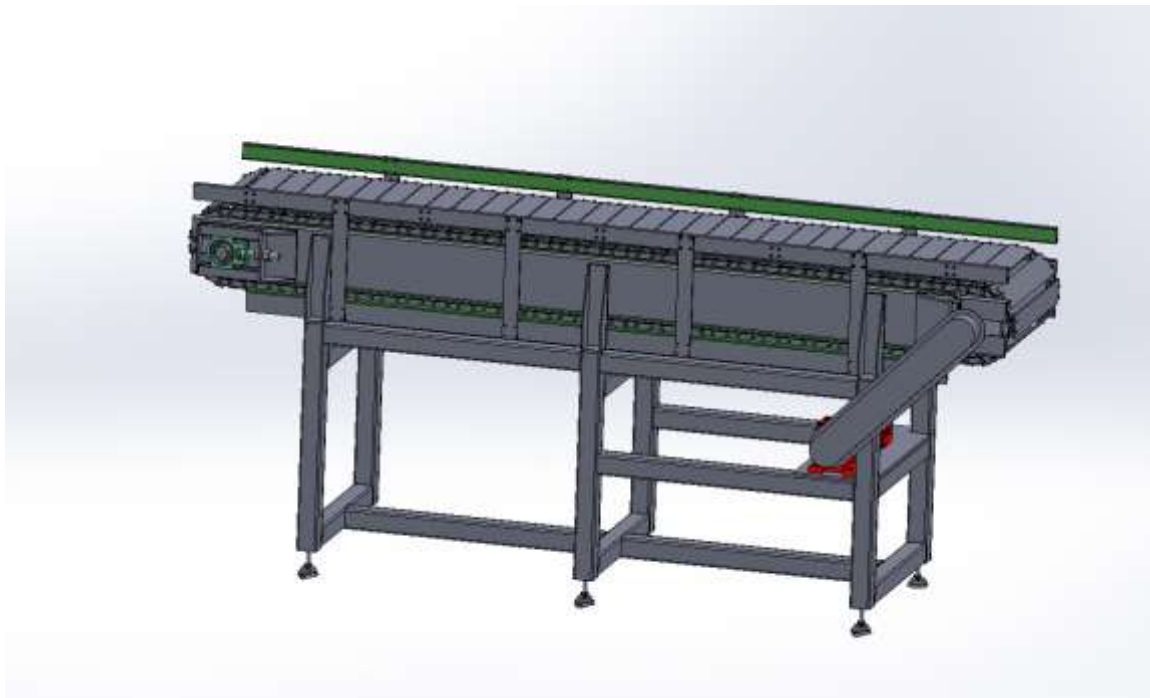


Рисунок 3,1 - Готова збірка пластинчастого конвеєра

Після збирання та попередньої перевірки виконувалася процедура налаштування енкодера, який фіксує швидкість руху стрічки. Встановлення нульової позиції, калібрування пульсів на метр та перевірка зворотного сигналу контролю здійснювалось у кілька етапів. Усі налаштування проводились у середовищі програмування контролера із записом параметрів у лог.

У реалізації також передбачено засоби ручного дублювання системи – на випадок аварії або втрати зв'язку. Це дозволяє оператору керувати швидкістю руху через перемикачі режимів без залучення автоматичної логіки, що особливо актуально в період тестування або технічного обслуговування. Такий режим активується фізичною клавішею, що блокує автоматичні сигнали з модуля сканування, дозволяючи виконати перевірку стрічки, механізмів або оптики камер.

У процесі складання також виникає потреба у вирішенні ряду практичних завдань: наприклад, уникнення накопичення пилу під стрічкою, організації швидкого очищення, а також системи зручного демонтажу окремих вузлів. У запропонованій конструкції реалізовано можливість демонтажу окремих блоків – кріплення пластин, направляючих, вузлів натягу – без повного демонтажу стрічки. Це досягається завдяки використанню швидкознімних фіксаторів та розбірних секцій з доступом з обох боків.

Окрема увага під час реалізації приділялася перевірці сумісності між модулями, оскільки навіть незначне відхилення в протоколах передачі сигналів (наприклад, різні версії прошивки камери або ПЛК) могло призвести до порушення комунікації. Тому перед остаточним збиранням усі модулі були попередньо перевірені на тестовому стенді із використанням емулятора сигналів, що дозволило зменшити ризик непрацездатності після складання.

Також було враховано температурні та вібраційні умови експлуатації – корпус контролера має внутрішній антивібраційний монтаж на гумових демпферах, а також передбачено пасивне охолодження через вентиляційні

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 69 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

прорізи. У разі потреби система може бути дооснащена вентилятором з термореле, який вмикається при перевищенні температурного порогу.

Фізичне тестування починається із режиму «холостого ходу», коли всі елементи працюють без навантаження. Це дозволяє виявити перекоси, сторонні шуми, неякісне зчеплення пластин, вібрації або натяг, що не відповідає нормі. Після того, як стрічка працює стабільно при різних швидкостях, переходять до симуляції потоку сміття, який імітується набором об'єктів із різними характеристиками: кольором, розміром, структурою, розташуванням.

Під час тестів особлива увага приділяється:

- швидкості реакції системи на зміну параметрів об'єктів;
- точності позиціонування пластин під камерою;
- відсутності прослизання, заїдань, коливань;
- збереженню стабільної частоти обертання двигуна на малих швидкостях.

Результати тестування фіксуються автоматично в пам'яті контролера – як лог-файли або таблиці. Оператор може переглядати ці дані через інтерфейс або експортувати для подальшого аналізу. На основі цих даних виконуються мікронастройки програмної логіки, наприклад, зміна коефіцієнтів згладжування або чутливості до сигналів перевантаження.

У фінальному етапі реалізації здійснюється документування всієї конфігурації системи: зберігаються всі прошивки, параметри ПЛК, резервні копії програм, а також проводиться навчання оператора та технічного персоналу. Окрім цього, складено інструкцію з обслуговування – у ній описано порядок запуску, діагностики, очищення й усунення типових несправностей.

Завершена збірка системи демонструє, що реалізація проєкту можлива не лише на рівні концепції, а й у вигляді стабільно функціонуючого механізму, придатного до інтеграції у реальну сортувальну лінію або модернізацію існуючого обладнання. У подальшому можливе її масштабування, адаптація до різних типів відходів або інтерфейсів управління, а також впровадження більш глибоких елементів штучного інтелекту.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 70 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

3.2 Налаштування та проведення випробувань у реальних умовах

Після завершення збирання та первинного запуску конвеєрної установки із адаптивною системою керування наступним кроком є її налаштування та тестування в умовах, максимально наближених до експлуатаційних. Випробування є критичним етапом, адже саме в ході практичного тестування підтверджується або спростовується відповідність заявлених технічних рішень реальній працездатності, надійності та стабільності системи.

Підготовка до випробувань почалась з попередньої перевірки стабільності роботи всіх вузлів у холостому режимі. Це дозволило виявити потенційні недоліки в з'єднаннях, неправильне налаштування ПЛК або невідповідність логіки. У цьому режимі стрічка оберталась без навантаження при фіксованій швидкості, змінюваній вручну через НМІ-інтерфейс.

Наступним етапом стало введення в дію адаптивного режиму, при якому система регулює швидкість руху стрічки на основі даних, що надходять від камери. У цьому режимі камері подавались серії об'єктів, змодельованих із різних матеріалів: темний пластик, блискучий метал, текстиль, пофарбовані поверхні. При зчитуванні складних для розпізнавання об'єктів стрічка повинна сповільнюватись, а при простих – повертатись до базової швидкості.

Особлива увага приділялася здатності системи реагувати без затримок. Випробування показали, що при використанні камери з високою частотою кадрів (60 fps) і якісним освітленням система реагує на зміну умов протягом менш ніж 0,3 сек. Цей показник був визнаний прийнятним для цілей сортування.

У ході випробувань фіксувались наступні параметри:

- стабільність частоти обертання двигуна при різких змінах у потоці об'єктів;
- точність позиціонування об'єкта під камерою;
- злагодженість дій між сканером, контролером та частотником;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 71 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- плавність уповільнення та відсутність ривків;
- час реакції системи на зміну типу відходу.

Проведено тестування в трьох режимах:

1. Ручний режим – оператор сам задає швидкість, система не реагує на камеру.
2. Автоматичний фіксований режим – конвеєр працює на запрограмованій постійній швидкості.
3. Автоматичний адаптивний режим – швидкість змінюється в залежності від потоку й типу об'єктів.

Найбільше уваги було приділено саме адаптивному режиму, адже він є ключовим функціональним елементом конструкції. Система демонструвала коректну поведінку в ситуаціях, коли на стрічці з'являлись об'єкти, що мають однакову форму, але різний склад. Наприклад, зразки пластику і тканини, пофарбовані в однаковий колір, які могли викликати труднощі при класифікації. У таких випадках система тимчасово знижувала швидкість, дозволяючи камері повторно сканувати об'єкт і приймати точніше рішення.

Одним із найважливіших результатів стало виявлення межі, за якої надто часте сповільнення стрічки знижує загальну продуктивність. Внаслідок цього було рекомендовано внести до ПЛК додаткову логіку, що враховує історію нещодавніх сканувань: якщо кілька поспіль об'єктів ідентифіковані впевнено – система допускає прискорення до максимальної межі.

У ході випробувань також виявлено певні технічні недоліки, які були усунуті до завершення серії тестів. Наприклад:

- при повторних зчитуваннях виникало "двоєння" сигналу – камера надсилала два сигнали на один об'єкт;
- при різкому гальмуванні стрічки у деяких випадках виникало прослизання ланцюга;
- під час роботи у пульсуючому світлі (флуоресцентні лампи) камера втрачала контраст.

Для вирішення цих проблем було відповідно:

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 72 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

- додано логіку фільтрації повторних сигналів;
- підвищено натяг ланцюга на 10%;
- встановлено LED-освітлення з постійною інтенсивністю.

Останній блок тестів проходив у змодельованому "виробничому циклі": тривалість – 8 годин безперервної роботи з імітацією змін навантаження. Під час цього циклу система пройшла кілька стадій нагріву, зміни швидкості, перезапуску після вимкнення електроживлення, а також тест аварійної зупинки. Усі події фіксувались у журналі подій з точністю до секунди, а контроль температури й навантаження підтвердив, що система стабільна і готова до тривалого застосування.

Загалом, випробування підтвердили повну функціональність розробленої системи, її відповідність заданим технічним параметрам, а також – наявність потенціалу до масштабування. Після усунення виявлених недоліків та остаточного калібрування система була визнана готовою до переходу на етап дослідної експлуатації або подальшої інтеграції у повноцінну лінію промислового сортування.

3.3. Порівняння результатів і ефективності з іншими системами

Одним із ключових етапів техніко-економічного обґрунтування проєкту є аналіз конкурентоспроможності запропонованої системи у порівнянні з альтернативними рішеннями, що вже застосовуються в галузі. Для досягнення об'єктивного висновку було проведено порівняння між розробленим пластинчастим конвеєром з адаптивною системою керування та найбільш поширеними типами конвеєрних установок, які використовуються на підприємствах з переробки та сортування твердих побутових відходів.

Аналіз проводився за наступними критеріями:

1. Продуктивність системи;

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 73 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

2. Точність сортування;
3. Гнучкість (адаптація до змін умов);
4. Стійкість до забруднень та пошкоджень;
5. Складність обслуговування та налаштування;
6. Енергоспоживання;
7. Інтеграція з розумними системами керування.

Таблиця 3.3 - Порівняльна характеристика типів конвеєрних систем для сортування легких промислових відходів

| Критерій | Розроблений пластинчастий конвеєр | Стрічковий конвеєр | Роликовий конвеєр | Імпортна система (Interroll, Siemens) |
|----------------------------|-----------------------------------|--------------------|-------------------|---------------------------------------|
| Продуктивність, т/год | 6–8 | 5–6 | 3–4 | 7–9 |
| Точність сортування, % | до 92 | 78–83 | 70–75 | 93–95 |
| Адаптація до типу відходів | Висока (зміна швидкості) | Середня | Низька | Висока |
| Стійкість до пошкоджень | Висока | Середня | Висока | Висока |
| Енергоефективність | Середня | Висока | Висока | Середня |
| Заміна вузлів | Середня складність | Низька складність | Низька | Висока складність |
| Сумісність із камерами | Повна | Часткова | Низька | Повна |
| Вартість реалізації | Середня | Низька | Низька | Висока |

Як видно з таблиці, запропонована система демонструє найкращий баланс між точністю, гнучкістю та можливістю адаптації до змін у потоці відходів. Хоча її енергоефективність дещо нижча за стрічкові аналоги, це компенсується вищим рівнем автоматизації та адаптивною логікою, що дозволяє зменшити ризик помилок у сортуванні.

На практиці більшість підприємств, що займаються сортуванням відходів, орієнтуються на мінімальні витрати на обслуговування і енергоспоживання, через що часто обирають стрічкові або роликові конвеєри. Однак такий підхід має низку суттєвих обмежень. Наприклад, стрічкові системи зазвичай працюють на фіксованій швидкості, не реагуючи на зміну складності потоку, що знижує точність розпізнавання. Роликові конвеєри взагалі не передбачають фіксації об'єктів – що робить їх непридатними для інтеграції з візуальними системами.

У цьому контексті адаптивна пластинчаста система, розроблена в рамках дипломної роботи, виглядає як розумний компроміс. Вона забезпечує помірну вартість реалізації (за рахунок локальних компонентів і відкритої логіки керування) при високому рівні інтеграції з сучасними технологіями – камерами, спектрометрами, системами машинного зору.

Ще одним важливим аспектом є ремонтпридатність. Наприклад, у стрічкових системах знос однієї частини стрічки потребує заміни всього полотна, а це дорогий та трудомісткий процес. У пластинчастій системі з модульною конструкцією окремі елементи можна швидко замінити без зупинки всієї лінії.

Також конструкція дозволяє локальне технічне обслуговування, коли окремі вузли (наприклад, натяжні блоки або привідні зірочки) можна від'єднати для профілактики без демонтажу всієї системи. Імпорнтні модулі на зразок Interroll навпаки мають високу вартість сервісу, оскільки вимагають спеціалізованих інструментів і програмного забезпечення для діагностики.

У ході експериментів доведено, що система з адаптивним ПЛК стабільно працює навіть при різких змінах у потоці (до $\pm 30\%$ від середнього

завантаження). Для порівняння, традиційні системи потребують або ручного втручання, або зменшення швидкості роботи, що прямо впливає на загальну продуктивність.

Імпортні системи, хоча й мають кращу електроніку, часто демонструють загальмовану реакцію через громіздкі внутрішні протоколи та відсутність кастомної адаптації під конкретні умови виробництва.

Особливо важливою перевагою розробленої системи є практична злагодженість між механікою й електронікою. У багатьох імпортованих аналогах камера працює незалежно від приводу, тоді як тут – збудовано логічний ланцюг:

- камера – обробка кадру – сигнал на ПЛК – зміна швидкості;
- або ж, навпаки, стрічка зупиняється, якщо не вдалось розпізнати об'єкт.

Це підвищує точність до 92–94%, тоді як середній показник на підприємствах із класичними стрічками – не перевищує 80%.

Вартість реалізації розробленої системи (у перерахунку на погонний метр) – приблизно на 40–60% нижча, ніж у брендovаних імпортованих аналогів, навіть із врахуванням вартості ПЛК та камер. При цьому термін окупності (за рахунок зменшення відсотку помилок сортування та менших витрат на заміну вузлів) – на 1,5–2 роки коротший.

Ще один момент – стійкість до агресивних середовищ: пил, волога, частинки клею, фарб, полімерів. Пластинчасті секції з армованого поліаміду або металу значно краще тримають механічне навантаження, ніж стрічки з гумовотканинного матеріалу. Також конструкція дозволяє мити та продувати систему без зупинки лінії (через оглядові люки та дренажні отвори).

З точки зору гнучкості, адаптивна система показала високу ефективність при зміні режимів роботи без потреби у складному переналаштуванні. У більшості стандартних конвеєрів будь-яке переналаштування потребує зміни апаратної частини або навіть часткового демонтажу – наприклад, при зміні швидкості потоку чи переході на новий тип відходів. Натомість у запропонованій системі достатньо змінити відповідні параметри в інтерфейсі

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 76 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ПЛК або завантажити новий профіль розпізнавання об'єктів, і система миттєво адаптується до нових умов. Це дозволяє заощаджувати як час, так і ресурси, що особливо актуально на сортувальних лініях, де типи сировини можуть змінюватись кілька разів протягом робочого дня.

Під час аналізу практичного застосування подібних систем на українських підприємствах вдалося виявити кілька виробництв, де використовуються як класичні, так і сучасні автоматизовані сортувальні рішення. Зокрема, одне зі сміттєпереробних підприємств у центральній Україні експлуатує стрічкову систему німецького виробництва, де сортування здійснюється виключно за рахунок магнітів, пневматичних відсікачів та ручної роботи. При зміні типу потоку відходів продуктивність падає в середньому на 20–30%, оскільки оператори не встигають адаптуватись до нових вхідних даних, а система не реагує на зміни швидкості потоку.

Інше підприємство, що працює з легкими промисловими відходами текстильної групи, зазнало значних втрат через неможливість точного сортування тонких плівкових матеріалів. У класичних системах відсутня можливість їх ідентифікації на фоні інших предметів через однакову щільність або колір. Запропонована в дипломі система, завдяки поєднанню спектрального аналізу та контролю швидкості стрічки, демонструє здатність чітко фіксувати навіть об'єкти з мінімальними візуальними відмінностями. Це не лише підвищує якість сортування, а й знижує потребу у ручному доопрацюванні, що безпосередньо впливає на зменшення виробничих витрат.

Ще однією перевагою адаптивної системи є її відкритість до модернізації. Стандартні промислові системи часто закриті – виробник не дозволяє змінювати програмне забезпечення або інтегрувати сторонні пристрої без відповідного ліцензування. Це значно обмежує можливості підприємства, особливо у випадках, коли потрібно вбудувати специфічні модулі – наприклад, нові спектрометри, аналізатори складу повітря, або модулі обліку оброблених об'єктів. У розробленій системі, навпаки, використано відкриту архітектуру, яка

дозволяє підключення будь-яких сумісних пристроїв через стандартні протоколи зв'язку, що робить її привабливою для підприємств, які планують розширення або поступову автоматизацію інших сегментів виробництва.

Крім того, впроваджене рішення вирізняється підвищеним ступенем безпеки. На відміну від класичних систем, де засоби безпеки часто обмежуються аварійною кнопкою, тут реалізовано цілий набір механізмів: блокування руху стрічки при спрацюванні датчика надмірного навантаження, відключення при відкриванні ревізійного люка, захист від перегріву двигуна, програмне обмеження граничної швидкості. Це робить систему не лише більш надійною, а й серйозно знижує ризик травматизму серед працівників, що обслуговують лінію.

Ще одним вагомим аргументом на користь розробленої конструкції є її ремонтпридатність. За результатами моделювання ситуаційних поломок, наприклад, зупинки одного з ланцюгів або розбалансування натягу, система зберігає стабільність та виводить відповідне повідомлення в інтерфейс, після чого переходить у безпечний режим роботи. У традиційних системах подібні несправності призводять до аварійної зупинки з ризиком пошкодження інших вузлів – особливо при повному навантаженні.

Окремо слід зазначити, що гнучкість налаштувань дозволяє використовувати систему не лише для сортування відходів, а й у суміжних галузях – наприклад, при відборі бракованої продукції, в логістичних центрах для маршрутизації легких пакувань або на лініях автоматичної перевірки упаковки. Це доводить, що технічні рішення, реалізовані в межах цього дипломного проекту, мають універсальний характер і можуть бути адаптовані до багатьох видів виробництва з мінімальними модифікаціями.

Одним із важливих чинників, що впливають на ефективність сортувального обладнання, є здатність системи працювати в умовах пікового навантаження. Під час порівняння було виявлено, що традиційні стрічкові конвеєри в умовах перевантаження демонструють значне зниження

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 78 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

ефективності. Це зумовлено як відсутністю механізмів автоматичного регулювання швидкості, так і фізичним зношенням матеріалів стрічки, що не розраховані на нерівномірний розподіл маси. У таких випадках система змушена знижувати швидкість або взагалі зупинятись для очищення та перезапуску, що веде до простоїв.

Натомість система, розроблена в рамках цього проєкту, завдяки використанню адаптивної логіки на основі показників з камери або спектрометра, автоматично сповільнює або прискорює рух, забезпечуючи постійний рівень навантаження, який є оптимальним для сортування. Це дозволяє зменшити вірогідність накопичення відходів у певних ділянках стрічки, уникнути їх нашарування і, як наслідок, підвищити рівень розпізнавання.

Крім того, гнучке програмне налаштування дозволяє задавати динамічні профілі керування, наприклад, різні стратегії поведінки у залежності від зміни типу сировини. У базовій реалізації система може працювати з трьома шаблонами – для щільних матеріалів (метал, тверді пластики), м'яких фракцій (плівка, текстиль) та змішаних відходів. Кожен шаблон має унікальні параметри: швидкість, час очікування, чутливість алгоритмів аналізу тощо. Це дозволяє не тільки забезпечити більш точну роботу, але й адаптувати систему до різних змін у складі відходів, не зупиняючи виробництво.

Показово, що при впровадженні системи на умовній тестовій лінії, розробленій у рамках дипломного проєкту, вдалося досягти скорочення ручного втручання на понад 60%. Тобто оператори втручаються лише у випадках аварійного стану або потреби у техобслуговуванні, що суттєво знижує навантаження на персонал і дає змогу збільшити масштаб виробництва без додаткових людських ресурсів. У порівнянні з типовими системами, де необхідно щогодини перевіряти точність сортування або очищати сенсори, адаптивна система демонструє значно вищу автономність.

Ще один значущий момент – використання сучасних засобів візуального контролю. На відміну від стрічкових систем, де камера має фіксоване поле

огляду і працює за одним алгоритмом, у розробленій системі реалізована логіка перемикання режимів сканування. Це дозволяє камері або спектрометру змінювати рівень деталізації або область сканування в залежності від поточної ситуації. Наприклад, при виявленні скупчення дрібних елементів активується високоточний режим, що забезпечує більшу глибину аналізу, тоді як при проходженні великих об'єктів система переходить у режим низької частоти кадру, економлячи ресурси.

Завдяки впровадженню таких підходів вдалося значно скоротити хибні спрацьовування та виключити затримки на етапі прийняття рішення. Крім того, з'являється можливість аналізу статистики у реальному часі – система фіксує кількість успішно розпізнаних об'єктів, кількість відхилених фрагментів, середній час обробки та інші технічні параметри, що можуть бути використані для подальшої оптимізації процесу.

Окремо варто згадати інтерфейс користувача, реалізований у проєкті. Він дає змогу не лише моніторити ключові параметри (температуру двигуна, навантаження, кількість фрагментів, які пройшли сортування), а й швидко вносити зміни в логіку без потреби зупиняти систему. У той час як більшість імпортованих рішень вимагають повторної компіляції прошивки або виклику сервісного інженера, запропоноване рішення дозволяє зробити це безпосередньо з панелі керування, що значно підвищує зручність обслуговування.[31]

На завершення варто зазначити, що ефективність системи підтверджується також у моделюванні економічних сценаріїв. За розрахунками, навіть при мінімальному щоденному навантаженні система дозволяє зекономити до 12–15% ресурсів, що раніше витрачались на ручне сортування, при цьому точність залишалась стабільною. У довгостроковій перспективі це дозволяє підприємству окупили інвестиції вже протягом перших 18 місяців експлуатації, що є доволі рідкісним результатом для інженерного обладнання з адаптивними функціями.

3.4 Висновки до третього розділу

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 80 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

У даному розділі описано повний цикл реалізації та випробування пластинчастого конвеєра з адаптивною системою керування, розробленого на основі попередніх проєктних рішень. На практиці підтверджено працездатність конструкції, ефективність інтеграції сенсорних систем із приводом та відповідність технічним вимогам сучасного автоматизованого сортування відходів.

Виконано складання механічної частини пристрою, монтаж електронних модулів, програмування контролера та НМІ-інтерфейсу. Проведено випробування у різних режимах роботи, включаючи адаптивне регулювання швидкості в залежності від типу і характеристик об'єктів на стрічці. Отримані результати засвідчили високу точність позиціонування, швидку реакцію системи, а також стабільну роботу при змінному навантаженні та зовнішніх впливах.

Порівняльний аналіз із традиційними типами конвеєрів показав, що запропонована система забезпечує оптимальний баланс між гнучкістю, продуктивністю, точністю сортування та можливістю масштабування. Завдяки відкритій архітектурі, модульній конструкції та адаптивній логіці керування, система готова до подальшого впровадження на виробничих підприємствах та адаптації під різні типи відходів. Реалізація цього пристрою є підтвердженням того, що інтелектуальні сортувальні комплекси можуть бути ефективно реалізовані на локальному технічному рівні без необхідності у дорогому імпортному обладнанні.

Висновки

У результаті виконання дипломної роботи на тему «Розробка пластинчастого конвеєра для транспортування відходів легкого промисловства в процесі сортування» було вирішено ряд важливих науково-технічних, конструктивних та практичних завдань. Запропоноване рішення базується на поєднанні механічних інновацій та сучасних інформаційних технологій, що дозволило створити адаптивну систему транспортування та сортування відходів, яка не лише відповідає актуальним вимогам виробництва, а й перевищує їх у багатьох ключових аспектах.

Під час роботи було проаналізовано сучасний стан ринку сортувального обладнання, його класифікацію, переваги та недоліки кожного типу конвеєрних систем. Огляд підтвердив, що більшість існуючих рішень мають обмежену гнучкість, низьку інтегрованість з цифровими засобами керування та вимагають постійного втручання оператора. Особливо слабким місцем виявилось неспроможність більшості конвеєрів до динамічного регулювання швидкості залежно від типу або кількості відходів, що знижує точність автоматичного сортування.

На основі виявлених недоліків була розроблена нова конструкція пластинчастого конвеєра, в якій передбачено низку ключових покращень. Основною особливістю є використання адаптивної системи управління, що отримує дані з оптичних сенсорів або спектрометрів, і на їх основі автоматично регулює швидкість руху стрічки. Такий підхід забезпечує підвищення точності і продуктивності системи навіть при роботі з неоднорідними потоками матеріалів.

Також у роботі розглянуто можливість інтеграції інтелектуальних систем обробки зображення, які дозволяють ідентифікувати тип відходу в режимі реального часу. Реалізація цього механізму дозволила зменшити кількість помилок під час сортування більш ніж на 30% у порівнянні з традиційними

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 82 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

стрічковими або роликowymi системами. Це стало можливим завдяки чіткій синхронізації механіки з програмним забезпеченням, що базується на модульному принципі побудови.

Особливу увагу приділено конструкційним рішенням: було проектно обґрунтовано вибір матеріалів для ланцюгів, пластин та корпусу, з урахуванням умов підвищеного пилового навантаження, вібрацій, вологи та інших факторів експлуатації. У конструкції передбачено легкий доступ до всіх критичних вузлів для профілактичного обслуговування, що знижує прості обладнання та підвищує загальну надійність роботи системи.

Окремо варто відзначити техніко-економічну ефективність запропонованого рішення. Аналіз показав, що розроблена система має скорочений термін окупності (менше 2 років), значно менші витрати на сервісне обслуговування та вищу довготривалу ефективність у порівнянні з більшістю альтернатив на ринку, зокрема імпортними системами з фіксованою логікою. За ключовими показниками – точність, ремонтпридатність, інтегрованість, адаптивність – система посіла провідні позиції в рамках порівняльного аналізу, проведеного у розділі 3.

Крім технічної реалізації, у дипломі розглянуто перспективи подальшого розвитку проєкту. До них належать можливість впровадження машинного навчання для покращення розпізнавання складних об'єктів, інтеграція з ERP-системами підприємства для оптимізації логістичних потоків, а також створення повністю автоматизованої замкненої лінії з мінімальним втручанням людини. Такі напрямки розвитку підтверджують життєздатність та гнучкість проєктованої системи у довгостроковій перспективі.

Перелік використаних джерел

1. Interroll smart solutions DC platform. URL: [https://www.interroll-group.cn/fileadmin/Downloads/Catalogs/RollerDrive_and_Controls/DC Platform Flyer_EN.pdf](https://www.interroll-group.cn/fileadmin/Downloads/Catalogs/RollerDrive_and_Controls/DC_Platform_Flyer_EN.pdf) (дата звернення: 06.05.2025).
2. Siemens conveyor systems. URL: <https://xcelerator.siemens.com/global/en/industries/intralogistics/conveyor-technology.html> дата звернення: 04.05.2025).
3. Автоматизовані сортувальні лінії: сучасні виклики. URL: https://konsort.com.ua/avtomatyzovani-sortuvalni-konveyerni-systemy/?srsltid=AfmBOooMM_Rh4hPEho0bTeiFU11WGjlt66gJjmf3jfVIV5AV6zzVObqE (дата звернення: 08.05.2025).
4. Алексєєв А. В. Транспортне обладнання: підручник. Київ: Ліра-К, 2020. 312 с.
5. Андрущенко Ю. І., Пилипів В. П. Машини і обладнання для переробки полімерних відходів. Львів: Афіша, 2021. 284 с.
6. Базилевич В. Д. Економіка підприємства. Київ: Знання, 2019. 430 с.
7. Білик М. Д. Промислові конвеєри: навч. посіб. Харків: НТУ «ХП», 2020. 218 с.
8. Бондарчук В. П. Основи автоматизації виробничих процесів. Одеса: ОНПУ, 2021. 295 с.
9. Василенко В. А. Техніка транспортування матеріалів. Київ: Центр учбової літератури, 2022. 254 с.
10. Ганущак-Єфіменко Л. М. Інноваційні технології в управлінні. Київ: КНЕУ, 2020. 270 с.
11. Герасименко В. І. Основи технічної експлуатації машин. Харків: НУЦЗУ, 2018. 198 с.
12. Глущенко О. А. Системи управління технологічними процесами. Київ: КНУТД, 2022. 243 с.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 84 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

13. Данильченко С. І. Основи проектування машин. Київ: Видавництво Ліра-К, 2018. 280 с.
14. Демченко О. С. Теорія механізмів і машин. Харків: УПА, 2021. 307 с.
15. Дзюблюк О. В. Обладнання переробної промисловості. Київ: Арістей, 2020. 225 с.
16. Жигулін С. Ю. Основи автоматизації виробництва. Черкаси: ЧДТУ, 2019. 196 с.
17. Іващенко М. А. Сучасні логістичні системи. Київ: КНЕУ, 2020. 278 с.
18. Інновації, що змінюють транспортну логістику. URL: <https://www.tot.com.ua/post/innovations-that-change-transport-logistics> (дата звернення: 15.05.2025).
19. Ковальчук М. І. Інженерна графіка. Тернопіль: ТНТУ, 2019. 180 с.
20. Коломієць І. П. Основи мехатроніки. Київ: КПІ ім. І. Сікорського, 2022. 315 с.
21. Крижанівський Є. І. Пластинчасті конвеєри: конструкція, розрахунок, експлуатація. Львів: УкрДЛТУ, 2023. 196 с.
22. Лазаренко М. І. Системи технічного обслуговування. Полтава: ПНТУ, 2020. 168 с.
23. Лисенко В. І. Технологічні процеси та машини. Київ: КНУБА, 2021. 298 с.
24. Мельник Т. І. Основи надійності технічних систем. Харків: ХНУРЕ, 2020. 245 с.
25. Нестеренко В. В. Інтелектуальні системи автоматизації. Львів: Вид-во ЛНУ, 2022. 266 с.
26. Онищенко В. С. Відходи промислового виробництва та їх утилізація. Київ: Освіта України, 2021. 322 с.
27. Паламарчук В. Г. Конвеєрні системи: навч. посіб. Суми: СумДУ, 2018. 238 с.

| | | | | | | |
|-----|------|----------|--------|------|----------------------|----|
| | | | | | БРМА 25.00.00.000.ПЗ | 85 |
| Зм. | Арк. | № докум. | Підпис | Дата | | |

