

Міністерство освіти і науки України  
Львівський національний університет природокористування  
Факультет механіки, енергетики та інформаційних технологій  
Кафедра інформаційних технологій

# ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до кваліфікаційної роботи бакалавра на тему:

«АВТОМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ КЕРУВАННЯ СИСТЕМОЮ  
КОНВЕЄРНИХ СТРИЧОК»

Виконав: студент групи Акт-42сп  
спеціальності 151 «Автоматизація та  
комп'ютерно-інтегровані технології»

Бобик В.І.

Керівник роботи:

Запорожцев С.Ю.

ЛЬВІВ-2024

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
 ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
 ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ  
 КАФЕДРА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Освітній ступінь «Бакалавр» за спеціальністю –  
 151 – „Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”

“ЗАТВЕРДЖУЮ”

Завідувач кафедри \_\_\_\_\_  
 д.т.н., проф. А.М. Тригуба  
 “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ р.

## ***ЗАВДАННЯ***

на кваліфікаційну роботу студенту  
 Бобик Володимиру Ігоровичу

### 1. Тема роботи

«Автоматизація процесу керування системою конвеєрних стрічок»

Керівник роботи: Запорожцев Сергій Юрійович, к.т.н., доцент.

затверджена наказом по університету від “\_\_\_” \_\_\_\_\_ 202\_ р., № \_\_\_\_\_.

2. Строк подання студентом роботи: 10.06.2024 р.

3. Початкові дані до роботи:

Технологічні вимоги та обмеження для побудови автоматики для стрічкових конвеєрів; ДСТУ, СНіПи; документація середовища Matlab/Simulink

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки:

### 1 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

1.1 Аналіз предметної області

1.2 Загальна класифікація конвеєрних систем

1.3 Особливості різних типів конвеєрів

### РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ’ЄКТА КЕРУВАННЯ

2.1 Математична модель стрічкового конвеєра

2.2 Автоматизація управління стрічковими конвеєрами

2.3 Вибір інструментарію комп’ютерного моделювання

### РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

3.1 Імітаційна модель стрічкового конвеєра

3.2 Моделювання системи стрічкових конвеєрів

3.3 Моделювання системи з автоматичним регулюванням

3.4 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв

### 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

### 5 ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

### ВИСНОВКИ

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):  
Види конвеєрів. Автоматизація управління конвеєрами. Математична модель стрічкового конвеєра. Імітаційна модель стрічкового конвеєра. Модель транспортної системи.

6. Консультанти з розділів:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2, 3, 5	<i>Запорожцев С.Ю., доцент кафедри інформаційних технологій</i>		
4	<i>Городецький І.М., доцент кафедри управління проектами та безпеки виробництва</i>		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_ 202\_\_ р.

### ***КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН***

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	<i>Написання першого розділу та означення головних завдань роботи</i>	10.02 - 21.03.24	
2	<i>Виконання другого розділу та формування початкових даних</i>	22.03 - 11.04.24	
3.	<i>Виконання третього розділу та узагальнення отриманих результатів роботи</i>	12.04 - 11.05.24	
4.	<i>Написання розділу: «Охорона праці»</i>	12.05 - 17.05.24	
5.	<i>Вартісне оцінення ефективності пропозицій роботи</i>	18.05 - 23.05.24	
6.	<i>Завершення роботи в цілому</i>	24.05 - 10.06.24	

Студент \_\_\_\_\_ Бобик В.І.  
 (підпис)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Запорожцев С.Ю.  
 (підпис)

## РЕФЕРАТ

УДК 004.94 : 62-52

Автоматизація процесу керування системою конвеєрних стрічок

Бобик В.І. Кафедра ІТ – Дубляни, Львівський НУП, 2024.

Кваліфікаційна робота: 59 с. текст. част., 14 рис., 14 арк. ілюстраційного матеріалу, 16 джерел.

Об'єкт дослідження – процес управління конвеєрними стрічками.

Мета роботи – розробка системи автоматизації керування системою конвеєрних стрічок.

Проведено аналіз предметної області та визначені особливості конвеєрних систем, наведена їх загальна класифікація, та описані різні типи конвеєрів. Наведена математична модель стрічкового конвеєра, розглянуті питання автоматизації управління стрічковими конвеєрами, зроблено вибір інструментарію комп'ютерного моделювання. Розроблена імітаційна модель стрічкового конвеєра, проведено моделювання системи стрічкових конвеєрів, в тому числі з автоматичним регулюванням задля недопущення перенавантаження на конвеєрне обладнання. Результати моделювання доводять ефективність застосованих рішень. Обрані технічні засоби автоматики - датчики та виконавчі пристрої. Розглянуті питання охорони праці та економічної ефективності системи автоматизації.

**Ключові слова:** стрічковий конвеєр, математичне моделювання, імітаційна модель, система конвеєрних стрічок.

**Keywords:** belt conveyor, mathematical modeling, simulation model, conveyor belt system.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ .....	9
1.1 Аналіз предметної області .....	9
1.2 Загальна класифікація конвеєрних систем .....	11
1.3 Особливості різних типів конвеєрів .....	13
1.3.1 Конвеєрні стрічки .....	13
1.3.2 Пластинчасте транспортувальне обладнання .....	17
1.3.3 Підвісні конвеєри з ланцюговою тягою .....	18
1.3.4 Шнекові транспортні системи .....	19
1.3.5 Роликові конвеєри .....	19
1.3.6 Інерційні транспортні комплекси .....	20
1.3.7 Скребокві конвеєрні комплекси .....	21
1.3.8 Ланцюгові конвеєрні комплекси .....	22
РОЗДІЛ 2. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ .....	24
2.1 Математична модель стрічкового конвеєра .....	24
2.2 Автоматизація управління стрічковими конвеєрами .....	30
2.3 Вибір інструментарію комп'ютерного моделювання .....	34
РОЗДІЛ 3. МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	37
3.1 Імітаційна модель стрічкового конвеєра .....	37
3.2 Моделювання системи стрічкових конвеєрів .....	39
3.3 Моделювання системи з автоматичним регулюванням .....	43
3.4 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв .....	46
РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА ....	51
РОЗДІЛ 5. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ .....	54

ВИСНОВКИ .....	57
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ .....	58

## ВСТУП

Автоматизація управління системою конвеєрних стрічок набуває все більшої актуальності у сучасному виробничому середовищі. Це пояснюється зростаючими вимогами до ефективності, точності та безпеки виробничих процесів. Традиційні методи управління, що базуються на ручному контролі, поступаються місцем автоматизованим системам, які забезпечують більш високу продуктивність і надійність.

Автоматизація дозволяє забезпечити безперервність і стабільність роботи конвеєрних стрічок, знижуючи ризики людського фактору. Сучасні технології дозволяють створювати інтелектуальні системи управління, які здатні самостійно адаптуватися до змін умов виробництва, оптимізувати рух стрічок, контролювати навантаження і вчасно реагувати на можливі несправності. Це суттєво підвищує ефективність виробничих процесів, знижує витрати на обслуговування та ремонт обладнання, а також мінімізує час простою.

Однією з головних переваг автоматизації є можливість інтеграції системи управління конвеєрними стрічками з іншими виробничими процесами. Це дозволяє створювати єдині інформаційні системи, де всі етапи виробництва координуються та контролюються з єдиного центру. Такий підхід сприяє підвищенню загальної продуктивності підприємства, забезпечуючи ефективне використання ресурсів і оптимізацію виробничих ланцюгів.

Безпека є ще одним важливим аспектом автоматизації. Сучасні автоматизовані системи оснащені різноманітними датчиками і системами моніторингу, які в режимі реального часу контролюють стан конвеєрних стрічок і навколишнього середовища. Це дозволяє вчасно виявляти потенційно небезпечні ситуації та оперативно реагувати на них, що знижує ризик аварій і травматизму на виробництві.

Також автоматизація сприяє підвищенню точності виробничих процесів. Завдяки використанню сучасних технологій, таких як роботизовані системи і

штучний інтелект, можна досягти високої точності і повторюваності операцій, що особливо важливо у виробництві високотехнологічної продукції. Це дозволяє підвищити якість кінцевої продукції і знизити відсоток браку.

Не можна не згадати і про екологічний аспект автоматизації. Автоматизовані системи дозволяють ефективніше використовувати енергетичні та матеріальні ресурси, знижуючи споживання енергії і кількість відходів. Це сприяє зменшенню впливу виробництва на навколишнє середовище, що стає все більш актуальним в умовах зростаючого тиску з боку суспільства і законодавства щодо екологічної відповідальності.

Таким чином, автоматизація управління системою конвеєрних стрічок є важливим кроком на шляху до цифрової трансформації виробництва. Впровадження сучасних технологій не тільки підвищує ефективність і безпеку виробничих процесів, але й створює нові можливості для розвитку бізнесу. Завдяки автоматизації підприємства отримують змогу більш гнучко реагувати на зміни ринкових умов, швидше адаптуватися до нових вимог і впроваджувати інновації, що є ключовими факторами успішної конкуренції на сучасному ринку. Дана кваліфікаційна робота націлена на вирішення саме цих задач.



## РОЗДІЛ 1

### ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ

#### 1.1 Аналіз предметної області

Стрічкові конвеєри [1] - це найбільш розповсюджений тип конвеєрів, промислових машин, які використовуються для транспортування сипучих матеріалів або штучних вантажів уздовж робочого органу у вигляді стрічки з антиковзним покриттям. Стрічка натягується між двома обертовими валами або зірочками з ланцюговим приводом, закріпленими на краях сталеві станини. Стрічкові конвеєри є дуже поширеними машинами для транспортування сировини або готової продукції на виробничих, торгових, торгових, складських, сільськогосподарських об'єктах.

Стрічкові конвеєри використовуються для широкого спектру галузей промисловості, включаючи гірничодобувну, сільськогосподарську, будівельну, харчову та хімічну. Вони ефективно служать для транспортування різноманітних матеріалів, від сипучих товарів, таких як вугілля або зерно, до упакованих товарів і мішків.

Конвеєри розробляються з урахуванням міцності та довговічності. Вони включають міцні ремені, високоякісні ролики та приводні пристрої, а також системи натягу та вирівнювання ременів для забезпечення стабільної та безпечної роботи. У конструкції також мусить бути врахована простота обслуговування і можливість експлуатації в різних кліматичних умовах.

Крім того, виробник зазвичай пропонує індивідуальні рішення для адаптації стрічкових конвеєрів до конкретних умов експлуатації. Це може включати зміну довжини, ширини, швидкості стрічки та вибору матеріалу стрічки залежно від характеристик вантажу, що перевозиться, та умов робочого середовища.

Перед покупкою стрічкового конвеєра необхідно визначити, для яких цілей його можна використовувати, від чого буде залежати його конструкція, міцність, продуктивність та інші параметри, а також ціна, зокрема:

- видобуток корисних копалин, нерудних інертних матеріалів;
- кар'єри, гірничо-збагачувальні комбінати;
- виробничі цехи з виробництва сухих будівельних сумішей, штукатурки, вапняної побілки та інших матеріалів;
- цементні та бетонні заводи – для транспортування сировини або готової продукції;
- сільськогосподарські об'єкти – для переміщення зернових культур та продуктів їх переробки;
- інші виробничі установки, що вимагають переміщення сипучих інгредієнтів по приміщенню або між окремими будівлями.

Для того щоб вибрати обладнання, що цікавить, та характеристики якого будуть повністю відповідати вимогам до організації технологічного процесу, необхідно заздалегідь скласти опитувальний лист, проект майстерні, і надати цю документацію постачальнику. Продавець-консультант допоможе вибрати і купити конвеєр з потрібними параметрами.

Для того, щоб правильно вибрати стрічковий конвеєр, необхідно враховувати такі параметри, як:

- відстань перевезення вантажу;
- ширина стрічки;
- потужність силового агрегату, що приводить в рух стрічку;
- швидкість переміщення вантажу;
- продуктивність машини;
- покриття прямих стрічкових конвеєрів;
- монтажний кут;
- тип жолоба (за наявності);
- електрична напруга в мережі;
- налаштування висоти вивантаження товару з конвеєрної стрічки;

- інші характеристики, які можуть вплинути на роботу конвеєра.

Щоб правильно вибрати стрічковий конвеєр, потрібно провести аналіз ринку, вивчити характеристики існуючих моделей, порівняти ціни і вибрати оптимальний варіант. При цьому необхідно враховувати особливості конкретного об'єкта, де буде використовуватися конвеєр, а також бюджет, виділений на закупівлю даного обладнання.

При виробництві стрічкових конвеєрів інженери закладають в кожну машину такі основні технічні характеристики, які варіюються в залежності від конструктивних особливостей та інших параметрів. Наприклад, зазвичай параметри конвеєрів вписуються в найбільш поширені рамки:

- відстань транспортування вантажів - до 100 метрів і більше;
- ширина стрічки агрегату від 300 мм до 2 м і більше (за індивідуальним замовленням);
- потужність силового агрегату, що приводить в рух стручку, становить від 1 кВт до 30 кВт;
- швидкість переміщення вантажів, сипучих матеріалів, зернових культур на конвеєрі становить від 0,5 м/с до 6 м/с;
- продуктивність машини від 5 – 10 т/год до 70 – 80 т/год і більше;
- можливий кут монтажу від 0 до 30 градусів;
- тип жолоба (при його наявності) - сферичний, U-подібний, V-подібний.

Крім перерахованих вище характеристик, при виготовленні стрічкових конвеєрів враховуються і геометричні параметри, які призначаються індивідуально, в залежності від конструкції машини і її функціональних можливостей. Всі технічні параметри складають основу паспорта якості, що додається до кожної одиниці продукції від виробника.

Розглянемо види конвеєрів і критерії, за якими вони класифікуються.

## 1.2 Загальна класифікація конвеєрних систем

Конвеєри часто поділяють на два типи [2-3]:

- з тяговим органом (ланцюгові, стрічкові, мотузкові);
- без тягового органа (гравітаційні, інерційні, гвинтові).

При цьому класифікація конвеєрів з тяговим органом передбачає їх поділ за типом несучого елемента: конвеєри можуть бути стрічковими, пластинчастими, ланцюговими.

У випадку з тяговими конвеєрами вантажі переміщуються по секціях разом з основним робочим органом. За передачу тягового зусилля відповідають або несучі елементи, або механізми, які штовхають або тягнуть вантажі по нерухомих жолобах, трубах, настилу.

Існують також транспортні машини, які не мають тягових механізмів - таке обладнання може бути гравітаційним, інерційним, гвинтовим. У цьому типі конвеєрів робочі механізми здійснюють кругові обертальні (роликівий тип) або зворотно-поступальні рухи (інерційний тип).

На конвеєрах переміщення вантажів може здійснюватися приводами машин (частіше електричними, рідше пневматичними) або дією сили тяжіння (гравітаційний тип машин).

Розглядаючи, які бувають конвеєри за конструктивними особливостями і умовами експлуатації, розрізняють підлогові і підвісні транспортери. Підлогове транспортне обладнання може бути стаціонарним, пересувним, переносним. Такі конвеєри забезпечують переміщення вантажів в різних площинах:

- горизонтальні або близькі до нього похилі – такий підхід використовується в стрічкових, пластинчастих, ланцюгових, візкових, скребкових, роликівих конвеєрах;
- вертикальні або близькі до нього похилі – це може забезпечити ковш, шнек, скребковий транспортер;
- будь-які – в цьому випадку транспортні установки включають в себе чергуються горизонтальні, вертикальні, похилі ділянки (таку конфігурацію можна зустріти в підвісному, ковшовому, скреперному обладнанні).

Загальною класифікаційною ознакою є тип матеріалів, що переміщуються. Конвеєрні системи дозволяють перевозити сипучі і штучні вантажі. Існують

універсальні або спеціалізовані транспортери. Перші переміщують будь-які матеріали, а другі переміщують тільки сипучі або штучні матеріали.

Окремі типи некласифікованих конвеєрів:

- елеватор;
- вертикальний конвеєр з верхнім ковшем, люлькою або полицею;
- ескалатор;
- спеціальний пластинчастий або стрічковий конвеєр, призначений для транспортування людей;
- крокуючий конвеєр;
- триммер;
- штабелер для штабелювання дерев'яних виробів;
- комбіноване обладнання: поперечний роликово-ланцюговий та роликово-стрічковий конвеєр, який передбачає зміну напрямку і фронту руху вантажів; До комбінованих конвеєрних стрічок відноситься також роликово-стрічковий конвеєр, який утримує штучні вантажі на спуску через заданий інтервал.

Далі розглянемо особливості кожного типу конвеєра.

### 1.3 Особливості різних типів конвеєрів

#### 1.3.1 Конвеєрні стрічки

Даний тип конвеєрів (рис.1.1) використовується для транспортування сипучих, кускових і штучних вантажів на далекі відстані (до 10-12 кілометрів і більше). [4] Такі установки часто включають в себе кілька секцій. Горизонтальні смугові лінії можуть бути прямими або радіальними (поворотними, замкнутими), а вертикальні - похилими або зі складною конфігурацією (Г-образні, Z-подібні).

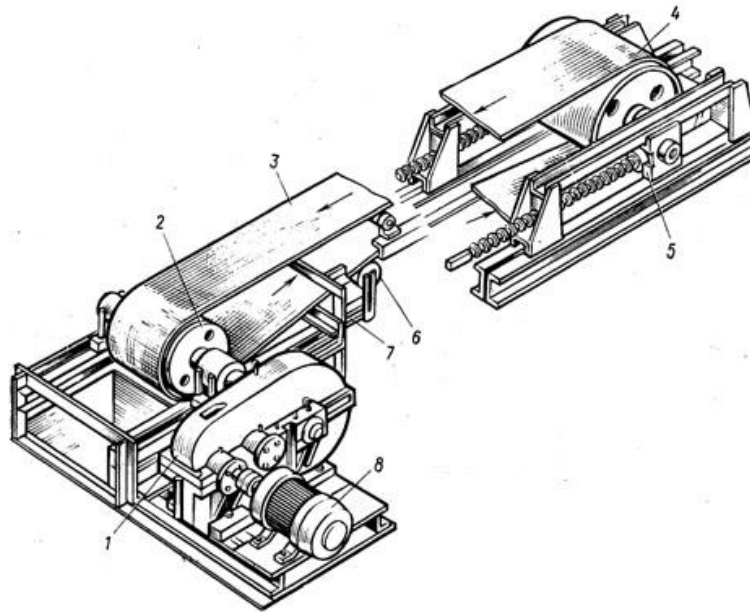


Рисунок 1.1 - Стрічковий конвеєр

На рис.1.1 зображені наступні елементи пристрою: 1 - основний редуктор; 2 - приводний барабан; 3 - прогумована стрічка; 4 - відхиляючий барабан, 5 - натягувач стрічки; 6 - роликові опори; 7 - рама; 8 - електродвигун.

У конвеєрних стрічках тягово-несучим органом є стрічки, які рухаються по нерухомих роликових опорах з вигином ведених, натяжних або відхиляючих барабанів. Переміщення вантажів здійснюється разом зі стрічкою. Стрічка завжди має форму роликової опори: якщо ролик всього один, транспортер плоский, якщо роликів 2, транспортер V-подібний, якщо 3, то транспортер U-подібний. Як правило, штучні вантажі транспортуються на плоских конвеєрних стрічках.

Стрічкові конвеєрні системи мають високу експлуатаційну надійність, а рівень їх продуктивності коливається від 3-4 до 50-80 тонн на годину.

Необхідну ступінь натягу стрічки забезпечує натяжна станція, найчастіше гвинтова, рідше вантажна або тросова. Приводи транспортних систем (приводних станцій) представлені електродвигуном, редуктором, барабаном і муфтами. Сипучі матеріали завантажуються на стрічки за допомогою направляючого жолоба або бункера, а вивантаження здійснюється в кінці

штабеля або за допомогою плужних/барабанних скидувачів або розвантажувального візка, якщо його потрібно розвантажити в інших точках.

Будь-який стрічковий конвеєр складається зі стандартного набору вузлів:

- рама – сталева основа, яка утримує всі стики;
- приводний барабан, з'єднаний з двигуном за допомогою редуктора;
- натяжний барабан, що відповідає за регулювання натягу ремня;
- стрічка, на якій переміщається продукція;
- ролики, які підтримують стрічку знизу.

Незважаючи на те, що перелік окремих елементів однаковий, вони можуть відрізнитися формою або положенням установки, що дозволяє використовувати конвеєр для різних завдань і працювати в різних умовах. По суті, цей момент породжує додаткову класифікацію.

Розглянемо види стрічкових конвеєрів.

1. Прямий. Найпростіший, багатофункціональний і поширений. Стрічка натягнута між двома барабанами і підтримується роликами. Продукція транспортується строго по прямій лінії в одній площині. Він використовується у всіх видах промисловості.

2. Жолобчастий. Опорні ролики розташовуються таким чином, що лежачий на них ремінь згинається, утворюючи корито, тим самим запобігаючи розсипання матеріалу або продукції. Цей вид поширений у машинобудуванні, деревообробній, гірничодобувній промисловості та сміттєпереробних підприємствах.

3. Схильний. Ремінь розташовується під кутом і працює в гору або під гору. Використовується на багаторівневих конвеєрах, складах і логістичних центрах. Детальніше про цей вид ви можете дізнатися в нашій окремій статті.

4. Змішаний. Конвеєр складається з 2-3 секцій, прямої і похилої. Типовий випадок - Г-подібний або Z-подібний (він же гусячий) транспортер. Він поєднує в собі функціональність відповідних сортів. В основному використовується в умовах обмеженого простору.

5. Поворотні. Стрічка горизонтальна, але при погляді зверху має форму дуги або букви U. Конвеєрні стрічки також можуть встановлюватися замість стрічки. В основному використовується в кондитерському виробництві.

6. Телескопічні. Це один з найбільш рідкісних і технічно складних видів. Дозволяє змінювати довжину і нахил без зупинки руху. В основному використовується для сипучих матеріалів, наприклад, у кар'єрах.

Можливості експлуатації визначаються не тільки типом самого конвеєра, але і встановленої стрічки, на цьому моменті також варто зупинитися трохи докладніше.

Тут класифікація набагато ширше, так як заснована на декількох параметрах. Перш за все, матеріал стрічки. Найбільшою популярністю користуються:

- гумотканинні – підходять для важких умов експлуатації та важких галузей промисловості, таких як гірничодобувна промисловість;

- брезентові, які фактично є різновидом гумотканинних брезентів, але з додатковими властивостями, наприклад, з термостійкістю або стійкістю до жиросолічних впливів;

- синтетичні стрічки - це окрема велика група стрічок з різних синтетичних матеріалів: ПВХ, поліуретану, силікону, тefлону, штучної бавовни або фетру і так далі. Головною перевагою є різноманіття додаткових властивостей, які змінюються не тільки від виду до виду, але і в межах одного і того ж матеріалу за рахунок штучного впливу на його властивості. Це дає можливість, наприклад, отримати харчові стрічки (безпечні для здоров'я при безпосередньому контакті з харчовими продуктами), антистатичні, хімічно стійкі та інші моделі, придатні для конкретних умов експлуатації.

Є ще два види, які фактично не є стрічками, але виконують свої функції:

- конвеєрні стрічки являють собою металеві сітки з покриттям або без нього і встановлюються в приміщеннях, де важливо отримати повітропроникність або запобігти скупченню рідини;



- модульні стрічки конструктивно дуже схожі на сітки, так як складаються з окремих ланок (модулів), але виготовлені з пластика.

Стрічки можуть мати не тільки різний склад, але і різний дизайн, в тому числі різні малюнки робочої поверхні.

На завершення згадаємо про додаткові модулі. До них відносяться:

- додаткові застосування: поперечні перегородки для утримання матеріалів; гофрований комір, що запобігає його просипання; напрямні;
- очисні системи – запобігають утворенню скупчення матеріалів, що прискорює знос стрічки;
- центрувальні ролики - це додаткові ролики, які запобігають зсуву стрічки вбік і стирання її країв.

Всі вони не залежать безпосередньо від конкретного типу стрічкового конвеєра. Наприклад, додатки можуть встановлюватися як на прямому конвеєрі, так і на похилому конвеєрі з однаковим успіхом. Однак можливість їх установки слід мати на увазі при підборі стрічки під конкретну технологічну операцію і виборі самого конвеєра.

Існує також коротка пересувна конвеєрна стрічка, що випускається на колесах, і вона використовується для вантажно-розвантажувальних робіт і в будівельній галузі.

### 1.3.2 Пластинчасте транспортувальне обладнання

За допомогою цього типу транспортерів переміщуються [5]:

- великовагові (до 500 кг і більше) штучні вантажі;
- грубі (в тому числі з гострими краями) матеріали;
- предмети на палеті або в контейнері;
- матеріали, нагріті до високих температур.

Пластинчасті конвеєрні системи дозволяють здійснювати горизонтальне переміщення або з невеликим нахилом до 35°. Ці агрегати можуть бути стаціонарними або пересувними, і складаються вони з тих же основних вузлів, що і стрічкові конвеєри. Несучий кузов являє собою металевий (іноді дерев'яний

або пластиковий) настил, виготовлений з безлічі пластин, з'єднаних однією або двома тяговими ланцюгами (втулкою-роликом). Настил має плоский, рифлений або коробчатий перетин, може бути виконаний як з бортиками, так і без них.

При русі тяговий ланцюг обертається навколо ведучої і натяжної зірочок, які закріплені на краях рами.

Пластинчасті конвеєри можуть бути спеціалізованими або загального призначення (найпоширеніший тип, який переміщує штучні важкі вантажі або палети). До спеціалізованих рейкових конвеєрів відносяться: нелінійні просторові маршрути, пасажирські ескалатори, лінії з інтегрованим технологічним обладнанням.

Як правило, пластинчасті конвеєри забезпечують низьку швидкість до 1 м/с. Типова пластинчаста система має продуктивність до 2000 тонн на годину. Плоский настил може бути доповнений високою нерухомою дошкою, щоб запобігти падінню вантажу з поверхні рейкового конвеєра. Різні конфігурації конвеєра можуть передбачати оснащення колії відкидними секціями, поворотними столами і т.д.

### 1.3.3 Підвісні конвеєри з ланцюговою тягою

Цей варіант в класифікації конвеєрів допускає безперервне (рідше переривчасте) переміщення штучних вантажів. [6] Такі конвеєри часто виготовляються з просторовою замкнутою трасою зі складними контурами. Підвісні конвеєри поділяються на три категорії:

- несучі: передбачають постійне з'єднання кареток і тягового вузла;
- тягові: каретки і тяговий вузол також постійно з'єднані, і вони виконані з гаками для переміщення візка по підлозі в цехах або складах;
- штовхаючі: при цьому немає постійного зв'язку між тяговим агрегатом і каретками, для руху яких використовуються підвісні гусениці.

Підвісні ланцюгові конвеєри дозволяють налагодити комплексну механізацію і автоматизувати вантажно-розвантажувальні або складські операції на стиках внутрішньоцехових, внутрішньозаводських і магістральних

транспортних систем. З їх допомогою вдається створювати повністю автоматизовані склади.

#### 1.3.4 Шнекові транспортні системи

У загальній класифікації конвеєрів дане обладнання допомагає переміщати пилоподібні і дрібноштучні вантажі по горизонтальній або похилій (не більше 20°), рідше - вертикальній площинах. [7] Транспортери виготовляються з металевим закритим жолобом з обертовим валом всередині, на якому лопаті розташовані по спіралі, такий вал називається шнеком. Леза можуть бути суцільними (для легкосипучого матеріалу), стрічковими (для мокрих або кускових вантажів) або виконаними у вигляді окремо закріплених лез на валу (для липкого і злежується матеріалу).

Коли гвинт (шнек) обертається, вантаж штовхається лопатями далі по жолобу.

Шнекове конвеєрне обладнання виготовляється з відрізками 2-4 метри, а вся транспортна система може мати довжину до 60 метрів при діаметрі жолоба 100-600 мм.

Недоліками системи є швидкий знос лопатей і жолобів, дроблення і стирання матеріалів, що переміщуються, а також підвищене енергоспоживання обладнання.

#### 1.3.5 Роликові конвеєри

За допомогою цього типу транспортерів переміщується продукція на піддонах, або штучні, плоскі, ребристі, циліндричні предмети. [8] Система складається з рами з безліччю закріплених перпендикулярно закріплених осей, на підшипниках яких обертаються ролики. Довжина роликів повинна бути трохи більше ширини або діаметра вантажів, а відстань між осями - до 50% довжини переміщуваних об'єктів.

Якщо потрібно перевезти дрібні кускові або штучні матеріали складної форми, їх потрібно помістити в ящики або на піддони.

Існує два типи роликів конвеєрів:

- гравітаційні (рольганг): при цьому робоча площина встановлюється під кутом до  $5^\circ$ , при цьому забезпечується вільне обертання роликів за рахунок сили тяжіння вантажів, що транспортуються;

- приводні: у цих конвеєрах ролики оснащуються індивідуальними (секційними) або груповими приводами, з'єднаними з одним двигуном.

Ці роликові системи використовуються для забезпечення постійної швидкості переміщення матеріалу, строго горизонтального переміщення вантажів або підйому по похилій площині.

Рольгангові комплекси збираються з секцій 2-6 метрів. Маршрути можуть мати різну конфігурацію з криволінійними, складними, поперечними перерізами та поворотними платформами.

### 1.3.6 Інерційні транспортні комплекси

Цей тип конвеєра застосовується, коли необхідно переміщати пухкі, рідше дрібноштучні матеріали на відносно невеликі відстані в горизонтальній або злегка похилій (максимум  $20^\circ$ ) площині. [9] В інерційному конвеєрі частини товару переміщуються по несучій поверхні або навіть розлітаються по повітрю за рахунок енергії інерції.

Які бувають види інерційних конвеєрів:

- коливальні: мають значну амплітуду і низьку частоту коливань;
- вібраційні: характеризуються невеликою амплітудою і високою частотою коливань.

У найпростіших коливальних конвеєрах жолоби розміщуються на пружних стійках, надійно закріплених на опорній рамі під певним кутом нахилу до вертикалі. Кривошипно-шатунні механізми і привід двигуна надають жолобу спрямований рух (вперед – невеликий підйом, назад – вниз), в результаті чого забезпечується кочення. При цьому відбувається зміна тиску навантажень.

Коли жолоб спрямований назад, об'єкти, що переміщуються, ковзають по його поверхні вперед, що полегшує просування.

На вібраційних конвеєрах вантажі піддаються несиметричним коливанням. При плавному русі труби транспортера вгору і різкому опусканні предмети відриваються від поверхні і трохи відсуваються в сторону. Продуктивність системи вібраційного конвеєра відрізняється в залежності від діаметра жолобів: 350 мм – 50 тонн на годину, 500 мм – 75 т/год, 750 мм – 150 т/год.

Існують також спеціалізовані комбіновані вібраційні конвеєри, що забезпечують переміщення об'єктів в горизонтальному і вертикальному напрямках.

### 1.3.7 Скребкові конвеєрні комплекси

Такі установки забезпечують переміщення вантажів за допомогою скребків, що переміщаються по жолобу або трубі. [10] Устаткування використовується при необхідності транспортування сипучих або кускових матеріалів, що подаються в жолоб за допомогою завантажувального бункера. Найчастіше транспортери мають нижню робочу гілку, рідше верхню (або відразу дві).

Форма скребків збігається з контуром ділянки труби (прямокутна, напівкругла, трапецієподібна). Скребки зазвичай бувають штампованими (для виготовлення використовується листовая сталь) або литими, а жолоб виготовляється з металу або дерева.

У порівнянні з перонними конвеєрами, скребкові конвеєри мають меншу вагу, а матеріали, що транспортуються, можна завантажувати та розвантажувати в будь-якому місці жолоба.

Сфера застосування таких конвеєрів обмежена через дроблення вантажу і інтенсивного зносу труби, особливо якщо переміщаються абразивні матеріали. Крім того, вони вимагають великих енерговитрат через необхідність подолання шкідливих опорів. Як правило, робочий орган рухається зі швидкістю до 0,5, іноді до 1 м/с, а рівень продуктивності скреперного обладнання становить від 100 до 350 т/год.

Такі системи часто використовуються для транспортування вантажів на відстань до 100 метрів.

Окремим видом в класифікації конвеєрів є завантажені конвеєрні системи, в яких скребки частково закривають жолоб, а вантажі заповнюють більшу частину робочої гілки.

При цьому колія може мати складну конфігурацію, використовуватися для повільного горизонтального, вертикального і похилого транспортування дрібносипучого матеріалу до 0,25 м/с.

Окремо розглядаються і скребкові транспортери трубчастого типу. Всередину труби поміщають тягові ланцюги і скребки, повністю закриваючи її поперечний переріз. Ці системи також можуть бути виконані з просторовим вирівнюванням.

### 1.3.8 Ланцюгові конвеєрні комплекси

Цей тип конвеєра використовується при необхідності переміщення важких (понад 500 кг) штучних виробів з плоским дном, предметів на піддоні або в контейнері. [11] Ланцюгові конвеєри бувають двох типів:

- з несучим ланцюгом, при цьому вантажі розміщуються безпосередньо на тягових ланцюгах, які ковзають по нерухомих напрямних, а гусениці цього обладнання можуть складатися з відкидних секцій і вертушок;

- з приводним ланцюгом - такі транспортери не мають несучого органу, тому їх часто використовують у виробничій лінії конвеєрного складання. Вантажі переміщуються на нерухомій опорній доріжці безпосередньо по підлозі, на власному колісному або гусеничному шасі. Широке поширення набув візковий конвеєр. Це візок, з'єднаний тяговими ланцюгами і рухається по замкнутому контуру колії. Безпосередньо під час передачі вантажі піддаються різним впливам і операціям (формування, заливка, охолодження – в ливарному цеху, складання агрегатів).

Головною перевагою ланцюгового конвеєра з тяговими ланцюгами є більш низька вартість в порівнянні з роликowymi і пластинчастими аналогами. Недоліком є індивідуальне проектування для певних типів матеріалів, що переміщуються.

## РОЗДІЛ 2

### АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ЯК ОБ'ЄКТА КЕРУВАННЯ

#### 2.1 Математична модель стрічкового конвеєра

При роботі з великими вантажами на конвеєрі іноді створюється дуже велике навантаження. Тому виникає необхідність у забезпеченні надійності стрічкових конвеєрів.

При включенні приводу стрічкового конвеєра рух виносних ділянок стрічки починається тільки через деякий час, протягом якого фронт хвилі від приводного барабана досягне цієї ділянки стрічки. Для довгих конвеєрів час проходження хвилі деформації по всій довжині конвеєра може становити кілька секунд. Таким чином, не вся вага ремня і вантажа на ньому приводиться в рух одночасно.

Під час пуску ці зміни можуть призводити до нестабільної роботи приводного барабана, наприклад, часткового або повного прослизання, що викликає інтенсивний знос футеровки барабана і футеровки нижнього пояса, нагрівання барабана, різке зниження коефіцієнта зчеплення стрічки з приводним барабаном. В результаті знижується надійність стрічкового конвеєра.

Так само, якщо зупинити приводний барабан конвеєра, вся стрічка не зупиниться відразу. В результаті рухомі ділянки набігають на зупинені, а натяг стрічки може бути настільки малим, що вона втрачає стійкість і виникає складка. При гальмуванні перерозподіл натягів може стати причиною втрати поздовжньої стійкості ремня (утворення значних провисань або рифлень, розсипання вантажу), його прослизання на барабані.

У зв'язку з цим постає завдання забезпечити стабільну роботу конвеєра. Вона може бути вирішена безперервним контролем приводу і натяжних пристроїв. У зв'язку зі складністю проведення експерименту на реальних



об'єктах, для розробки системи автоматичного управління використовується імітаційна модель з урахуванням основних властивостей стрічкового конвеєра.

Найчастіше властивості смуг представлені у вигляді моделі Фохта, яка враховує її пружно-в'язкі властивості і складається з пружного і в'язкого елементів, з'єднаних паралельно. Напряга і деформація для цієї моделі у випадку простого натягу пов'язані обмеженням

$$\sigma(t) = E\varepsilon + \eta \frac{d\varepsilon}{dt}, \quad (2.1)$$

де  $\sigma$  — напруженість,  $E$  — коефіцієнт пружності,  $\varepsilon$  — відносна деформація,  $\eta$  - коефіцієнт внутрішнього тертя.

Динамічні процеси при побудові математичної моделі стрічкового конвеєра прийнято розглядати з точки зору поширення хвиль напружень і деформацій. У більшості робіт [12-15] при розробці моделі стрічкового конвеєра робляться такі припущення:

- верхня (навантажена) і нижня (ненавантажена) частини стрічки конвеєра представлені у вигляді концентрованих мас;
- сила опору руху стрічки однакова по всій довжині конвеєра і не залежить від конструктивних параметрів і режимів роботи конвеєра;
- маса вантажу вважається рівномірно розподіленим по всій довжині конвеєра і не залежить від зміни вантажопотоку, що надходить;
- натяг стрічки по всій довжині конвеєра однаковий і не залежить від режимів роботи конвеєра;
- внутрішнє тертя в стрічці не враховується.

При таких припущеннях побудовані моделі не можуть відображати реальні фізичні процеси, що відбуваються під час роботи стрічкового конвеєра. Тому використовується імітаційна модель стрічкового конвеєра, яка найбільш повно відображає реальні фізичні процеси.

Однак модель, яка враховує всі інерційні елементи, всі зв'язки між ними і всі діючі сили, дуже складна. Математичний опис такої моделі дуже складний.

Тому при розробці моделі слід враховувати тільки ті елементи, які відображають основні процеси, властивості і характеристики стрічкового конвеєра. З цією метою робляться наступні припущення, які є загальноприйнятими і підтвердженими експериментально:

- відсутній вплив провисання стрічки між роликівими опорами на її пружні властивості;
- все навантаження в довжину поглинається рамою ременя;
- пружно-в'язкі властивості стрічки і її опір руху враховуються відповідно до моделі Фохта.

Для виведення рівняння руху стрічки розглянуто стрічковий елемент довжини  $dx$ , представлений на рис. 2.1. Цей елемент характеризується лінійною щільністю  $\rho$ , модулем пружності  $E$ , коефіцієнтом внутрішнього тертя  $\eta$ , опором  $W$ . До поперечних перерізів елемента прикладається зусилля  $F$ . Швидкість переміщення поперечних перерізів елемента дорівнює  $v$ .

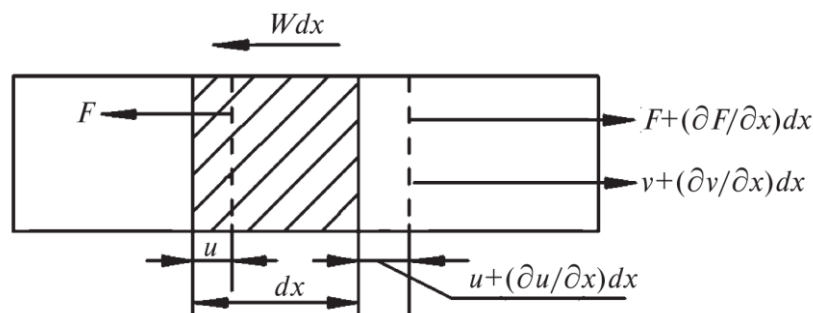


Рисунок 2.1 - Модель стрічкового елемента з розподіленими параметрами

Якщо  $u(t)$  — значення зміщення лівої частини елемента за час  $\Delta t$ , то за час  $t + \Delta t$  права частина елемента  $dx$  переміститься на величину  $u + \Delta_x u$ . Приріст  $\Delta_x u$  дорівнює

$$\Delta_x u = \frac{\partial u}{\partial x} dx. \quad (2.2)$$

Звідси знаходимо відносне подовження

$$\varepsilon = \frac{\Delta_x u}{dx} = \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (2.3)$$

Аналогічно знаходиться  $\Delta_x F$ :

$$\Delta_x F = \frac{\partial F}{\partial x} dx . \quad (2.4)$$

Беручи до уваги (2.1) виходить рівняння

$$\Delta_x F = \frac{\partial F}{\partial x} dx . \quad (2.5)$$

де  $i$  — товщина робочого шару стрічки;  $B$  — ширина стрічки.

З (2.5) маємо

$$\frac{\partial F}{\partial x} = iBE \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{iB\eta}{\omega} \frac{\partial^3 u}{\partial x^2 \partial t} . \quad (2.6)$$

Беручи до уваги рис. 2.1 і деякі перетворення приходимо до рівняння

$$\frac{\partial F}{\partial x} = \rho \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + W . \quad (2.7)$$

Дослідження динамічних процесів в стрічкових конвеєрах можуть проводитися шляхом заміни розподіленої маси стрічкових, вагових і обертових часткових роликів опор певною кількістю концентрованих мас, з'єднаних невагомими пружними і демпферними ланками.

Розділивши контур конвеєра на  $n$  секцій однакової довжини  $l$ , нехтуючи прослизанням стрічки на барабанах і роликів опор, і зменшивши силу опору, що діє на стрічку, до обраних зосереджених мас, апроксимувавши часткові похідні координатою, отримаємо систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\frac{d^2 u_i}{dt^2} = \frac{1}{m_i} \left( -C(2u_i - u_{i+1} - u_{i-1}) - B(2\dot{u}_i - \dot{u}_{i+1} - \dot{u}_{i-1}) - W_i + F_i \right), \quad i = \overline{2, n-1}, \quad (2.8)$$

де  $C = \frac{iBE}{l}$  - коефіцієнт жорсткості стрічки;  $B = \frac{\eta Bi}{l}$  - коефіцієнт в'язкості стрічки; та  $u_i$ ,  $\dot{u}_i$ ,  $m_i$ ,  $F_i$ ,  $W_i$ , — відповідно переміщення, швидкість, маса, діюча сила і нелінійна від них сила опору на  $i$ -му відрізьку стрічки.

Слід зазначити, що представлення моделі стрічкового конвеєра у вигляді обмеженого числа концентрованих мас, з'єднаних пружними ланками, знижує точність рішення в порівнянні з моделлю розподіленої маси. Однак перевага

цього методу полягає в тому, що він дозволяє вивчати процеси з нерівномірним завантаженням конвеєра, різними швидкостями і натягами по довжині конвеєрної стрічки. Очевидно, що підвищення точності рішення може бути досягнуто за рахунок збільшення числа модельованих мас.

У більшості робіт для ділянки довжиною  $l$  опір руху стрічки визначається за такими формулами. Для ділянки верхньої (навантаженої) гілки

$$W_{\text{в}} = k_l g l \times [(\rho_{\text{г}} + \rho_{\text{л}} + q'_p) \omega'_{\text{г}} \cos \beta \pm (\rho_{\text{г}} + \rho_{\text{л}}) \sin \beta]; \quad (2.9)$$

для ділянки нижньої (ненавантаженої) гілки

$$W_{\text{н}} = k_l g l [(\rho_{\text{л}} + q''_p) \omega'_n \cos \beta \mp \rho_{\text{л}} \sin \beta], \quad (2.10)$$

де  $g$  — прискорення під дією сили тяжіння;  $\rho_{\text{л}}$  — лінійна щільність стрічки (маса одного метра стрічки);  $\rho_{\text{г}}$  — лінійна щільність вантажу (вага вантажу на одному метрі стрічки);  $q'_p$  та  $q''_p$  — Маса обертових частин роликів опор зменшується до одного метра довжини стрічки, відповідно верхньої і нижньої гілок;  $\beta$  — кут нахилу конвеєра;  $k_l$  — коефіцієнт, що враховує довжину конвеєра;  $\omega'_{\text{г}}$  та  $\omega'_n$  - коефіцієнти опору для верхніх і нижніх ніг конвеєра відповідно;  $l$  — довжина відрізка стрічки.

Однак такий розрахунок недостатньо точний, не враховує всіх складових сил опору руху стрічки. Силу опору руху стрічки на відрізку довжини  $l$  можна знайти, підсумувавши всі сили опору руху, як розподілені, так і зосереджені, що виникають на даній ділянці стрічки. Такий спосіб розрахунку дозволяє врахувати всі фактори, від яких залежить сила опору: натяг стрічки, її тип, швидкість, конструкцію роликів опор, діаметр роликів, температуру навколишнього середовища, кут установки конвеєра і т.д.

Поряд з перерахованими вище сили опору виникають в місцях навантаження, на криволінійних ділянках, на очисних, центрувальних, розвантажувальних і інших пристроях. Таким чином, сила опору руху стрічки

залежить від багатьох конструктивних і експлуатаційних параметрів конвеєра, в тому числі і від лінійної щільності навантаження на конвеєр. В результаті доводиться враховувати розподіл ваги вантажу по довжині конвеєра в залежності від вантажопотоку, що надходить на конвеєр, і швидкості руху стрічки в різних режимах роботи стрічкового конвеєра. Під вантажопотоком розуміють кількість вантажу, що переміщується за одиницю часу. Вантажопотік, що надходить на конвеєр, знаходять за формулою

$$Q_{\text{вх}}(t) = \frac{dm_{\text{вх}}(t)}{dt}, \quad (2.11)$$

де  $m_{\text{вх}}(t)$  - маса вантажу.

На ділянці завантаження, швидкість якої дорівнює  $v(t)$ , вантажопотік утворює лінійну щільність  $\rho(t)$ , яка визначається за формулою

$$\rho(t)|_{x=0} = \frac{dm_{\text{вх}}(t)}{dt} \frac{1}{v(t)}, \quad (2.12)$$

де  $v(t)$  - швидкість руху секції конвеєрної стрічки.

Для  $(i + 1)$ -ї секції  $\rho_{\text{вх } i+1}(t)$  - вхідна і  $\rho_{\text{вих } i+1}(t)$  - вихідна щільності, які пов'язані між собою таким чином

$$\rho_{\text{вих } i+1}(t) = \rho_{\text{вх } i+1}(t - \tau(t)); \quad (2.13)$$

$$\int_{t-\tau(t)}^t v_{i+1}(t) dt = l, \quad (2.14)$$

де  $\tau(t)$  - змінна затримка,  $l$  – довжина секції конвеєра,  $v_{i+1}(t)$  - швидкість на цій ділянці.

Вага вантажу на ділянці стрічки визначається наступним чином:

$$m_i(t) = \int_0^t v_i(t) [\rho_{\text{ВХ}i}(t) - \rho_{\text{ВЫХ}i}(t)] dt = \int_0^t v_i(t) [\rho_{\text{ВХ}i}(t) - \rho_{\text{ВЫХ}i}(t - \tau)] dt, \quad (2.15)$$

Як бачимо, математичне моделювання конвеєра дає досить складні формули і моделі, рішення яких в загальній формі, завдяки багаточисельним випадковим процесам, можуть бути занадто ускладненими. Тому в таких випадках простіше користуватись імітаційними моделями, що хоча і мають певні невідповідності реальним процесам і об'єктам, але є набагато більш зручними, а робота з ними показує, що такі моделі можуть бути застосовані на широкому колі задач. Більш докладно імітаційну модель буде розглянуто в третьому розділі даної роботи.

## 2.2 Автоматизація управління стрічковими конвеєрами

Сучасні стрічкові конвеєри - це не просто механічні пристрої для транспортування матеріалів. Їх ефективність може значно посилитись завдяки автоматизації, яка робить їх розумними помічниками людини.

Автоматизація конвеєрів дозволяє:

- збільшити швидкість та точність транспортування товарів;
- зменшити ризик помилок та пошкоджень товарів;
- оптимізувати використання складських просторів;
- знизити витрати на ручну працю.

В основі автоматизації лежить система керування, що складається з трьох основних компонентів:

- датчики - ці "всевидячі очі" системи збирають інформацію про стан конвеєра, його швидкість, навантаження, рівень заповнення бункерів, стан стрічки та інші параметри;

- контролери - "мозок системи", який обробляє дані, отримані від датчиків, аналізує їх та приймає рішення;

- виконавчі механізми - “м'язи” конвеєра, які приводять у рух стрічку, регулюють її швидкість та потужність, а також активують захисні механізми.

Система керування постійно контролює та регулює роботу конвеєра, щоб забезпечити його оптимальну та безпечну роботу. Перш за все, це стосується швидкості руху стрічки. Її регулюють для забезпечення оптимального транспортування матеріалу, враховуючи його тип, обсяг та інші фактори. Контроль навантаження запобігає перевантаженню конвеєра, що може призвести до обриву стрічки, пошкодження роликів та інших елементів. Датчики стану стрічки виявляють пошкодження, знос, розтягування, а система керування зупиняє конвеєр, щоб запобігти аварії. Регулярне змащення, самозмащувальні ролики та контроль температури допомагають запобігти заклинюванню роликів, що може призвести до зупинки конвеєра. Датчики рівня гарантують безперебійну роботу конвеєра, даючи сигнали про мінімальний або максимальний рівень матеріалу в бункерах.

Оператор конвеєра має можливість візуально контролювати його роботу за допомогою:

- дисплеїв, на яких відображаються текстові та графічні дані про стан конвеєра, його параметри та аварійні ситуації;
- панелей керування, з їх допомогою оператор може керувати роботою конвеєра, змінювати параметри та давати команди;
- систем SCADA, які забезпечують візуалізацію інформації про роботу не лише одного конвеєра, а й всієї транспортної системи.

Автоматизація управління стрічковими конвеєрами має ряд суттєвих переваг:

- завдяки оптимальному регулюванню швидкості, навантаження та інших параметрів конвеєр може транспортувати більше матеріалу за одиницю часу;
- автоматизована система використовує ресурси (енергія, матеріали) більш економно, що знижує виробничі витрати;
- захисні механізми та контроль стану конвеєра значно зменшують ризик аварійних ситуацій та травмування людей;

- автоматизоване управління гарантує більш стабільну та точну роботу конвеєра, що веде до кращої якості продукції;

- автоматизація зменшує потребу в ручному керуванні та обслуговуванні конвеєра, економлячи час та кошти.

Системи автоматизації управління стрічковими конвеєрами можуть варіюватися залежно від:

- типу конвеєра: стрічкові конвеєри бувають різних типів, наприклад, лоткові, плоскі, з нахилом;

- довжини конвеєра: більш довгі конвеєри потребують більш складної системи автоматизації;

- продуктивності конвеєра: конвеєри з високою продуктивністю потребують більш потужних систем автоматизації.

- транспортованих матеріалів: різні матеріали можуть потребувати специфічних функцій автоматизації.

Розвиток автоматизації управління стрічковими конвеєрами не стоїть на місці та визначається наступними факторами. Впровадження штучного інтелекту дозволить оптимізувати роботу конвеєрів, прогнозувати аварійні ситуації, приймати рішення в режимі реального часу. Датчики Інтернету речей збиратимуть дані про стан конвеєра в режимі реального часу, забезпечуючи його кращий моніторинг та керування. Завдяки хмарним технологіям доступ до систем автоматизації буде можливим з будь-якого місця, а їх масштабування стане простішим.

Що ж стосується сьогодення - то на ринку представлено широкий спектр систем автоматизації від різних виробників.

Наприклад, Siemens Simatic S7 пропонує широкий спектр модулів для автоматизації конвеєрів, включаючи контролери, датчики, приводи та інтерфейсні пристрої. Має широкий спектр модулів, високу надійність та простоту програмування. Широко застосовується для автоматизації конвеєрів для транспортування сипучих матеріалів, таких як вугілля, руда, зерно.



Allen-Bradley ControlLogix від Rockwell Automation також пропонує широкий спектр модулів для автоматизації конвеєрів, а також інтеграцію з іншими системами Rockwell. Може використовуватись для автоматизації конвеєрів при транспортуванні штучних виробів, таких як коробки, палети, деталі. Може інтегруватись з іншими системами Rockwell Automation, має високу продуктивність та модульну структуру.

Система Schneider Electric Modicon M340 пропонує модульні рішення для автоматизації конвеєрів, а також інтеграцію з іншими системами Schneider Electric. Застосовується для автоматизації конвеєрів при транспортуванні рідких та напіврідких матеріалів, таких як вода, фарба, бітум. Переваги в модульній структурі, простоті монтажу, можливості інтеграції з іншими системами Schneider Electric.

Автоматика Omron Sysmac NJ пропонує високу продуктивність та надійність, а також широкий спектр функцій для автоматизації конвеєрів. Використовується при автоматизації складних конвеєрних систем, таких як сортувальні та пакувальні лінії. Відрізняється високою продуктивністю, надійністю, широким спектром функцій.

Система ABB Ability System 800xA пропонує інтегроване рішення для автоматизації конвеєрів та інших елементів транспортних систем. Основна сфера - автоматизація великих транспортних систем, таких як портові комплекси, аеропорти. Має переваги в інтегрованих рішеннях, масштабованості та високій надійності.

Вибір системи автоматизації для конкретного конвеєра залежить від його типу, довжини, продуктивності, транспортуємих матеріалів та інших факторів. Спростити вибір допоможе системний підхід та послідовність наступних кроків:

- визначити свої потреби, оцінити тип конвеєра, його довжину, продуктивність, транспортовані матеріали та інші фактори;
- вивчити доступні системи, порівняти характеристики та можливості різних систем автоматизації від різних виробників.

- порівняти ціни на системи автоматизації, а також врахувати витрати на установку, обслуговування та навчання персоналу;
- проконсультуватись з фахівцями з автоматизації, щоб отримати допомогу у виборі оптимальної системи для ваших потреб.

Таким чином, автоматизація управління стрічковими конвеєрами є важливою складовою сучасних транспортних систем. Її застосування дозволяє підвищити продуктивність, економність, безпеку та якість роботи конвеєрів.

В підсумку, автором було обрано систему на основі контролерів Siemens S7 [16], які зарекомендували себе надійністю та широким спектром застосування.

### 2.3 Вибір інструментарію комп'ютерного моделювання

Комп'ютерне моделювання системи стрічкових конвеєрів є важливим етапом у проектуванні та оптимізації виробничих процесів. Вибір інструментарію для такого моделювання визначається рядом факторів, включаючи специфічні вимоги до системи, доступність програмного забезпечення, зручність використання, а також можливості інтеграції з іншими системами. Спробуємо провести порівняння різних інструментів для комп'ютерного моделювання систем стрічкових конвеєрів та надано рекомендації щодо їх вибору.

Одним з основних критеріїв вибору інструменту для моделювання є його здатність точно імітувати фізичні процеси та поведінку стрічкових конвеєрів. Сучасні програмні пакети пропонують різні методи для моделювання механічних, електричних та логістичних аспектів конвеєрних систем. Наприклад, деякі з них забезпечують можливість тривимірного моделювання, що дозволяє більш детально аналізувати рух матеріалів та взаємодію компонентів системи. Інші програми фокусуються на математичному моделюванні та аналізі ефективності процесів, що є ключовим для оптимізації виробничих ланцюгів.

Важливим аспектом є також користувацький інтерфейс та зручність використання програмного забезпечення. Інструменти з інтуїтивно зрозумілим інтерфейсом дозволяють швидко розпочати роботу і зменшують час на навчання. Наприклад, деякі платформи пропонують візуальні інтерфейси для створення моделей, що дозволяє користувачам легко налаштовувати параметри системи та спостерігати за результатами симуляцій у реальному часі. Такі інструменти можуть значно підвищити ефективність роботи інженерів та аналітиків.

Інтеграція з іншими системами є ще одним критично важливим фактором при виборі інструменту для моделювання. Багато сучасних програмних рішень підтримують інтеграцію з системами управління виробництвом (MES), системами планування ресурсів підприємства (ERP), а також з CAD-системами для проектування обладнання. Це забезпечує безперервний обмін даними між різними етапами проектування та виробництва, що підвищує точність і узгодженість моделювання.

Ефективність роботи програмного забезпечення також залежить від його можливостей у сфері обробки великих обсягів даних та проведення складних обчислень. Інструменти, що використовують сучасні методи обробки даних, такі як паралельні обчислення або використання GPU, можуть значно знизити час на проведення симуляцій та аналізу результатів. Це особливо важливо для великих і складних систем, де необхідно обробляти велику кількість змінних та параметрів.

Ще один важливий аспект — це вартість програмного забезпечення та його доступність. Вибір інструменту повинен враховувати бюджет проекту та наявність ліцензій. Деякі інструменти пропонують безкоштовні або умовно-безкоштовні версії з обмеженою функціональністю, що може бути достатнім для невеликих проектів або початкового етапу моделювання. Інші, більш просунуті рішення, вимагають значних фінансових інвестицій, але пропонують розширені можливості та підтримку.

Серед популярних інструментів для моделювання систем стрічкових конвеєрів можна виділити кілька основних категорій. По-перше, це

спеціалізоване програмне забезпечення для моделювання логістичних систем, яке орієнтоване на оптимізацію матеріальних потоків та управління запасами. Такі інструменти, як FlexSim, AnyLogic та Simul8, широко використовуються у промисловості для моделювання складних виробничих та логістичних процесів.

По-друге, це універсальні інструменти для моделювання фізичних систем, такі як Matlab/Simulink, які надають можливість створення математичних моделей та проведення чисельних експериментів. Ці інструменти дозволяють моделювати не лише механічні процеси, але й електричні та контрольні системи, що робить їх корисними для комплексного аналізу роботи стрічкових конвеєрів.

По-третє, існують інструменти для тривимірного моделювання та симуляції, такі як SolidWorks та Autodesk Inventor, які дозволяють створювати детальні 3D моделі обладнання та аналізувати його роботу в віртуальному середовищі. Такі інструменти є незамінними при проектуванні нових систем та оцінці їх ефективності на ранніх етапах розробки.

Таким чином, вибір інструментарію для комп'ютерного моделювання системи стрічкових конвеєрів повинен базуватися на комплексному аналізі вимог проекту, можливостей програмного забезпечення та специфічних потреб користувача. Оптимальне рішення може включати поєднання кількох інструментів, що забезпечують найбільш ефективне виконання завдань моделювання, аналізу та оптимізації. Важливо також враховувати перспективи розвитку та підтримки обраного програмного забезпечення, а також його здатність до інтеграції з іншими системами та технологіями. Ретельний підхід до вибору інструментарію сприятиме успішній реалізації проектів у сфері моделювання стрічкових конвеєрів та підвищенню ефективності виробничих процесів.

У підсумку, для моделювання автор зупинився на системі Matlab/Simulink, а безпосередньо для програмування - спеціальні програми та середовище для контролерів Siemens. В залежності від масштабу системи автоматизації це може бути як Logo Soft Comfort, так і інтегроване середовище TIA Portal.

## РОЗДІЛ 3

### МОДЕЛЮВАННЯ ТА ВИБІР ТЕХНІЧНИХ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

#### 3.1 Імітаційна модель стрічкового конвеєра

Розглянемо імітаційну модель стрічкового конвеєра з урахуванням наведених вище моделей (2.1) - (2.15). З огляду на наведені формули, можемо отримати варіант структурної схеми моделі стрічкового конвеєра, фрагмент якої представлений на рис. 3.1. В цій схемі враховані пружно-в'язкі властивості стрічки. Силу опору руху стрічки в перерізі знаходять шляхом підсумовування всіх сил опору руху, як розподіленого, так і зосередженого, що виникають на цій ділянці під час руху стрічки. На рис. 3.2 показана структурна схема моделі переміщення вантажу, де БУЗ - блок управління транспортною затримкою, керуючий вхід якого забезпечується змінною швидкістю стрічки  $v(t)$ , а інформаційний вхід - щільністю вантажу  $\rho(t)$ .

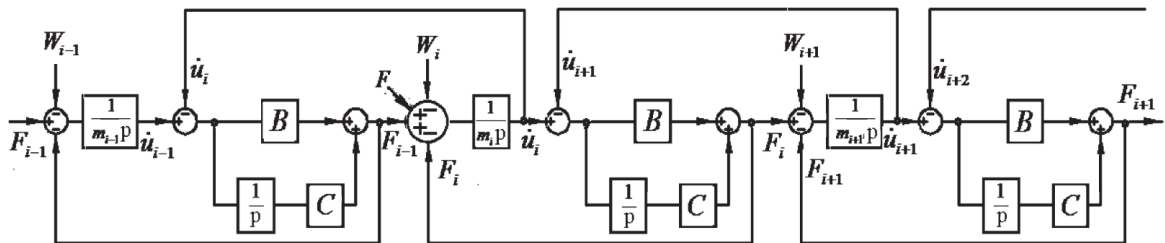


Рисунок 3.1 - Фрагмент структурної схеми моделі стрічкового конвеєра

При моделюванні процесу пуску стрічкового конвеєра за допомогою імітаційної моделі, побудованої в середовищі Matlab/Simulink, отримано графіки завантаження секцій конвеєра — від  $m_1$  до  $m_5$  (рис. 3.3), а також швидкостей секцій конвеєра при пуску - від  $v_1$  до  $v_5$  (рис. 3.4).

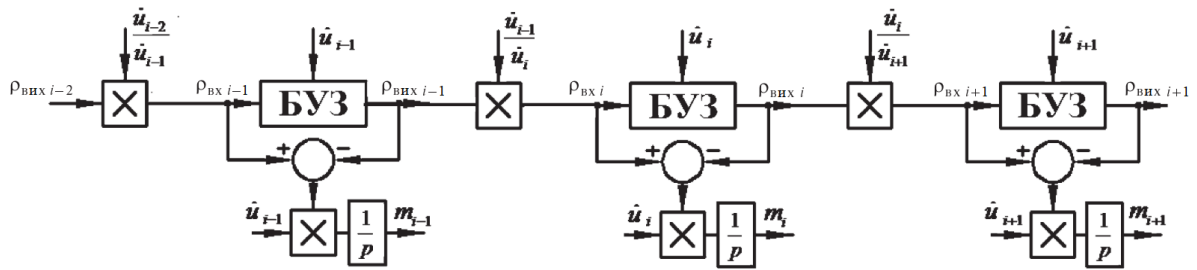


Рисунок 3.2 - Структурна схема моделі переміщення вантажу

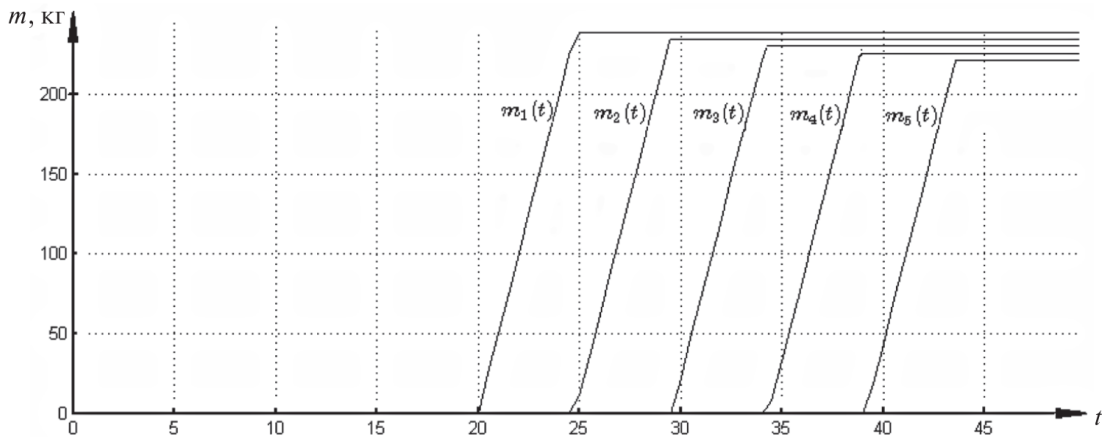


Рисунок 3.3 - Графік завантаження секцій стрічкового конвеєра

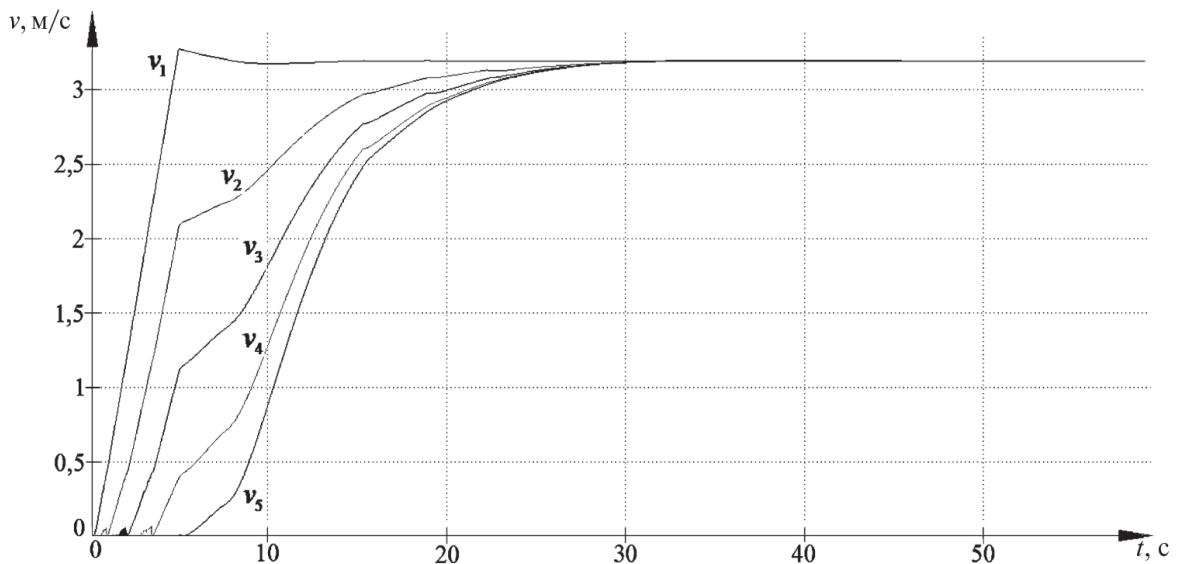


Рисунок 3.4 - Графік швидкостей секцій стрічкового конвеєра при пуску

З рис. 3.3 видно, що маса вантажу, що надходить зі стрічкового конвеєра, переміщається по конвеєру, що доводить відповідність отриманих результатів

реальним фізичним процесам. З рис. 3.4 видно, що при включенні приводу стрічкового конвеєра рух віддалених ділянок стрічки починається тільки через деякий час, що пояснюється часом хвилі деформації по всій довжині конвеєра. Дана імітаційна модель дозволяє змоделювати процес пуску, гальмування конвеєра, розрахувавши розподіл напруги по всій довжині стрічки при різних режимах роботи конвеєра. Імітаційна модель стрічкового конвеєра відображає всі його основні властивості і може бути використана при розробці і налагодженні системи автоматичного управління.

### 3.2 Моделювання системи стрічкових конвеєрів

Останнім часом більшість підприємств, що працюють з сипучими вантажами (наприклад, гірничодобувна промисловість), перейшли на потокове транспортування сировини. Зростання вантажопотоків і протяжності перевезень викликало необхідність створення високопродуктивних стрічкових конвеєрів великої довжини і потужності з використанням дорогих синтетичних і гумокордових стрічок. Крім того, впроваджуються цілі конвеєрні системи. Це призводить до значного подорожчання конвеєрної установки.

В даний час коефіцієнт використання конвеєрних установок на гірничодобувних підприємствах становить в середньому 50-70% по продуктивності і 60-70% за часом. Таке неефективне використання конвеєрних установок пов'язано, в тому числі, з тим, що вантажопотоки, що надходять від гірничих машин, характеризуються значною нерівномірністю амплітуди і частоти прибуття вантажу. Таким чином, проблема підвищення економічної ефективності конвеєрних установок при їх експлуатації на гірничодобувних підприємствах є дуже актуальною. Одним із шляхів вирішення цієї проблеми є узгодження режимів роботи системи стрічкових конвеєрів з параметрами вантажопотоку, що надходить до неї.

Численні спостереження, проведені в шахтах і кар'єрах, показали, що вантажопотік - це процес, що складається з періодів припливу і відсутності

корисних копалин, які багаторазово чергуються під час зміни, причому тривалість періодів випадкова. Відсутність вантажу на конвеєрі пов'язано з зупинкою гірничої машини для огляду, виконанням різних технологічних операцій, усуненням технічних несправностей і т.д.

Як зазначалося раніше, вантажопотік, що надходить на конвеєр, відбувається за формулою (2.11). Вантажопотік з урахуванням швидкості руху стрічки утворює лінійну щільність, яка виражається в (2.12).

Спрощена структурна схема секції конвеєра наведена на рис. 3.5.

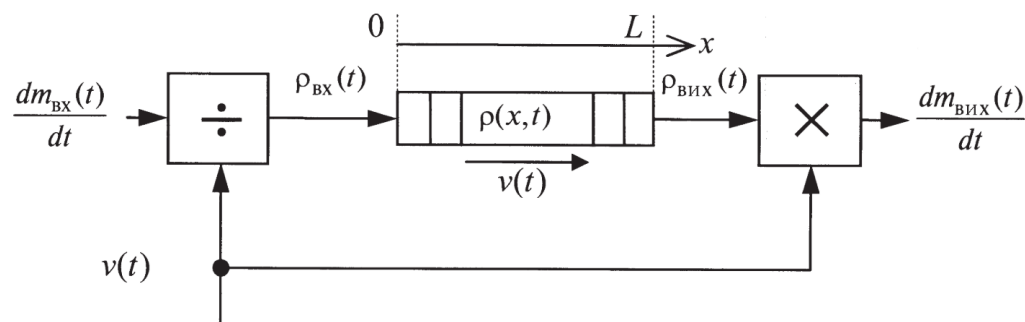


Рисунок 3.5 - Спрощена структурна схема секції конвеєра

На рис. 3.6 показана реалізація структурної схеми конвеєра в середовищі Matlab/Simulink. На вхід 1 блоку транспортної затримки  $TZ$  подається вхідний сигнал (2.12). На вхід 2 блоку транспортної затримки  $TZ$  подається вхідний сигнал  $\frac{L}{v(t)}$ . Цей сигнал не має фізичного сенсу при змінній швидкості, але необхідний як керуючий вхід цього блоку. На виході блоку  $TZ$  формується сигнал (2.13), де  $\tau(t)$  задовільняє відношенню (2.14).

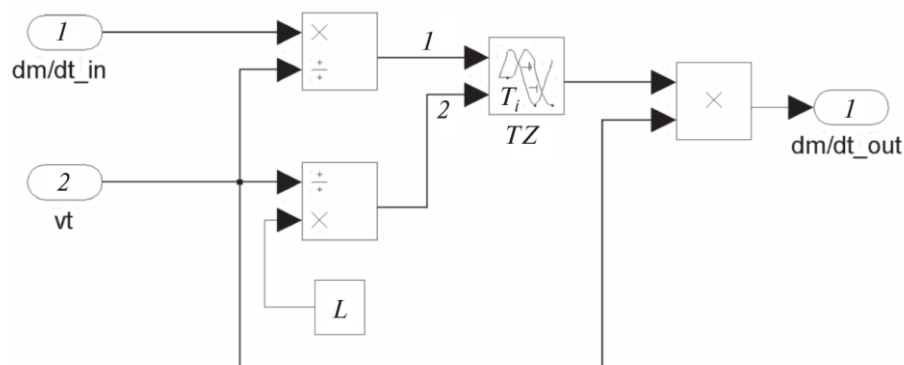


Рисунок 3.6 - Реалізація структурної схеми конвеєра в Simulink



Для аналізу характеристик потоку і транспортної системи при різних вантажопотоках, швидкостях конвеєрів і їх довжинах застосовується відповідна модель системи. На рис. 3.7 зображено модель потоково-транспортної системи, що складається з шести стрічкових конвеєрів, де 1, 2, 3, 4 - секційні конвеєри, а 5, 6 - магістральні. Вихідні вантажопотоки з секційних конвеєрів, підсумовуючись, надходять на основні конвеєри.

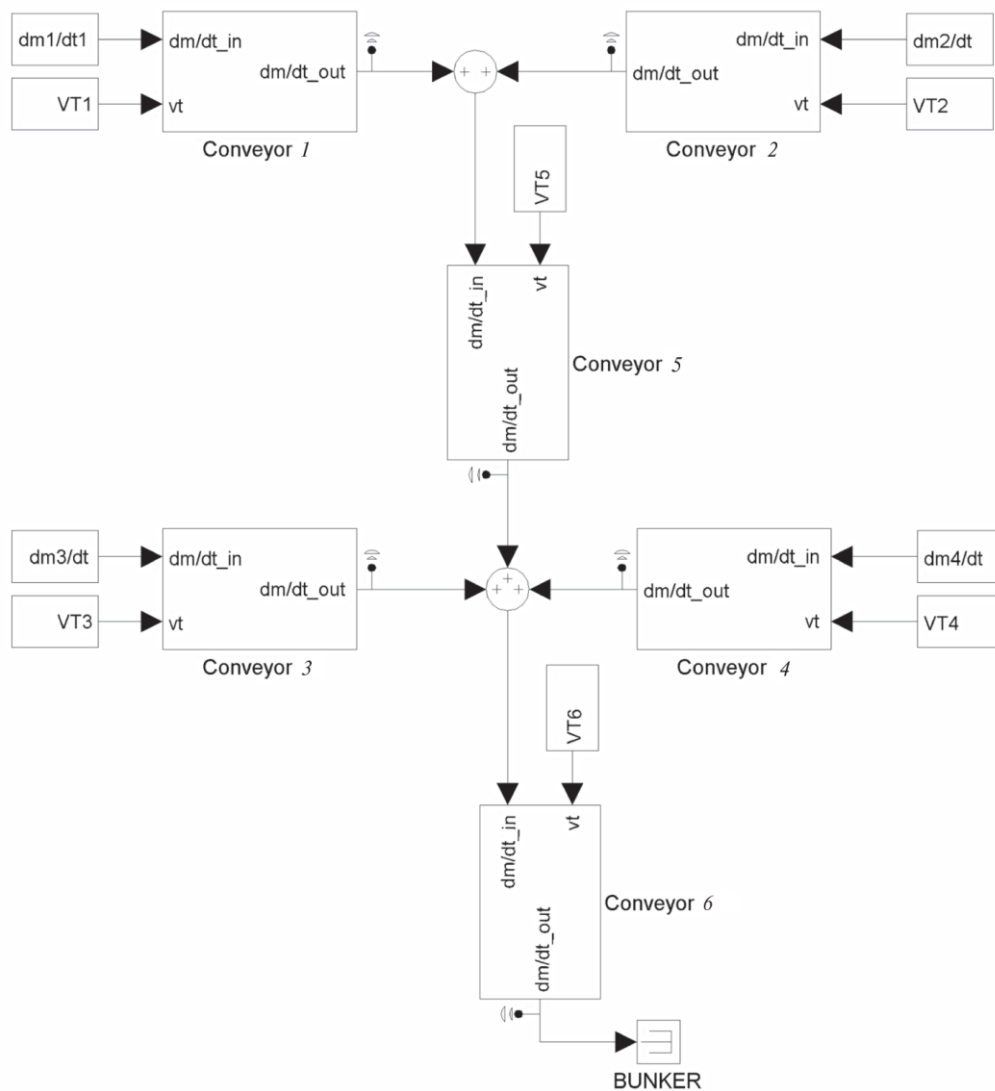


Рисунок 3.7 - Модель транспортної системи з 6 конвеєрів

На рис. 3.8 наведено результати моделювання процесів у потоково-транспортній системі з наступними вихідними даними:  $\lambda = 200\%$  — відносні

збурення вантажопотоків;  $\mu = 10\%$  — відносні збурення швидкостей конвеєра;  $t_{1-5} = 60$  с — значення часу максимального збурення вантажопотоків і мінімальних порушень швидкостей секційних і перших магістральних конвеєрів;  $t_6 = 110$  с — значення мінімального часу збурення швидкості другого основного конвеєра;  $\sigma = 2$  — характеристика тривалості дзвоноподібного збурення, тривалість збурення становить приблизно  $2\sigma$ . Форма збурень була обрана з міркувань близькості до реальних короточасних збурень. Вантажопотоки представляються у вигляді спостережуваних змінних. Вантажопотік на виході з основного конвеєра 6 збільшився майже в 4 рази по відношенню до стаціонарного режиму. Щільність вантажу на стрічці 6-го конвеєра в усталеному режимі становить 200 кг/м, а при збуренні - 890 кг/м.

При наявності короточасних малих збурень тільки по швидкості ( $\lambda_{1-4} = 0$ ,  $\mu_{1-6} = 10\%$ ) вантажопотік на виході з конвеєра 6 збільшується з 400 до 500 кг/с. Зміна параметра  $\sigma$  не впливає на амплітуди вантажопотоків і щільність, але визначає тривалість кінцевих збурень на виході.

Таким чином, можна зробити попередній висновок, що доцільним є автоматичне регулювання швидкості стрічок для рознесення в часі та уникнення перевантаження стрічок через виникнення випадкових збурень. При цьому доцільно використовувати цифрові схеми та обчислення для моделювання та пошуку оптимального режиму, тому що загальне математичне рішення може бути занадто складним, а з огляду на випадковість процесів та можливу невизначеність багатьох величин - навіть неоптимальним.

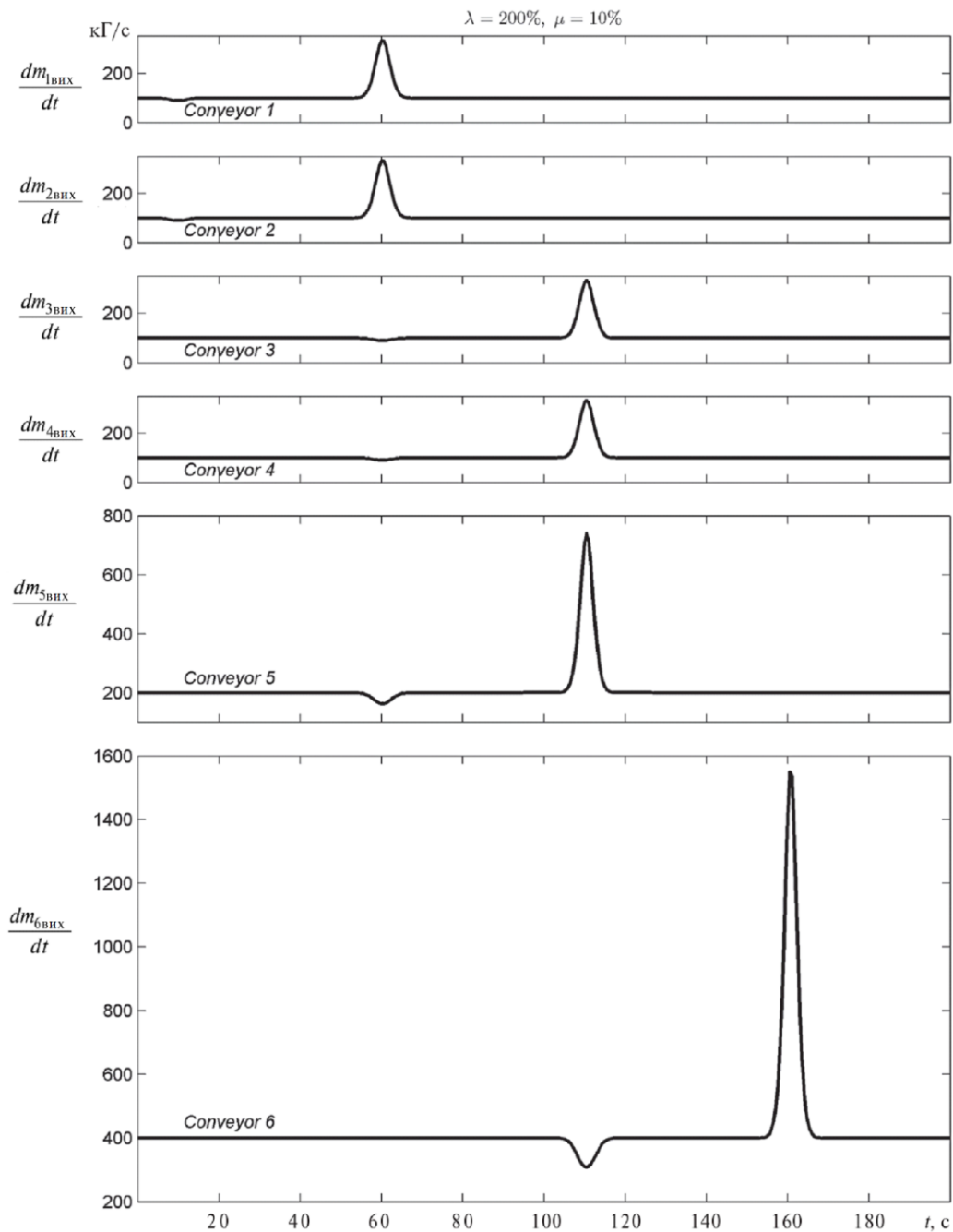


Рисунок 3.8 - Результати моделювання системи конвеєрів без автоматики

### 3.3 Моделювання системи з автоматичним регулюванням

Як ми з'ясували, найпростішим рішенням для виявлення збурень в матеріалі, що знаходиться на конвеєрній стрічці, є використання оптичних датчиків виявлення, які складаються з передавальної і приймальної частини та

діють по простому принципу. Якщо між передатчиком і приймачем немає перешкод, то промінь буде потрапляти на приймальну частину датчику. Якщо ж буде перешкода - це буде видно по перериванню променю (рис. 3.9). Якщо такі датчики розташувати лінійно один над одним - то можна відслідковувати рівень матеріалу на стрічці конвеєра. Фактично з умовно безперервної фізичної величини кількості матеріалу отримаємо оцифровану інформацію з частотою, відповідною до частоти опитування таких систем датчиків (рис. 3.10).

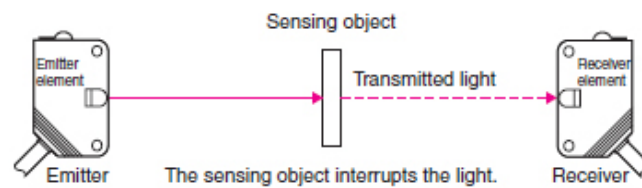


Рисунок 3.9 - Принцип роботи оптичних датчиків

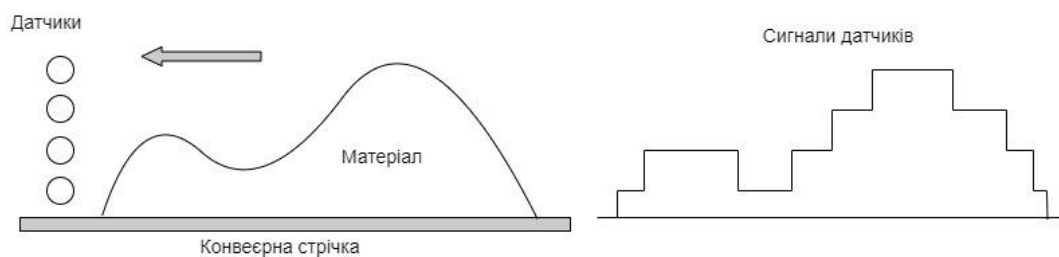


Рисунок 3.10 - Матеріал на стрічці і оцифрований сигнал з датчиків

Маючи інформацію про наявність збурень в кількості матеріалу на стрічці конвеєрів та їх швидкості, заздалегідь можна обчислити, як буде виглядати сумарна кількість матеріалу на ділянці приймальної стрічки. Також обчислювальна техніка може швидко змоделювати і розрахувати, наскільки треба змінити швидкість стрічок, щоб уникнути загрозливих сумарних значень. Наприклад, так ми отримаємо варіант, результати моделювання якого представлені на рис. 3.11.

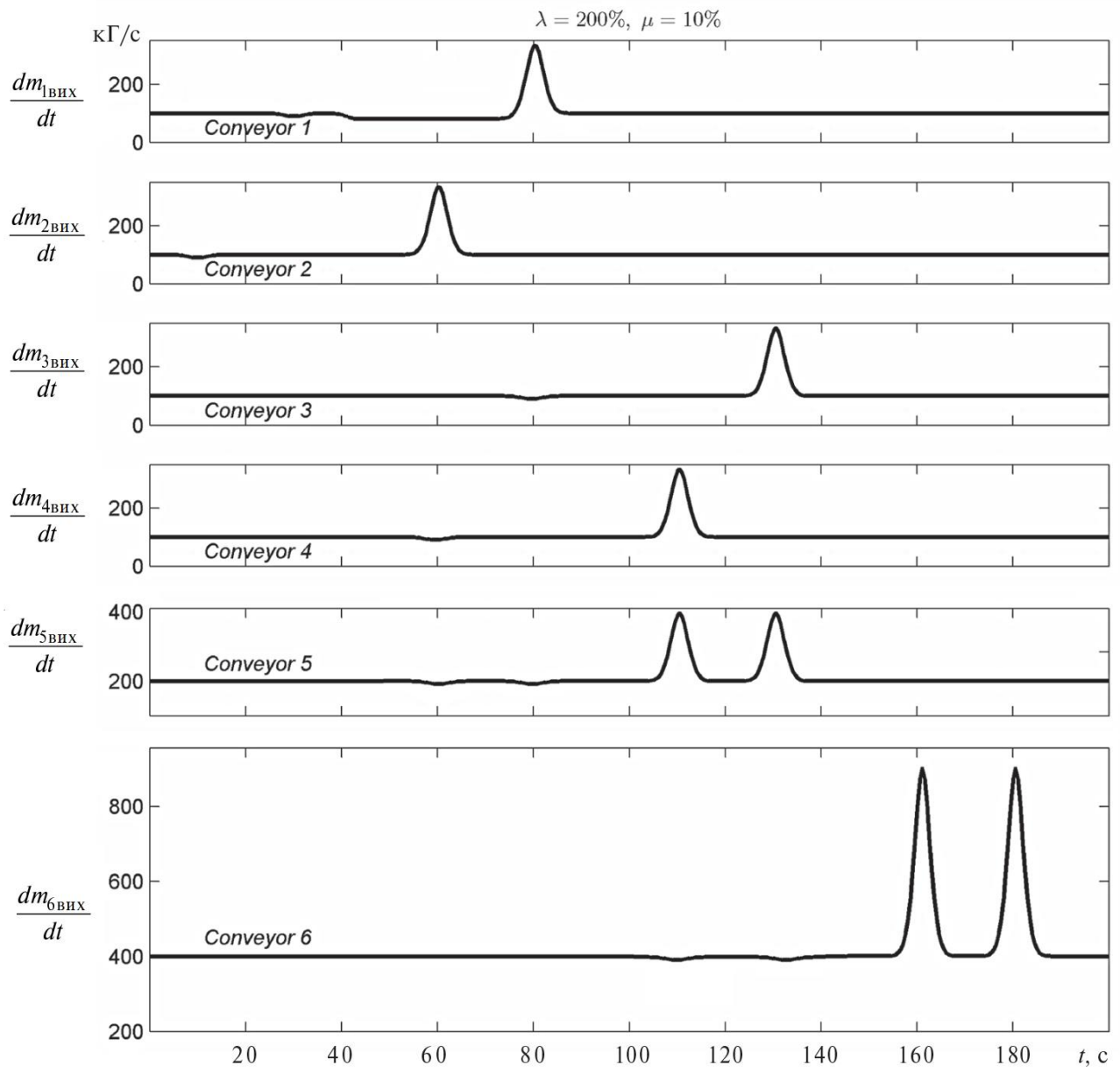


Рисунок 3.11 - Моделювання системи конвеєрів з автоматикою першого рівня

В цьому випадку зниження швидкості зазнали конвеєри під умовними номерами 1 та 3. Однак, як бачимо, “завдяки” випадковому накладанню затримок конвеєра 5 ми знову отримали суттєве перенавантаження останнього магістрального конвеєра, хоч і з суттєво меншими значеннями. Якщо ж таку схему застосувати і на другому рівні (через додаткове сповільнення конвеєрів 3 та 4) - тоді ми отримаємо результат, який наведено на рис. 3.12, коли перенавантаження фактично немає. Тепер можна розглянути вибір датчиків та виконавчих пристроїв для такої системи.

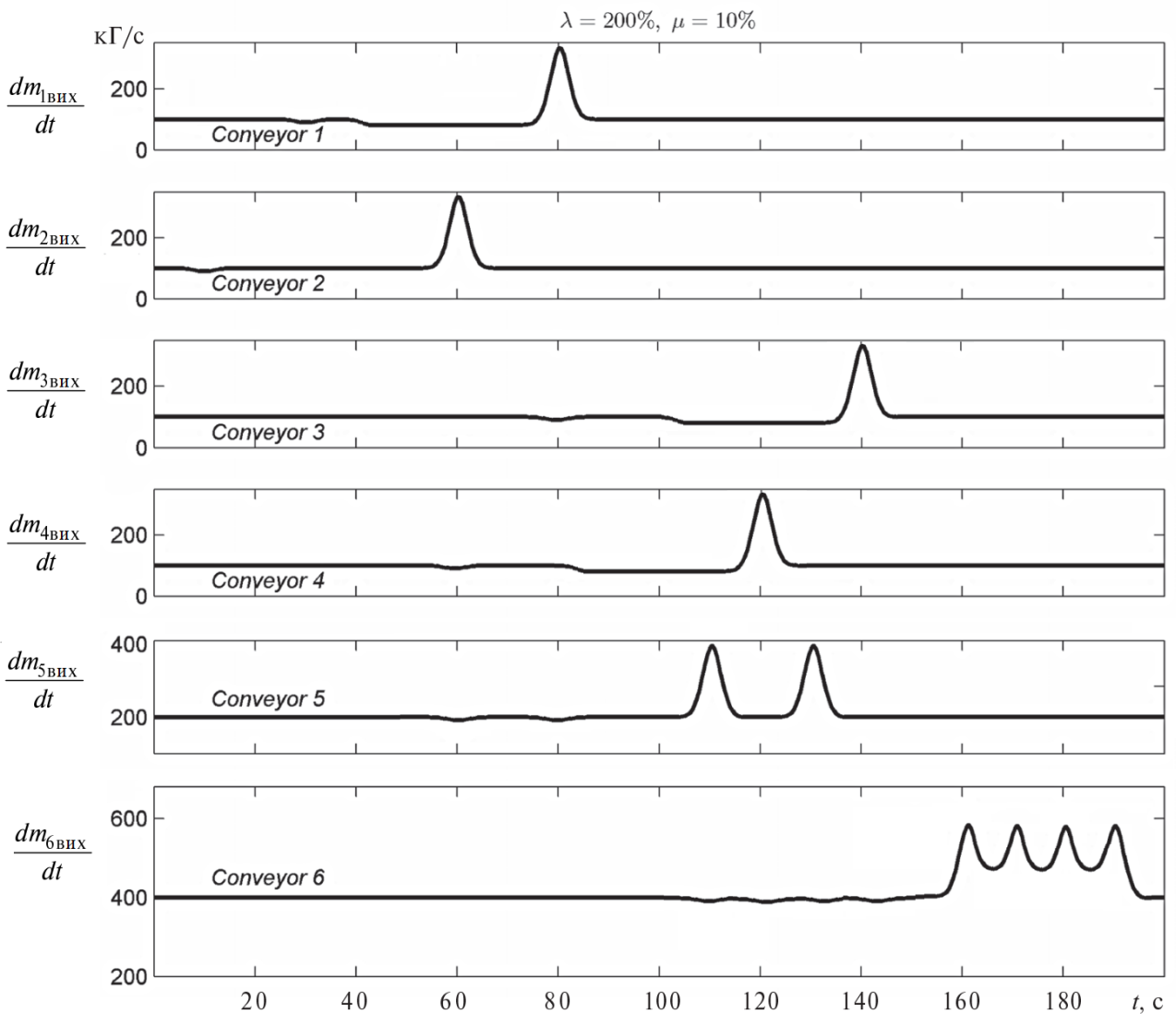


Рисунок 3.12 - Моделювання системи конвеєрів з дворівневою автоматикою  
3.4 Вибір датчиків та виконавчих пристроїв

Ефективна робота автоматизованої системи стрічкових конвеєрів залежить від правильно підібраних датчиків та виконавчих пристроїв, які забезпечують точний контроль та управління системою. Як було зазначено вище, в якості датчиків дуже часто застосовують оптичні датчики, які використовуються для виявлення та вимірювання різних параметрів системи стрічкового конвеєра, а тип виконавчих пристроїв залежать від характеристик, на які вони впливають.

Найчастіше використовують наступні типи оптичних датчиків:

- датчики швидкості дозволяють контролювати та регулювати швидкість руху стрічки, забезпечуючи оптимальне транспортування матеріалу;

- датчики наявності матеріалу визначають, чи є матеріал на стрічці, що допомагає запобігти аварійним ситуаціям та холостому ходу конвеєра;
- датчики рівня матеріалу вимірюють кількість матеріалу на стрічці, що дозволяє регулювати його подачу та запобігати перевантаженню конвеєра;
- датчики позиціонування предметів визначають місце розташування предметів, що може бути корисно для сортування та розподілу матеріалу.

При виборі оптичних датчиків для системи стрічкового конвеєра слід врахувати такі фактори:

- тип датчика, зокрема, це можуть бути фотоелектричні датчики, інфрачервоні датчики, датчики з лазерним променем;
- діапазон виявлення або відстань, на якій датчик може виявляти об'єкт;
- мінімальний розмір об'єкта, який може виявити датчик;
- максимальна швидкість, з якою датчик може виявити об'єкт;
- умови навколишнього середовища, а саме - температура, вологість, забрудненість, вібрація.

Розглянемо деякі приклади оптичних датчиків.

Фотоелектричні датчики виявляють зміни в інтенсивності світла, що робить їх універсальними для виявлення різних типів об'єктів. Прикладом є датчик Sick WTB2-F, який має діапазон виявлення до 10 метрів.

Інфрачервоні датчики виявляють інфрачервоне випромінювання, що робить їх стійкими до забруднень та вібрацій. Прикладом є датчик Pepperl+Fuchs OADM 22-P-000-S-M12-50, який має діапазон виявлення до 5 метрів.

Датчики з лазерним променем визначають відстань до об'єкта за допомогою лазерного променя, що робить їх високоточними. Прикладом є датчик Keyence IL-100, який має діапазон виявлення до 100 метрів.

Вочевидь, що для завдань даної роботи більше підходять інфрачервоні датчики.

Окрім оптичних, в автоматичні управління системою конвеєрних стрічок можуть використовуватися й інші датчики, які розширюють функціональні можливості системи та підвищують її ефективність:

- датчики натягу стрічки вимірюють натяг стрічки, що дозволяє регулювати його та запобігати обриву стрічки (наприклад, датчик SICK DFS60A, який має діапазон вимірювання від 0 до 2500 Н);

- датчики температури відслідковують температуру стрічки, підшипників та інших компонентів конвеєра, що дозволяє виявляти перегрів та запобігати аваріям (прикладом є датчик PT100, який має діапазон вимірювання від  $-200^{\circ}\text{C}$  до  $+800^{\circ}\text{C}$ );

- датчики вібрації вимірюють вібрацію конвеєра, що дозволяє виявляти пошкодження роликів, підшипників та інших компонентів (прикладом є датчик Bently Nevada 3300, який має діапазон вимірювання від 0,01 до 1000 мм/с);

- датчики пилу вимірюють рівень забруднення стрічки пилом, що дозволяє регулювати подачу води для очищення стрічки (прикладом є датчик SICK DPS-100, який має діапазон вимірювання від 0 до 100 мг/м<sup>3</sup>);

- датчики хімічних речовин вимірюють концентрацію хімічних речовин у повітрі, що може бути важливо для систем, які транспортують небезпечні матеріали (прикладом є датчик Draeger ХАМ 5000, який може виявляти різні хімічні речовини, такі як метан, оксид вуглецю та аміак).

Перейдемо до розгляду виконавчих пристроїв. Якщо основний параметр системи регулювання повинна стати швидкість конвеєрної стрічки, то мусимо обрати відповідне виконавче обладнання, а саме - перетворювачі частоти, які використовуються для керування швидкістю обертання приводних двигунів стрічкового конвеєра. Це дозволяє регулювати швидкість стрічки та забезпечувати плавний розгін та гальмування.

При виборі виконавчих пристроїв (перетворювачів частоти) для системи стрічкового конвеєра слід врахувати такі фактори:

- перетворювач частоти повинен мати потужність, що відповідає потужності приводного двигуна конвеєра;

- перетворювач частоти повинен мати діапазон частоти, що дозволяє регулювати швидкість стрічки в необхідному діапазоні;



- тип перетворювача частоти (існують різні типи, такі як скалярні, векторні, сервоприводи);

- перетворювач частоти може мати додаткові функції, такі як захист від перевантаження, позиціонування, зв'язок з контролером.

Розглянемо деякі приклади перетворювачів частоти різних типів:

- Siemens Sinamics G120 - скалярний перетворювач частоти з широким спектром функцій для керування асинхронними двигунами, який сумісний з контролерами Сіменс і має діапазон потужності від 0,75 кВт до 600 кВт;

- Danfoss VLT AutomationDrive FC 302 - векторний перетворювач частоти пропонує високу точність та динамічні характеристики для керування асинхронними та синхронними двигунами, сумісний з контролерами Сіменс і має діапазон потужності від 0,55 кВт до 300 кВт;

- ABB ACS580 - сервопривід з точним позиціонуванням та синхронним керуванням для асинхронних та синхронних двигунів, так само сумісний з контролерами Сіменс і має діапазон потужності від 0,18 кВт до 750 кВт.

Крім того, конвеєри мають інші виконавчі пристрої, наприклад такі:

- затвори, які використовуються для регулювання подачі матеріалу на стрічку (прикладом є шиберний затвор, який може повністю або частково перекривати прохід для матеріалу);

- розподільники, які застосовуються для розподілу матеріалу на кілька стрічок (прикладом є поворотний розподільник, який може направляти матеріал на одну з декількох стрічок);

- підйомники, що використовуються для підйому матеріалу на стрічку (прикладом є ланцюговий підйомник, який може піднімати матеріал на висоту до 10 метрів);

- манипулятори, які використовуються для переміщення матеріалу з одного місця в інше (наприклад, роботоманіпулятор, який може брати, переміщати та кидати матеріали).

Датчики та виконавчі пристрої можуть бути інтегровані з контролерами Сіменс за допомогою різних інтерфейсів, таких як:

- PROFIBUS DP - промисловий протокол шини, який використовується для передачі даних між датчиками, приводами та контролерами;

- PROFINET - Ethernet-протокол, який використовується для передачі даних з високою швидкістю та надійністю;

- Modbus TCP/IP - протокол TCP/IP, який використовується для передачі даних між пристроями, що не належать Сіменс.

Що стосується інтеграції з системами вищого рівня, то автоматизована система конвеєрних стрічок може бути інтегрована з такими системами, такими як SCADA або MES, що дозволяє централізовано керувати та здійснювати моніторинг роботи конвеєра.

Використання додаткових датчиків та виконавчих пристроїв може значно розширити функціональні можливості автоматизованої системи конвеєрних стрічок, підвищити її ефективність та безпеку, а також зробити її більш гнучкою та адаптивною до мінливих умов роботи.

## РОЗДІЛ 4

### ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

При роботі з конвеєрними стрічками важливо суворо дотримуватися правил охорони праці та техніки безпеки, аби забезпечити безпечні умови праці та уникнути нещасних випадків. Перед початком роботи працівники повинні пройти інструктаж з техніки безпеки, який охоплює всі аспекти роботи з конвеєрними стрічками. Навчання включає ознайомлення з потенційними небезпеками, правильним використанням обладнання та засобами індивідуального захисту.

Кожен працівник повинен бути забезпечений необхідними засобами індивідуального захисту, такими як каски, захисні окуляри, рукавиці, захисний одяг та взуття. Засоби індивідуального захисту мають бути завжди в належному стані і використовуватися відповідно до інструкцій. Працівники повинні знати, як правильно одягати і знімати ці засоби, а також стежити за їх станом і своєчасно замінювати у разі пошкодження.

Перед початком роботи з конвеєрною стрічкою необхідно провести її візуальний огляд для виявлення можливих пошкоджень або зношення. Стан конвеєрної стрічки, натяг, ролики та інші механізми повинні бути перевірені на відповідність технічним вимогам. Якщо виявлені несправності, їх слід усунути до початку роботи. Регулярні технічні огляди та планове обслуговування конвеєрних стрічок є обов'язковими для запобігання аварійним ситуаціям.

Конвеєрні стрічки повинні бути обладнані захисними огороженнями та бар'єрами, що запобігають доступу до небезпечних зон під час роботи. Всі рухомі частини конвеєра повинні бути закриті, щоб уникнути випадкового контакту з ними. Аварійні вимикачі повинні бути встановлені в доступних місцях, і працівники повинні знати їх розташування та вміти ними користуватися. У разі надзвичайної ситуації конвеєр повинен бути негайно зупинений за допомогою аварійних вимикачів.

Під час роботи з конвеєрними стрічками необхідно дотримуватися правил безпеки при завантаженні та розвантаженні матеріалів. Вантажі повинні бути рівномірно розподілені по конвеєру, щоб уникнути перекосів та перевантажень. Недопустимо перевищувати допустимі вагові норми для конкретної стрічки. Працівники повинні бути обережними та зосередженими під час виконання своїх обов'язків, уникати необережних рухів та відволікань.

Ремонтні роботи на конвеєрі можуть виконувати тільки кваліфіковані спеціалісти, які пройшли відповідну підготовку. Перед початком ремонтних робіт необхідно вимкнути конвеєр та забезпечити його нерухомість. Під час ремонтних робіт слід використовувати тільки справний інструмент та обладнання, а також дотримуватися всіх правил безпеки. Працівники повинні бути уважними та обережними, уникати роботи під піднятою стрічкою без додаткових заходів безпеки.

Освітлення робочої зони повинно бути достатнім для забезпечення безпечних умов праці. Недостатнє освітлення може призвести до нещасних випадків, тому необхідно стежити за станом освітлювальних приладів і своєчасно їх замінювати. Робочі місця повинні бути організовані таким чином, щоб працівники могли вільно переміщуватися та мали доступ до всіх необхідних елементів управління конвеєром.

В умовах підвищеної вологості або температури конвеєрні стрічки потребують додаткових заходів безпеки. Використання спеціальних матеріалів, стійких до корозії та температурних коливань, дозволяє знизити ризик виходу обладнання з ладу та підвищити його безпеку. Працівники повинні бути обізнані про особливості експлуатації конвеєрів у таких умовах та дотримуватися відповідних інструкцій.

Регулярні навчання та тренування працівників допомагають підтримувати високий рівень обізнаності щодо безпеки на виробництві. Адміністрація підприємства повинна організовувати періодичні перевірки знань з техніки безпеки та забезпечувати постійний контроль за дотриманням встановлених

правил. Виявлення порушень та своєчасне їх усунення сприяють створенню безпечного та ефективного робочого середовища.

Таким чином, забезпечення охорони праці та техніки безпеки при роботі з конвеєрними стрічками є важливим аспектом виробничого процесу. Дотримання встановлених правил, регулярні технічні огляди та навчання працівників допомагають знизити ризик виробничих травм та підвищити ефективність роботи підприємства. Всі працівники повинні усвідомлювати свою відповідальність за безпеку на робочому місці та активно сприяти створенню безпечних умов праці.

## РОЗДІЛ 5

### ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Розрахунок економічної ефективності впровадження автоматизації для системи конвеєрних стрічок є важливим етапом прийняття управлінських рішень. Визначення економічної ефективності базується на порівнянні витрат та вигод, пов'язаних з реалізацією проекту автоматизації.

Для початку необхідно визначити поточні витрати на експлуатацію конвеєрних стрічок без автоматизації. Ці витрати включають витрати на оплату праці, енергоспоживання, технічне обслуговування та ремонт, а також витрати, пов'язані з простоем обладнання.

Витрати на оплату праці складаються з заробітної плати працівників, які обслуговують конвеєрні стрічки, включаючи соціальні внески. Припустимо, що на обслуговування конвеєра залучено 10 працівників із середньою місячною заробітною платою 15000 гривень. Загальні річні витрати на оплату праці становитимуть  $10 * 15000 * 12 = 1\,800\,000$  гривень.

Енергоспоживання також є значною статтею витрат. Припустимо, що конвеєр споживає 5000 кВт·год щомісяця за ціною в середньому 6 гривень за кВт·год. Річні витрати на електроенергію становитимуть  $5000 * 6 * 12 = 360\,000$  гривень.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт варіюються в залежності від стану обладнання. Припустимо, що щорічні витрати на ці потреби складають 200 000 гривень. Витрати, пов'язані з простоем обладнання, можна оцінити, виходячи з втрат виробництва. Припустимо, що щорічні втрати становлять 300 000 гривень.

Таким чином, загальні поточні витрати без автоматизації складають:

$$1\,800\,000 + 360\,000 + 200\,000 + 300\,000 = 2\,640\,000 \text{ гривень на рік.}$$

Тепер розглянемо витрати на автоматизацію системи конвеєрних стрічок. Впровадження автоматизації потребує одноразових інвестицій в обладнання та програмне забезпечення. Припустимо, що загальні витрати на впровадження автоматизації складають 5 000 000 гривень. Також враховуємо амортизацію обладнання на протязі 10 років, що становитиме 500 000 гривень на рік.

Автоматизація дозволяє знизити витрати на оплату праці за рахунок скорочення персоналу. Припустимо, що після автоматизації необхідність у працівниках зменшується до 3 осіб. Річні витрати на оплату праці після автоматизації становитимуть  $3 * 15000 * 12 = 540\ 000$  гривень.

Автоматизовані системи також є більш енергоефективними. Припустимо, що енергоспоживання зменшується на 30%. Тоді річні витрати на електроенергію після автоматизації складатимуть  $5000 * 0.7 * 6 * 12 = 252\ 000$  гривень.

Витрати на технічне обслуговування та ремонт автоматизованої системи також можуть бути знижені. Припустимо, що щорічні витрати знижуються на 20%, що становить  $200\ 000 * 0.8 = 160\ 000$  гривень.

Автоматизація дозволяє зменшити прості обладнання та відповідні втрати. Припустимо, що щорічні втрати знижуються на 50%, що становить  $300\ 000 * 0.5 = 150\ 000$  гривень.

Таким чином, загальні річні витрати після автоматизації складають

$$540\ 000 + 252\ 000 + 160\ 000 + 150\ 000 + 500\ 000 = 1\ 602\ 000 \text{ гривень.}$$

Економія на поточних витратах складає:

$$2\ 640\ 000 - 1\ 602\ 000 = 1\ 038\ 000 \text{ гривень на рік.}$$

Розрахуємо термін окупності проекту автоматизації. Вартість впровадження автоматизації складає 5 000 000 гривень. Термін окупності дорівнює відношенню витрат на впровадження до річної економії:

$$5\,000\,000 / 1\,038\,000 \approx 5 \text{ років.}$$

Таким чином, проект автоматизації системи конвеєрних стрічок окупиться приблизно за 5 років. Після цього підприємство отримуватиме чисту економію в розмірі 1 038 000 гривень на рік.

Крім прямої економії на витратах, автоматизація приносить додаткові вигоди, такі як підвищення продуктивності праці, зменшення впливу людського фактора, підвищення якості продукції та зниження ризику виробничих травм. Ці фактори важко піддаються кількісній оцінці, але вони суттєво впливають на загальну економічну ефективність проекту.

Загалом, впровадження автоматизації системи конвеєрних стрічок є економічно вигідним проектом, що дозволяє значно знизити поточні витрати, підвищити ефективність виробництва та забезпечити стабільний розвиток підприємства в довгостроковій перспективі.



## ВИСНОВКИ

В процесі виконання кваліфікаційної роботи була розроблена автоматизована система керування комплексом конвеєрних стрічок. Для цього були вирішені наступні задачі:

1. Завдяки аналізу предметної області визначені особливості конвеєрних систем, наведена їх загальна класифікація, та описані різні типи конвеєрів.

2. Наведена математична модель стрічкового конвеєра, розглянуті питання автоматизації управління стрічковими конвеєрами, зроблено вибір інструментарію комп'ютерного моделювання.

3. Розроблена імітаційна модель стрічкового конвеєра, проведено моделювання системи стрічкових конвеєрів, в тому числі з автоматичним регулюванням задля недопущення перенавантаження на конвеєрне обладнання. Результати моделювання доводять ефективність застосованих рішень.

4. Обрані технічні засоби автоматики - датчики та виконавчі пристрої.

5. Розглянуті питання охорони праці та економічної ефективності системи автоматизації.

## СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Стрічковий конвеєр. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Стрічковий\\_конвеєр](https://uk.wikipedia.org/wiki/Стрічковий_конвеєр).
2. Конвеєри: види, класифікація та сфера застосування. URL: <https://ssk.ua/ua/blog/konvejery-vidy-klassifikaciya-i-sfera-primeneniya-482>.
3. Типи та види конвеєрів. URL: <https://konsort.com.ua/tyпу-ta-vydy-konveyeriv/>.
4. Конвеєрна стрічка. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Конвеєрна\\_стрічка](https://uk.wikipedia.org/wiki/Конвеєрна_стрічка).
5. Пластинчатий конвеєр. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Пластинчатий\\_конвеєр](https://uk.wikipedia.org/wiki/Пластинчатий_конвеєр).
6. Підвісні транспортери, елементи розсувних систем. URL: <https://elesaganter.com.ua/ua/teleskopicheskie-rolikovyе-i-linejnye-napravlyayushchie-karetki/rolikovyе-podvesnye-transportory-elementy-razdvizhnyh-sistem>.
7. Шнекові Транспортери: Від Принципів Роботи до Ефективних Застосувань у Виробництві. URL: <https://karmel.com.ua/ua/a496828-shnekovye-transportery-printsipov.html>.
8. Все про рольганги (роликові транспортери). URL: <https://konsort.com.ua/vse-pro-rolgany-rolikovyi-transportery/>.
9. Нові конструкції інерційних конвеєрів. URL: <https://core.ac.uk/download/60847823.pdf>.
10. Скребковий конвеєр. URL: [https://uk.wikipedia.org/wiki/Скребковий\\_конвеєр](https://uk.wikipedia.org/wiki/Скребковий_конвеєр).
11. Ланцюгові конвеєри. URL: <https://tamtechnica.com.ua/portfolio-view/lantsyugovi-konveyeri/>.
12. Моделювання роботи та візуалізація стану стрічкового конвеєра в програмному середовищі ТІА Portal V.15.1. URL: <https://vottp.khmnu.edu.ua/index.php/vottp/article/view/54>.

13. Лекція "Стрічкові конвеєри". URL: <https://naurok.com.ua/leksiya-strichkovi-konveeri-203933.html>.

14. Васильєв В.І. Обґрунтування раціональних динамічних параметрів запобіжного гальмування шахтних підймальних установок : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.02.09 – “Динаміка та міцність машин” / Васильєв В.І.; Сумський держ. ун-т. – Суми, 2012. –20 с.

15. Оптимізація динамічних режимів роботи конвеєрної установки з урахування пружності стрічки. URL: <https://ela.kpi.ua/items/5eee0ca4-8099-40d3-b6f3-74843ebe140d>.

16. Найбільш швидкий контролер Siemens для автоматизації Вашого бізнесу. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/avtomatyzatsiya-promyslovosti/systemy-avtomatyzatsiyi/systemy-promyslovoyi-avtomatyzatsiyi-simatic/plc-kontrolery-simatic/simatic-s7-1500.html>.