

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка До кваліфікаційної роботи магістра

Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи

Виконав: студент VI курсу, групи 602-ММв
напряму підготовки (спеціальності)

133 Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Шевченко Євген Володимирович

(прізвище та ініціали)

Керівник д.т.н. професор. Фролов Є.А.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Молчанов П.О.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

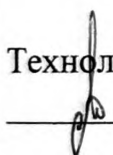
Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи

Кваліфікаційна робота магістра

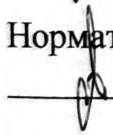
Лист затвердження

ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 МР

Технологічний контроль к.т.н., доц.

 О.С. Васильєв
„28” 08 2024р.

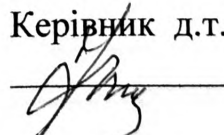
Нормативний контроль к.т.н., доц.

 О.С. Васильєв
„28” 08 2024р.

Розробив студент групи 602-ММв

 Шевченко Є.В.
„28” 08 2024р.

Керівник д.т.н., професор.

 Фролов Є.А.
„28” 08 2024р.

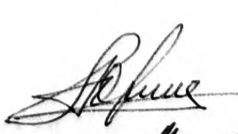
ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

галузевого машинобудування та мехатроніки

к.т.н., доц.

Гарант ОП

 О.В. Орисенко

М.М. Нестеренко

Полтава – 2024 рік

№ рядок	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			Документація загальна		
3					
4			Вперше розроблена		
5					
6	A4	ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	
7	A4	ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000А	Анотація	3	
8	A4	ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка		
9					
10			Документація наукова		
11					
12			Вперше розроблена		
13					
14	A4	ГМтаМ 602ММв.042--00.00.000ПМ	Оптимізація вибору параметрів		
15			натяжного пристрою стрічкового		
16			конвеєра		
17			для забезпечення стабільності та		
18			ефективності роботи		
19			Презентаційні матеріали	12	
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

ГМтаМ 602ММв.042--00.00.000ВМ

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Шевченко		23.08
Перев.		Фролов		23.08
Н.контр.		Васильєв		28.08
Затв.		Орисенко		29.08

Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи

Відомість кваліфікаційної роботи магістра

Літ.	Лист	Листів
Н	1	1

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)

Інститут, факультет, відділення Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та
робототехніки
Кафедра, циклова комісія Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
Освітньо-кваліфікаційний рівень Магістр
Напрямок підготовки _____
Спеціальність 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва)
(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач
кафедри галузевого
машинобудування та
мехатроніки
О.В. Орісенко
" 20 " 03 2024 р.

З А В Д А Н Н Я
до кваліфікаційної роботи магістра

Шевченку Євгену Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи

«Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра
для забезпечення стабільності та ефективності роботи»

керівник д.т.н., професор Фролов Є.А.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 18.03.2024 №303 ПА

1. Строк подання студентом роботи 20.08.2024
2. Вихідні дані до роботи Результати практики, Інформація з науково-практичних періодичних видань України, нормативні документи тощо.
Конструктивні схеми.
3. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1 Конвеєри стрічкові їх різновиди та особливості конструювання
2.Розрахункова схема конвеєрної установки з двома приводами і натяжним пристроєм
4. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень) «Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи» графічні матеріали(14 листів А4)

6. Консультанти розділів роботи

[illegible]

7. Дата видачі завдання 18.03. 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Шевченко Є.Б.
(П.І.Б.)

Керівник

(підпис)

Фролов Е.А.
(П.І.Б)

Гарант

(подпис)

—Нестеренко М.М.
(П.Л.Б.)

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи»

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024

Робота складається з двох розділів.

У роботі проведено детальний аналіз існуючих конструкцій стрічкових конвеєрів та методів їх моделювання, зокрема двомасових і багатомасових моделей. Аналіз дозволив визначити переваги і недоліки кожної моделі в дослідженні динамічних процесів у стрічці, зокрема під час пуску та гальмування конвеєра. Особливу увагу було приділено важливості правильного вибору математичної моделі для адекватного відображення хвильових процесів, що виникають у процесі роботи конвеєра.

У роботі було розроблено та проаналізовано математичну модель руху стрічкового конвеєра з двома приводами і натяжним пристроєм. Застосування кінцеворозмірної моделі зосереджених мас дало можливість детально вивчити перехідні процеси та хвильові деформації в стрічці під час пуску, гальмування та зміни швидкості конвеєра. Встановлено критичні значення тягового фактора для запобігання пробуксовці стрічки на приводних барабанах, що дозволяє знизити знос стрічки і підвищити її довговічність.

Розроблена модель оптимізує роботу натяжного пристрою, забезпечуючи стабільність конвеєра в умовах змінних динамічних навантажень. Виявлено, що зміна швидкості руху стрічки викликає різкі коливання величини пробуксовки, що

ГМтаМ 601ММв.042-00.00.000 А

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Літ. Лист Листів		
Розроб.	Шевченко	23.08					
Перев.	Фролов	23.08			Анотація		
Керівн.							
Н. контр.	Васильєв	23.08					
Затв.	Орисенко	29.08					

Національний університет
«Полтавська політехніка імені
Юрія Кондратюка»

свідчить про зміни натягу в вантажній та порожній гілках конвеєра. Запропоновано систему стабілізації, яка дозволяє регулювати вагу натяжного пристрою для підтримання тягового фактора на заданому рівні при зміні швидкості руху стрічки, знижуючи ризик аварійних ситуацій та підвищуючи ефективність експлуатації стрічкових конвеєрів.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, математична модель, система з розподіленими параметрами, система з сосередоточеними параметрами.

Annotation

Master's Thesis on the topic: "Optimization of Tension Device Parameters for Belt Conveyor to Ensure Stability and Efficiency"

Master's thesis for obtaining the educational and qualification level of Master in the specialty 133 Industrial Engineering – National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk," Poltava, 2024.

The work consists of two sections.

The thesis presents a detailed analysis of existing belt conveyor designs and modeling methods, including both two-mass and multi-mass models. The analysis identifies the advantages and disadvantages of each model in studying dynamic processes in the belt, particularly during the start-up and braking of the conveyor. Special attention is given to the importance of selecting the appropriate mathematical model to accurately reflect the wave processes occurring during the conveyor's operation.

A mathematical model of the belt conveyor movement with two drives and a tensioning device has been developed and analyzed. The application of a finite element model with concentrated masses allowed for a detailed study of transitional processes and wave deformations in the belt during start-up, braking, and speed changes. Critical values of the traction factor were determined to prevent belt slippage on the drive

drums, which helps reduce belt wear and improve its durability.

The developed model optimizes the operation of the tensioning device, ensuring conveyor stability under varying dynamic loads. It was found that changes in belt speed cause sharp fluctuations in slippage, indicating changes in tension in the loaded and empty branches of the conveyor. A stabilization system is proposed that adjusts the weight of the tensioning device to maintain the traction factor at a set level when the belt speed changes, reducing the risk of emergencies and improving the efficiency of belt conveyor operation.

Keywords: belt conveyor, mathematical model, distributed parameter system, concentrated parameter system.

					Лист
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	

ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 А

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Оптимізація вибору параметрів натяжного
пристрою стрічкового конвеєра для
забезпечення стабільності та ефективності
роботи**

Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 ПЗ

Зміст

Вступ	3
Розділ 1: Конвеєри стрічкові їх різновиди та особливості конструювання	5
1.1 Різновиди стрічкових конвеєрів	5
1.2 Системи натягу стрічки	13
Розділ 2: Аналіз моделей стрічкових конвеєрів	19
2.1 Аналіз літератури та розробка математичних моделей стрічкового конвеєра	20
2.2 Елементарна модель стрічкового конвеєра з двома зосередженими масами	26
2.3 Деталізована модель стрічкового конвеєра для аналізу хвильових процесів	31
2.4 Розрахункова схема конвеєрної установки з двома приводами і натяжним пристроєм	34
Висновки	43
Список літератури	45
Додатки Презентаційні матеріали за темою «Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи»	

ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Зміст		
Розроб.	Шевченко			23.08			
Перев.	Фролов			23.08	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			29.08			
Затв.	Орисенко			29.08			

Вступ

У сучасних промислових умовах стрічкові конвеєри є ключовими елементами в системах транспортування матеріалів. Від їхньої стабільності та ефективності залежить безперебійність роботи підприємств у таких галузях, як гірничодобувна, металургійна, будівельна та інші. Одним із критичних факторів, що впливають на роботу конвеєра, є правильний вибір і налаштування натяжного пристрою. Оптимізація параметрів натяжного пристрою дозволяє забезпечити рівномірне натягування стрічки, знизити динамічні навантаження, зменшити зношування елементів і підвищити загальну ефективність системи. Дослідження в цій галузі спрямовані на пошук рішень, які сприятимуть досягненню максимального ресурсу обладнання при мінімальних витратах.

На підприємствах гірничо-збагачувальних комбінатів стрічкові конвеєри відіграють вирішальну роль у транспортуванні видобутої руди від місця видобутку до місць подальшої переробки. Ці конвеєри використовуються для переміщення великої кількості матеріалів на великі відстані, що робить їх незамінними в умовах масового виробництва. Зокрема, вони забезпечують безперервний потік сировини на сортувально-дробильних дільницях, де відбувається подрібнення та сортування матеріалу для подальшого використання або збагачення.

На сортувально-дробильних дільницях стрічкові конвеєри транспортують матеріали між різними етапами технологічного процесу: від первинного подрібнення до кінцевої класифікації. Вони дозволяють організувати ефективну логістику всередині підприємства, скорочуючи витрати на транспортування, підвищуючи продуктивність і забезпечуючи ритмічність роботи всіх виробничих підрозділів.

ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 ПЗ							
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Вступ		
Розроб.	Шевченко	Сева	24.08				
Перев.	Фролов	Фрол	23.08				
Керівник							
Н. контр.	Васильєв		28.08				
Затв.	Орисенко	Орис	29.08				
					Літ.	Лист	Листів
					Н	3	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Окрім того, стрічкові конвеєри застосовуються на інших підприємствах, зокрема в будівельній, хімічній промисловості, де вони служать основним засобом транспортування сипких матеріалів, таких як пісок, гравій, цемент, і різноманітні хімічні реагенти. Завдяки своїй простоті конструкції та надійності, стрічкові конвеєри забезпечують високий рівень автоматизації процесів, що сприяє зниженню витрат на обслуговування і підвищенню ефективності роботи підприємств.

Таким чином, оптимізація параметрів натяжного пристрою стрічкового конвеєра стає актуальною задачею для широкого спектра промислових підприємств, оскільки вона безпосередньо впливає на стабільність і ефективність їхньої роботи.

Розділ 1: Конвеєри стрічкові їх різновиди та особливості конструювання

1.1 Різновиди стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри (рисунок 1.1) є одним з найпоширеніших видів транспортувальних пристроїв, які використовуються для переміщення різноманітних матеріалів як в межах одного виробничого підприємства, так і між різними об'єктами. Вони складаються з нескінченної гнучкої стрічки, яка рухається між двома або більше барабанами, та приводного механізму, що забезпечує її рух. Завдяки простоті конструкції, високій надійності та універсальності, стрічкові конвеєри знайшли широке застосування в різних галузях промисловості.

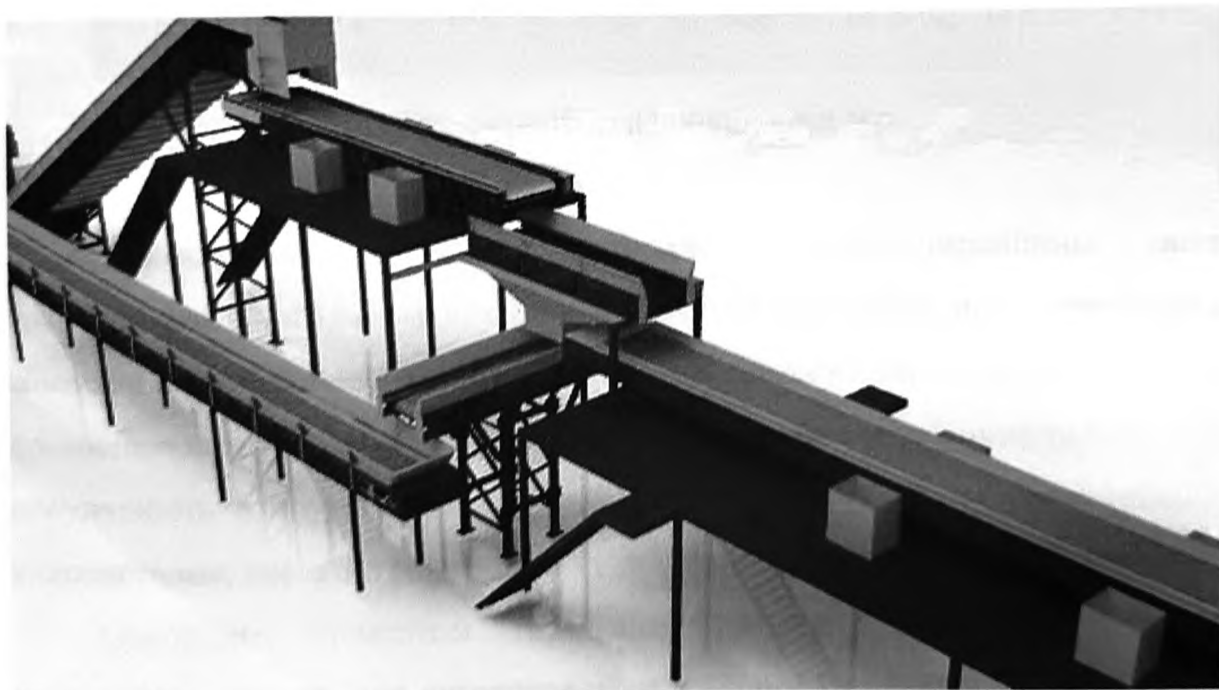


Рисунок 1.1 – Конвейори стрічкові

ГМтаМ 601ММв.042-00.00.000 ПЗ					Літ.			Лист	Листів
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Н			5	
Розроб.		Шевченко	Сашко	23.08	Конвеєри стрічкові їх різновиди та особливості конструювання				
Перев.		Фролов	Дмитро	28.08					
Керівник									
Н. контр.		Васильєв	Сергей	29.08					
Затв.		Орисенко	Олександр	29.08	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»				

Горизонтальні стрічкові конвеєри (рисунок 1.2) найпростіший і найпоширеніший тип конвеєрів, що використовується для транспортування вантажів на рівній поверхні. Вони забезпечують рівномірний рух матеріалу і підходять для транспортування сипких, штучних та пакетованих вантажів.

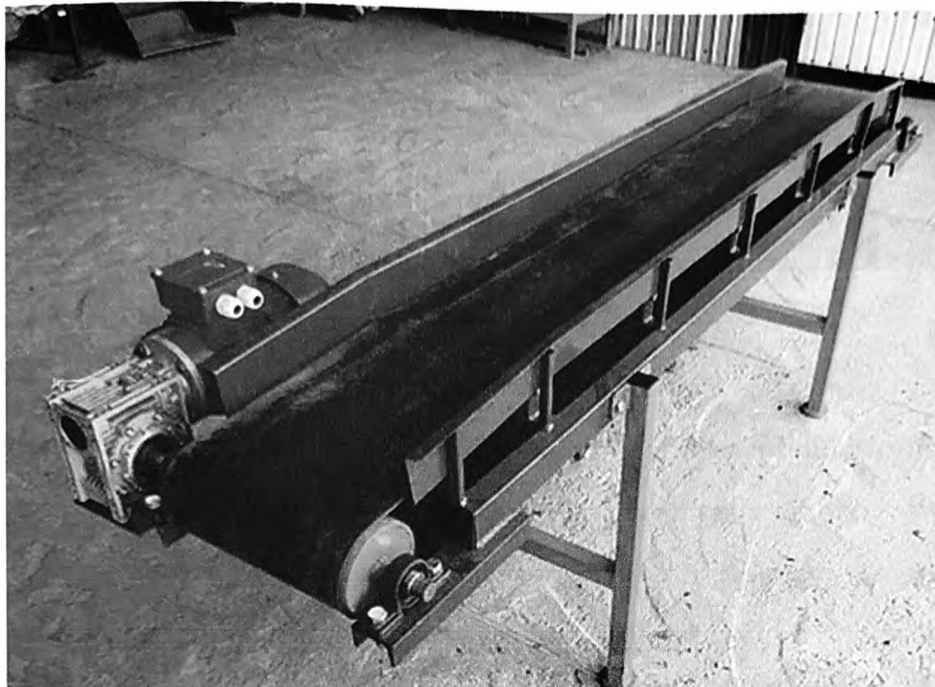


Рисунок 1.2 – Горизонтальний стрічковий конвеєр

Горизонтальні стрічкові конвеєри є найпоширенішим типом транспортувального обладнання, що використовуються для переміщення вантажів на рівній поверхні. Вони знаходять застосування в багатьох галузях промисловості, таких як видобувна, будівельна, харчова, хімічна та інші. Їхня популярність обумовлена простотою конструкції, універсальністю використання, високою надійністю та економічністю експлуатації.

Основним елементом горизонтального стрічкового конвеєра є нескінченна стрічка, яка виготовляється з різних матеріалів, таких як гума, полімери, тканина з металевим армуванням або комбінація цих матеріалів (рисунок 1.3). Вибір матеріалу залежить від властивостей вантажу, що транспортується (абразивність, температура, хімічна активність), а також від умов експлуатації (температурний режим, навантаження, вологість).

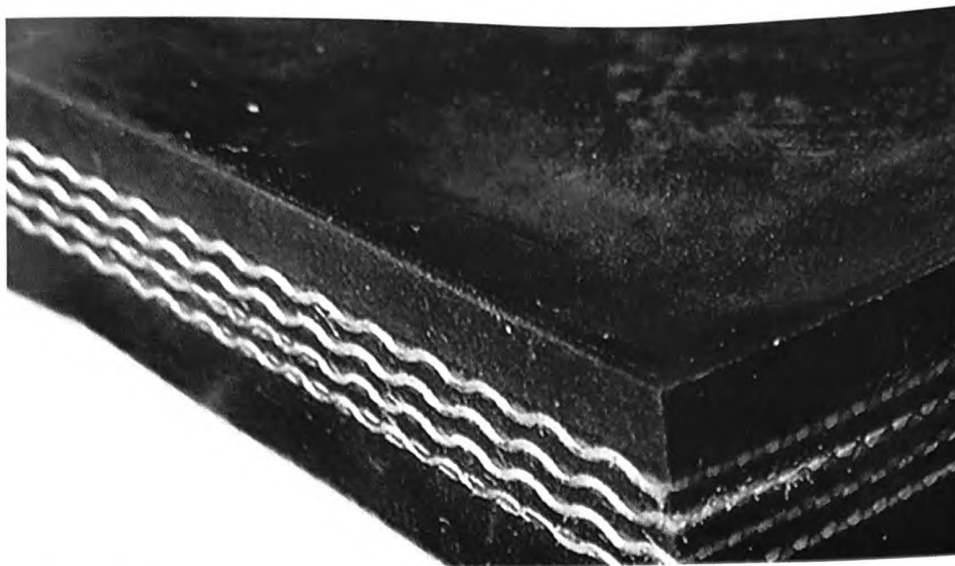


Рисунок 1.3 – Транспортна стрічка

Поверхня стрічки може бути гладкою або рифленою, що підвищує зчеплення вантажу зі стрічкою та запобігає його ковзанню. Для транспортування сипучих матеріалів можуть використовуватися стрічки з бортами, що перешкоджають розсипанню матеріалу.

Привідний барабан (рисунок 1.4) забезпечує рух стрічки, передаючи на неї обертовий момент від електродвигуна через редуктор. Він може мати рифлену поверхню для кращого зчеплення зі стрічкою.



Рисунок 1.4 – Привідний барабан

Натяжний барабан розташовується на протилежному кінці конвеєра та відповідає за підтримання необхідного натягу стрічки, що забезпечує її стабільний рух без провисання або прослизання (рисунок 1.5).

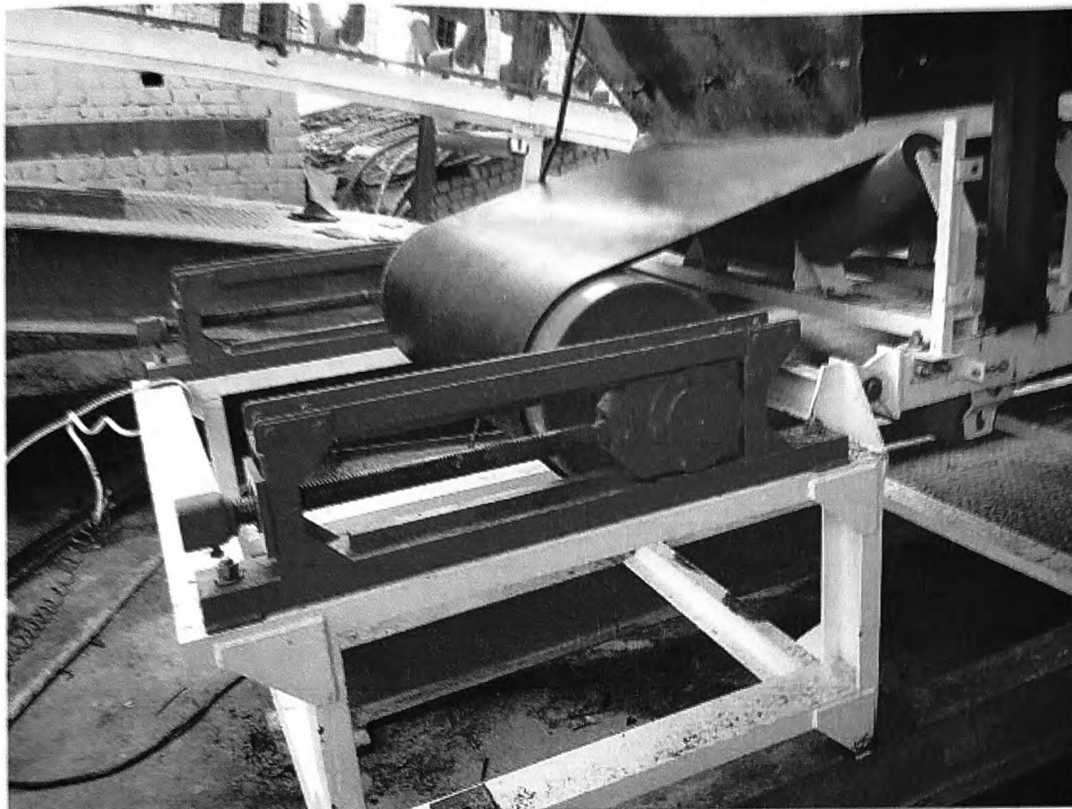


Рисунок 1.5 – Натяжний барабан

Стрічка підтримується опорними роликами, які розташовані з певним інтервалом по всій довжині конвеєра. Вони забезпечують мінімальний опір руху стрічки та рівномірний розподіл навантаження на неї.

Ролики можуть мати різну конструкцію залежно від типу вантажу: для транспортування сипучих матеріалів використовуються жолобчасті ролики, що утворюють U-подібний профіль стрічки, який запобігає розсипанню матеріалу (рисунок 1.6).

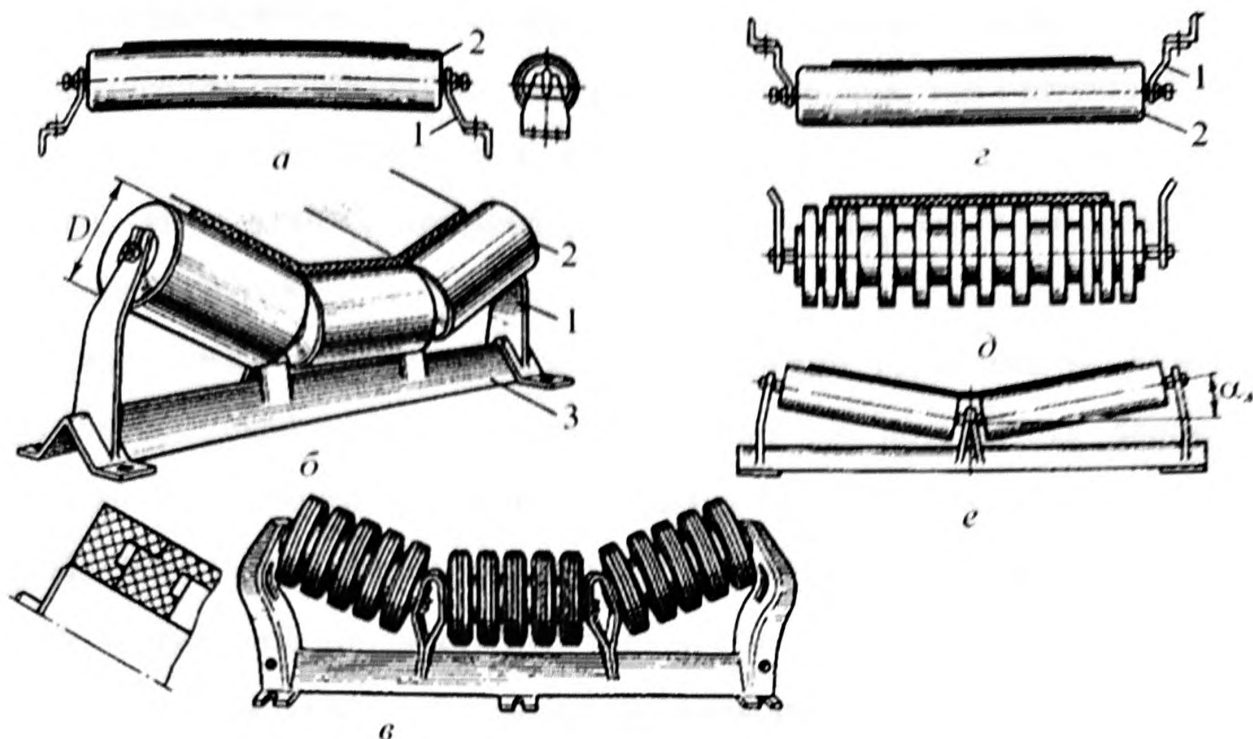


Рисунок 1.6 – Ролико опори

Основу привідного механізму складає електродвигун, який через редуктор передає обертальний момент на привідний барабан. Потужність приводу визначається довжиною конвеєра, масою вантажу, швидкістю руху стрічки та іншими експлуатаційними умовами.

Привід може бути встановлений як на одному кінці конвеєра, так і посередині, у випадку довгих конвеєрних ліній, щоб забезпечити рівномірний розподіл навантаження та уникнути надмірного натягу стрічки.

Горизонтальний стрічковий конвеєр працює на основі нескінченного циклічного руху стрічки. Привідний барабан, отримуючи обертання від електродвигуна, змушує стрічку рухатися вперед, а натяжний барабан підтримує її постійний натяг. Матеріал, що транспортується, подається на стрічку в зоні завантаження та переміщується до зони розвантаження, де він вивантажується за допомогою гравітації або спеціальних пристроїв.

Горизонтальні стрічкові конвеєри мають ряд переваг:

Універсальність: Горизонтальні конвеєри підходять для транспортування різноманітних матеріалів, як сипучих, так і штучних. Вони можуть використовуватися для транспортування продукції на великих відстанях, як в умовах промислового виробництва, так і на складах та логістичних центрах.

Економічність: Завдяки простоті конструкції, горизонтальні конвеєри мають низькі експлуатаційні витрати. Вони не потребують складного технічного обслуговування, що значно знижує витрати на їх експлуатацію.

Надійність: Горизонтальні конвеєри відзначаються високою надійністю завдяки мінімальній кількості рухомих частин і простоті конструкції. Це забезпечує довгий термін служби і високу безвідмовність роботи обладнання.

Легкість в інтеграції: Горизонтальні стрічкові конвеєри легко інтегруються в існуючі виробничі лінії, дозволяючи створювати ефективні та гнучкі системи транспортування з можливістю автоматизації.

Горизонтальні стрічкові конвеєри використовуються в багатьох галузях, зокрема:

Гірничодобувна промисловість: Для транспортування видобутої руди, вугілля та інших корисних копалин.

Будівельна промисловість: Для переміщення піску, гравію, цементу та інших будівельних матеріалів.

Харчова промисловість: Для транспортування сировини та готової продукції на виробничих лініях.

Сільське господарство: Для транспортування зерна, кормів, добрив та інших аграрних продуктів.

Логістика та склади: Для переміщення товарів та вантажів всередині складів і між різними виробничими ділянками.

Завдяки своїй універсальності та високій ефективності, горизонтальні стрічкові конвеєри є незамінним елементом сучасних виробничих та логістичних систем.

Похилі стрічкові конвеєри мають конструкцію аналогічну горизонтальним та використовуються для переміщення матеріалів на різні рівні висоти. Мають конструктивні особливості, такі як ребристі стрічки або бокові борти, які запобігають скочуванню матеріалів при транспортуванні під кутом.



Рисунок 1.7 – Похилі стрічкові конвеєри

Звивисті або криволінійні стрічкові конвеєри (рисунок 1.8) призначені для транспортування матеріалів по криволінійній траєкторії. Вони часто використовуються на підприємствах з обмеженим простором або для уникнення перешкод на шляху транспортування.

Мобільні стрічкові конвеєри (рисунок 1.9) це портативні конвеєри, які можуть бути легко переміщені з одного місця на інше. Вони часто

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата

ГМтаМ 601ММв.042-00.00.000 ПЗ

Лист

11

використовуються на будівельних майданчиках, кар'єрах та інших тимчасових об'єктах.



Рисунок 1.8 – Криволінійні стрічкові конвеєри



Рисунок 1.9 – Мобільні стрічкові конвеєри

Шахтні стрічкові конвеєри (рисунок 1.10) це спеціальні конвеєри, призначені для використання в умовах підвищеної небезпеки, наприклад, у підземних шахтах. Вони відрізняються високою міцністю, вибухозахищеністю і здатністю транспортувати матеріали на великі відстані з великою висотою підйому.



Рисунок 1.10 – Шахтні конвеєри

Таким чином, різновиди стрічкових конвеєрів і їхні конструктивні особливості обумовлені специфікою завдань, що вирішуються в різних галузях промисловості. Оптимальний вибір і конструювання конвеєра забезпечує ефективне та безперебійне транспортування матеріалів, підвищуючи загальну продуктивність підприємства.

1.2 Системи натягу стрічки

Системи натягу стрічки є критичним елементом конструкції стрічкових конвеєрів, що забезпечує стабільність і ефективність їхньої роботи. Правильний натяг стрічки необхідний для забезпечення оптимального

зчеплення між стрічкою і приводним барабаном, а також для запобігання провисанню стрічки, що може призвести до втрати матеріалу, підвищеного зносу обладнання і зниження продуктивності.

Існує кілька основних типів систем натягу стрічки, які відрізняються конструкцією та принципом дії:

Гвинтові натяжні пристрої є одним з найпростіших і найпоширеніших видів систем натягу. Вони складаються з гвинтових механізмів, які регулюють положення натяжного барабана відносно стрічки, змінюючи таким чином її натяг.

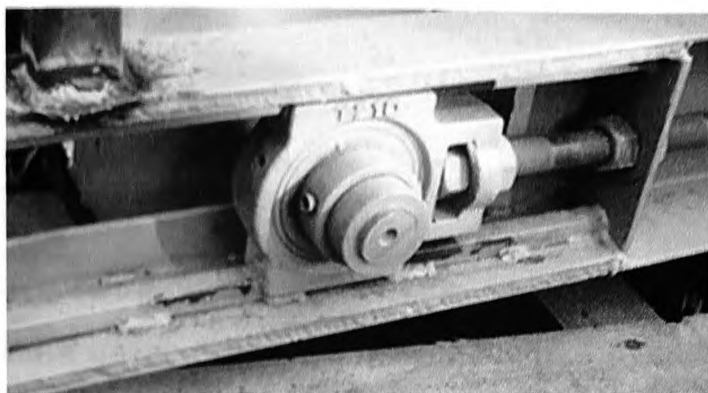




Рисунок 1.12 – Пружинний натяжний пристрій

Перевага таких пристроїв полягає в їхній здатності підтримувати постійний натяг стрічки без необхідності ручного регулювання. Вони часто використовуються в умовах, де потрібен постійний контроль за натягом, наприклад, на довгих конвеєрних лініях.

Гідравлічні натяжні пристрої забезпечують натяг стрічки за допомогою гідравлічного циліндра, який створює потрібний тиск на натяжний барабан. Цей тип системи забезпечує високу точність і стабільність натягу, особливо в умовах великих навантажень.

Гідравлічні системи натягу також дозволяють автоматично регулювати натяг залежно від змін у роботі конвеєра, що робить їх ідеальними для використання на складних виробничих лініях.

Противажні натяжні пристрої використовують вагу противаги, що підвішена на одному кінці стрічки, для створення необхідного натягу. Це простий і ефективний спосіб підтримувати постійний натяг стрічки, особливо на довгих і важких конвеєрах.

Противажні системи забезпечують постійний натяг незалежно від змін навантаження і можуть автоматично компенсувати зміну довжини стрічки внаслідок температурних коливань або зношування.



Рисунок 1.13 –Противажні натяжні пристрої

Схеми різного виконання наведені на рисунку 1.14.

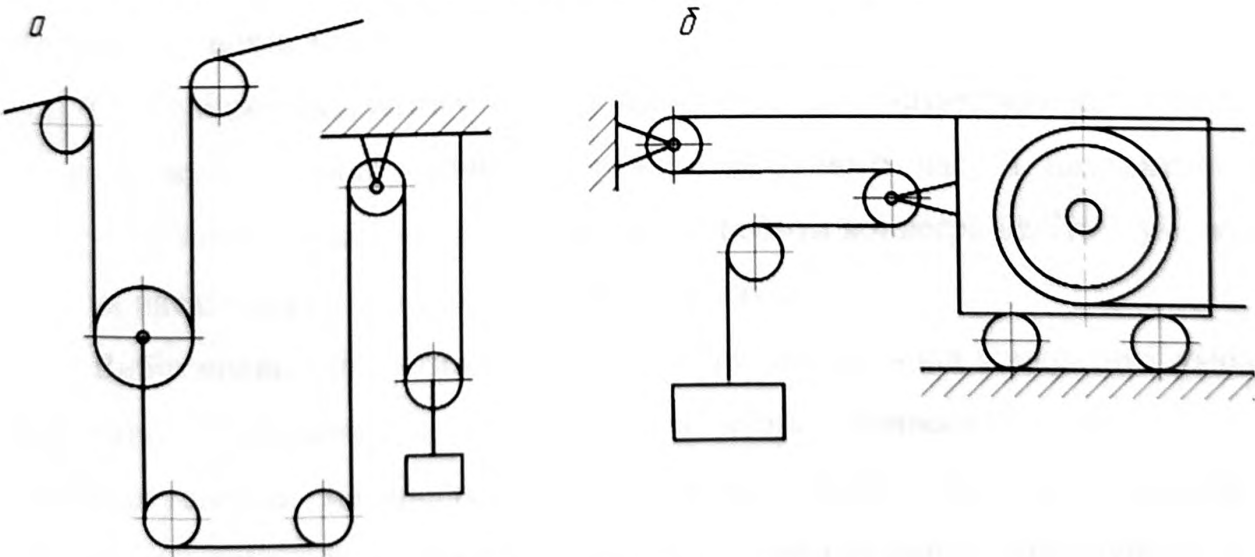


Рисунок 1.13 – Схеми противажних натяжних систем

Основною функцією системи натягу стрічки є забезпечення стабільного зчеплення стрічки з приводним барабаном, що необхідно для передачі тягового зусилля і запобігання прослизанню. Без належного натягу, стрічка може провисати, що призведе до зниження ефективності транспортування, збільшення зносу стрічки та роликів, а також підвищення енерговитрат.

Крім того, системи натягу сприяють рівномірному розподілу навантаження по всій ширині стрічки, що запобігає її нерівномірному зносу і деформації. Це особливо важливо для конвеєрів, які використовуються в умовах високих навантажень або транспортують абразивні матеріали.

Правильний натяг також забезпечує ефективну роботу допоміжних систем, таких як системи очистки стрічки, що видаляють залишки матеріалу з її поверхні, запобігаючи забрудненню обладнання і зниженню продуктивності.

Ефективна експлуатація систем натягу потребує регулярного моніторингу та обслуговування, щоб уникнути проблем, таких як недостатній або надмірний натяг стрічки. Недостатній натяг може призвести до провисання стрічки і її пошкодження, тоді як надмірний натяг збільшує навантаження на привідний механізм і барабани, що може спричинити передчасний вихід з ладу.

Сучасні системи натягу часто обладнуються автоматичними датчиками, які відстежують натяг стрічки в режимі реального часу і автоматично коригують його, забезпечуючи стабільність роботи конвеєра навіть в умовах змінних навантажень або складних умов експлуатації.

Вибір правильного типу системи натягу залежить від конкретних умов експлуатації конвеєра, таких як довжина конвеєрної лінії, вид транспортуваного матеріалу, температурний режим та інші фактори. Оптимізація параметрів натягу стрічки є важливим етапом в проектуванні та експлуатації конвеєрів, що забезпечує їхню надійність, ефективність і довговічність.

Розділ 2: Аналіз моделей стрічкових конвеєрів

Для розробки моделі стрічкового конвеєра було використано метод опису систем, що складаються з елементів, які безперервно розподілені в межах кінцевих областей простору. У таких системах рух передається від одного елемента до іншого, а динамічні процеси описуються рівняннями в частинних похідних (хвильові рівняння). Аналітичне розв'язання систем таких рівнянь є трудомістким і складним. Для спрощення розрахунків систему слід розбити на найпростіші елементи та скористатися методом кусково-лінійної апроксимації. Цей метод дозволяє наближено описати систему з розподіленими параметрами за допомогою системи звичайних диференціальних рівнянь.

У даному випадку контур стрічки конвеєра розбивається на певну кількість ділянок, у межах кожної з яких закон зміни швидкості деформації по довжині передбачається лінійним. Після прийняття певних припущень, що дозволяють спростити розроблювану модель, застосовуються рівняння Лагранжа другого роду. Було проведено порівняння моделей стрічкового конвеєра з різною кількістю зосереджених мас, оцінено переваги, які надає кожна з моделей.

Результати дослідження показують, що різні моделі стрічкових конвеєрів з відповідним числом зосереджених мас мають специфічні переваги при вирішенні певних технічних завдань. Так, для задач, що вимагають високої точності розрахунків динамічних процесів, доцільно використовувати моделі з більшою кількістю зосереджених мас, оскільки вони забезпечують більш точне описання хвильових процесів у системі.

				ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Аналіз моделей стрічкових конвеєрів		
Розроб.	Шевченко			25.08			
Перев.	Фролов			23.08			
Керівник							
Н. контр.	Васильєв			28.08			
Зам.	Орисенко			29.08	Лім.	Лист	Листів
					Н	19	
					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Водночас, для задач, де потрібне швидке отримання результатів з прийнятною точністю, достатньо використовувати спрощені моделі з меншою кількістю зосереджених мас.

Таким чином, вибір відповідної моделі стрічкового конвеєра залежить від специфіки технічного завдання, що дозволяє оптимально поєднувати точність розрахунків з економічністю моделювання.

2.1 Аналіз літератури та розробка математичних моделей стрічкового конвеєра

У працях багатьох дослідників обґрунтовується необхідність створення систем автоматичного керування швидкістю стрічкового конвеєра в залежності від потоку вантажів, що надходять на стрічку [3, 5]. Впровадження таких систем дозволить значно підвищити ефективність використання конвеєрного транспорту шляхом зменшення холостого пробігу, зниження витрат електроенергії та зменшення зносу конструктивних елементів [5, 8]. Розв'язання цього завдання потребує значних експериментальних досліджень на діючих установках, необхідних для тестування розроблених алгоритмів, налаштування регуляторів, а також для отримання статистичної інформації.

Однак проведення таких досліджень часто неможливе через ряд причин, таких як відсутність обладнання для експериментів, неможливість переривати діючий технологічний процес, або ризик виходу з ладу обладнання через некоректну роботу алгоритмів управління. Для налаштування розроблюваної системи управління необхідно створити математичні моделі всіх пристроїв, що використовуються в технологічному процесі [3, 10].

Розглянемо деякі аспекти розробки моделі руху стрічки конвеєра [3, 4, 6].

Системи, що складаються з елементів, безперервно розподілених у межах кінцевих областей простору, де передача руху відбувається від одного елемента до іншого, називаються системами з розподіленими параметрами.

Динамічні процеси в таких системах описуються рівняннями в часткових похідних (хвильові рівняння, рівняння теплопередачі, рівняння дифузії та ін.) [11].

Прикладами таких систем є трубопроводи, стрічкові конвеєри, стріли екскаваторів, колони бурових установок.

Аналітичне розв'язання таких рівнянь є складним і трудомістким.

Для спрощення розрахунків систему зручно розділити на окремі елементи, об'єми, або шари.

Найбільш зручним є метод кусково-лінійної апроксимації, який дозволяє наближено описати систему з розподіленими параметрами за допомогою системи звичайних диференціальних рівнянь. Контур стрічки поділяється на кілька ділянок, в межах кожної з яких зміна швидкості деформації по довжині передбачається лінійною. Після прийняття певних допущень, які дозволяють спростити розроблювану модель, застосовуються рівняння Лагранжа другого роду,

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial}{\partial \dot{x}_i} T \right) - \left(\frac{\partial}{\partial x_i} T \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} \Pi + \frac{\partial}{\partial x_i} A = 0, \quad (2.1)$$

де T — кінетична енергія ділянки;

Π — потенційна енергія ділянки;

A — робота зовнішніх сил на ділянці.

Цей метод детально описаний у працях [2, 10, 12], де визначені всі складові рівняння (1).

Однак жоден з авторів цих робіт не розглядав питання про оптимальну кількість апроксимуючих мас. Усі згадані автори використовували модель з п'ятьма зосередженими масами.

Розрахункова схема такої системи представлена на рис. 2.1.

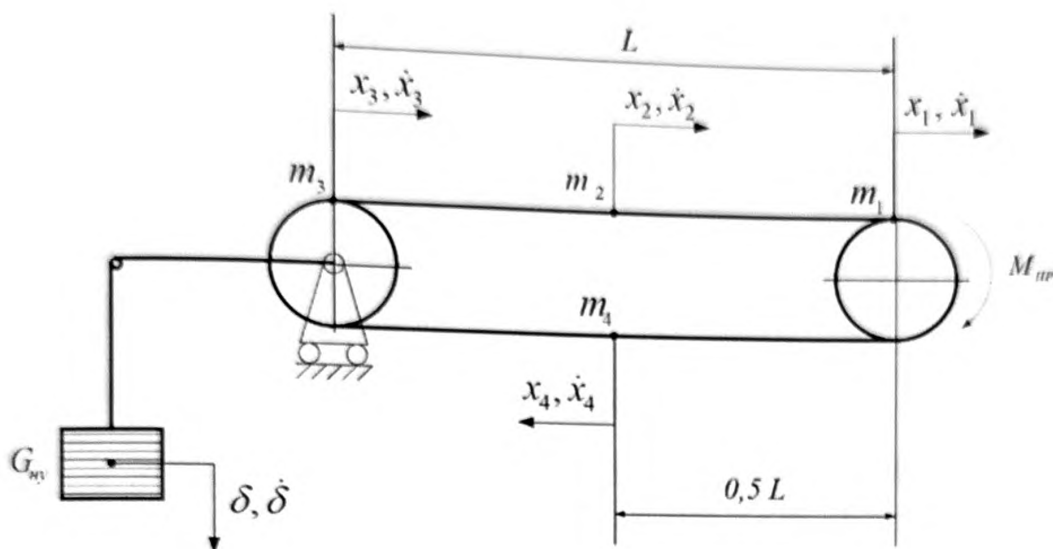


Рисунок 2.1 – Розрахункова схема стрічкового конвеєра з п'ятьма зосередженими масами

Модель стрічкового конвеєра з п'ятьма зосередженими масами представляється шістьма рівняннями,

$$\begin{aligned}
 & (2m_e + 2m_n + m_{np})\ddot{x}_1 + m_3\ddot{x}_2 + m_n\ddot{x}_4 + 2Cx_1 - Cx_2 - Cx_4 + \\
 & + (0,5G_n lw + 0,5G_s lw) \operatorname{sgn} \dot{x}_1 + 2\eta \dot{x}_1 - \eta \dot{x}_2 - \eta \dot{x}_4 = \frac{M_{np}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{x}_c - \dot{x}_1), \\
 & m_e\ddot{x}_1 + 4m_e\ddot{x}_2 + m_e\ddot{x}_3 - Cx_1 + 2Cx_2 - Cx_3 + G_e lw \operatorname{sgn} \dot{x}_2 - \eta \dot{x}_1 + 2\eta \dot{x}_2 - \eta \dot{x}_3 = 0, \\
 & m_e\ddot{x}_2 + (2m_e + 2m_n)\ddot{x}_3 + m_n\ddot{x}_4 - Cx_2 + (2C + 0,25C_k)x_3 - (C + 0,25C_k)x_4 - \\
 & - 0,5C_k\delta - \eta \dot{x}_2 + 2\eta \dot{x}_3 - \eta \dot{x}_4 + (0,5G_e lw + 0,5G_n lw) \operatorname{sgn} \dot{x}_3 = 0, \\
 & m_n\ddot{x}_1 + m_n\ddot{x}_3 + 4m_n\ddot{x}_4 - Cx_1 - (2C + 0,25C_k)x_3 + (C + 0,25C_k)x_4 + 0,5C_k\delta - \\
 & - \eta \dot{x}_1 - \eta \dot{x}_3 + 2\eta \dot{x}_4 + G_n lw \operatorname{sgn} \dot{x}_4 = 0, \\
 & \frac{G_{ny}}{g} \ddot{\delta} - 0,5C_k x_3 + 0,5C_k x_4 + C_k \delta + G_{ny} + G_{ny} f \operatorname{sgn} \dot{\delta} = 0,
 \end{aligned} \tag{2.2}$$

де $M_{пр}$ — момент двигуна, приведений до валу приводного барабана;

$Rб$ — радіус приводного барабана;

l — довжина стрічки;

$G_{ну}$ — вага вантажу натяжного пристрою;

$mг$ — маса ділянки вантажної гілки;

m_n — маса ділянки порожньої гілки;

$m_{пр}$ — маса привода;

w — коефіцієнт опору руху;

f — коефіцієнт опору руху натяжних вантажів;

η — в'язкість стрічки з вантажем;

C — жорсткість стрічки;

C_k — жорсткість канатів натяжного пристрою;

G_g, G_n — погонна вага рухомих частин відповідно вантажної і порожньої гілки.

Автори приводять модель до матричної форми,

$$M\ddot{X} + N\dot{X} + CX + S \operatorname{sgn} \dot{X} + G = P \operatorname{sgn}(\dot{X}_c - \dot{X}_1) M_{пр} \quad (2.3)$$

де матриця

$M_{5 \times 5}$ — матриця мас;

$N_{5 \times 5}$ — матриця коефіцієнтів в'язкого тертя;

$C_{5 \times 5}$ — матриця коефіцієнтів жорсткого тертя;

$S_{5 \times 5}$ — матриця коефіцієнтів сил опору руху.

Матриці $P_{5 \times 1}$ і $G_{5 \times 1}$ пов'язані з зовнішніми впливами на стрічку з боку рушійного привода та натяжного пристрою.

Далі у цю модель, використовуючи канонічне правило О. Коші, вводяться як координати стану переміщення і швидкості зосереджених мас.

$$X = (x_1, x_2, \dots, x_{10})^T \quad (2.4)$$

Модель руху стрічки конвеєра в просторі станів представляється авторами у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь з кількома керуючими сигналами.

$$\dot{X} = \tilde{A}X + \tilde{B}_1 \operatorname{sgn}(x_c - x_6)M_{np} + \tilde{B}_2 \operatorname{sgn} X + \tilde{B}_3 G_{ny} \quad (2.5)$$

В даному контексті:

перший керуючий вплив $U1 = M_{np}$ є рушійним моментом, створюваним приводом,

другий керуючий вплив $U2 = \operatorname{sgn} X$ — це сили опору руху зосереджених мас стрічки,

третій керуючий вплив $U3 = G_{ny}$ — вага натяжного пристрою.

У цих позначеннях система рівнянь, що описує модель руху стрічки конвеєра під дією трьох керуючих впливів, остаточно записується у вигляді:

$$\dot{X} = \tilde{A}X + \tilde{B}_1 \operatorname{sgn}(x_c - x_6)M_{np} + \tilde{B}_2 \operatorname{sgn} X + \tilde{B}_3 G_{ny} \quad (2.6)$$

Матриця стану системи $\tilde{A}$ є блочною матрицею, що включає в себе матриці $M^{-1}N$ і $M^{-1}C$.

Матриці керування також є блочними: матриця B_1 включає в себе $M^{-1}P$, B_2 включає в себе $M^{-1}S$, B_3 включає в себе $M^{-1}G$.

$$\tilde{A}_{10 \times 10} = \begin{bmatrix} 0_{5 \times 5} & E_5 \\ M^{-1}C_{5 \times 5} & M^{-1}N_{5 \times 5} \end{bmatrix}, \quad \tilde{B}_{10 \times 1} = \begin{bmatrix} 0_{5 \times 1} \\ M^{-1}P_{5 \times 1} \end{bmatrix}, \quad \tilde{B}_{10 \times 5} = \begin{bmatrix} 0_{5 \times 5} & 0_{5 \times 5} \\ 0_{5 \times 5} & M^{-1}S_{5 \times 5} \end{bmatrix},$$

$$\tilde{B}_{10 \times 1} = \begin{bmatrix} 0_{5 \times 1} \\ M^{-1}G_{5 \times 1} \end{bmatrix} \quad (2.7)$$

Складання цієї моделі детально описано в роботах [3, 4]. Автори провели моделювання в програмному середовищі Matlab, і отримані результати, представлені на рис. 2.2, показують перехідні процеси за швидкостями зосереджених мас.

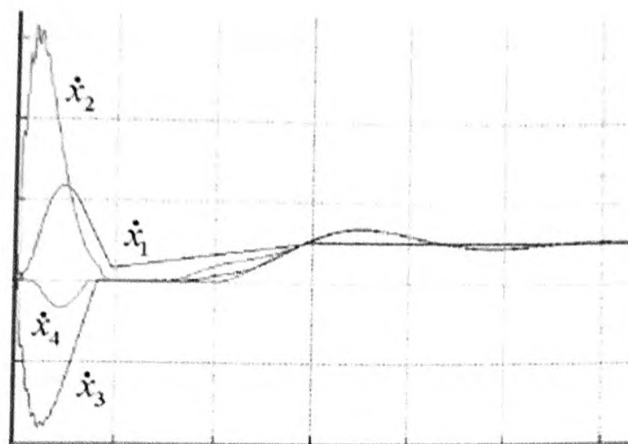


Рисунок 2.2 – Перехідні процеси за швидкостями тих зосереджених мас, які представляють стрічку

На рис. 2.2 наведені перехідні процеси за швидкостями тих зосереджених мас, які представляють стрічку — m_1, m_2, m_3, m_4 .

Видно, що маси m_1, m_2 , розташовані на приводі та на вантажній гілці, і маси m_3, m_4 , розташовані на хвостовому барабані та на порожній гілці, під час прямого пуску рухаються в протилежні сторони, що викликає розтягнення стрічки та може призвести до прослизання та пробуксовки.

За графіками можна оцінити час, необхідний для подолання важкого динамічного режиму, що виникає при пуску, і для виходу зосереджених мас на загальну швидкість. Також можна оцінити час запізнення для m_3 , розташованої в місці завантаження конвеєра, яке обумовлене передачею пружною стрічкою рушійного моменту від приводу.

Ці значення часу можна використовувати при синтезі системи керування швидкістю стрічки з метою забезпечення рівномірного завантаження конвеєра.

П'ятимасова модель має значні переваги: вона дозволяє оцінювати деформації стрічки, визначати такі важливі технологічні характеристики, як величину тягового фактора, і вимірювати зусилля, що виникають у стрічці. Далі розглянемо моделі з іншим числом апроксимуючих мас та проведемо аналіз розроблених моделей.

2.2 Елементарна модель стрічкового конвеєра з двома зосередженими масами

Розглянемо найпростішу модель конвеєрної стрічки: розрахункова схема для конвеєра з одnobарабанным головним приводом і натяжним пристроєм, розташованим у хвостовій частині конвеєра, представлена на рис.3. При побудові математичної моделі розподілену масу стрічки з вантажем представимо двома масами m_1, m_2 , розташованими на головному і хвостовому барабанах. В якості узагальнених змінних прийняті їхні переміщення x_1, x_2 , швидкості $\dot{x}_1, \dot{x}_2$, а також положення та швидкість переміщення натяжного вантажу δ . Кінцевомірною математичною моделлю руху конвеєра з вантажем описана шістьма координатами стану $X(x_1, x_2, \dot{x}_1, \dot{x}_2, \delta)^T$.

Модель руху стрічки конвеєра може бути представлена у вигляді системи трьох нелінійних диференціальних рівнянь, кожне з яких описує рух зосередженої маси m_1 .

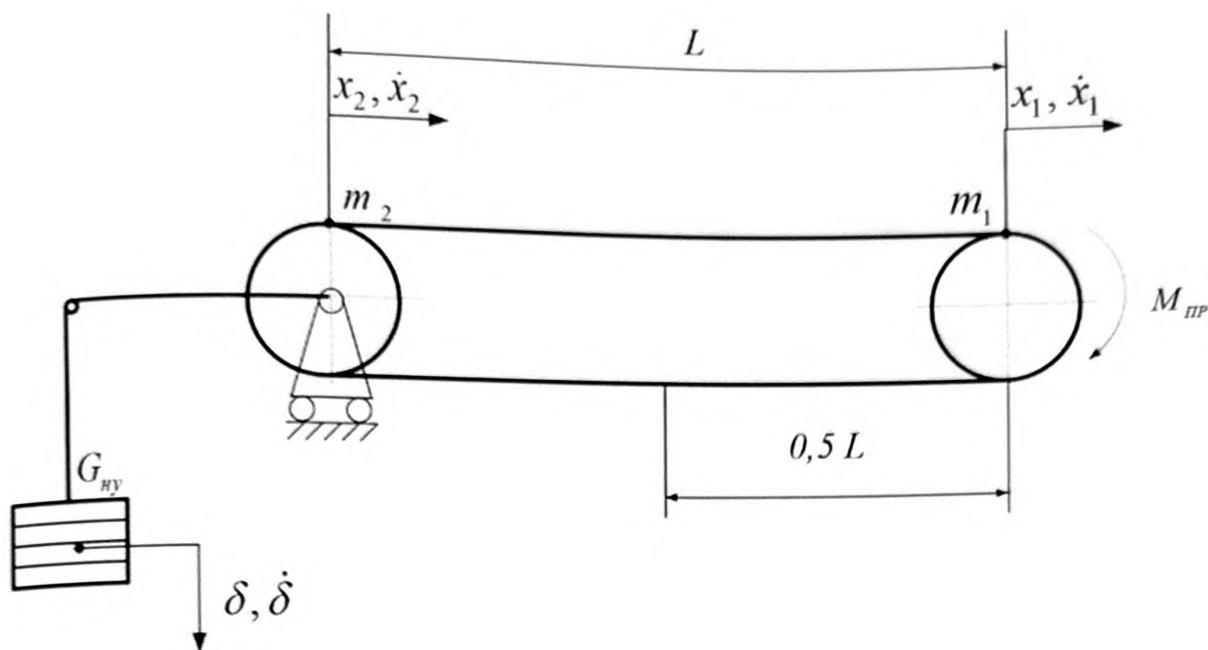


Рисунок 2.3 – Елементарна модель стрічкового конвеєра з двома зосередженими масами

$$\begin{aligned}
 & m_2(2\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) + m_n(2\ddot{x}_1 + \ddot{x}_2) + m_{np}\ddot{x}_1 + 2C(x_1 - x_2) + 0,25C_k(x_1 - x_2 - 2\delta) + \\
 & + 0,5G_zlw \operatorname{sgn} \dot{x}_1 + 0,5G_nlw \operatorname{sgn} \dot{x}_1 + 2\eta(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = \frac{M_{np}}{R_5} \operatorname{sgn}(\dot{x}_c - \dot{x}_1); \\
 & m_2(\ddot{x}_1 + 2\ddot{x}_2) + m_n(\ddot{x}_1 + 2\ddot{x}_2) + 2C(x_2 - x_1) + 0,25C_k(x_2 - x_1 + 2\delta) + \\
 & + 0,5G_zlw \operatorname{sgn} \dot{x}_2 + 0,5G_nlw \operatorname{sgn} \dot{x}_2 - 2\eta(\dot{x}_1 - \dot{x}_2) = 0;
 \end{aligned} \quad (2.8)$$

$$\frac{G_{ny}}{g} \ddot{\delta} - 0,5(x_1 - x_2 - \delta)C_k + G_{ny} + G_{ny}f \operatorname{sgn} \dot{\delta} = 0$$

Ця система рівнянь і є розроблюваною нами математичною моделлю. Як рекомендують автори [3, 6], для більш лаконічного представлення використовуємо її матричний вигляд відносно вектора стану $X = (\dot{x}_1, \dot{x}_2, \delta)^T$.

$$M\ddot{X} + N\dot{X} + CX + S \operatorname{sgn} \dot{X} + G = P \operatorname{sgn}(\dot{X}_c - \dot{X}_1)M_{np}, \quad (2.9)$$

Де

$$M = \begin{bmatrix} 2m_t + 2m_n + m_{ep} & m_t + m_n & 0 \\ m_t + m_n & 2m_t + 2m_n & 0 \\ 0 & 0 & \frac{G_{xy}}{g} \end{bmatrix}; \quad G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ G_{xy} \end{bmatrix}; \quad P = \begin{bmatrix} R_g^{-1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$N = \begin{bmatrix} 2\eta & -2\eta & 0 \\ -2\eta & 2\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} 2C + 0,25C_k & -2C - 0,25C_k & -0,5C_k \\ -2C - 0,25C_k & 2C + 0,25C_k & 0,5C_k \\ -0,5C_k & 0,5C_k & C_k \end{bmatrix};$$

$$S = \text{diag} \left[0,5G_n lw + 0,5G_z lw \quad 0,5G_n lw + 0,5G_z lw \quad G_{xy} f \right].$$

Для подальшого дослідження оберемо стрічковий конвеєр типу 1Л-100К з тканинною стрічкою, призначений для використання у виробках з кутами нахилу від -3° до $+18^\circ$. Приймальна здатність цього конвеєра складає $11 \text{ м}^3/\text{хв}$, ширина стрічки — 1000 мм , швидкість руху стрічки — $1,6 \text{ м/с}$, діаметр приводного барабана — 800 мм , продуктивність — 420 т/год . Відповідно до графіків застосовності, довжина конвеєрної установки при куті нахилу виробки 0° складає 1000 м .

Отримаємо математичну модель у канонічній формі О. Коші. Для цього помножимо всі члени рівняння на матрицю M^{-1} . Виразимо похідні та запишемо їх у наступному вигляді:

$$\ddot{X} + M^{-1}N\dot{X} + M^{-1}CX + M^{-1}S \text{sgn} \dot{X} + M^{-1}G = M^{-1}P \text{sgn}(\dot{X}_c - \dot{X}_1)M_{np} \quad (2.10)$$

Введемо координати стану:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{\delta} \end{bmatrix} = -M^{-1}C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \delta \end{bmatrix} - M^{-1}N \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} - M^{-1}S \text{sgn} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} - M^{-1}G + M^{-1}P \text{sgn}(\dot{X}_c - \dot{x}_1)M_{np}. \quad (2.11)$$

$$M = \begin{bmatrix} 2m_z + 2m_n + m_{np} & m_z + m_n & 0 \\ m_z + m_n & 2m_z + 2m_n & 0 \\ 0 & 0 & \frac{G_{ny}}{g} \end{bmatrix}; \quad G = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ G_{ny} \end{bmatrix}; \quad P = \begin{bmatrix} R_g^{-1} \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix};$$

$$N = \begin{bmatrix} 2\eta & -2\eta & 0 \\ -2\eta & 2\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}; \quad C = \begin{bmatrix} 2C + 0,25C_s & -2C - 0,25C_s & -0,5C_s \\ -2C - 0,25C_s & 2C + 0,25C_s & 0,5C_s \\ -0,5C_s & 0,5C_s & C_s \end{bmatrix};$$

$$S = \text{diag}[0,5G_n lw + 0,5G_z lw \quad 0,5G_n lw + 0,5G_z lw \quad G_{ny} f].$$

Для подальшого дослідження оберемо стрічковий конвеєр типу 1Л-100К з тканинною стрічкою, призначений для використання у виробках з кутами нахилу від -3° до $+18^\circ$. Приймальна здатність цього конвеєра складає $11 \text{ м}^3/\text{хв}$, ширина стрічки — 1000 мм , швидкість руху стрічки — $1,6 \text{ м/с}$, діаметр приводного барабана — 800 мм , продуктивність — 420 т/год . Відповідно до графіків застосовності, довжина конвеєрної установки при куті нахилу виробки 0° складає 1000 м .

Отримаємо математичну модель у канонічній формі О. Коші. Для цього помножимо всі члени рівняння на матрицю M^{-1} . Виразимо похідні та запишемо їх у наступному вигляді:

$$\dot{X} + M^{-1}NX + M^{-1}CX + M^{-1}S \text{sgn} \dot{X} + M^{-1}G = M^{-1}P \text{sgn}(\dot{X}_c - \dot{X}_1)M_w \quad (2.10)$$

Введемо координати стану:

$$\begin{bmatrix} \bar{x}_1 \\ \bar{x}_2 \\ \bar{\delta} \end{bmatrix} = -M^{-1}C \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \delta \end{bmatrix} - M^{-1}N \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} - M^{-1}S \text{sgn} \begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{\delta} \end{bmatrix} - M^{-1}G + M^{-1}P \text{sgn}(\dot{X}_c - \dot{x}_1)M_w. \quad (2.11)$$

При такому способі введення координатами стану будуть переміщення x_1 та швидкості $\dot{x}_i$ зосереджених мас, а прискорення можуть бути виражені як похідні від останніх трьох координат $\ddot{x}_1 = \dot{x}_4$; $\ddot{x}_2 = \dot{x}_5$; $\ddot{\delta} = \dot{x}_6$;

Якщо об'єднати в один вектор усі координати стану, то модель системи матиме вигляд:

$$\begin{bmatrix} \ddot{x}_1 \\ \ddot{x}_2 \\ \ddot{x}_3 \\ \ddot{x}_4 \\ \ddot{x}_5 \\ \ddot{x}_6 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \\ -M^{-1}N & -M^{-1}C & & & & \\ & & & & & \\ & & & & & \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \cdot \text{sgn}(\dot{x}_c - x_4) M_{np}^{-1} + \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \\ x_4 \\ x_5 \\ x_6 \end{bmatrix} \cdot \text{sgn} + \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ -1 \end{bmatrix}$$

Матриці $M^{-1}C$, $M^{-1}N$, $M^{-1}S$ є квадратними, мають розмірність 3×3 , а $M^{-1}G$ і $M^{-1}P$ — матриці-стовпці розмірністю 3×1 .

Вивіши позначення для керуючих сигналів, приведемо систему рівнянь, що описує модель руху стрічки конвеєра, до виду (13). Матриця стану системи A є блочною матрицею, що включає в себе матриці $M^{-1}N$ і $M^{-1}C$, матриці керування також блочні: матриця B_1 включає в себе $M^{-1}P$, B_2 включає в себе $M^{-1}S$, B_3 включає в себе $M^{-1}G$.

$$\tilde{A}_{6 \times 6} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & E_3 \\ -M^{-1}C_{3 \times 3} & -M^{-1}N_{3 \times 3} \end{bmatrix}.$$

$$\tilde{\mathbf{v}}_{t_{\text{exit}}} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 1} \\ \mathbf{M}^{-1} \mathbf{P}_{3 \times 1} \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{v}}_{2_{\text{exit}}} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 3} & 0_{3 \times 3} \\ 0_{3 \times 3} & -\mathbf{M}^{-1} \mathbf{S}_{3 \times 3} \end{bmatrix}, \tilde{\mathbf{v}}_{3_{\text{exit}}} = \begin{bmatrix} 0_{3 \times 1} \\ -\mathbf{M}^{-1} \mathbf{G}_{3 \times 1} \end{bmatrix}. \quad (2.12)$$

Далі авторами [3] було використано пакет програм Control System Toolbox. Складено програму для обчислення матриць стану та керування для моделі A, B1, B2, B3. Для вивчення динамічних процесів у моделі проведене комп'ютерне моделювання в системі Simulink, яка входить до складу пакету прикладних програм Matlab. Simulink дозволяє виконувати моделювання динамічних систем, що описуються звичайними нелінійними диференціальними рівняннями. Використовуючи типові блоки, зібрано структурну схему системи, що включає в себе контур стрічки та привід конвеєра. Результати моделювання наведені на рис. 2.4.

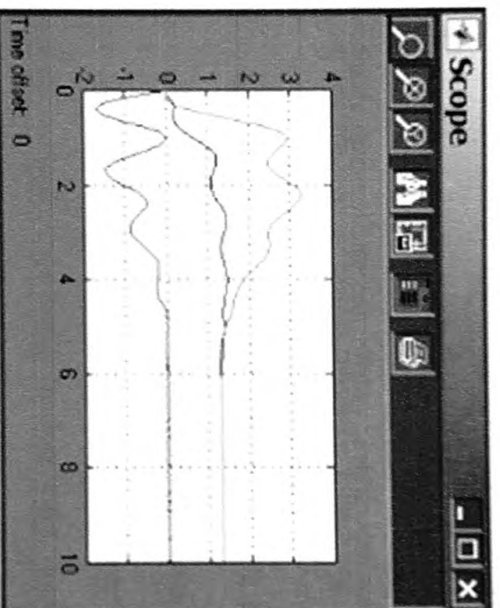


Рисунок 2.4 –Результати моделювання перехідних процесів

Моделювався прямий пуск конвеєра та подальший рух із постійною швидкістю $v = 1,6$ м/с. Результатами комп'ютерного моделювання є перехідні процеси за швидкостями узгаальнених координат стрічки та натяжного пристрою. Видно, що рух двох зосереджених мас стрічки плавний, і вони виходять на задану спільну швидкість. Натяжний пристрій після того, як буде вибрано слабину, що виникає через розтягнення стрічки під час руху з вантажем, зупиняється. Час перехідних процесів становить 7 с.

Використовуючи таку просту модель, складно визначити деформації, що виникають у стрічці, та коректно оцінити час заціпення й час завершення нерухлих процесів.

2.3 Деталізована модель стрічкового конвеєра для аналізу хвильових процесів

Розглянемо модель із сімома зосередженими масами, розташованими, як показано на рис. 2.5.[3]. Використовуючи запропоновану методику, отримаємо систему із семи диференціальних рівнянь.

$$\begin{aligned} & (2m_s + 2m_o + m_{\pi})\ddot{x}_1 + m_{\pi}\ddot{x}_2 + m_{\pi}\ddot{x}_6 + 2Cx_1 - Cx_2 - Cx_6 + \\ & + (0,33G_n lw + 0,33G_s lw) \operatorname{sgn} \dot{x}_1 + 2\eta \dot{x}_1 - \eta \dot{x}_2 - \eta \dot{x}_6 = \frac{M_{\pi}}{R_s} \operatorname{sgn}(\dot{x}_2 - \dot{x}_1), \\ & m_{\pi}\ddot{x}_1 + 4m_{\pi}\ddot{x}_2 + m_{\pi}\ddot{x}_3 - Cx_1 + 2Cx_2 - Cx_3 + 0,66G_s lw \operatorname{sgn} \dot{x}_2 - \eta \dot{x}_1 + 2\eta \dot{x}_2 - \eta \dot{x}_3 = 0 \\ & m_{\pi}\ddot{x}_2 + 4m_{\pi}\ddot{x}_3 + m_{\pi}\ddot{x}_4 - Cx_2 + 2Cx_3 - Cx_4 + 0,66G_s lw \operatorname{sgn} \dot{x}_3 - \eta \dot{x}_2 + 2\eta \dot{x}_3 - \eta \dot{x}_4 = 0 \\ & m_{\pi}\ddot{x}_3 + (2m_t + 2m_o)\ddot{x}_4 + m_o\ddot{x}_5 - Cx_3 + (2C + 0,25C_k)x_4 - (C + 0,25C_k)x_5 - \\ & - 0,5C_k\delta - \eta \dot{x}_3 + 2\eta \dot{x}_4 - \eta \dot{x}_5 + (0,33G_s lw + 0,33G_n lw) \operatorname{sgn} \dot{x}_4 = 0 \quad (2.13) \\ & m_{\pi}\ddot{x}_4 + 4m_o\ddot{x}_4 + m_o\ddot{x}_5 - Cx_4 + (2C + 0,25C_k)x_5 - Cx_6 + 0,5C_k\delta - \eta \dot{x}_4 + \\ & + 2\eta \dot{x}_5 - \eta \dot{x}_6 + 0,66G_n lw \operatorname{sgn} \dot{x}_4 = 0 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & m_o\ddot{x}_1 + m_o\ddot{x}_5 + 4m_o\ddot{x}_6 - Cx_1 - Cx_5 + 2Cx_6 - \eta \dot{x}_1 - \eta \dot{x}_3 + 2\eta \dot{x}_4 + 0,66G_n lw \operatorname{sgn} \dot{x}_4 = 0 \\ & \frac{G_{\pi}}{g} \ddot{\delta} - 0,5C_k x_4 + 0,5C_k x_5 + C_k \delta + G_{\pi} + G_{\pi} f \operatorname{sgn} \delta = 0 \end{aligned}$$

Згідно з відомою методикою, побудуємо математичну модель в канонічній формі, введемо координати стану. $X = (x_1, x_2, \dots, x_{14})^T$

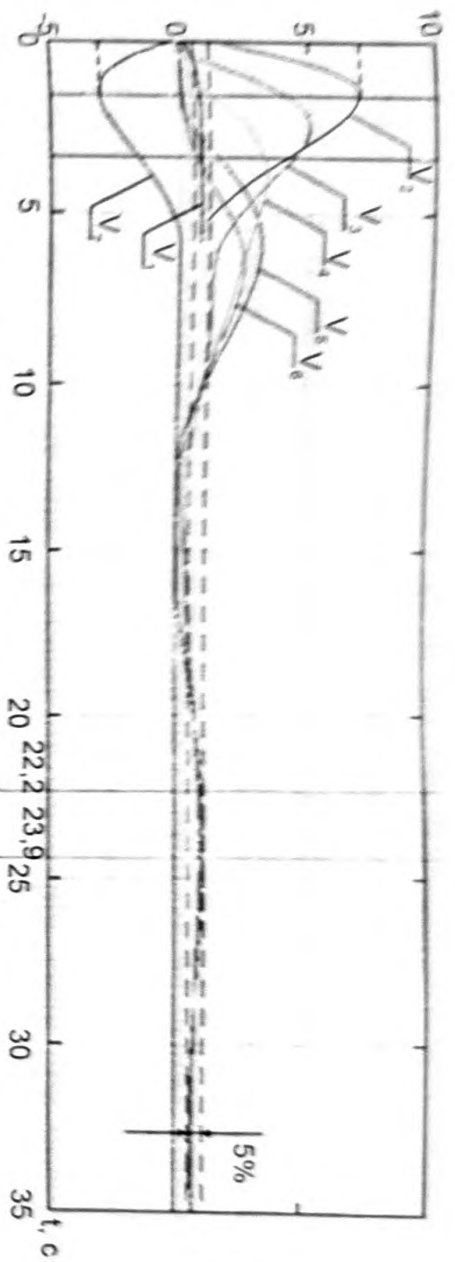


Рисунок 2.6 – Перехідні процеси за швидкостями зосереджених мас при семимасовій моделі

Провівши моделювання, отримаємо перехідні процеси за швидкостями зосереджених мас моделі руху стрічки конвеєра. Ці перехідні процеси наведені на рис. 2.6. Модель дозволяє більш точно аналізувати перехідні процеси в стрічці під час пуску та зупинки конвеєра або при перемиканні його на іншу швидкість руху.

На сьогодні активно проводяться дослідження пуско-гальмівних режимів роботи конвеєра, що супроводжуються хвильовими деформаціями в вантажній і порожній гілках стрічки [7–10]. Для дослідження таких режимів і забезпечення безаварійної роботи стрічкових конвеєрів у важких динамічних режимах може бути використана запропонована модель. Двохмасова модель суттєво полегшує аналіз спільного руху стрічки з приводом. Використовуючи цю модель, можна розглянути режими роботи саме приводу при такому навантаженні. Модель менш детально описує стрічку, але при цьому дозволяє оцінити ковзання стрічки на барабані, хід натяжного пристрою, обчислити величину тягового фактора.

Семимасова модель повинна використовуватися для оцінки хвильових процесів у стрічці конвеєра. При вирішенні цього завдання необхідні моделі з більшим числом зосереджених мас, вони дозволяють більш детально

аналізувати перехідні процеси у стрічці під час пуску та зупинки конвеєра. Зокрема, на графіках перехідних процесів видно, що релаксацийні процеси у порожній гілці тривають набагато довше, ніж у вантажній, а на графіках для п'ятимасової системи час релаксації для всіх п'яти мас однаковий. Також завдяки моделі можна оцінювати деформації та зусилля на різних ділянках стрічки, що виникають у важких динамічних режимах. Ще одне застосування багатомасової моделі — це опис поворотних конвеєрів, коли при повороті внутрішня сторона стрічки стискається, а зовнішня розтягується, що призводить до додаткових деформацій.

2.4 Розрахункова схема конвеєрної установки з двома приводами і натяжним пристроєм

Розглянемо конвеєрну установку, в якій система з розподіленими параметрами апроксимується шістьма зосередженими масами. Три з них m_1 , m_2 , m_3 розташовані на вантажній гілці, дві m_4 , m_5 — на порожній, а m_6 представляє собою масу натяжного пристрою. Як узагальнені змінні приймаються координати положення п'яти мас s_1 , s_2 , s_3 , s_4 , s_5 , s_6 і їх швидкості s_1 , s_2 , s_3 , s_4 , s_5 , s_6 , а також положення і швидкість переміщення натяжного вантажу s_7 , s_7 . Кінцево вимірна математична модель руху конвеєра з вантажем описується чотирнадцятьма координатами стану.

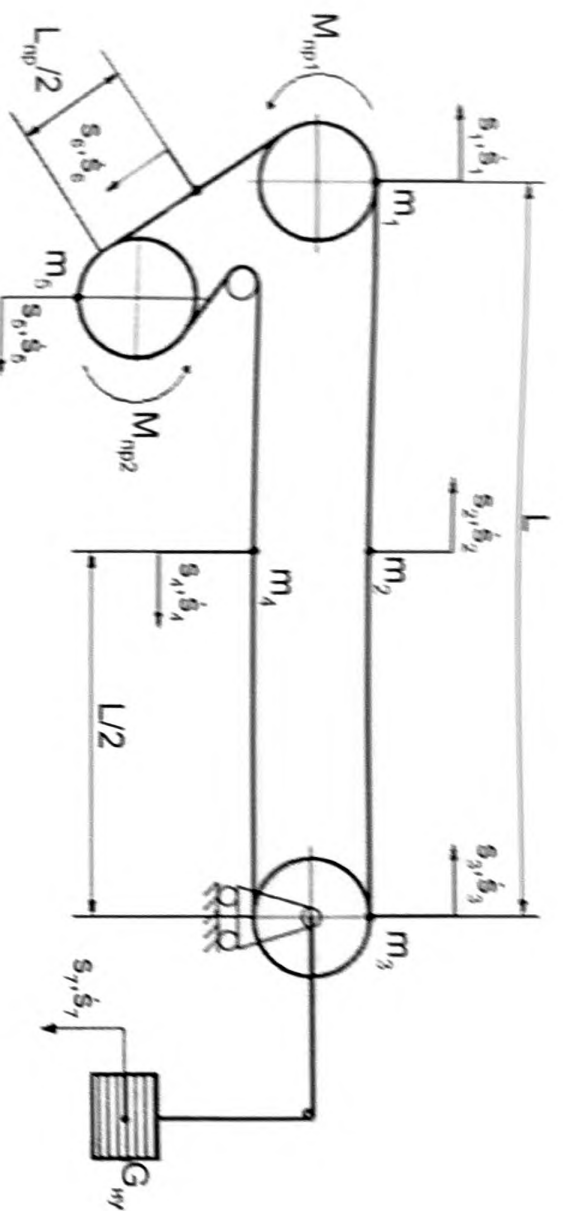


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема конвеєра з двома приводними двигунами

Підвищення ефективності експлуатації стрічкового конвеєра значною мірою залежить від зниження зносу рухомого полотна-стрічки. При запуску і збільшенні швидкості обертання приводних барабанів може виникати пробуксовка, яка збільшує знос стрічки і навіть може призвести до загоряння при терті.

Відомо, що ефект пробуксовки виникає, коли величина тягового фактора перевищує певне критичне значення.

$$E^{\mu\alpha}(t) = \frac{S_4(t)}{S_1(t)} \quad (2.15)$$

Де S_4 — натяг у набігаючій гілці, а S_1 — натяг у збігаючій гілці.

Діаграма натягів для двомоторного конвеєра наведена на рис.2.8.

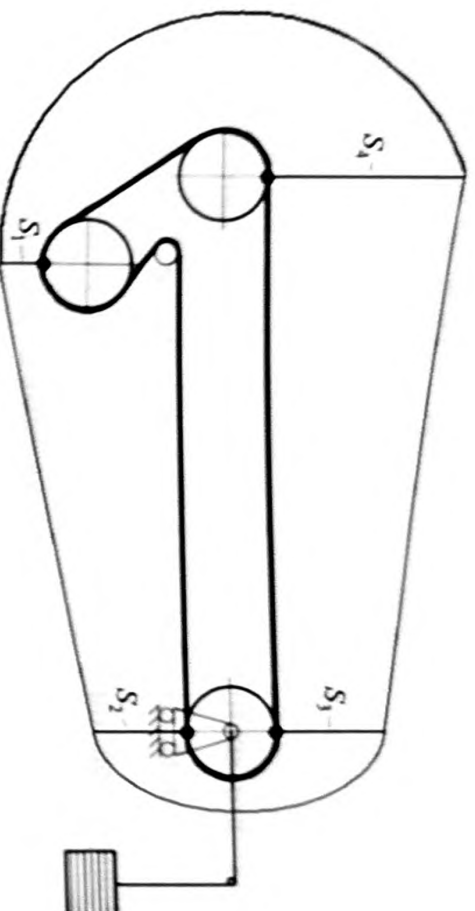


Рисунок 2.8 – діаграма натягів стрічки

Для одномоторного стрічкового конвеєра з кутом охоплення барабана стрічкою $\alpha = \pi$ пробуксовка буде відсутня при умові $E^* < 2.5$. У випадку з двомоторним приводом загальний тяговий фактор дорівнюватиме добутку тягових факторів на кожному з приводних барабанів, відповідно, повинен бути $E^* < 6.25$.

Досягнувши підтримки загального тягового фактора на рівні не вище цього значення, ми можемо знизити ймовірність виникнення пробуксовки на кожному окремому приводному барабані.

Використання натяжного пристрою для стабілізації тягового фактора Для розробки системи стабілізації тягового фактора необхідно знати напругення в збігаючій гілці S_1 та в набігаючій гілці S_4 . При зміні швидкості руху конвеєра змінюються розтягнення ділянок стрічки. Нехай $\Delta_1 = s_4 - s_5$ — це розтягнення порожньої гілки, і $\Delta_2 = s_1 - s_2$ — розтягнення вантажної гілки. При зміні ваги натяжного пристрою змінюються деформації Δ_1 і Δ_2 , а також значення натягів S_1 і S_4 , які залежать від цих деформацій.

Проведемо калібрування конвеєрної стрічки, змінюючи вагу натяжного пристрою $G_{ну}$ та одночасно обчислюючи величину натягу за формулою (2.16), і знімаючи модельні дані про деформації Δ_2 .

$$S_1 = 0,5G_{\text{м}} - W_{2,1},$$

$$S_4 = 0,5G_{\text{м}} + W_{4,3},$$

(2.16)

Вага натяжного пристрою змінювалася в розрахунках від 3 т до 11 т. Дані розрахунків наведені в таблиці 2.1. Методом найменших квадратів отримаємо залежності першого порядку натягів S1 і S4 від деформацій Δ_1 і Δ_4 . Система стабілізації тягового фактора

Таблиця 2.1 – Розрахункові параметри конвеєра

Вага натяжного пристрою, ГнУ,Н	Деформації в збігаючій гілці Δ_1 ,м	Деформації в набігаючій гілці, Δ_4 ,м	Натяг в збігаючій гілці S1,Н	Натяг в набігаючій гілці S4,Н
22500	-0,47235	-0,10028	2109,375	50625
26250	-0,4407	-0,06859	3984,375	52500
30000	-0,41115	-0,03908	5859,375	54375
33750	-0,38033	-0,00819	7734,375	56250
39000	-0,3366	0,035648	10359,38	58875
45000	-0,2967	0,07545	13359,38	61875
52500	-0,24668	0,1254	17109,38	65625
60000	-0,201	0,171075	20859,38	69375
67500	-0,1509	0,221175	24609,38	73125
75000	-0,10328	0,268875	28359,38	76875
82500	-0,05912	0,312975	32109,38	80625

Таблиця 2.2 – Переміщення каретки натяжного пристрою від ваги

Вага натяжного пристрою, ГнУ, Н	22500	26250	30000	33750	37500	39000	45000	52500	60000	67500	75000
Переміщення каретки натяжного пристрою s7, м	-0,78	-0,8595	-0,933	-1,01025	-1,089	-1,11975	-1,2195	-1,34475	-1,45875	-1,584	-1,70325

При зміні швидкості руху стрічки спостерігаються різкі коливання величини Е_{рц}. Його збільшення свідчить про збільшення натягу вантажної гілки і зменшення натягу порожньої гілки, що призводить до провисання стрічки конвеєра і пробуксовки. Для можливості регулювання Е_{рц} визначимо залежність між його величиною і вагою натяжного пристрою. Суть розробленої системи стабілізації полягає в тому, щоб при переході швидкості руху стрічки з одного рівня на інший змінювати вагу натяжного пристрою, тим самим підтримуючи тьговий фактор на заданому рівні.

Графіки залежності ваги натяжного пристрою від різних факторів наведені на рисунках 2.9-2.13

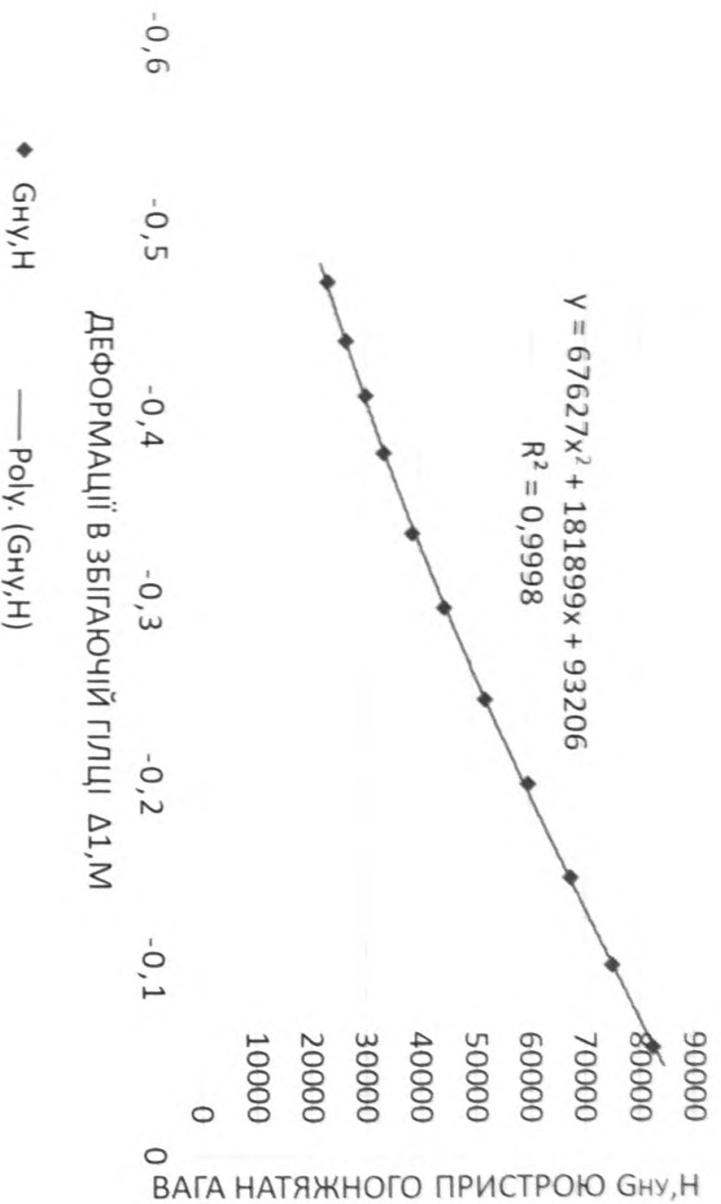


Рисунок 2. 9 – Графік залежності ваги натяжного пристрою від деформації в збігаючій гілці

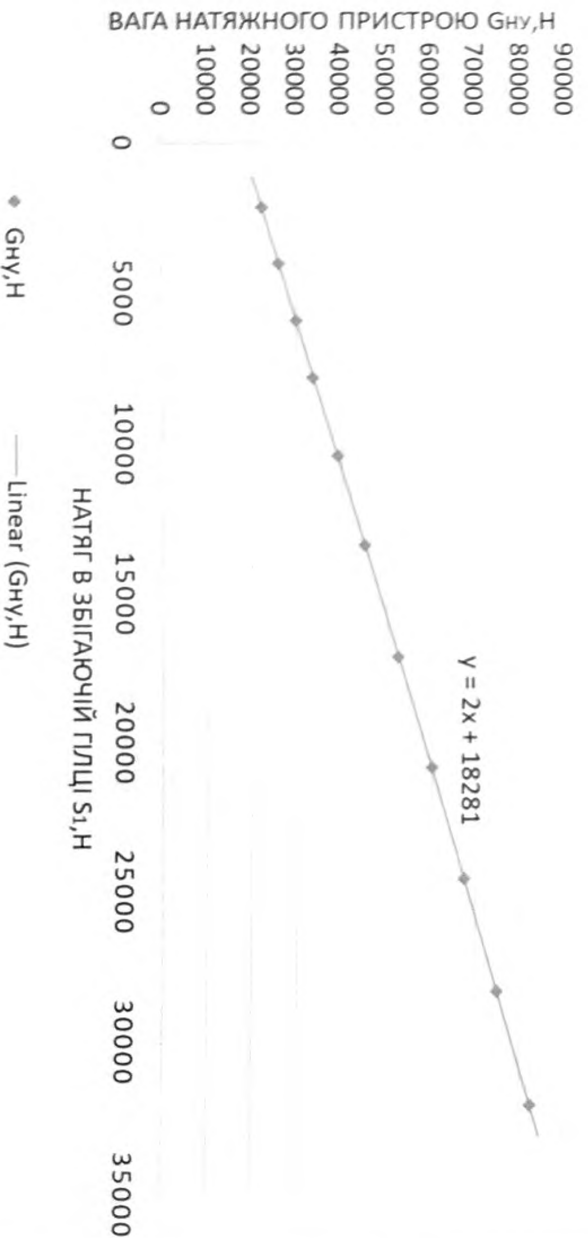


Рисунок 2.10 – Графік залежності ваги натяжного пристрою від натягу в збігаючій гілці

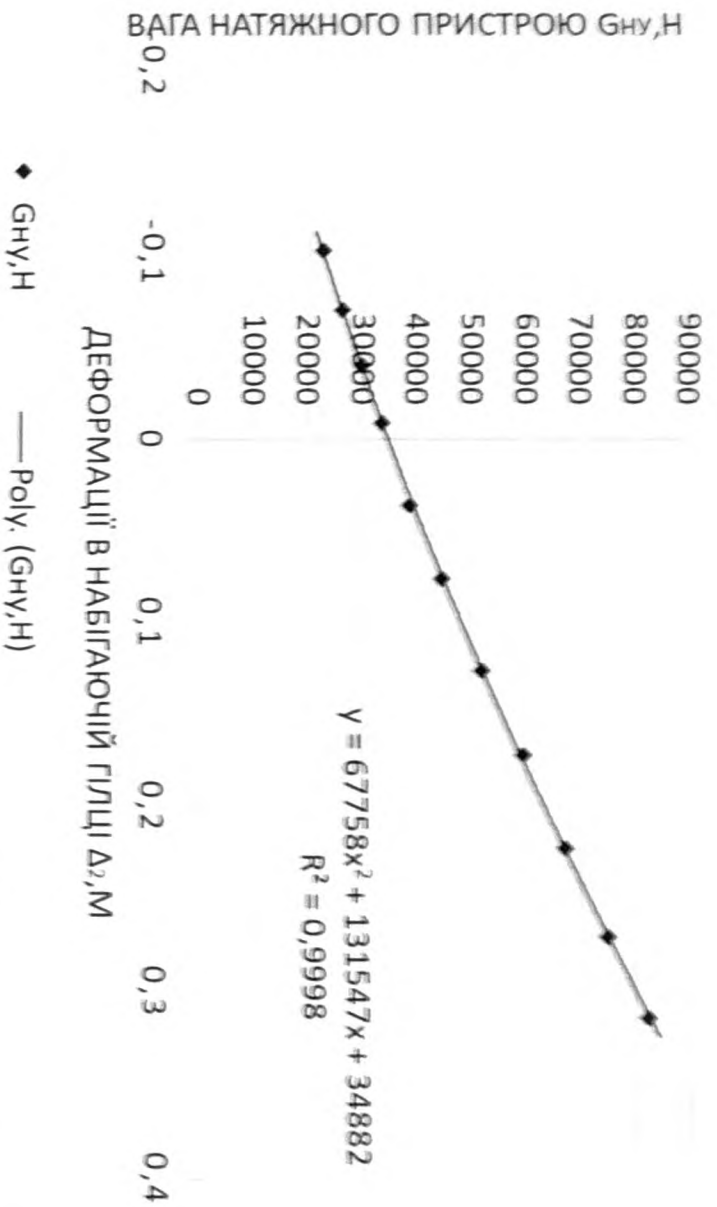


Рисунок 2.11 – Графік залежності ваги натяжного пристрою від деформації в набігаючій гілці

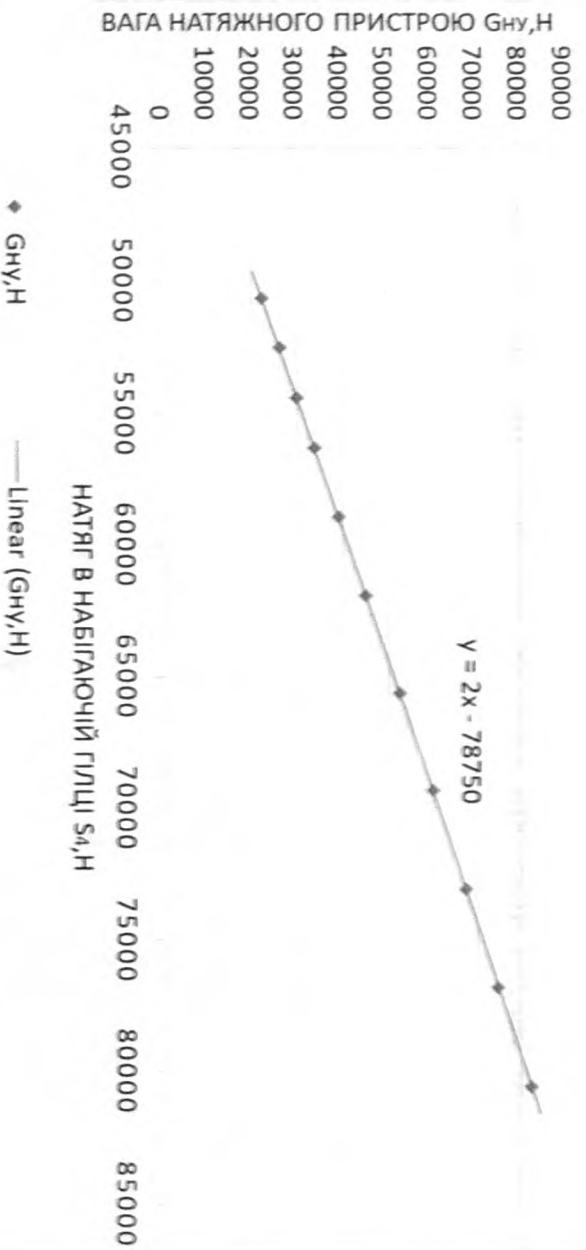


Рисунок 2.12 – Графік залежності ваги натяжного пристрою від натягу в набігаючій гілці

ПЕРЕМІЩЕННЯ КАРЕТКИ НАТЯЖНОГО
ПРИСТРОЮ
57,М

ВАГА НАТЯЖНОГО ПРИСТРОЮ $G_{нп}, Н$
♦ $G_{нп}, Н$ — $Poly. (G_{нп}, Н)$

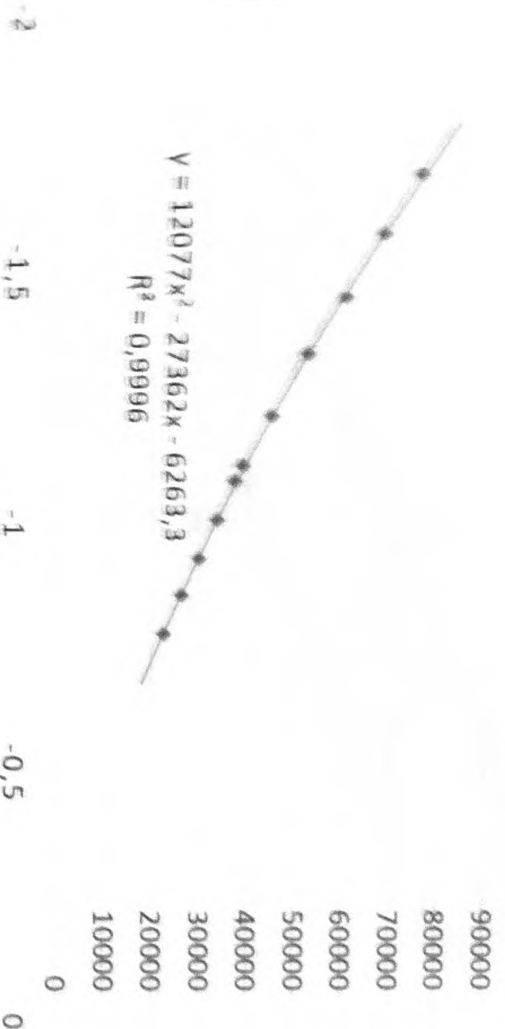


Рисунок 2.13 – Графік залежності ваги натяжного пристрою від переміщення каретки натяжного пристрою

Також була розроблена модель конвеєра зображені на рисунках 2.14-2.15 в програмному комплексі SolidWorks , що дає можливість в подальшому провести комп'ютерне моделювання робочих процесів підчас прикладання розрахованих навантажень.

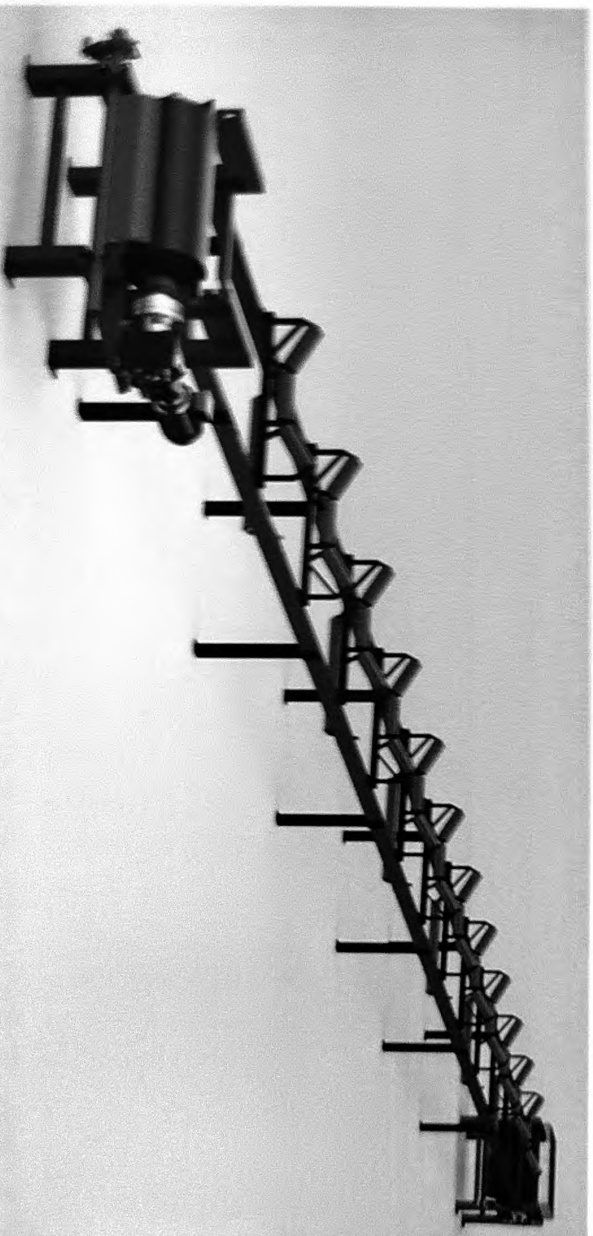


Рисунок 2.14 – 3D модель конвеєра

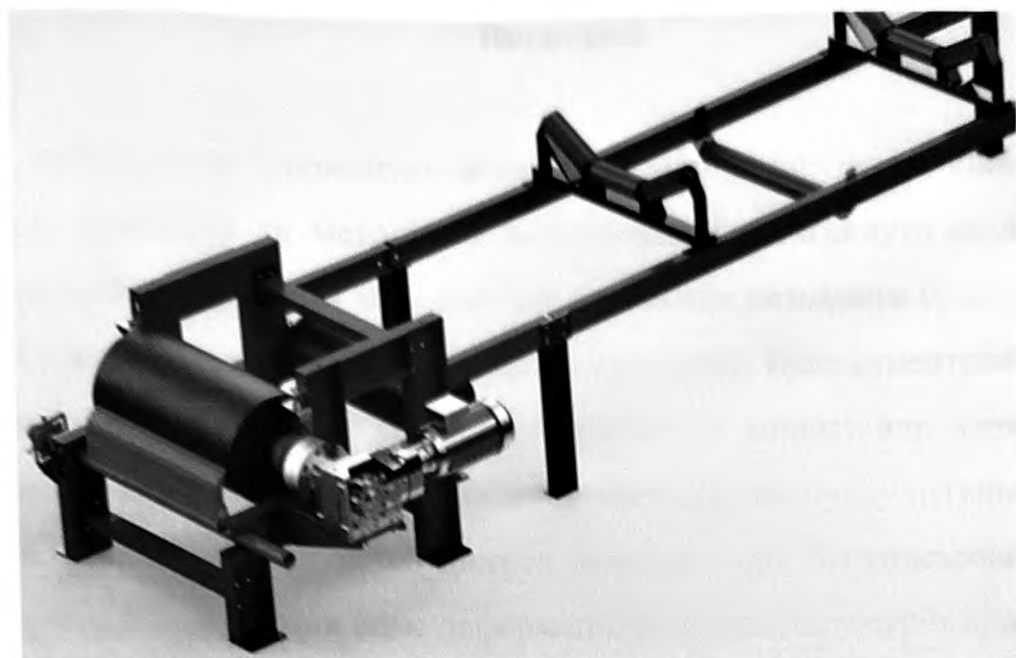


Рисунок 2.15 – Деталізована модель механізму привода конвеєра.

Висновки

У роботі було проведено детальний аналіз існуючих конструкцій стрічкових конвеєрів та методів їх моделювання. Розглянуто особливості двомасових і багатомасових моделей, що дозволило визначити їх переваги та недоліки в дослідженні динамічних процесів у стрічці. Було акцентовано увагу на важливості правильного вибору математичної моделі для адекватного відображення хвильових процесів, що виникають під час пуску та гальмування конвеєра. Аналіз літературних джерел показав, що багатомасові моделі забезпечують більш точний опис деформацій та натяжень у стрічці, особливо при дослідженні важких динамічних режимів роботи конвеєрів. Це підкреслює важливість використання саме таких моделей для оптимізації роботи сучасних стрічкових конвеєрів. У ході проведеного дослідження була розроблена та проаналізована математична модель руху стрічкового конвеєра з двома приводами та натяжним пристроєм. Застосування кінцеворозмірної моделі зосереджених мас дозволило детально вивчити перехідні процеси та хвильові деформації в стрічці під час пуску, гальмування та зміни швидкості конвеєра. Було встановлено критичні значення тягового фактора для запобігання пробуксовці стрічки на приводних барабанах, що сприяє зниженню зносу стрічки та підвищенню її довговічності. Розроблена модель дозволяє оптимізувати роботу натяжного пристрою, що забезпечує стабільність роботи конвеєра в умовах змінних динамічних навантажень, знижуючи ризик аварійних ситуацій та підвищуючи ефективність експлуатації стрічкових конвеєрів.

Встановлено, що при зміні швидкості руху стрічки спостерігаються різкі коливання величини пробуксовки. Збільшення пробуксовки свідчить про

				ГМтаМ 602ММв.042-00.00.000 ПЗ			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Лім.	Лист	Листів
Розроб.		Шевченко	С.Г.	23.08	Н		
Перев.		Фролов	В.М.	23.08			
Керівн.							
Н. контр.		Васильєв	В.	28.08			
Затв.		Орисенко	В.М.	29.08			
Висновки					Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		

Список литературы

1. Sanjay Sakharwade, Shubhrata Nagpal Analysis of transient belt stretch for horizontal and inclined belt conveyor system // International Journal of Mathematical, Engineering and Management Sciences. 2019, vol. 4, no 5, pp. 1169—1179. DOI: 10.33889/IJMEMS.2019.4.5-092.
2. Indraswari Kusumaningtyas, Ashley J. G. Nuttall, Lodewijks G. Dynamics of multi-ple-drive belt conveyors during starting // Applied Mechanics and Materials. 2016, vol. 842,pp. 141—146. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.842.141
3. Miloradovic N., Vujanac R., Miloradovic D. M., Glisovic J. Determination of resistance to motion during operation of belt conveyor // Machines. Technologies. Materials. 2021, vol. 15, no 3, pp. 86—88
4. Takagi K., Nishida G., Maschke B., Asaka K. Distributed parameter system modeling / Soft Actuators. Asaka K., Okuzaki H. (Eds.). Springer, Singapore. 2019, pp. 403—415. DOI: 10.1007/978-981-13-6850-9_24
5. Yongbo Guo, Fansheng Wang Multi body dynamic equations of belt conveyor and the reasonable starting mode // Symmetry. 2020, vol. 12, no 9, article 1489. DOI: 10.3390/sym12091489.
6. Rupali S. Turpan, Devesh Kumar, Modak J. P., Saurabh Mathur Review of transient dynamics of belt conveyor // Dogo Rangsang Research Journal. 2020, vol. 10, issue 06, no 9. DOI: 10.46528/DRSRJ.2020.V10I06N09.09
7. Rahman A., Robinson W. A., Carr M. J., Wheeler C. A dynamic analysis of the rail conveyor system / 13th International Conference on Bulk Materials, Storage, Handling & Transportation. Conference Paper, 2019

ГТМам 602ММв.042-00.00.000 ПЗ

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат	Список літератури			
Розроб.	Шевченко			21.01				
Перев.	Фролов			23.08				
Керівн.								
Н. контр.	Васильєв			28.08				
Зате.	Орисенко			29.08	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»			
					Лит.	Лист	Листів	
					Н			

8. Papiu G., Lazartzi B., Orasiak T. Opportunities to improve the efficiency of the «GRAWEC 1200» belt conveyor // Transport Problems. 2020, vol. 15, no 4, part 2, pp. 215—226, DOI: 10.21307/tr-2020-061.
9. Fei Zeng, Cheng Yan, Qing Wu, Tao Wang Dynamic behaviour of a conveyor belt considering non-uniform bulk material distribution for speed control // Applied Sciences. 2020, vol. 10, no 13. DOI:10.3390/10134436
10. ДСТУ 2676-94 Конвеєри стрічкові стаціонарні. Загальні технічні вимоги.
11. ДСТУ 3591-97 Конвеєри стрічкові. Терміни та визначення.
12. . ДСТУ 4156-2003 Конвеєри стрічкові. Системи електропривода. Методика розрахунку та вибору..
13. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підймальних і транспортувальних машин: підручник / В. С. Бондарев та ін. Київ: Вища шк., 2009. 734 с
14. Коруняк П. С., Малащенко В. О. Спосіб регулювання форми поперечного перерізу стрічки стрічкового конвеєру. Підйомно-транспортна техніка. 2015. № 1. С. 48–51.
15. Кобець А.С., Дирда В.І., Козуб Ю.Г., Ракша С.В. та ін. Підйомно-транспортні машини: підручник. - Луганськ: ДЗ «ЛНУ ім. Т. Шевченка», 2013. - 218 с.
16. Бондарев В.С., Дубиненць О.І., Колісник М. П., Бондарев С. В., Горбатенко Ю.П., Барабанов В. Я. Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин : підручник. - К. : Вища школа, 2009. - 734 с.
17. Григоров О. В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини : навч. посібник – Харків : НТУ «ХПШ», 2006. – 304 с.

18. Гончарук О.М., Стрілець В.М. Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортерна техніка. посібник. - Рівне, 2006, 344 с.
<https://works.doklad.ru/view/3IF4UrJ8Hmc/all.html>

19. Харун, В. Р. Вантажопідіймальні машини та машини безперервного транспорту: конспект лекцій/В. Р. Харун, Д. Ю. Петрина. - Івано-Франківськ:ІФНТУНГ, 2015. - 152 с. <http://chitalnya.nung.edu.ua/node/2825>

20. Пасіка В. Р., Малащенко В. О., Коруняк П. С. Пропозиції до проектування стрічкових конвеєрів з розширеними функціональними можливостями. Підйомно-транспортна техніка. 2020. № 1. С. 61–66.

21. 1. Любін М. В. Механізація транспортуючих робіт. Навчальний посібник / М. В. Любін – Вінниця: РВВ ВДАУ, 2004. – 212 с.

22. 2. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини. Підручник / Ф. К. Іванченко – К: Вища школа, 1993. – 413 с.

23. 3. Любін М. В. Механізація транспортуючих робіт. Частина 2. Транспортуючі машини без тягового органу: Навчальний посібник / М. В. Любін – Вінниця: РВВ ВНАУ, 2010. – 228 с.

24. 4.Методичні вказівки до виконання індивідуальних завдань з дисциплін «Підйомно-транспортні машини» і «Механізація навантажувально-розвантажувальних і транспортно-складських робіт» на тему: «Розрахунок стрічкового конвеєра»(напряму: 6.050503 «Машинобудування») / укл. Кабаков А.М. — Дніпродзержинськ: ДДТУ, 2014. — 30 с

25. 5. Коруняк П., Баранович С., Ковальчук Т. Шляхи вдосконалення конструкцій стрічкових конвеєрів. Вісник Львівського національного аграрного університету: агроінженерні дослідження. 2014. № 18. С. 245–250.

26. 6. Пасіка В. Р., Малащенко В. О., Коруняк П. С. Проектування стрічкових конвеєрів з розширеними функціональними можливостями. Матеріали XIV Між-народного симпозиуму українських інженерів-механіків, 23-24 трав. 2019 р. Львів: НУ «Львівська політехніка», 2019. С. 65–67.

Додатки

Презентаційні матеріали за темою:

«Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою
стрічкового конвеєра для забезпечення стабільності та
ефективності роботи»

**Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки**

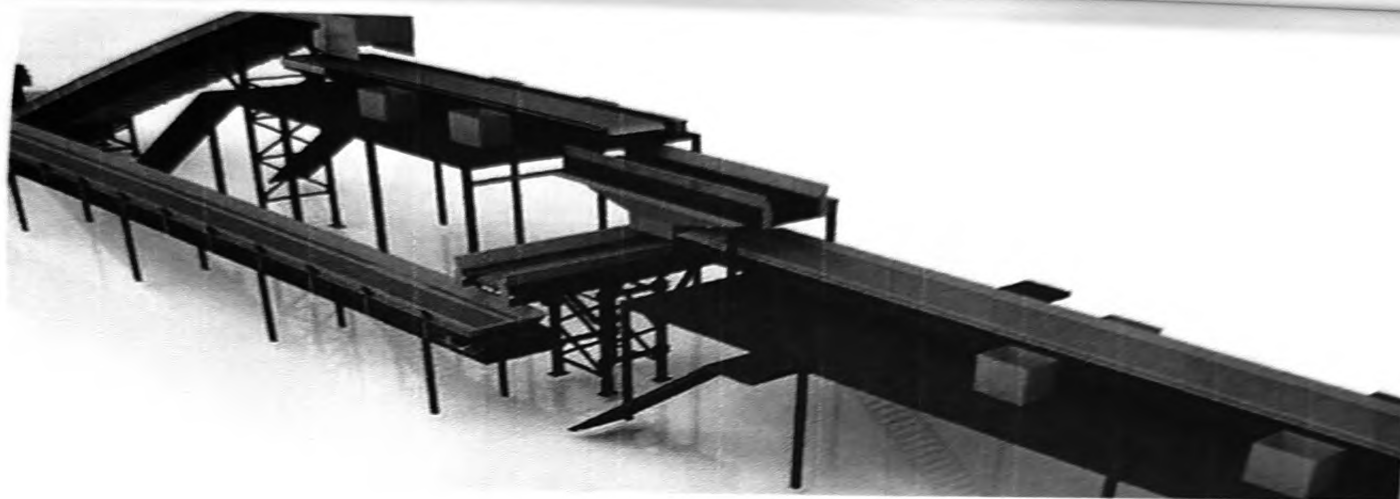
Кваліфікаційна робота магістра

на тему:

**Оптимізація вибору параметрів натяжного пристрою стрічкового
конвеєра для забезпечення стабільності та ефективності роботи**

**Виконав: студент VI курсу, групи 602ММв
133 Галузеве машинобудування
Шевченко Євген Володимирович
Керівник д.т.н. професор. Фролов Є.А.
Рецензент Молчанов П.О.**

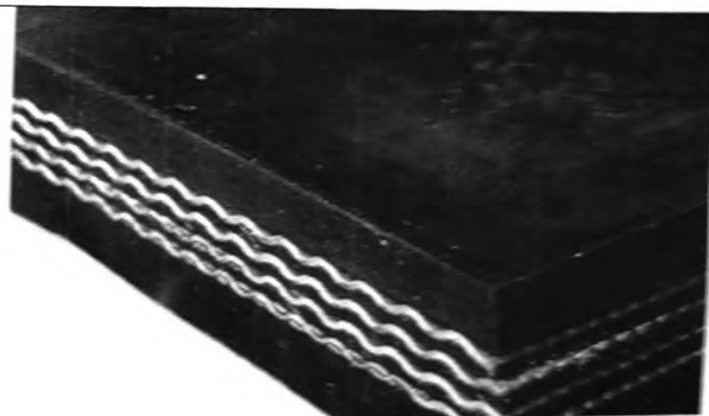
Полтава 2024



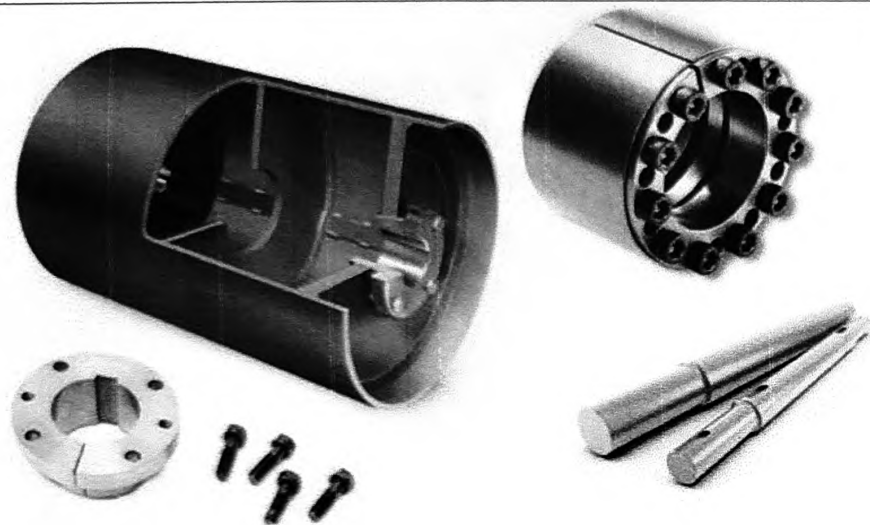
Конвейори стрічкові



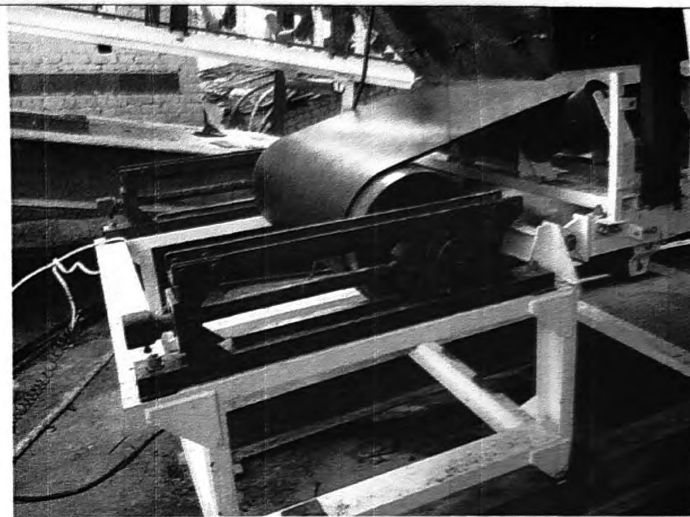
Горизонтальний стрічковий конвеєр



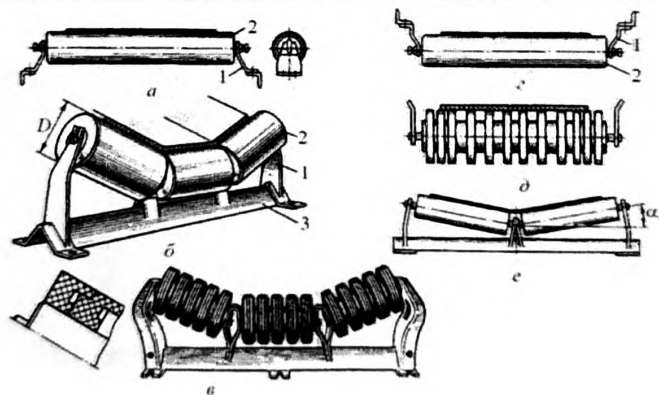
Транспортерна стрічка



Привідний барабан



Натяжний барабан



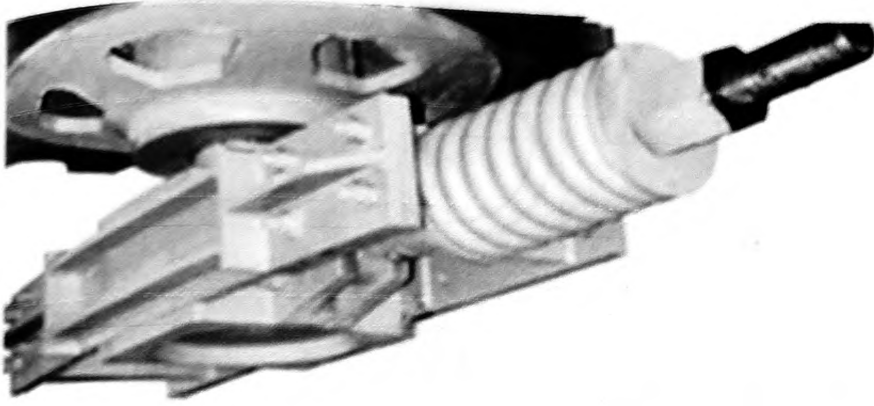
Ролико опори



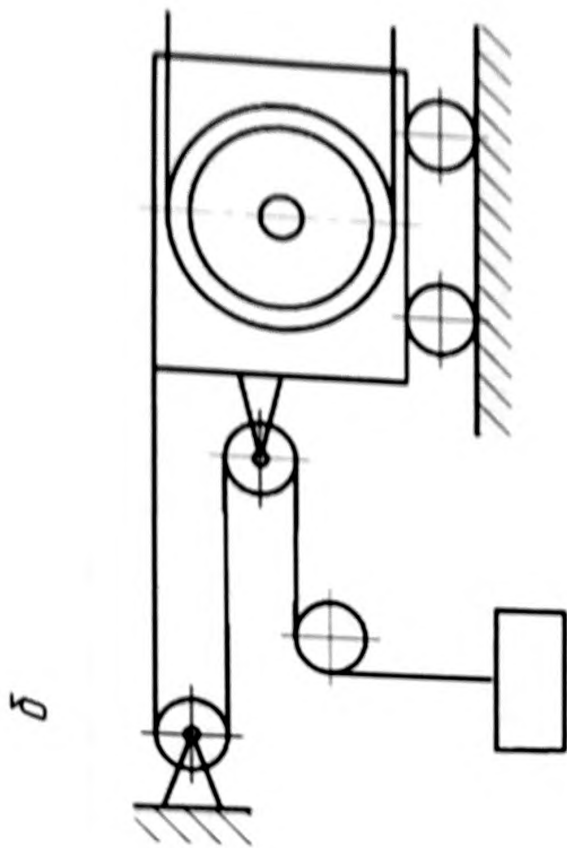
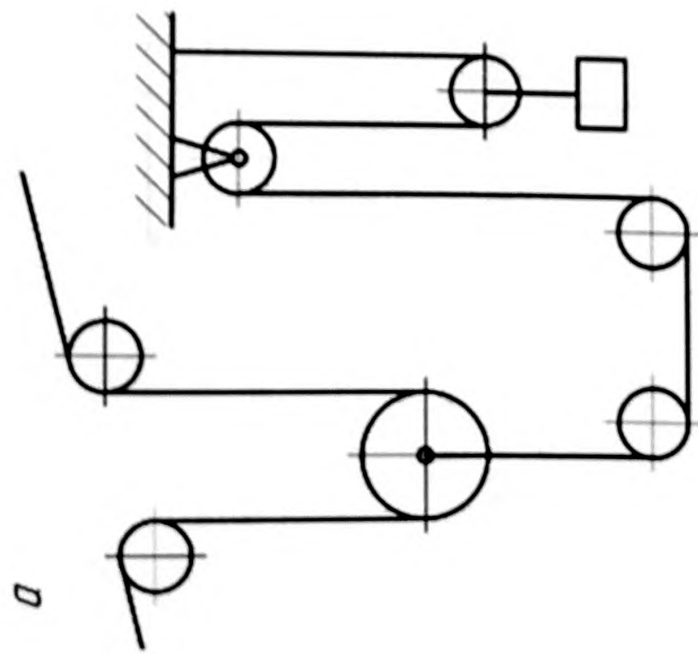
Гвинтові натяжні пристрої



Противажні натяжні пристрої

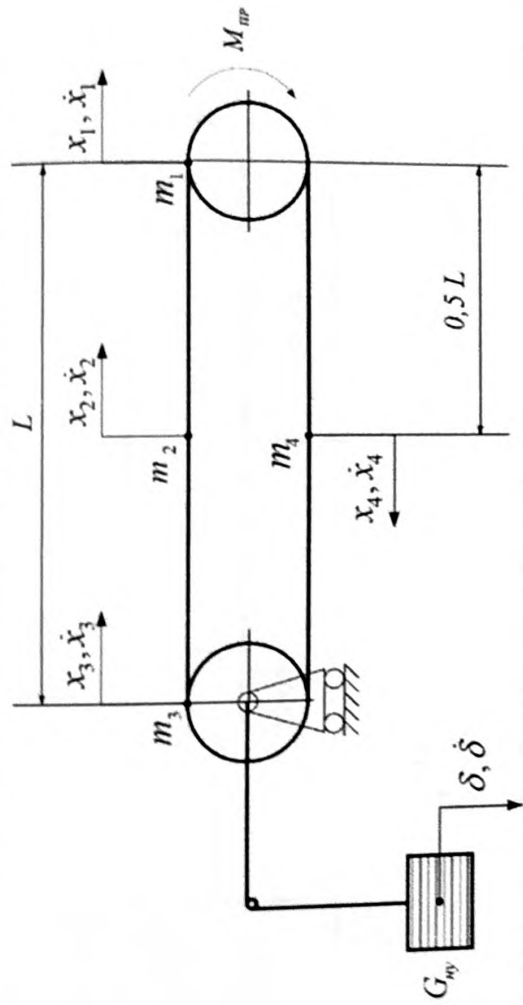


Пружинний натяжний пристрій

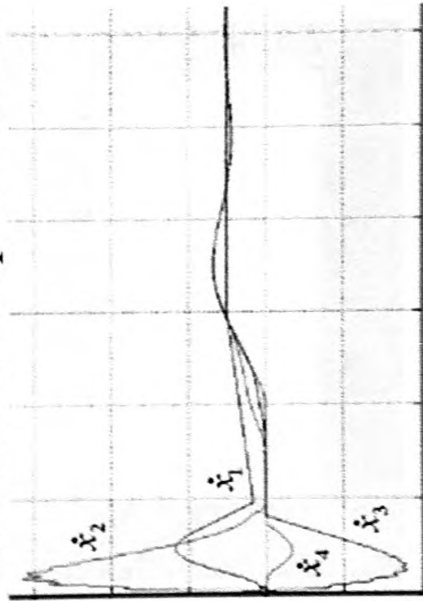


Схемы противаважних натяжних систем

Аналіз моделей стрічкових конвеєрів

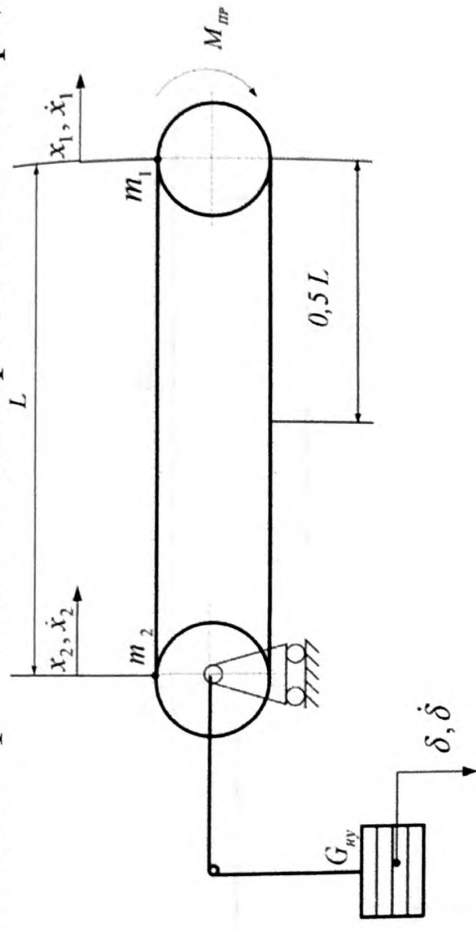


Розрахункова схема стрічкового конвеєра з п'ятьма зосередженими масами

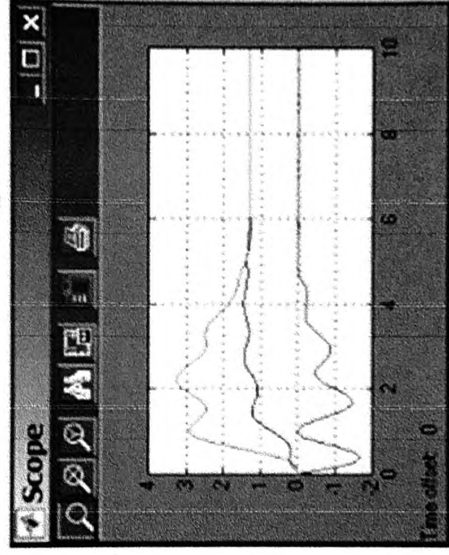


Перехідні процеси за швидкостями тих зосереджених мас, які представляють стрічку

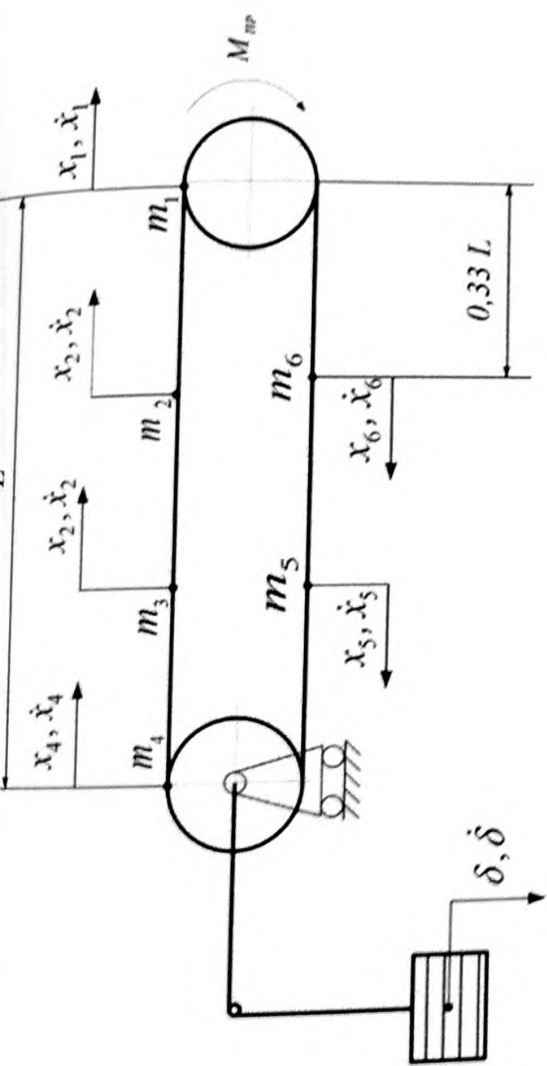
Елементарна модель стрічкового конвеєра з двома зосередженими масами



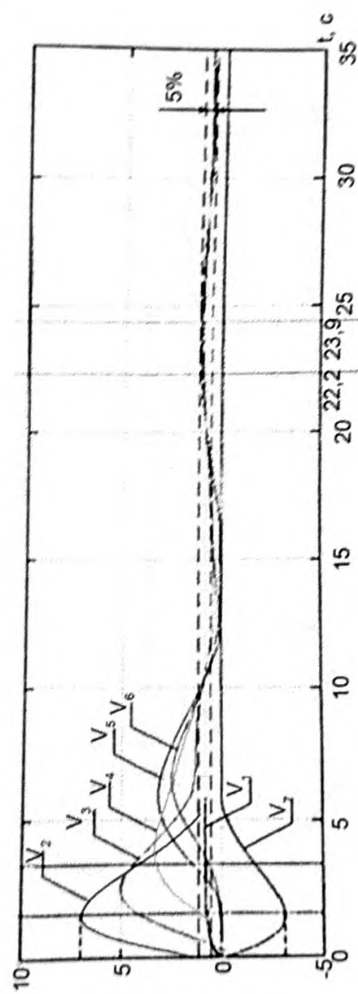
Елементарна модель стрічкового конвеєра з двома зосередженими масами



Результати моделювання перехідних процесів

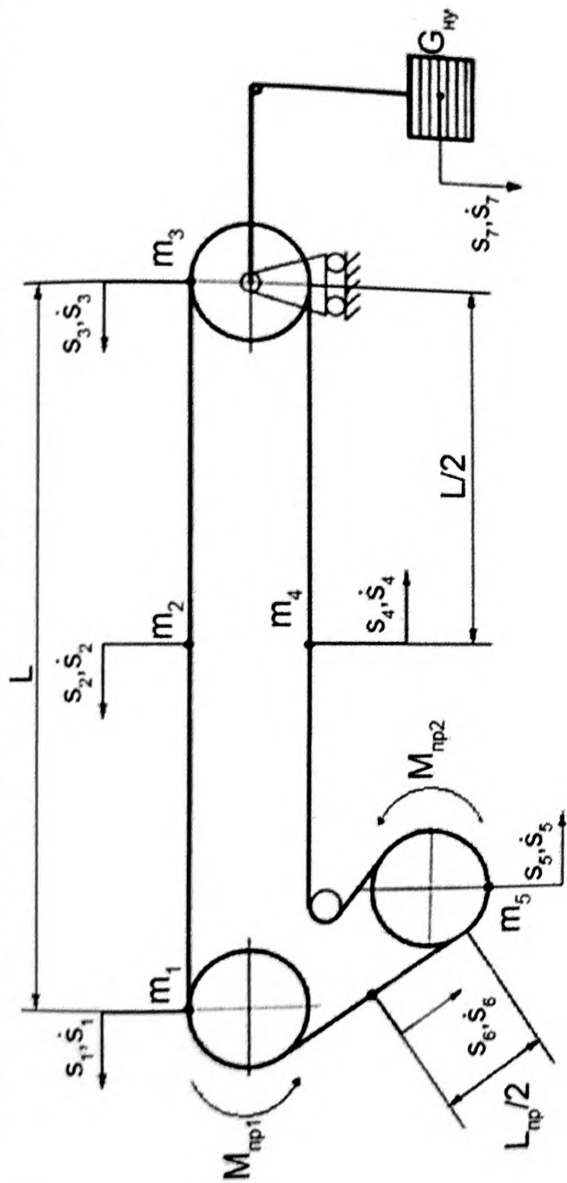


Розрахункова схема конвеєра із сімома зосередженими масами

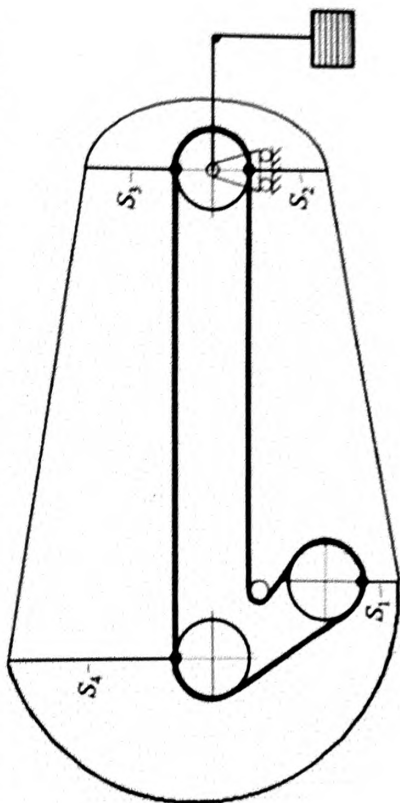


Перехідні процеси за швидкостями зосереджених мас при семимасовій моделі

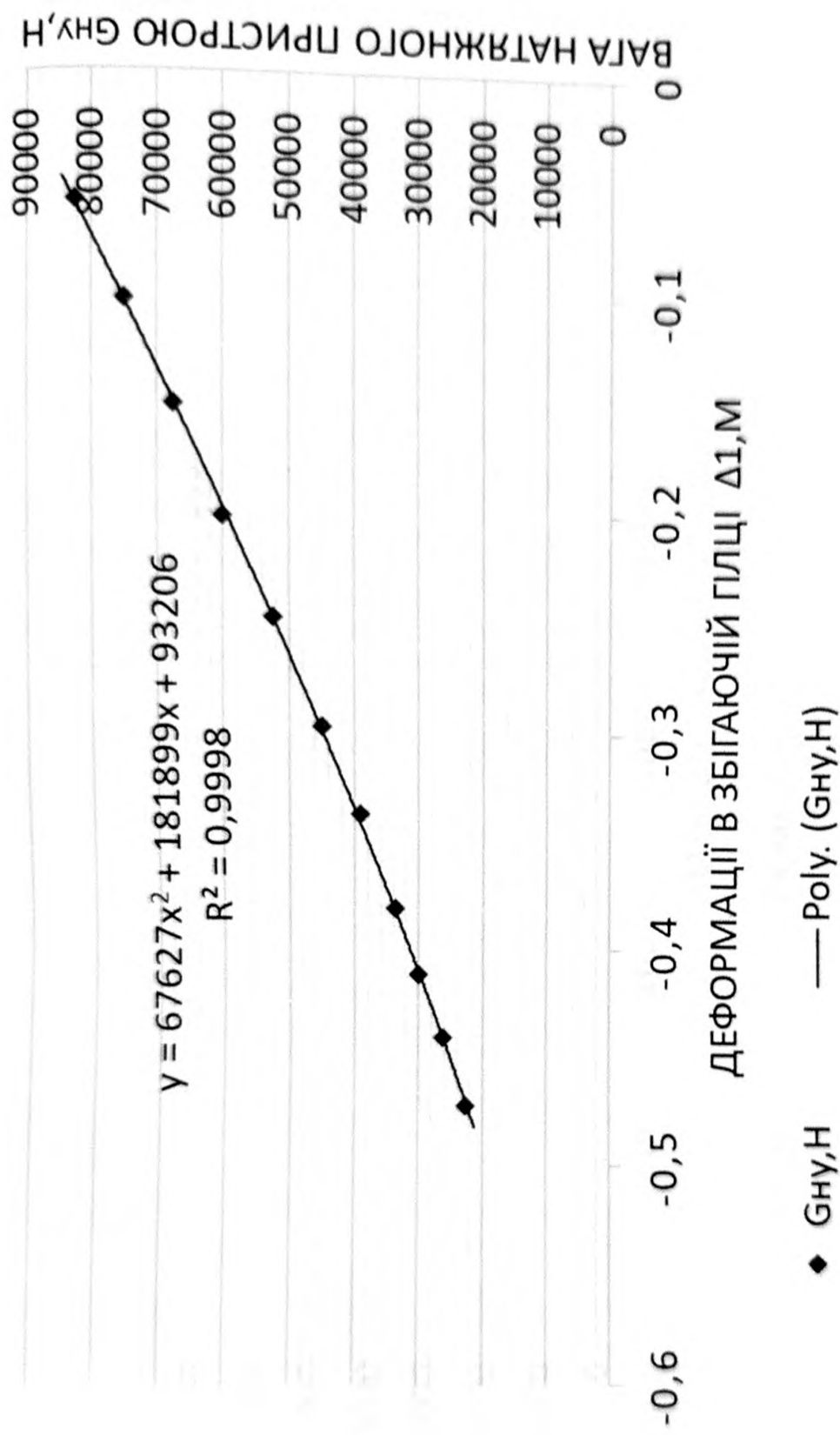
Розрахункова схема конвеєрної установки з двома приводами і натяжним пристроєм



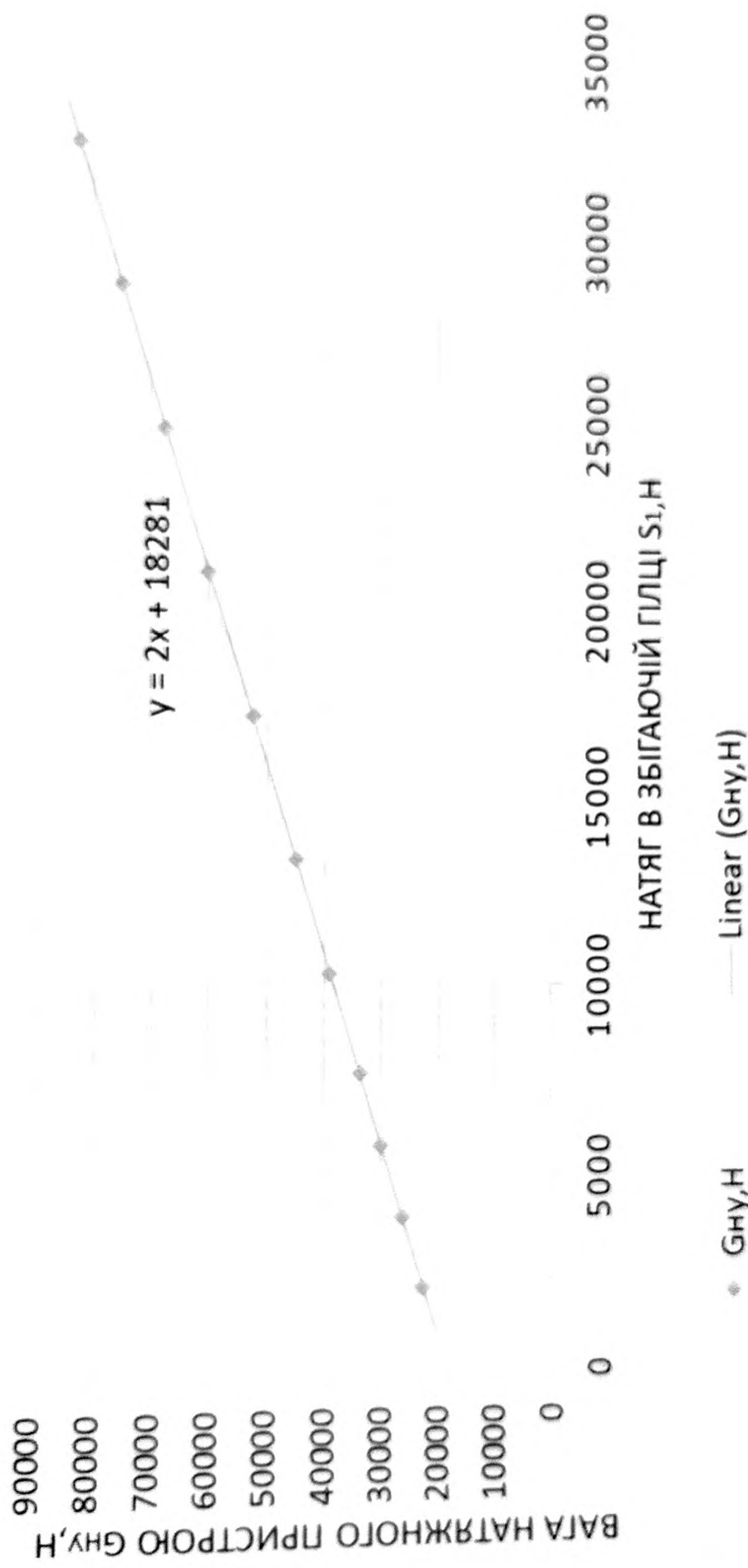
Розрахункова схема конвеєра з двома приводними двигунами



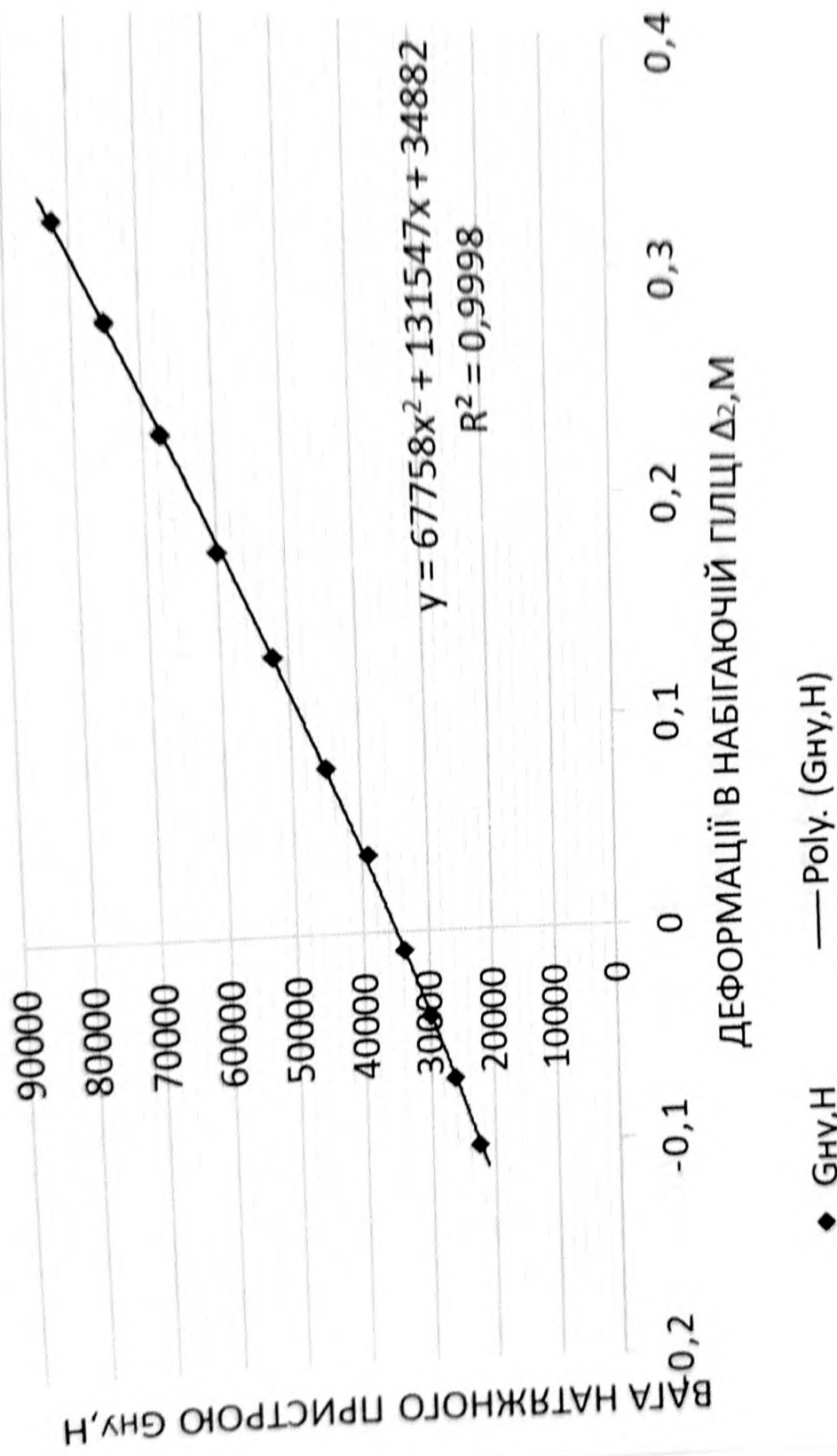
Діаграма натягів стрічки



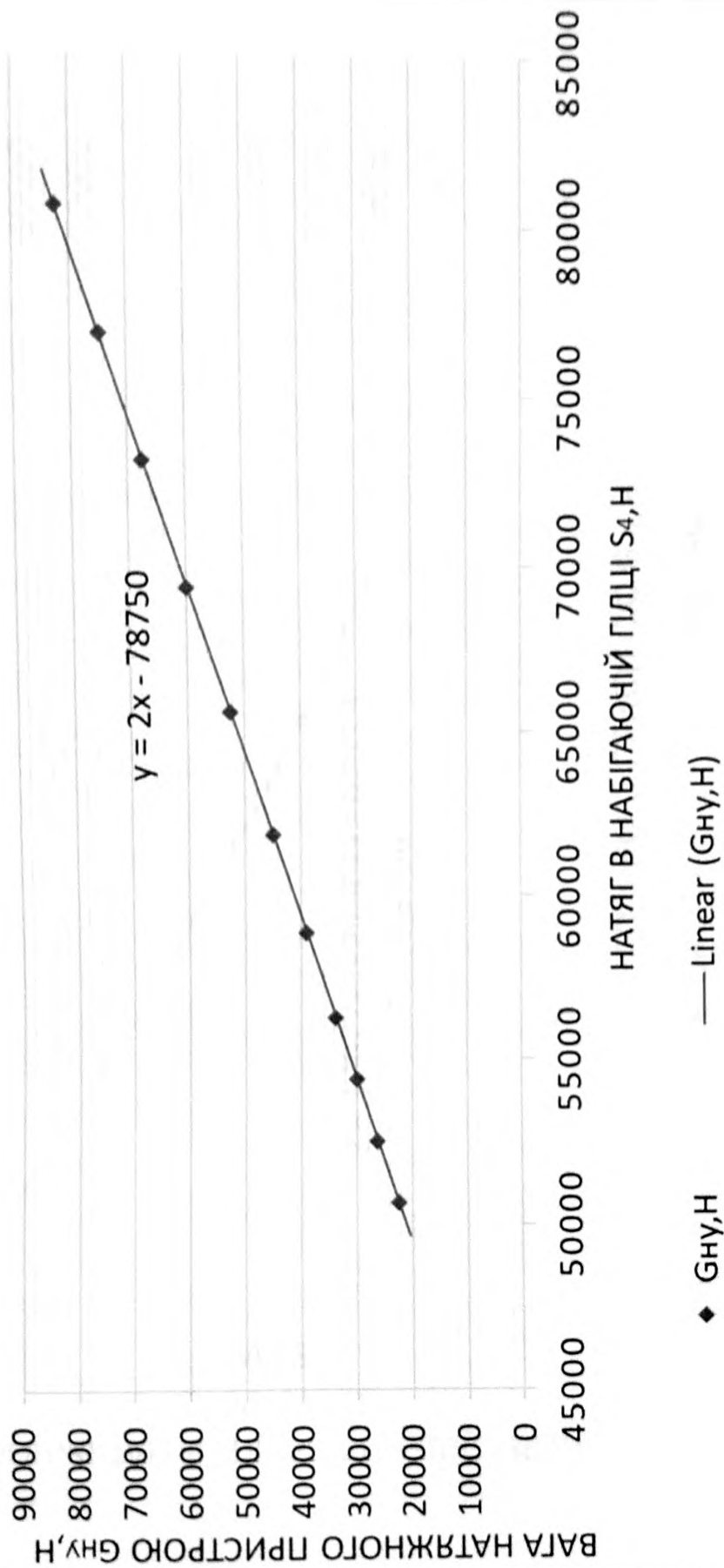
Графік залежності ваги натяжного пристрою від деформації в збігаючій гілці



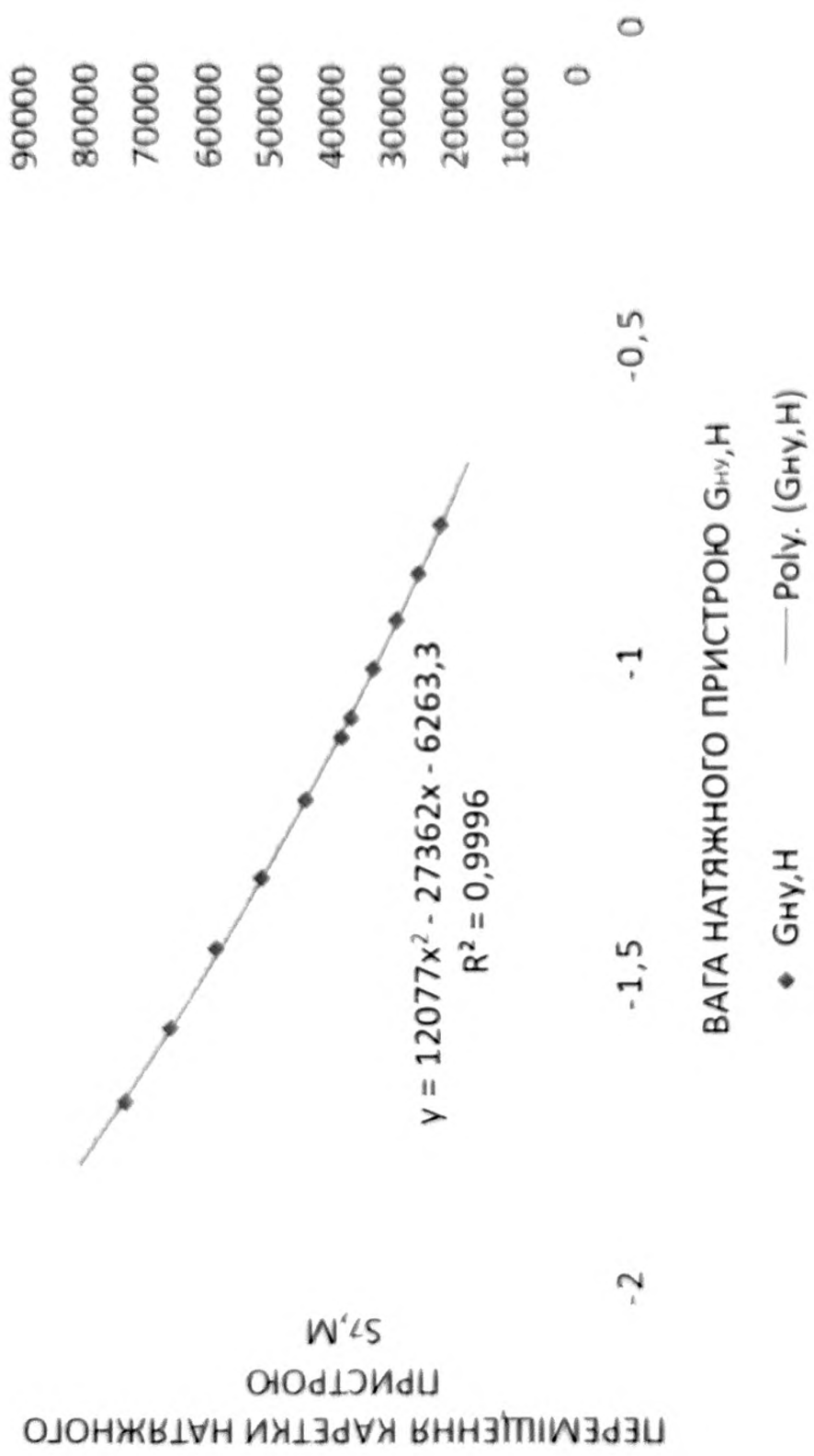
Графік залежності ваги натяжного пристрою від натягу в збігаючій гілці



Графік залежності ваги натяжного пристрою від деформації в набігаючій гілці



Графік залежності ваги натяжного пристрою від натягу в набігаючій гілці



Графік залежності ваги натяжного пристрою від переміщення каретки натяжного пристрою

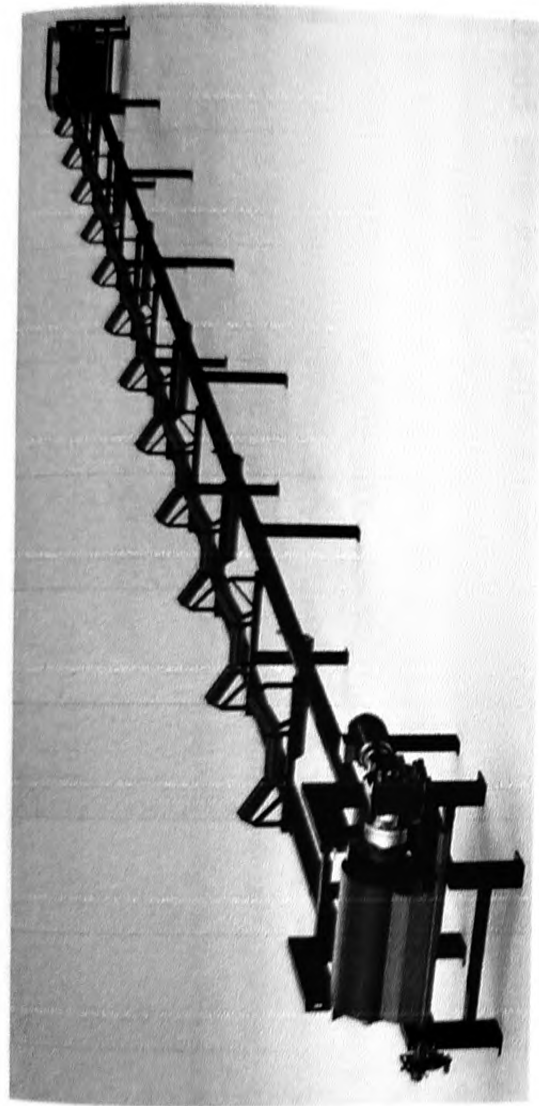
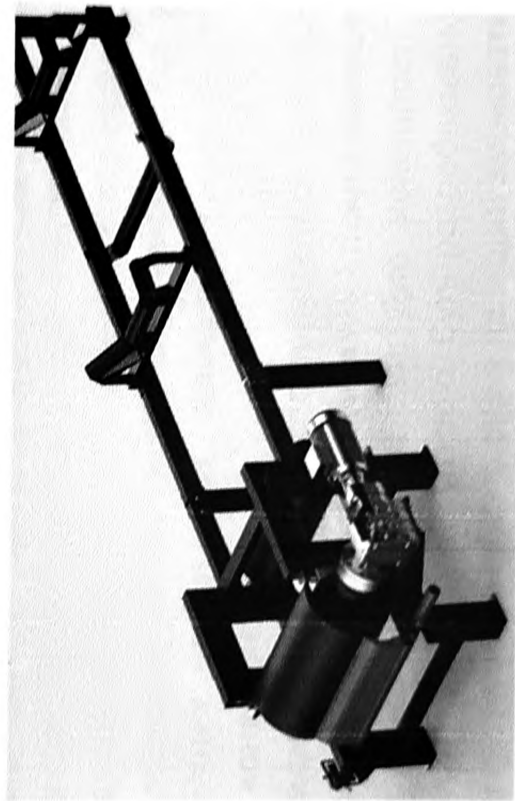


Рисунок – 3D модель конвеєра



Рисунок– Деталізована модель механізму привода конвеєра.

Висновки

У роботі було проведено детальний аналіз існуючих конструкцій стрічкових конвеєрів та методів їх моделювання. Розглянуто особливості двомасових і багатомасових моделей, що дозволило визначити їх переваги та недоліки в дослідженні динамічних процесів у стрічці. Було акцентовано увагу на важливості правильного вибору математичної моделі для адекватного відображення хвильових процесів, що виникають під час пуску та гальмування конвеєра. Аналіз літературних джерел показав, що багатомасові моделі забезпечують більш точний опис деформацій та натяжень у стрічці, особливо при дослідженні важких динамічних режимів роботи конвеєрів. Це підкреслює важливість використання саме таких моделей для оптимізації роботи сучасних стрічкових конвеєрів. У ході проведеного дослідження була розроблена та проаналізована математична модель руху стрічкового конвеєра з двома приводами та натяжним пристроєм. Застосування кінцеворозмірної моделі зосереджених мас дозволило детально вивчити перехідні процеси та хвильові деформації в стрічці під час пуску, гальмування та зміни швидкості конвеєра. Було встановлено критичні значення тягового фактора для запобігання пробуксовці стрічки на приводних барабанах, що сприяє зниженню зносу стрічки та підвищенню її довговічності. Розроблена модель дозволяє оптимізувати роботу натяжного пристрою, що забезпечує стабільність роботи конвеєра в умовах змінних динамічних навантажень, знижуючи ризик аварійних ситуацій та підвищуючи ефективність експлуатації стрічкових конвеєрів.

Встановлено, що при зміні швидкості руху стрічки спостерігаються різкі коливання величини пробуксовки. Збільшення пробуксовки свідчить про збільшення натягу вантажної гілки і зменшення натягу порожньої гілки, що призводить до провисання стрічки конвеєра і пробуксовки. Для можливості регулювання $E_{\text{стаб}}$ визначимо залежність між його величиною і вагою натяжного пристрою. Суть розробленої системи стабілізації полягає в тому, щоб при переході швидкості руху стрічки з одного рівня на інший змінювати вагу натяжного пристрою, тим самим підтримуючи тяговий фактор на заданому рівні.