

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

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

до роботи
Магістр

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему Дослідження робочих процесів обладнання для
переміщення сипких, дрібно кускових та пластичних матеріалів

Виконав: студент VI курсу,
групи 602-МММ
напряму підготовки (спеціальності)
133 – Галузеве машинобудування

(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)

Бондаренко М. Ю.

(прізвище та ініціали)

Керівник Вірченко В.В.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.

(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка
імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

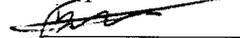
**Дослідження робочих процесів обладнання
для переміщення сипких, дрібно кускових та
пластичних матеріалів**

Магістерська робота

Лист затвердження

ГМіМ.602-мММ.003-00.00.000 МР - ЛЗ

Розробив магістрант групи 602-мММ

 М.Ю. Бондаренко
„15” 01 2024 р.

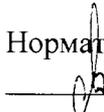
Керівник к.т.н., доцент

 В.В. Вірченко
„14” 02 2024 р.

Технологічний контроль к.т.н. доцент

 О.С. Васильєв
„16” 01, 24, 2024 р.

Нормативний контроль к.т.н. доцент

 О.С. Васильєв
„15” 01 2024 р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ

Завідуючий кафедрою
галузевого машинобудування
і мехатроніки, к.т.н, доцент



О.В. Орісенко

№ строки	Формат	Позначення	Найменування	Кіл. листів	№ екз.	Примітки
1						
2			<i>Документація загальна</i>			
3						
4			<i>Вперше розроблена</i>			
5						
6	A4	ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000ТЗ	Технічне завдання	1	-	
7	A4	ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000А	Анотація	1	-	
8	A4	ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000ПЗ	Пояснювальна записка			
9						
10			<i>Документація наукова</i>			
11						
12			<i>Вперше розроблена</i>			
13						
14	A4	ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000ПМ	Презентаційні матеріали	19		
15						
16						
17						
18						
19						
20						
21						
22						
23						
24						

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000 ВР			
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата	Дослідження робочих процесів обладнання для переміщення сипких, дрібно кускових та пластичних матеріалів	Літ.	Лист	Листів
Розроб.	Бондаренко		<i>[Підпис]</i>	15.01		н	1	1
Перев.	Вірченко		<i>[Підпис]</i>	19.12	Відомість магістерської роботи	НУПТ імені Юрія Кондратюка 2024р.		
Нконтр.	Васильєв		<i>[Підпис]</i>	16.01				
Затв.	Орисенко		<i>[Підпис]</i>	19.01				

6. Консультанти розділів роботи

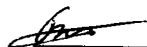
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 05.09.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Літературний огляд	27.09.2023 р.	
2	Обґрунтування вибраної теми	18.10.2023 р.	
3	Наукові дослідження за вказаною темою, розробка наукових плакатів	10.12.2023 р.	
4	Представлення готової роботи на кафедрі	17.01.2024 р.	

Студент


(підпис)

Бондаренко М. Ю.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Вірченко В. В.
(прізвище та ініціали)

Анотація

М. Ю. Бондаренко. Дослідження робочих процесів обладнання для переміщення сипких, дрібно кускових та пластичних матеріалів.

Магістерська дипломна робота на здобуття освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» зі спеціальності 133 «Галузеве машинобудування», напрям освіти «Механічна інженерія», – Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава 2024.

Магістерська дипломна робота присвячена питанню дослідження та покращення робочих процесів обладнання для переміщення сипких, дрібно кускових та пластичних матеріалів.

На основі проведення теоретичних та експериментальних досліджень було запропоновано модернізовану конструкцію стрічкового конвеєра та перевірено характеристики стрічок, які використовуються у конвеєрі.

Ключові слова: стрічковий конвеєр, стрічка, конвеєр, транспортування, продуктивність, міцність, модернізація.

					ГМіМ.602–мММ.003–00.00.000.А			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Анотація	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бондаренко		15.01			1	1
Керівн.		Вірченко		19.12				
Перевір.		Васильєв		16.01				
Н. Контр.		Васильєв		15.01				
Затвер.		Орисенко		19.01				
						НУПП імені Юрія Кондратюка 2024		

The Summary

M. Yu. Bondarenko. Study of working processes of equipment for moving loose, small pieces and plastic materials.

Master's thesis for obtaining the educational and qualification level "master" in specialty 133 "Industrial mechanical engineering", direction of education "Mechanical engineering", National University "Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic", Poltava 2024.

The master's thesis is devoted to the issue of research and improvement of the work processes of equipment for moving loose, small pieces and plastic materials.

On the basis of theoretical and experimental studies, a modernized design of the belt conveyor was proposed and the characteristics of the belts used in the conveyor were checked.

Key words: belt conveyor, belt, conveyor, transportation, productivity, strength, modernization.

ГМiМ.602-МММ.003-00.00.000.А				
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Бондаренко		15.01
Керівн.		Вірченко		19.12
Перевір.		Васильєв		15.01
Н. Контр.		Васильєв		15.01
Затвер.		Орисенко		19.01
Анотація				
		Літ..	Аркуш	Аркушів
		1	1	1
НУПП імені Юрія Кондратюка 2024				

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

**Дослідження робочих процесів обладнання
для переміщення сипких, дрібно кускових та
пластичних матеріалів**

Пояснювальна записка

до магістерської роботи

ГМіМ.602-мММ.003-00.00.000 ПЗ

Полтава – 2024 рік

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
Розділ 1 АКТУАЛЬНІСТЬ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	12
1.1 Конструкція, типи стрічкових конвеєрів	12
1.2 Конвеєрна стрічка.....	16
1.3 Барабани	29
Розділ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ	32
2.1 Конструктивні особливості і принцип роботи стрічкового конвеєра..	32
2.2 Математична модель стрічкового конвеєра.....	35
Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	46
ВИСНОВКИ	58
ЛІТЕРАТУРА	59

					ГМіМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		2

ВСТУП

Останнім часом товарообіг як у всьому світі, так і в Україні значно зріс, а це також спричинило зростання транспортних і вантажно-розвантажувальних робіт у всіх сферах економіки. Завдяки своїй надійності, простоті конструкції та можливості переміщення вантажів на великі відстані стрічкові конвеєри є найпоширенішим типом транспортувальних засобів[1]. Стрічкові конвеєри були широко використані в сільському господарстві та гірничовидобувній промисловості через їхню простоту та продуктивність, яка досягає 30 000 тон на годину та здатність переміщувати вантажі на відстані від кількох метрів до 10–15 км [2].

Незважаючи на переваги використання стрічкових конвеєрів, існують і недоліки. Знос стрічки, привідних барабанів і підтримуючих роликів є результатом взаємодії цих компонентів.

Проблема взаємодії конвеєрної стрічки з барабаном висвітлена в багатьох публікаціях, лише невелика частина яких цитується нижче [1–5]. У відомих роботах трохи менше уваги приділялося випадкам, коли барабан футерували високофрикційним матеріалом; проблеми ж вибору найкращої товщини футерівки барабана були недостатньо розглянуті.

Як показав світовий досвід конвеєрного транспорту, ця проблема досить актуальна для конвеєрного транспорту та досить складна для аналітичного вирішення з кількох причин. Відсутність достатніх фізичних і математичних моделей для різноманітних діючих факторів фізичної природи, особливо в області контакту стрічки та барабана під час зволоження та влучання матеріалу, що транспортується, є основною причиною.

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ			
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Вступ	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бондаренко		15.01			3	2
Керівн.		Вірченко		19.12				
Перевір.		Васильєв		18.01				
Н. Контр.		Васильєв		18.01				
Затвер.		Орисенко		19.01				
						НУПІ імені Юрія Кондратюка 2024		

Разом це призвело до створення низки емпіричних методів вимірювання, які використовували різні коефіцієнти (наприклад, коефіцієнт зчеплення, площа фактичного контакту стрічки та барабана та інші) для різних ситуацій експлуатації конвеєрів. Такі методи були основою для розрахункових методів, які використовувалися для проектування різноманітних технологічних конвеєрів, при цьому коефіцієнти уточнювалися для кожного конкретного випадку. Практика експлуатації конвеєрів протягом тривалого періоду часу сприяла використанню цього методу, який зібрав значну кількість важливих експериментальних даних [3].

У результаті цього багато відомих фірм у всьому світі, таких як REMA TIP TOP GmbH, NILOS GmbH & Co та інші, пропонують готові рішення проблеми футерівки барабанів і виробляють гумові покриття, включаючи необхідні клеї, різних розмірів для всіх існуючих конструкцій стрічкових конвеєрів. При цьому загальні рекомендації щодо вибору товщини гумової футерівки не завжди враховують всі експлуатаційні вимоги [4, 5]. Ситуація погіршується тим, що іноземні компанії використовують свої марки гум, параметри яких зазвичай не вказуються в технічній документації. У зв'язку з цими проблемами вітчизняні виробники стрічкових конвеєрів стикаються з труднощами самостійно працювати. Крім того, у сучасних економічних обставинах не завжди можна використовувати послуги іноземних спеціалістів.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		4

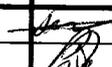
Розділ 1 АКТУАЛЬНІСЬ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ

1.1 Конструкція, типи стрічкових конвеєрів

На рис. 1.1 показано конвеєр і вхідні в нього елементи. Нескінченна транспортерна стрічка 1 забезпечує безперервний рух вантажу. Як правило, стрічка рухається приводним барабаном 2 на одному кінці та проходить навколо вільно обертового барабана 7 на іншому кінці. Цей кінець часто є натяжним, оскільки він встановлений у натяжній пристрій 8 і складає загальну конструкцію. На схемі (рис. 1.1) показано варіант, який включає окремий натяжний пристрій. Відхиляючі барабани або ролики можуть бути включені в конструкцію конвеєра для зміни кута нахилу траси, збільшення тягової здатності та натягу стрічки відповідно до її призначення. Можна підтримувати зовнішню поверхню стрічки за допомогою вільно обертових роликів 5 або відповідного настилу. Конструкція виглядає як жолобчастий конвеєр, якщо центральні горизонтальні і бічні похилі ролики підтримують стрічку, що призводить до поперечного вигину стрічки (рис. 1.1, пер. А-А).

Перехідні секції використовуються для плавного переходу стрічки з жолоба на приводні або натяжні барабани. Для переміщення насипного або штучного вантажу по горизонталі або під кутом не більш 15° застосовуються стрічкові безроликові конвеєри марки ТВ. Робоча гілка стрічки, яка несе вантаж по всій довжині, опирається на суцільний металевий настил або шини, а холоста гілка на напівкруглі ребра або суцільний настил.

Рух передається на провідний барабан приводом, який складається з редуктора 3, електродвигуна 4 і муфт і потенційних передач. На звареній рамі 6 закріплюються всі вузли, включаючи очищувальний 9, розвантажувальний 10

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ			
Розроб.		Бондаренко		15.01	Розділ 1	Літ..	Аркуш	Аркушів
Керівн.		Вірченко		19.12			5	
Перевір.		Васильєв		15.01				
Н. Контр.		Васильєв		16.01				
Затвер.		Орисенко		19.01				
						НУП імені Юрія Кондратюка 2024		

і інші пристрої. Конвеєри можуть використовуватися для горизонтального або похилого переміщення сипучих матеріалів, кускових або штучних вантажів.

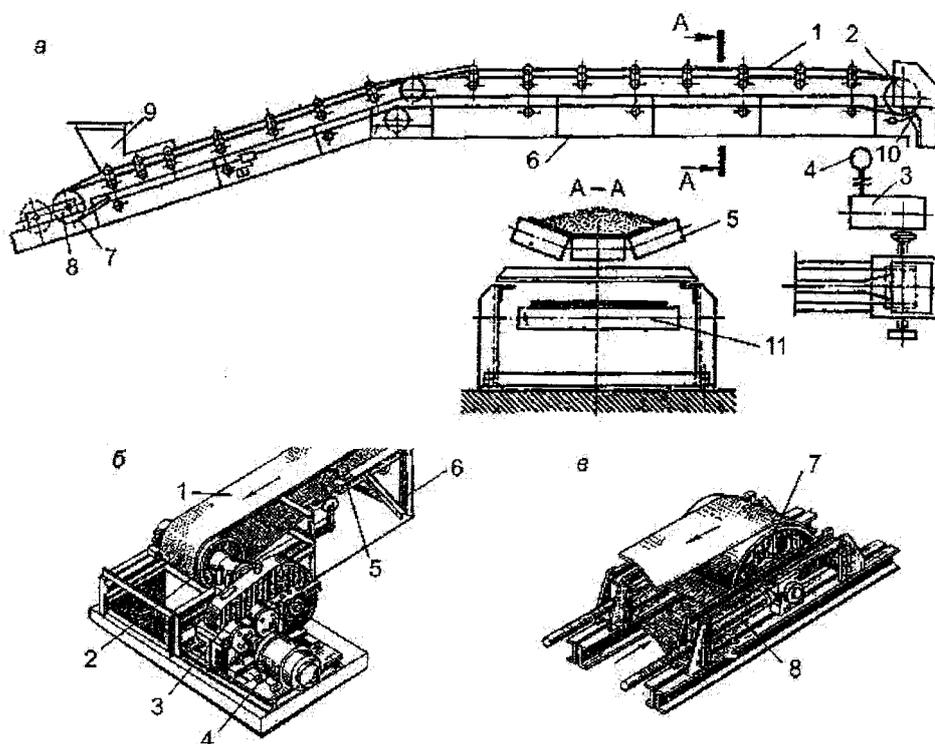


Рисунок 1.1 – Конструкція стрічкового конвеєра

Залежно від типу траси, що транспортується, стрічкові конвеєри поділяються на різні типи. Вони можуть бути горизонтальними, похилими, крутонаклонними, з мінливим кутом нахилу, горизонтально-похилими, похило-горизонтальними, Г-подібними, L-подібними, Z-подібними та U-подібними.

Згідно з рис. 1.2, горизонтальний стрічковий конвеєр є одним із найпоширеніших видів транспортерів і використовується в широкому діапазоні умов. Вони застосовуються як у промисловому виробництві, так і на складах і базах. Залежно від того, де вони використовуються, вони можуть мати будь-яку довжину.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ГМіМ.602-мММ.003-00.00.000.ПЗ

Арк.

6

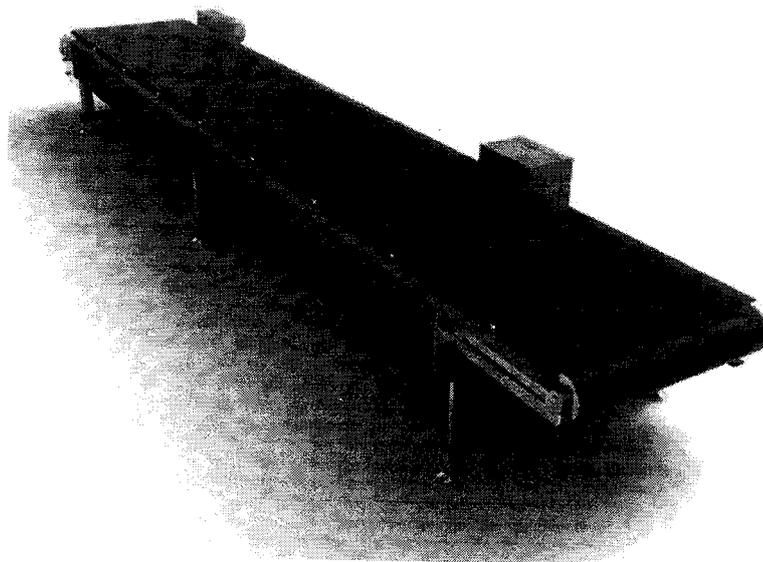


Рисунок 1.2 – Горизонтальний стрічковий конвеєр

Стрічкові конвеєри можуть мати довжину від десяти до дванадцяти кілометрів.

Похилий стрічковий конвеєр відрізняється тим, що його рухлива стрічка розташована під кутом, що відрізняє його від інших типів конвеєрів. Це зображено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 – Похилий конвеєр

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ГМіМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ

Арк.

7

Кут нахилу залежить від типу матеріалу, що перевозиться, і типу стрічки, яка може бути змінена. Транспортування здійснюється за допомогою шевронної конструкції стрічки, коли кут нахилу перевищує 18 градусів (рис. 1.4).

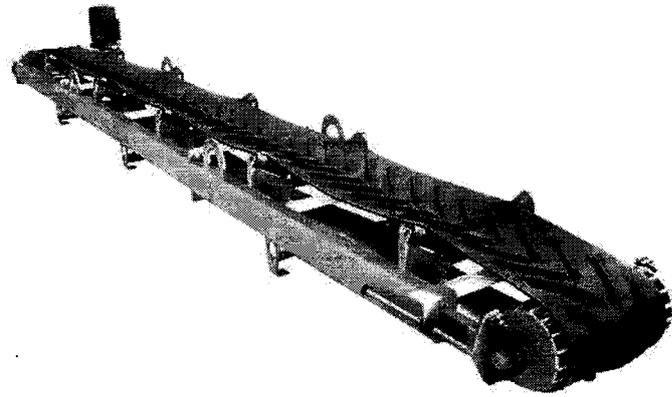


Рисунок 1.4 – Похилий конвеєр із шевронною стрічкою

Для вільного пересування в просторі пересувний стрічковий конвеєр оснащений колесами (рис. 1.5). Це дозволяє розвантажуватися в будь-якому зручному місці. Під борт вантажівки легко встановити конвеєр. Цей тип транспортера може розвантажувати сипучі, штучні та кускові вантажі.

Відзначимо, що стрічкові конвеєри можуть виробляти 30000 тонн на годину. Конвеєрні стрічки можуть мати ширину від 300 мм (вузькі) до 2000 мм (широкі). Швидкість вантажу в конвеєрах коливається від 0,5 до 5 м/с.

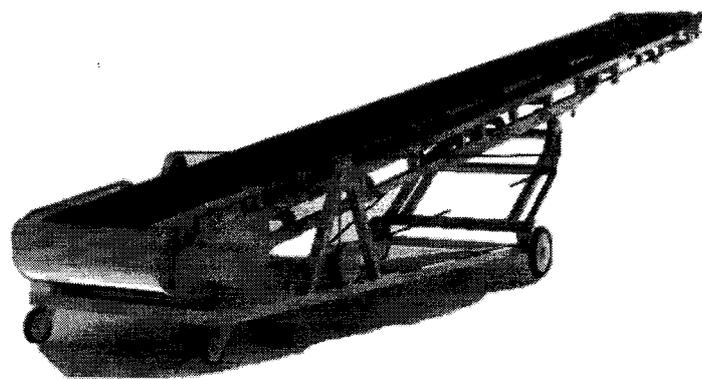


Рисунок 1.5 – Пересувний стрічковий конвеєр

					ГМІМ.602-мММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		8

1.2 Конвеєрна стрічка

Найважливішою частиною стрічкового конвеєра є конвеєрна стрічка. Для стрічкового конвеєра стрічка є як тяговим, так і вантажонесучим органом. Її міцний матеріал дозволяє перевозити різноманітні сипучі, кускові та штучні вантажі. Матеріали можна переміщати на більші відстані за допомогою конвеєрної стрічки. Її використання робить процес виробництва економічним і фактично безперебійним. Тип продукції, що транспортується, визначає матеріали та конструкційні характеристики стрічок. Вага рухається по всій довжині стрічки горизонтально, похило під невеликим нахилом або прямим кутом.

У більшості галузей використовують конвеєрні стрічки.

Конвеєрні стрічки повинні мати високу міцність для передачі тягового зусилля, поперечну гнучкість, що сприяє утворенню жолоба, обмежене подовження для зменшення ходу натяжних пристроїв, зносостійкість обкладки, стійкість до ударних навантажень, порізів, поривів, розшарування, цвілі та мікроорганізмів і комах в навколишньому середовищі. У процесі експлуатації стрічки повинні зберігати свою міцність і геометричну форму, зменшуючи ймовірність розшарування барабанів. Конвеєрна стрічка, яка достатньо довговічна та має мінімальну вартість, вважається оптимальною. Спеціальні стрічки повинні бути негорючими, стійкими до низьких температур, не набрякати в різних умовах і забезпечувати більшу стійкість до теплового навантаження. Вони також повинні дозволяти транспортувати неупаковані харчові продукти.

Гумовотканинна стрічка використовується в основному виробництві, оскільки вона є досить дешевою та має невелику вагу, гнучкість, еластичність, міцність і може мати спеціальні покриття, рифлення, шеврони та гофроборти. Гумовотканинні стрічки мають меншу масу на 25–30 відсотків порівняно з

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

гумовотросовими стрічками, що дозволяє економити електроенергію та зменшити ризик samozапалювання гумовотросових стрічок.

Кількість спеціальних прокладок залежить від умов експлуатації. У каркасі гумовотканинна стрічка може мати від шести до восьми шарів тканинних прокладок, щоб вона була більш міцною та довговічною.

Тяговий каркас гумових тканинних стрічок складається з пакета тканинних прокладок із проміжним гумовим шаром і обкладок (рис. 1.6) [3].

Каркас конвеєрної стрічки має вирішальне значення, оскільки він надає стрічці міцність на розрив і подовження, необхідну для роботи під навантаженням, а також загальну й поперечну твердість, необхідну для транспортування вантажу.

Зміцнення каркаса підвищує надійність металевих з'єднань і кріпильних деталей.

Багатошарові тканинні прокладки стрічок складаються з ниток основи, розташованих уздовж стрічки, і поперечних утокових ниток, які переплітаються з несучими нитками та обгинають основні нитки. Тип тканини визначається конструкційним і технологічним виконанням основних і утокових ниток. Тканина, яка використовується для основи та утку, має різну подовження та міцність. Поліефірні нитки по основі та поліамідні нитки по утку покращують жолобоутворення та ударну міцність.

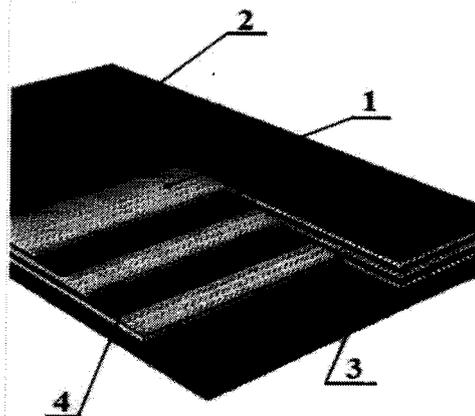


Рисунок 1.6 – Багатошарова гумовотканинна стрічка:

									Арк.
									10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ				

1 – тканинні прокладки; 2 – гумова робоча обкладка; 3 – гумова неробоча обкладка; 4 – гумовий проміжний шар

Сучасні гумовотканинні конвеєрні стрічки в основному складаються з тканин на основі синтетичних волокон, які отримують із відходів нафти та природного газу та кам'яного вугілля.

Гумовотканинні стрічки можуть бути однопрокладковими, дво- або багатопрокладковими. Гумові прошарки між прокладками з'єднують елементи каркасу, щоб забезпечити найкращу адгезію між обкладкою та каркасом і максимальну стійкість до ударних і розривних навантажень. Перед тим, як гумувати тканини, їх обробляють просочувальними складами. Обкладка з гуми захищає матеріал від зношування, пошкодження агресивних середовищ, погодних і атмосферних навантажень і виконує технологічні завдання. Крім того, обкладка створює тертя між матеріалом, що транспортується, і поверхнею стрічки. Умови використання конвеєрної гумовотканинної стрічки впливають на вибір матеріалу обкладки. Може бути робоча обкладка зі спеціальним покриттям. Опорна обкладка з неробочою гумою забезпечує цілісність і збереження вантажонесучого вузла, оберігає поверхню від вм'ятин і пошкоджень, а також створює певні фрикційні тягові умови для провідного барабана. Конструкція стрічки може мати конструктивне доповнення у вигляді брикетних прокладок (розріджена тканина), закладених між робочою обкладкою та тканинним каркасом. Уведення брикету посилює зв'язок між обкладкою та тканинним каркасом, збільшує опір стрічки пробою та збільшує поперечну міцність стрічки. Конвеєрні стрічки можуть мати гумовий борт, який захищає продукт від руйнування та впливу агресивних факторів.

Транспортуючі стрічки відрізняються за типом вихідного волокна, використаного для виготовлення кордової тканини та її плетива. Останнім часом синтетичні волокна застосовуються для виробництва кордових тканин.

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ

Арк.

11

які мають високу міцність. У серійному виробництві конвеєрних стрічок українські компанії використовують поліамідні та комбіновані тканини. Кордна тканина, виготовлена з синтетичних волокон, маркується таким чином. Поліамідна група, визначена згідно з ГОСТ 18215-80, складається з наступних елементів: ТК — капрон, ТА — анід, поліамід (Р) — і нейлон (N). Поліефіри включають лавсан, лавсано-капрон (лавсан по основі), поліестер, Е і БКНЛ (ГОСТ 19700-74) бельтинг із комбінованих ниток лавсану, що складається з ниток лавсану, обмотаних бельтингом із суворої бавовняної тканини гарнітурного плетіння. У даний час використовуються тканини БКНЛ частіше, ніж тканини типу ТК, ТЛК, ЕР і ЕРР, серед інших. Кордова тканина, яка використовується для транспортерних стрічок, зазвичай складається з синтетичних матеріалів, таких як нейлон (N), поліестер (Е) і поліамід (Р). Крім того, арамідні волокна (D) використовуються при виготовленні кордної тканини. У порівнянні з іншими синтетичними волокнами ароматичні волокна (група ароматичних поліамідів) мають найнижче відносне подовження, яке становить 1,3–1,5%.

Виробники конвеєрної стрічки включають такі компанії, як Contitech (Німеччина), Sava (Словенія), Gummilabor (Італія), Fenner Dunlop (Австралія), AMMERAAL (Голландія), YOKONAMA (Японія), C&T Chemical Company, Inc. і Habasit (США).

Конвеєрна стрічка зазвичай має гумові обкладки. Таблиця 1.1 містить умовну міцність при розтяганні гум' для зовнішніх обкладок стрічок. Кожна стрічка повинна мати міцність зв'язку 6 Н/мм між тканинними прокладками та гумою, а 5 Н/мм між обкладками та тканинним каркасом. Після просочування на верхню (робочу) і нижню (приводну) поверхні стрічки наноситься покриття з поліуретану або ПВХ. Це захищає каркас і продовжує термін служби. Умови експлуатації визначають тип, якість і товщину покриття.

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

Таблиця 1.1 Умовна міцність гуми при розтяганні, МПа

Для гуми класу										
А	Б	І	С	М	Т-1	Т-2	Т-3	Г-1	Г-2	П
24,5	19,6	15,0	10,0	14,7	11,0	10,0	11,0	14,7	14,7	9,8

Транспортуючі стрічки EP, які складаються з поліефірних ниток основи та поліамідних ниток утка, мають високу ударну міцність, високу міцність на розрив і мале розтягування, що робить їх ідеальними для вулканізованих і механічних з'єднань. Стрічки звичайного гуму, виготовлені в Італії, складаються з декількох шарів (2-5) тканинного каркасу EP (поліестер або поліамід) з обкладкою. Цей матеріал придатний для високих навантажень, має низьку розтяжність і високу поперечну еластичність. Він також може зм'якшувати місцеві деформації від ударних навантажень у завантажувальних і перевантажувальних зонах і т. д. [7].

Гумові обкладки конвеєрних стрічок мають унікальну здатність протистояти стиранню, зношуванню, порізам навіть при високих температурах і є стійкими до мастил і кислот.

У залежності від кількості шарів тканинного каркаса можна транспортувати різні матеріали, такі як вапняк, цемент, бетон, кокс, шлаки, щебінь, інертні матеріали, корисні копалини, осколки скла, солі, вологий пісок тощо. Ширини стандартних гумових стрічок становлять 300, 400, 450, 500, 600, 650, 700, 800, 1000, 1200, 1400 і 1600 мм. Тканинні каркаси для конвеєрних стрічок із чистого поліефіру є високоякісними матеріалами. Наприклад, конвеєрні стрічки DBP-POWAPLY поставляються корпорацією REMA TIR TOP (Німеччина) із тканинним матеріалом типу EE.

Гумові обкладинки на стрічках добре працюють у різних умовах експлуатації, включаючи місця, де стрічки піддаються ріжучим і абразивним навантаженням, а також у більш простих ситуаціях, коли на стрічках переміщуються малоабразивні матеріали [1].

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		20

Конвеєрні стрічки з кордною тканиною, виготовленою з ароматичних поліамідів або арамидного волокна, є особливо цікавими. Арамидне полотно D має високу міцність, еластичність і досить низьку вагу порівняно з металевими каркасами ST.

Нижня сторона має приводні зуби з профілем, схожим на профіль зубчастих ременів, щоб збільшити тягову здатність конвеєрних стрічок і забезпечити синхронний транспорт без проковзування. Наприклад, конвеєрна стрічка Ultrasync США має наступні переваги (рис. 1.7, 1.8): можливість синхронного руху без проковзування; зниження переднатягу стрічки; зниження навантаження на підшипникові вузли та енерговитрат; ширина до 1000 мм; і харчовий допуск.

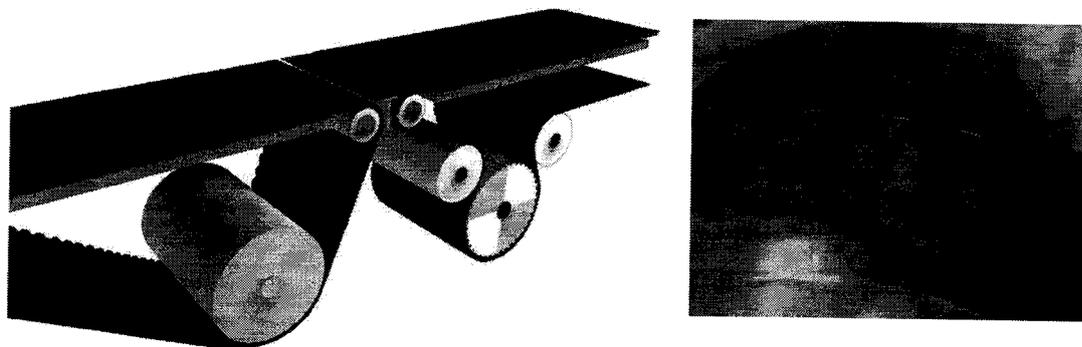


Рисунок 1.7 – Конвеєрна стрічка Ultrasync

Корд з поліестерової тканини використовується для виготовлення міцних стрічок Ultrasync (США). Термопластичний поліуретан Ropau використовується для обкладок, оскільки він є гнучким і має механічну міцність. Він також стійкий до мастил і жирів, харчовий і має високий клас хімічної стійкості.

Amtel, термопластичний еластомір, має твердість 90 по Шору та температурний діапазон від -20 до 110 градусів Цельсія. Це дуже міцний

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		21

механічно матеріал, і він гнучкий навіть при низьких температурах. Він також стійкий до мастил і жирів, харчовий і хімічно стійкий.



Рисунок 1.8 – Застосування стрічки Ultrasync у хлібопеченні

Спеціальні виступи на внутрішній стороні конвеєрної стрічки зачіпаються роликками з відповідними пазами. Конструкція стрічки Soliflex PRO (США), яка гарантує відсутність ризику проковзування, є прикладом цього (рис. 1.9). Структура стрічки складається з суміші поліуретану та поліестеру. Цей матеріал вирізняється стійкістю до забруднень, не всмоктує сторонні запахи та зберігає гладку поверхню протягом тривалого часу завдяки стійкості до порізів і подряпин. Стрічки Soliflex PRO застосовуються в усіх галузях промисловості, які мають високі санітарно-гігієнічні стандарти, таких як птахо- і м'ясопереробка, молочне виробництво, хлібопекарня, овочеві заводи та інші.

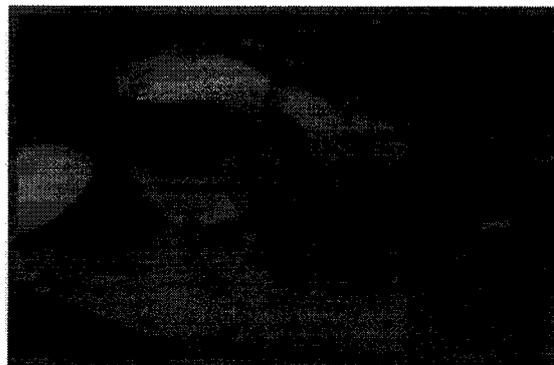


Рисунок 1.9 – Конструкція стрічки Soliflex PRO

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

Позначення гумовотканинних конвеєрних стрічок проводиться відповідно до ДСТУ 20 – 80 у наступній послідовності: тип стрічки, ширина, кількість тканинних прошарків, тип тканини й міцність на розрив, товщина робочої та опорної обкладок, клас гуми обкладок, вид борту (вказується тільки для стрічок типу 2: «ГБ» – гумовий борт; «НБ» – нарізний борт).

Сьогодні широко використовується конвеєрна стрічка із цільним тканинним каркасом у конвеєрах загального призначення. Конвеєрні стрічки, виготовлені за технологією цільнотканинного каркасу, мають багато переваг у порівнянні з гумотросовими та багатошаровими стрічками. Вони мають меншу вагу в 1,5 і більше разів при тій самій міцності, що означає менше погонного навантаження та споживання електроенергії. Цільно тканинний каркас дозволяє використовувати барабани меншого діаметру, оскільки він забезпечує високу внутрішню міцність зчеплення та опір перегинам, а також добре витримує ударні навантаження. У порівнянні з багатошаровими конвеєрними стрічками, унікальна технологія виробництва стрічки значно збільшує строк служби, запобігаючи проникненню вологи в каркас. Основою стрічки є цільно тканинне полотно підвищеної міцності, просочене пастою полівінілхлориду (PVC). Зовнішні оболонки, також відомі як обкладки, можуть бути виготовлені з гуми або полівінілхлориду, залежно від призначення та умов експлуатації. Каркас і гумова обкладка з'єднуються в стрічку за допомогою процесу вулканізації. Три різновиди ПВХ використовуються для виробництва цього типу конвеєрних стрічок. Вони включають антистатичний ПВХ, який є винахідливим матеріалом, який забезпечує властивість антистатичності як корду, так і робочої поверхні стрічки, ПВХ із підвищеною абразивостійкістю (щільність 74-92 А) і ПВХ із підвищеною масложиростійкістю.

Багато компаній у всьому світі та в Україні виготовляють конвеєрну стрічку з цільним тканинним каркасом. Вони пропонують конвеєрні стрічки, виготовлені з різних еластомерних матеріалів (спеціальна гума), на основі

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
						23
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

кордів з поліамідних і поліестерових тканин, а також системи Zip Link, яка має стабільну основу з поліефірного моноволокна в Сполучених Штатах. Ця інноваційна конструкція конвеєрних стрічок забезпечує швидке, просто та якісне з'єднання. Відмінна функціональність, тривалий термін служби та високі експлуатаційні якості забезпечують дані стрічки. Діапазон робочих температур становить від $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$ до $150\text{ }^{\circ}\text{C}$; зберігає однакові характеристики по всій довжині стрічки; може використовуватися як на плоскому, так і на жолобчастому конвеєрі; Zip Link має надзвичайно високу бічну стійкість, що значно полегшує підтримку рівного ходу стрічки; і є широкий.



Рисунок 1.10 – Конвеєрна стрічка із цільним тканинним каркасом

Стрічки незамінні при роботі в тяжких умовах і специфічних областях застосування.

У багатьох виробничих процесах використовується промислова конвеєрна стрічка. У зв'язку з тим, що багато користувачів не дотримуються технічних рекомендацій щодо вантажопідйомності та температурного режиму експлуатації, полотно зазнає надмірного навантаження. Таким чином, з'являються порізи, розриви та інші ушкодження. Важливо, щоб поточний і відновлювальний ремонт були завершені вчасно. У другому випадку

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

необхідний терміновий монтаж, який включає відновлення полотна до його початкового стану.

Такі ушкодження конвеєрної стрічки найчастіше трапляються: порізи в поперечному та поздовжньому напрямку; бічні зрізи (у результаті неправильного завантаження та вивантаження); обтріпування бортів конвеєра; і наскрізні пробої (у результаті падіння гострих предметів).

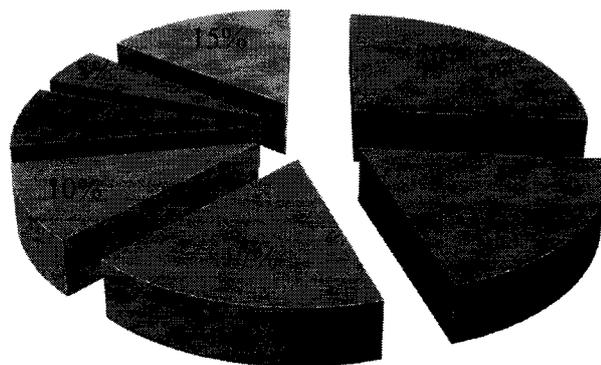
Зношування конвеєра є природним і неминучим процесом, але якщо стрічку потрібно міняти щомісяця, це призведе до більш серйозних проблем на виробничій та транспортувальній лінії. Вони також є основними причинами додаткових витрат і недоотриманого прибутку.

Усі причини швидкого зношування конвеєрної стрічки можна класифікувати як умовні, але досить чіткі. Крім того, найпоширеніші помилки можна визначити за допомогою статистичних даних (рис. 1.11):

В 26 відсотків випадків конвеєрна стрічка швидко зношується через неправильне підбір. Не обрано тип полотна, матеріал робочої поверхні, твердість тощо:

- порушена прямолінійність конвеєра (19 %);
- допоміжні ролики заклинені або зношені настільки, що не можуть обертатися (17 %);
- стрічку зношує розсипаний матеріал (10 %);
- полотно не відповідає діаметру барабанів (8 %);
- вантаж падає із занадто великої висоти (5 %).

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		25



- Неправильно підібрана конвеєрна стрічка
- Порушена пряmolінійність конвеєра
- Допоміжні ролики заклинені або зношені настільки, що не можуть обертатися
- Стрічку зношує розсипаний матеріал
- Полотно не відповідає діаметру барабанів
- Вантаж падає із занадто великої висоти
- Інші причини

Рисунок 1.12 – Діаграма основних причин зношення конвеєрних стрічок

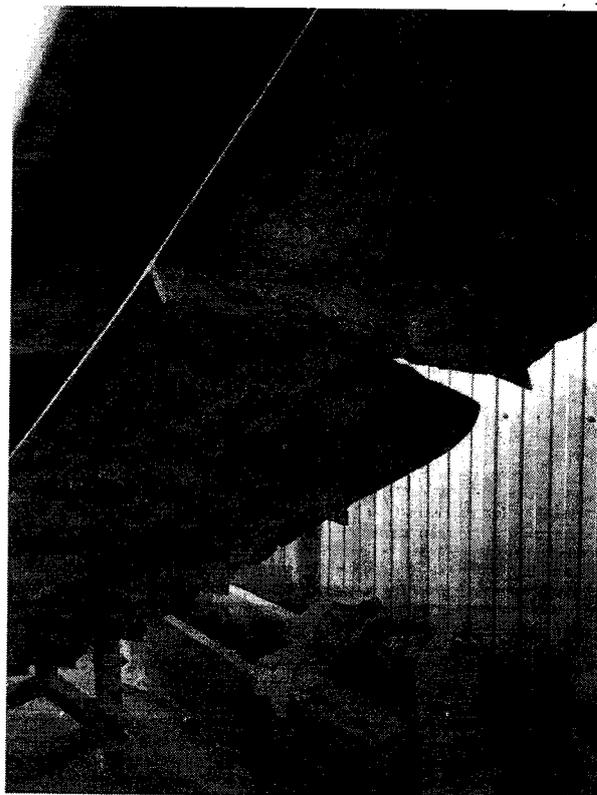


Рисунок 1.13 – Дефект стрічки (надрив)

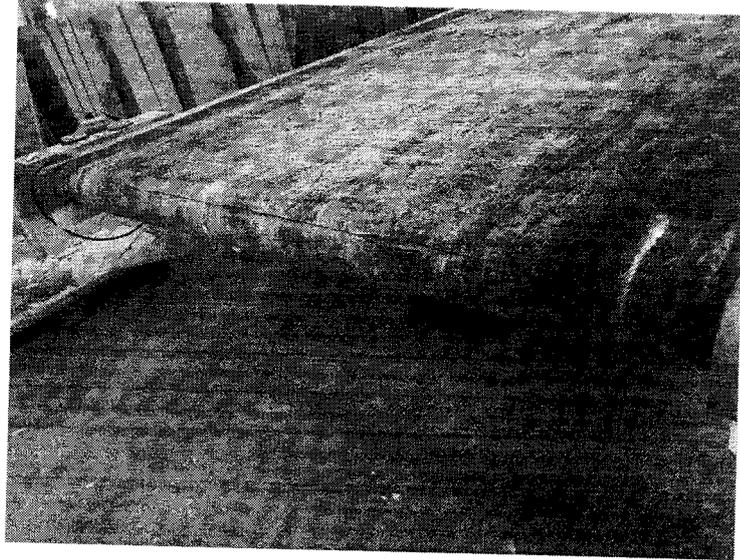


Рисунок 1.14 – Утворення тріщини та порив стрічки

Розглянемо типові проблеми та причини їх виникнення.

1. Стрічка буксує на ведучому валу. Причини включають перевантажену стрічку; перекошений вал; занадто малий кут охопту вала; або мастильні матеріали потрапили на поверхню вала або нижню частину полотна.

У першому випадку навантаження на всі причетні вузли збільшується, що прискорює знос вузлів, а сама стрічка зношується швидше через збільшення тертя.

2. Зношується робоча поверхня. Причини включають пробуксовку, надмірне провисання між підтримувальними роликками, тертя об сторонні предмети та невідповідність типу покриття матеріалам, що транспортуються (низька стійкість до абразивних, масложирових та інших впливів).

3. Зношується несучий шар. Причини: заклинений ряд роликів у верхній частині конвеєра; зняття додаткового або провідного барабана; або транспортований матеріал, який потрапив під полотно.

4. Обрив у місці стикування кінців. Причини включають перевантаження конвеєра; матеріал, який потрапляє в барабан транспортного засобу; неправильний вибір діаметра валів; або неправильне використання технологій стикування.

					ГМіМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27



Рисунок 1.15 – Розшарування стрічки у місцях склеювання

5. Повздовжні порізи. Причини: руйнування підтримувальних роликів, оскільки стрічка опирається на кронштейни для них і швидко стирається; пошкодження поверхонь.

6. Пробій (розрив) поверхні. Причина: неправильний вибір навантажувального лотка, що призводить до падіння матеріалу на конвеєр з великої висоти.

7. Швидке зношування країв. Причини: неправильне центрування стрічки, що тримає її об станину; неправильний вибір типу стрічки, наприклад, використання стрічок з незапаяним краєм на лініях з більшою кількістю масла або води.

8. Розбухання й розшарування стрічки. Причини: використання полотна з незапаяним краєм або відкритим кордом на місцях, де використовується вода або масло; механічні пошкодження країв; попадання води або мастила в мікропорізи на поверхні.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

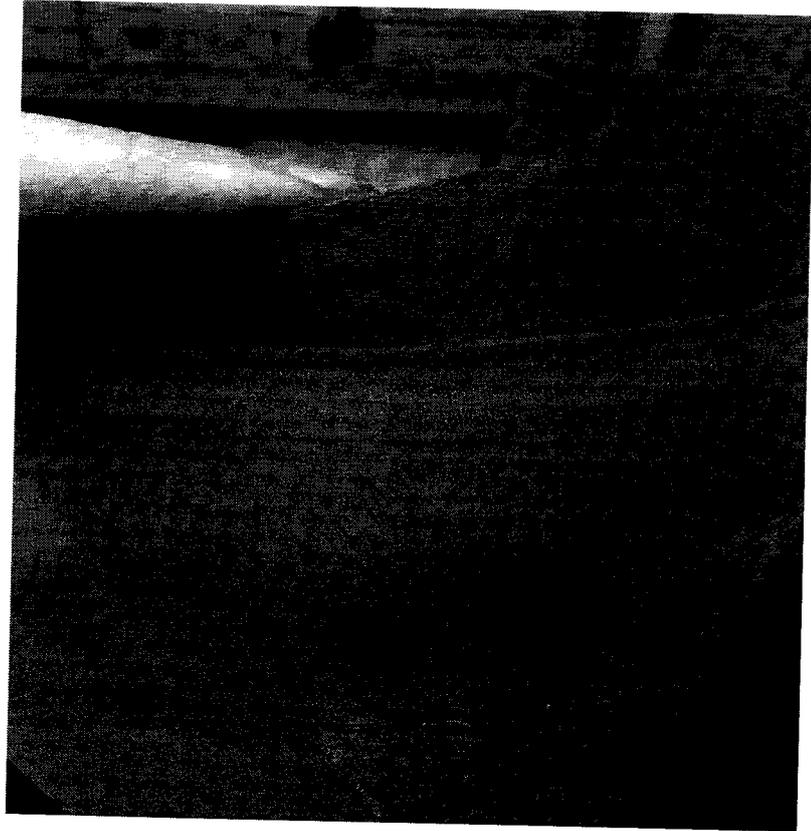


Рисунок 1.16 – Бічний знос стрічки

Проблеми, які найчастіше виникають на виробництві, не є єдиними, які впливають на термін служби стрічки. Приміром, якщо вона зберігається або транспортується неправильно, вона може зазнати серйозних пошкоджень ще до початку експлуатації. Однак належне та своєчасне обслуговування виробничої лінії може значно продовжити термін служби.

1.3 Барабани

Барабани є частиною стрічкового конвеєра. Вони можуть бути приводними або натяжними залежно від того, як вони працюють. Натяжні барабани, з іншого боку, можуть бути хвостовими, головними, оборотними, обвідними, притискними або відхиляючими. З цієї причини барабани мають різні конструкції. У виробників комплектуючих стрічкових конвеєрів є

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

широкий вибір конструкцій барабанів. Як показано на рис. 1.17, приводний барабан встановлюється на вал, оскільки він передає рух конвеєрній стрічці за рахунок переданого крутного моменту та певної швидкості.

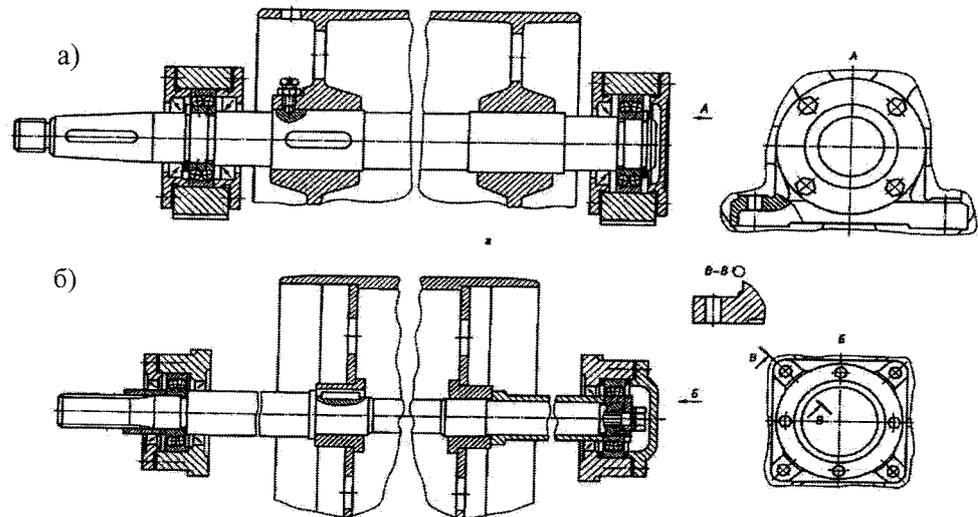


Рисунок 1.17 – Барабани приводні на валу: а) литий; б) зварений

Кожен барабан розрахований на конвеєрну потужність. Таким чином, найважливішими параметрами цього механізму є міцність і функціональність. Збільшення крутного моменту та припустимого навантаження на стрічку, що рухається, визначають міцність барабана. Розрахункові формули для визначення сили тертя між стрічкою та барабаном служать для визначення функціональної характеристики. Поверхня барабана може бути футерована гумою або еластоміром, щоб збільшити силу тертя (коефіцієнт тертя) стрічки. Наприклад, нітриловий каучук, який має твердість 60–80, або уретан, який має твердість 80–90. Такі фрикційні покриття можна використовувати у вигляді розпилу, листа або труби (рис. 1.18).

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

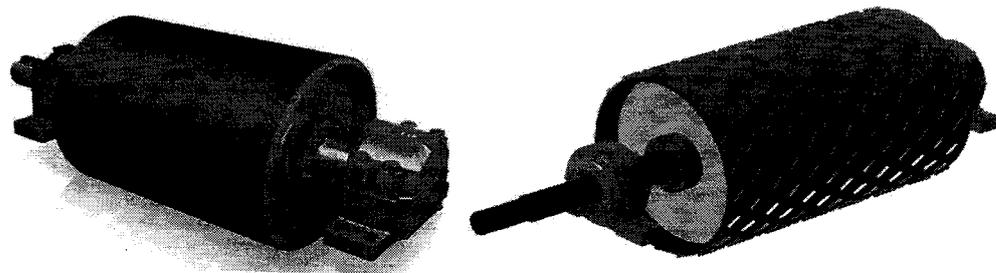


Рисунок 1.18 – Приводні барабани, футеровані гумою

Актуальність у виборі цієї теми полягає не лише у визначенні оптимальних умов для функціонування стрічкового конвеєра, але й у пошуку найбільш ефективних інноваційних рішень для підвищення його надійності та тривалості служби. На сучасних виробництвах, де швидкість та навантаження працюють на межі, важливість оптимізації конвеєрів стає критичною. Пошук шляхів для підвищення стійкості стрічки та мінімізації витрат на обслуговування та ремонт є стратегічно важливим для підтримки найвищого рівня ефективності й безперебійності виробничих ліній.

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		31

Розділ 2 ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

2.1 Конструктивні особливості і принцип роботи стрічкового конвеєра

Принцип роботи стрічкового конвеєра полягає у переміщенні матеріалів від одного пункту до іншого за допомогою рухомої транспортерної стрічки. Основна ідея полягає у використанні руху стрічки для перенесення різноманітних матеріалів, від сипучих гранул до великих предметів.

Процес починається з завантаження матеріалів на стрічку в одній точці. Потім рухома стрічка приводить ці матеріали до іншої локації. Це досягається за допомогою привідних барабанів, які створюють рух та натяг стрічки, а натяжні барабани підтримують оптимальну напругу стрічки.

Під час руху стрічка перебуває на різних рівнях відносно горизонту. Зазвичай, вона має схил, що допомагає матеріалам рухатися від одного кінця до іншого.

Розробка та впровадження автоматичних систем керування швидкістю руху конвеєрної стрічки може підвищити ефективність експлуатації конвеєрного транспорту. Ці системи розробляються та впроваджуються відповідно до параметрів реального вантажопотоку, що надходить на полотно конвеєра. Електромеханічна система «керований електропривод-стрічка конвеєра з вантажем» є об'єктом управління в системі, що синтезується. Тим не менш, завдяки зростанню вантажопотоків і довжин транспортування зараз широко поширені високопродуктивні конвеєрні установки з дворуховим приводом великої довжини.

					ГМіМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ			
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Бондаренко		15.01	Розділ 2	Літ..	Аркуш	Аркушів
Керівн		Вірченко		15.12			32	
Перевір.		Васильєв		16.01		НУПП імені Юрія Кондратюка 2024		
Н. Контр.		Васильєв		16.01				
Затвер.		Орисенко		19.01				

Стрічковий конвеєр складається з транспортерної стрічки, привідних і натяжних барабанів, металевих опор під привідними та натяжними барабанами, а також металевих конструкцій станин у середній частині конвеєра. Опори привідного та натяжного барабанів жорстко з'єднані з металевими конструкціями станин середньої частини. Опора привідного барабана має антифрикційну опору.

Конструкція стрічкового конвеєра, яка використовується для транспортування сипких матеріалів, складається з приводу, конвеєрної стрічки, привідного та натяжного барабанів, металевої рамної конструкції під привідними та натяжними барабанами та станини в середній частині конвеєра. Недолік цих конструкцій полягає в тому, що носійні опорні металеві конструкції стрічкових конвеєрів, такі як станини середньої частини конвеєра та рами під привідний і натяжний барабани, встановлюються конструктивно, зазвичай без додаткових розрахунків, і в деяких випадках перевищують необхідну міцність елементів у 5-10 разів.

Задача полягає в тому, щоб максимально використати міцність металевих конвеєрів і одночасно знизити горизонтальні навантаження на каркаси будівель і споруд, що призводить до зменшення матеріалоемності конвеєрів. Перерозподіл навантажень відбувається шляхом зміни конструктивно-розрахункової схеми металевих конструкцій конвеєра. У результаті горизонтальні зусилля від натягнення стрічки конвеєра «замкнені» в станині середньої частини конвеєра. Після усунення демпферного (температурного) стику станини середньої частини конвеєра виконують додаткову розпірку між рамами приводного та натяжного барабана. Це частково реалізує запас міцності, закладений при конструюванні конвеєра. При цьому дві опорні рами під барабани кріпляться на будівельні конструкції на пливучу антифрикційну основу. Таким чином, на будівельні конструкції зменшується горизонтальне зусилля навантаження. На рисунку 2.1 показаний загальний вигляд стрічкового конвеєра.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

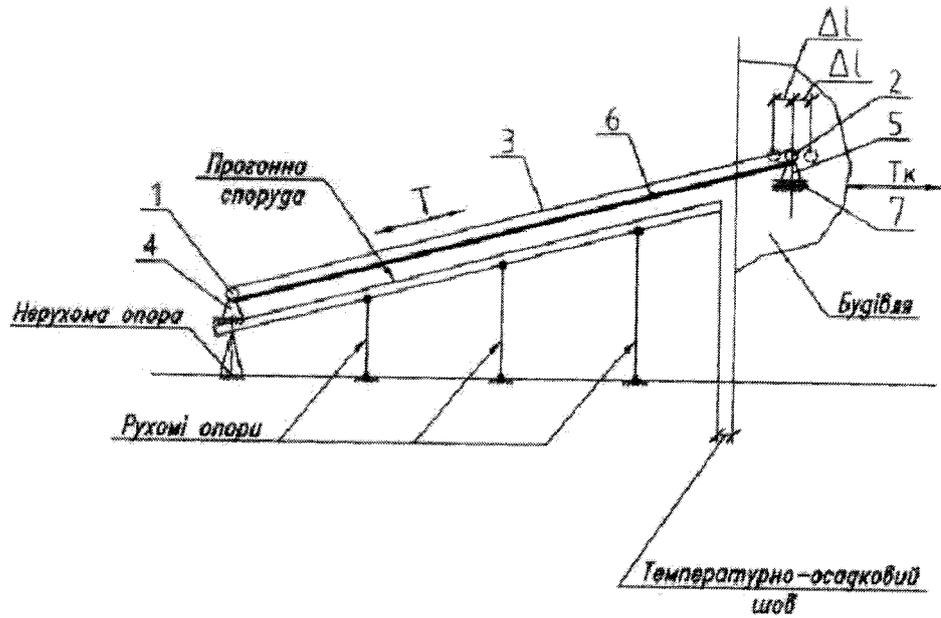


Рисунок 2.1 – Стрічковий конвеєр

Конвеєр складається з таких компонентів: привідний барабан 1, натяжний барабан 2, транспортерна стрічка 3, нерухома опора під привідним барабаном, рухома опора під натяжним барабаном, станина середньої частини конвеєра 6, антифрикційна основа 7. Фігура має символ T , який означає зусилля натягнення транспортерної стрічки. Горизонтальне зусилля, яке виникає через розширення температури, передається на будівельні конструкції каркаса будинку. Дальність руху опори натяжного барабана на антифрикційній основі 7 через температурні розширення визначається як L . Цей пристрій працює таким чином. У процесі роботи конвеєра горизонтальні зусилля від натягнення стрічки 3 передаються на опори рами 4 та 5, які з'єднані між собою станиною середньої частини 6 конвеєра. Таким чином, станина 6, яка також виконує функцію розпірки, концентрує горизонтальні зусилля в своїй конструкції, що виключає вплив цих зусилля на каркас будівлі. Установка на антифрикційну основу 7 компенсує горизонтальне переміщення від температурних розширень опорної рами 5 натяжного барабану 2 конвеєра. Антифрикційна основа 7 може бути створена за допомогою фторопластових прокладок, коткових або шарикових опор або

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

ГМіМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ

Арк.

34

інших технічних рішень, які гарантують мінімальне горизонтальне зусилля ковзання або кочення (в межах 0,05 вертикального навантаження). Конструкція стрічкового конвеєра дозволяє зменшити матеріалоемність будівельних конструкцій будівлі, зберігаючи при цьому їх надійність, а також збільшуючи запаси міцності металевих конструкцій середини конвеєра.

2.2 Математична модель стрічкового конвеєра

Принцип шматково-лінійної апроксимації полягає в тому, щоб умовно розділити ширину стрічки на певну кількість ділянок, у кожній з яких закон зміни швидкості деформації за довжиною є лінійним. Наступні припущення використовуються для побудови розрахункових схем:

- траса конвеєра прямолінійна з постійним кутом нахилу;
- трансмісійні вали та муфти абсолютно жорсткі;
- маса стрічки та обертових частин роликкоопор рівномірно розподілена;
- немає прослизання стрічки на роликкоопорах;
- стрічка є пружно-в'язким стрижнем;
- дисипативні сили внутрішнього тертя пропорційні швидкості деформації;
- маси хвостового і барабанів, що відхиляються, зневажливо малі в порівнянні з розподіленою масою стрічки і вантажу;
- коефіцієнти опору руху постійні на вантажній та порожній гілках стрічки;
- швидкості в точках набігання та збігання на приводному барабані рівні.

Рисунок 2.2 демонструє розрахункову схему конвеєрної установки з двома приводами та натяжним пристроєм у хвостовій частині. Шість зосереджених мас апроксимують систему з розподіленими параметрами: m_1 , m_2 , m_3 розташовані на вантажній гілці, m_4 , m_5 розташовані на порожній гілці, а m_6 є масою натяжного пристрою.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

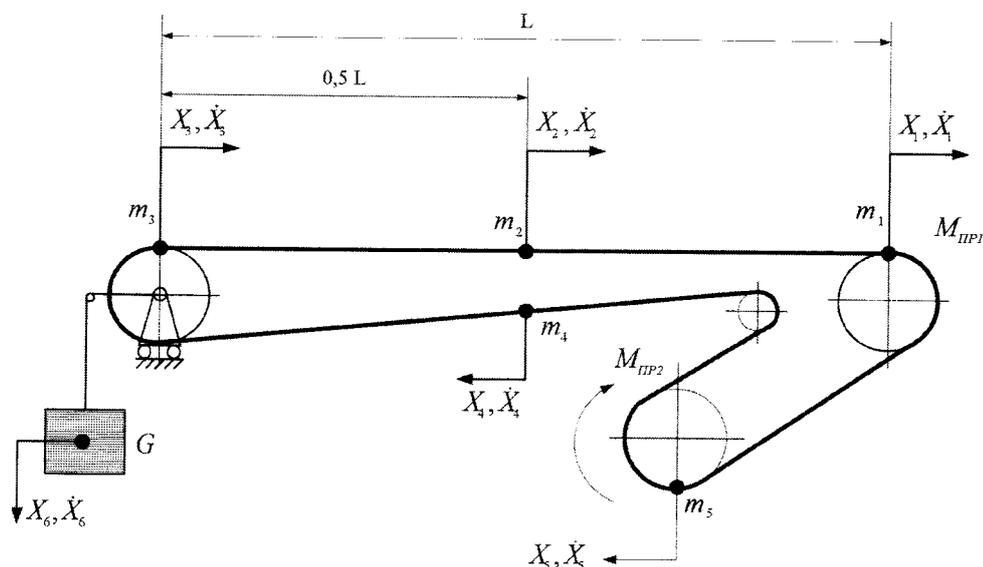


Рисунок 2.2 – Розрахункова схема конвеєра із дводвигуновим приводом

Побудова математичної моделі була заснована на методі Лагранжа другого роду:

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

де $i = 1, 2, \dots, 6$.

Відповідно, переміщення X_i та швидкість переміщення \dot{X}_i зосереджених мас m_i , $i = 1, 2, \dots, 6$, використовуються як узагальнені координати q_i .

Вираз показує хімічну енергію стрічки та вантажу, рівномірно розподілену на відповідній ділянці між точками i та j :

$$T_{ij} = \frac{G_{ij} l_{ij}}{6g} \left[\dot{X}_i^2 + \dot{X}_i \dot{X}_j + \dot{X}_j^2 \right] \quad (2.2)$$

де G_{ij} – вага стрічки, ролюкоопор та вантажу на ділянці ij ;

l_{ij} – довжина ділянки;

g – прискорення вільного падіння.

Енергія пружних деформацій і потенційна енергія замкнутого контуру стрічки з розподіленою масою складають потенційну енергію ділянки довжиною l_{ij} :

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$P_{ij} = C_{ij} \frac{(X_i - X_j)^2}{2} + G_{ij} l_{ij} \frac{X_i + X_j}{2} \sin \beta \quad (2.3)$$

де C_{ij} – жорсткість ділянки,

β – кут нахилу конвеєра до горизонту.

Сума сил опору руху та рушійної сили приводу створює роботу зовнішніх сил на ij ділянці, яка визначається з виразів:

$$A_{ij} = G_{ij} l_{ij} \mu \frac{X_i + X_j}{2} \cos \beta, \quad A_{пр} = -\frac{M_{п1}}{R_{б1}} X_1 - \frac{M_{п2}}{R_{б2}} X_5 \quad (2.4)$$

де μ – коефіцієнт опору руху;

$M_{п1}$ и $M_{п2}$ – рушійні моменти приводів, наведені до радіусу приводних барабанів;

$R_{б2}$ и $R_{б1}$ – радіуси приводних барабанів.

Припущення про те, що сили внутрішнього тертя пропорційні швидкостям деформації, визначає роботу сил внутрішнього тертя на ділянці ij :

$$A_{ij} = \frac{\eta}{2} \left[(\dot{X}_i - \dot{X}_{i+1})(X_i - X_{i+1}) + (\dot{X}_i - \dot{X}_{i-1})(X_i - X_{i-1}) \right] \quad (2.5)$$

де η – коефіцієнт в'язкості стрічки.

Кінетична енергія системи розрахункової схеми складається з кінетичної енергії ТН натяжного пристрою та кінетичної енергії ТК замкнутого контуру стрічки з рівномірно розподіленим вантажем на верхній гілці кінетичної енергії ТП приводного пристрою.

Кінетична енергія контуру стрічки:

$$T_k = \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1 \dot{X}_2 + \dot{X}_2^2) + \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_2^2 + \dot{X}_2 \dot{X}_3 + \dot{X}_3^2) + \frac{G_n l}{6g} (\dot{X}_3^2 + \dot{X}_4 \dot{X}_3 + \dot{X}_4^2) + \frac{G_n l}{6g} (\dot{X}_4^2 + \dot{X}_5 \dot{X}_4 + \dot{X}_5^2) + \frac{G_n l}{6g} (\dot{X}_5^2 + \dot{X}_1 \dot{X}_5 + \dot{X}_1^2), \quad (2.6)$$

де G_n , G_r – вага рухомих частин відповідно навантаженої та порожньої гілки.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

Кінетична енергія приводного пристрою:

$$T_{\pi} = \frac{m_{\pi 1}}{2} \dot{X}_1^2 + \frac{m_{\pi 2}}{2} \dot{X}_5^2 \quad (2.7)$$

де $m_{\pi 1}$, $m_{\pi 2}$ – маси обертових частин електродвигунів, редуктора, муфт і приводного барабана, що приведена до обода барабана. Кінетична енергія натяжного пристрою:

$$T_{\text{н}} = \frac{G_{\text{н}} \dot{X}_6^2}{2g} \quad (2.8)$$

де $G_{\text{н}}$ – вага переміщення натяжного пристрою;

\dot{X}_6^2 – швидкість переміщення натяжного пристрою.

Підсумовуючи отримані вирази отримаємо вирази для повної T_{Σ} кінетичної енергії системи:

$$T_{\Sigma} = \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1 \dot{X}_2 + \dot{X}_2^2) + \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_2^2 + \dot{X}_2 \dot{X}_3 + \dot{X}_3^2) + \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_3^2 + \dot{X}_4 \dot{X}_3 + \dot{X}_4^2) + \\ + \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_4^2 + \dot{X}_5 \dot{X}_4 + \dot{X}_5^2) + \frac{G_r l}{6g} (\dot{X}_5^2 + \dot{X}_1 \dot{q}_5 + \dot{X}_1^2) + \frac{m_{\pi 1}}{2} \dot{X}_1^2 + \frac{m_{\pi 2}}{2} \dot{X}_5^2 + \frac{G_{\text{н}} \dot{X}_6^2}{2g} \quad (2.9)$$

При прийнятих припущеннях потенційна енергія пружної деформації системи складається з енергії Π_k замкнутого контуру конвеєрної стрічки та потенційної енергії $\Pi_{\text{н}}$ канатів натяжного пристрою.

Припускаючи рівні коефіцієнти жорсткості ділянок конвеєрної стрічки, отримаємо:

$$\Pi_k = \frac{(X_1 - X_2)^2 C}{2} + \frac{(X_2 - X_3)^2 C}{2} + \frac{(X_3 - X_4)^2 C}{2} + \frac{(X_4 - X_5)^2 C}{2} + \frac{(X_5 - X_1)^2 C}{2} \quad (2.10)$$

де C – коефіцієнт жорсткості кожної ділянки.

Потенційна енергія натяжного пристрою:

$$\Pi_{\text{н}} = 0.5 \left(\frac{X_3 - X_4}{2} - X_6 \right)^2 C_k \quad (2.11)$$

де C_k – коефіцієнт твердості каната.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		38

Потенційна енергія становища натяжних вантажів:

$$\Pi_r = G_{ny} X_6 \quad (2.12)$$

Робота зовнішніх сил складається з роботи рушійної сили приводу, сили опору руху натяжних вантажів і гілок стрічки, а також сили гальмування.

Підсумовуючи отримані вирази, отримуємо вирази для повної Π_Σ :

$$\begin{aligned} \Pi_\Sigma = & \frac{(X_1 - X_2)^2 C}{2} + \frac{(X_2 - X_3)^2 C}{2} + \frac{(X_3 - X_4)^2 C}{2} + \frac{(X_4 - X_5)^2 C}{2} + \frac{(X_1 - X_5)^2 C}{2} + \\ & + 0.5 \left(\frac{X_3 - X_4}{2} - X_6 \right)^2 C_K + G_{ny} X_6 \end{aligned} \quad (2.13)$$

Робота рушійної сили приводу за умови, що радіуси приводних барабанів однакові:

$$A_{пр} = -\frac{M_{п1}}{R_6} X_1 - \frac{M_{п2}}{R_6} X_5 \quad (2.14)$$

Робота сил опору руху гілок стрічки:

$$A_K = 0.5 G_r l \mu' (X_1 + 2X_2 + X_3) + 0.5 G_{п1} l \mu'' (X_3 + 2X_4 + 2X_5 + X_1) \quad (2.15)$$

де μ' , μ'' – коефіцієнти опору руху навантаженої та порожньої гілки.

Робота сил опору руху натяжних вантажів:

$$A_n = \pm G_{ny} f X_6 \quad (2.16)$$

де f – наведений коефіцієнт опору руху натяжних вантажів. Робота сил внутрішнього тертя замкнутого контуру:

$$\begin{aligned} A_v = & (\dot{X}_1 - \dot{X}_2)(X_1 - X_2)\eta + (\dot{X}_2 - \dot{X}_3)(X_2 - X_3)\eta + (\dot{X}_3 - \dot{X}_4)(X_3 - X_4)\eta + \\ & (\dot{X}_4 - \dot{X}_5)(X_4 - X_5)\eta + (\dot{X}_5 - \dot{X}_1)(X_5 - X_1)\eta \end{aligned} \quad (2.17)$$

Введемо позначення:

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
39	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$\frac{G_r l}{6g} = m_r, \quad \frac{G_n l}{6g} = m_n$ - маси вантажної та порожньої ділянки стрічки відповідно.

Математичну модель руху стрічкового конвеєра отримуємо за допомогою системи диференціальних рівнянь складових (2.9), (2.13) та диференціальних перетворень отриманої складової енергії (2.9), (2.11) та узагальненої роботи (2.14)–(2.17).

$$m_r(2\ddot{X}_1 + \ddot{X}_2) + m_m(2\ddot{X}_1 + \ddot{X}_5) + m_{\text{мп1}}\ddot{X}_1 + C(2X_1 - X_2 - X_5) + 0.5(G_r l + G_n l_m)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_1 + \eta(2\dot{X}_1 - \dot{X}_2 - \dot{X}_5) = \frac{M_{\text{мп1}}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1),$$

$$m_r(2\ddot{X}_2 + \ddot{X}_1) + m_r(2\ddot{X}_2 + \ddot{X}_3) + C(2X_2 - X_1 - X_3) + G_r l \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_2 + \eta(2\dot{X}_2 - \dot{X}_1 - \dot{X}_3) = 0,$$

$$m_r(2\ddot{X}_3 + \ddot{X}_2) + m_n(2\ddot{X}_3 + \ddot{X}_4) + C(2X_3 - X_2 - X_4) + 0.25C_k(X_3 - X_4 - 2X_6) + \eta(2\dot{X}_3 - \dot{X}_2 - \dot{X}_4) + 0.5(G_r + G_n)l \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_3 = 0$$

$$m_n(2\ddot{X}_4 + \ddot{X}_3) + m_n(2\ddot{X}_4 + \ddot{X}_5) + C(2X_4 - X_5 - X_3) + 0.25C_k(X_4 - X_3 + 2X_6) + G_n l \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_4 + \eta(2\dot{X}_4 - \dot{X}_5 - \dot{X}_3) = 0$$

$$m_n(2\ddot{X}_5 + \ddot{X}_4) + m_m(2\ddot{X}_5 + \ddot{X}_1) + m_{\text{мп2}}\ddot{X}_5 + C(2X_5 - X_1 - X_4) + 0.5(G_n l + G_n l_m)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_5 + \eta(2\dot{X}_5 - \dot{X}_1 - \dot{X}_4) = \frac{M_{\text{мп2}}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c2} - \dot{X}_5)$$

$$\frac{G_{\text{нy}}}{g} \ddot{X}_6 + 0.5C_k(X_4 - X_3 + 2X_6) + G_{\text{нy}} + G_{\text{нy}} f \operatorname{sgn} \dot{X}_6 = 0$$

Наступний запис системи диференціальних рівнянь, які описують рух завантаженої стрічки, отримується шляхом виконання відповідних алгебричних перетворень:

$$(2m_r + 2m_m + m_{\text{мп}})\ddot{X}_1 + m_r\ddot{X}_2 + m_n\ddot{X}_5 + 2\eta\dot{X}_1 - \eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_5 + 2CX_1 - CX_2 - CX_5 + 0.5(G_r l + G_n l_m)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_1 = \frac{M_{\text{мп1}}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1),$$

$$m_r\ddot{X}_1 + 4m_r\ddot{X}_2 + m_r\ddot{X}_3 - \eta\dot{X}_1 + 2\eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_3 - CX_1 + 2CX_2 - CX_3 + G_r l \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_2 = 0,$$

$$m_r\ddot{X}_2 + (2m_r + 2m_n)\ddot{X}_3 + m_n\ddot{X}_4 - \eta\dot{X}_2 + 2\eta\dot{X}_3 - \eta\dot{X}_4 - CX_2 + (2C + 0.25C_k)X_3 - (C + 0.25C_k)X_4 - 0.5C_k X_6 + 0.5(G_r + G_n)l \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_3 = 0$$

$$m_n\ddot{X}_3 + 4m_n\ddot{X}_4 + m_n\ddot{X}_5 - \eta\dot{X}_3 + 2\eta\dot{X}_4 - \eta\dot{X}_5 - (C + 0.25C_k)X_3 + (2C + 0.25C_k)X_4 - CX_5 + G_n l \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_4 = 0$$

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змч.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		40

$$m_M \ddot{X}_1 + m_H \ddot{X}_4 + (2m_H + 2m_M + m_{mp2}) \ddot{X}_5 - \eta \dot{X}_1 - \eta \dot{X}_4 + 2\eta \dot{X}_5 - CX_1 - CX_4 + 2CX_5 + 0.5(G_H I + G_H I_M) \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_5 = \frac{M_{mp2}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c2} - \dot{X}_5)$$

$$\frac{G_{ny}}{g} \ddot{X}_6 - 0.5C_k X_3 + 0.5C_k X_4 + C_k X_6 + G_{ny} + G_{ny} f \operatorname{sgn} \dot{X}_6 = 0.$$

Використовуючи матричний тип запису вектора узагальненого переміщення, ми можемо лаконічно представити цю модель:

$$X = [X_1 \ X_2 \ X_3 \ X_4 \ X_5 \ X_6]^T:$$

$$M\ddot{X} + N\dot{X} + CX + S \operatorname{sgn} \dot{X} + VG_{ny} = P_1 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1) M_{mp1} + P_2 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_5) M_{mp2} \quad (2.18)$$

де

$$M = \begin{bmatrix} 2m_r + 2m_M + m_{mp1} & m_r & 0 & 0 & m_M & 0 \\ m_r & 4m_r & m_r & 0 & 0 & 0 \\ 0 & m_r & 2m_r + 2m_H & m_H & 0 & 0 \\ 0 & 0 & m_H & 4m_H & m_H & 0 \\ m_M & 0 & 0 & m_H & 2m_H + 2m_M + m_{mp2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & \frac{G_{ny}}{g} \end{bmatrix}$$

$$N = \begin{bmatrix} 2\eta & -\eta & 0 & 0 & -\eta & 0 \\ -\eta & 2\eta & -\eta & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\eta & 2\eta & -\eta & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\eta & 2\eta & -\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\eta & 2\eta & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$C = \begin{bmatrix} 2C & -C & 0 & 0 & -C & 0 \\ -C & 2C & -C & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -C & 2C + 0.25C_k & -C - 0.25C_k & 0 & -0.5C_k \\ 0 & 0 & -C - 0.25C_k & 2C + 0.25C_k & -C & 0.5C_k \\ -C & 0 & 0 & -C & 2C & 0 \\ 0 & 0 & -0.5C_k & 0.5C_k & 0 & C_k \end{bmatrix}$$

					ГМiМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

$$S = \text{diag} [0.5(G_r I + G_n I_n) \mu \quad G_r I \mu \quad 0.5(G_r + G_n) I \mu \quad G_n I \mu \quad 0.5(G_n I + G_n I_n) \mu \quad G_{ny} f],$$

$$P_1 = [R_6^{-1} \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0]^T, \quad P_2 = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad R_6^{-1} \quad 0]^T, \quad V = [0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 0 \quad 1]^T$$

Для отримання канонічного уявлення помножимо всі члени виразу (2.18) на матрицю M^{-1} :

$$\ddot{X} + M^{-1}N\dot{X} + M^{-1}CX + M^{-1}S \text{sgn} \dot{X} + M^{-1}VG_{ny} =$$

$$M^{-1}P_1 \text{sgn}(\dot{X}_{cl} - \dot{X}_1)M_{np1} + M^{-1}P_2 \text{sgn}(\dot{X}_{cl} - \dot{X}_5)M_{np2} \quad (2.19)$$

Введемо в модель координати стану згідно з канонічним правилом Коші:

$$\begin{aligned} x_1 &= X_1 & x_7 &= \dot{X}_1 \\ x_2 &= X_2 & x_8 &= \dot{X}_2 \\ x_3 &= X_3 & x_9 &= \dot{X}_3 \\ x_4 &= X_4 & x_{10} &= \dot{X}_4 \\ x_5 &= X_5 & x_{11} &= \dot{X}_5 \\ x_6 &= X_6 & x_{12} &= \dot{X}_6 \end{aligned}$$

Модель руху конвеєрної стрічки у просторі станів представляється як системи нелінійних диференціальних рівнянь:

$$\dot{x} = -(M^{-1}N + M^{-1}C)x + M^{-1}S \text{sgn} x + M^{-1}VG_{ny} + M^{-1}P_1 \text{sgn}(\dot{X}_{cl} - \dot{X}_1)M_{np1} +$$

$$+ M^{-1}P_2 \text{sgn}(\dot{X}_{cl} - \dot{X}_5)M_{np2}$$

У цій системі зовнішніми впливами є рушійні моменти, що розвиваються приводами, вага натяжного пристрою та сили опору руху конвеєрної стрічки, тому введемо такі позначення:

$u_1 = M_{np1}$ – рушійний момент першого приводу;

$u_2 = M_{np2}$ – рушійний момент другого приводу;

$u_3 = \text{sgn} x$ – опір руху конвеєрної стрічки;

$u_4 = G_{np}$ – вага натяжного пристрою.

Матриця $A = -(M^{-1}N + M^{-1}C)^{-1}$ є матрицею стану системи, а матриці $B_1 = M^{-1}P_1$, $B_2 = M^{-1}P_2$, $B_3 = M^{-1}S$, $B_4 = M^{-1}V$ – матрицями керування. Система рівнянь набуває вигляду:

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

$$\dot{x} = Ax + B_1 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{cl} - \dot{X}_1)u_1 + B_2 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{cl} - \dot{X}_1)u_2 + B_3 u_3 + B_4 u_4 \quad (2.20)$$

Матриці стану та управління в моделі є блоковими:

$$A = \begin{bmatrix} 0_{(6 \times 6)} & E_{(6 \times 6)} \\ -M^{-1}C_{(6 \times 6)} & 0_{(6 \times 6)} \end{bmatrix}_{(12 \times 12)}, \quad B = \begin{bmatrix} 0_{(6 \times 1)} \\ -M^{-1}P_{1(6 \times 1)} \end{bmatrix}_{(12 \times 1)}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 0_{(6 \times 1)} \\ -M^{-1}P_{2(6 \times 1)} \end{bmatrix}_{(12 \times 1)},$$

$$B_3 = \begin{bmatrix} 0_{(6 \times 6)} & 0_{(6 \times 6)} \\ 0_{(6 \times 6)} & -M^{-1}S_{(6 \times 6)} \end{bmatrix}_{(12 \times 1)}, \quad B_4_{(12 \times 1)} = \begin{bmatrix} 0_{(6 \times 1)} \\ -M^{-1}V_{(6 \times 1)} \end{bmatrix}_{(12 \times 1)}$$

Комп'ютерне моделювання руху стрічки з вантажем для двопривідного конвеєра проводилось у MATLAB, додатку SIMULINK. Модель руху конвеєрної стрічки задана блоком State Space, що дозволяє задавати внутрішні моделі лінійних систем у вигляді:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bu(t), \quad x(0)$$

$$y(t) = Cx(t) + Du(t).$$

Зовнішні дії об'єднані блоком *Mux* у вектор

$$U_{15 \times 1} = [u_1 \quad u_2 \quad u_3 \quad u_4], \text{ а матриця управління є блоковою}$$

$B = [B_1 \vdots B_2 \vdots B_3 \vdots B_4]$. Виражена через матриці (2.18), вона набуває вигляду:

$$B = \begin{bmatrix} 0_{(6 \times 1)} & 0_{(6 \times 1)} & 0_{(6 \times 6)} & 0_{(6 \times 6)} & 0_{(6 \times 10)} \\ -M^{-1}P_{1(6 \times 1)} & -M^{-1}P_{2(6 \times 1)} & 0_{(6 \times 6)} & -M^{-1}S_{(6 \times 6)} & -M^{-1}V_{(6 \times 1)} \end{bmatrix}$$

Використовуються готові моделі асинхронних короткозамкнених приводів із частотно-векторним керуванням для моделювання приводів. Момент навантаження на приводи з боку конвеєра визначається для узгодження моделей руху конвеєра та приводів. Схема моделювання наведено на рис. 2.3. Моделювання проводилося для числових значень:

$$l = 1500 \text{ м}, \quad m_r = 1518 \text{ кг}, \quad m_n = 352 \text{ кг}, \quad m_{np1} = 3000 \text{ кг}, \quad m_{np2} = 2000 \text{ кг},$$

$$M_{np1} = 20900 \text{ Нм}, \quad M_{np2} = 20900 \text{ Нм}, \quad R_6 = 0,5 \text{ м}, \quad \mu = 0,03, \quad \mu = 0,03, \quad f = 0,3,$$

$$C = 10000 \text{ Н/м}, \quad C_k = 10^{10} \text{ Н/м}, \quad G_{нп} = 52000 \text{ кг}.$$

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

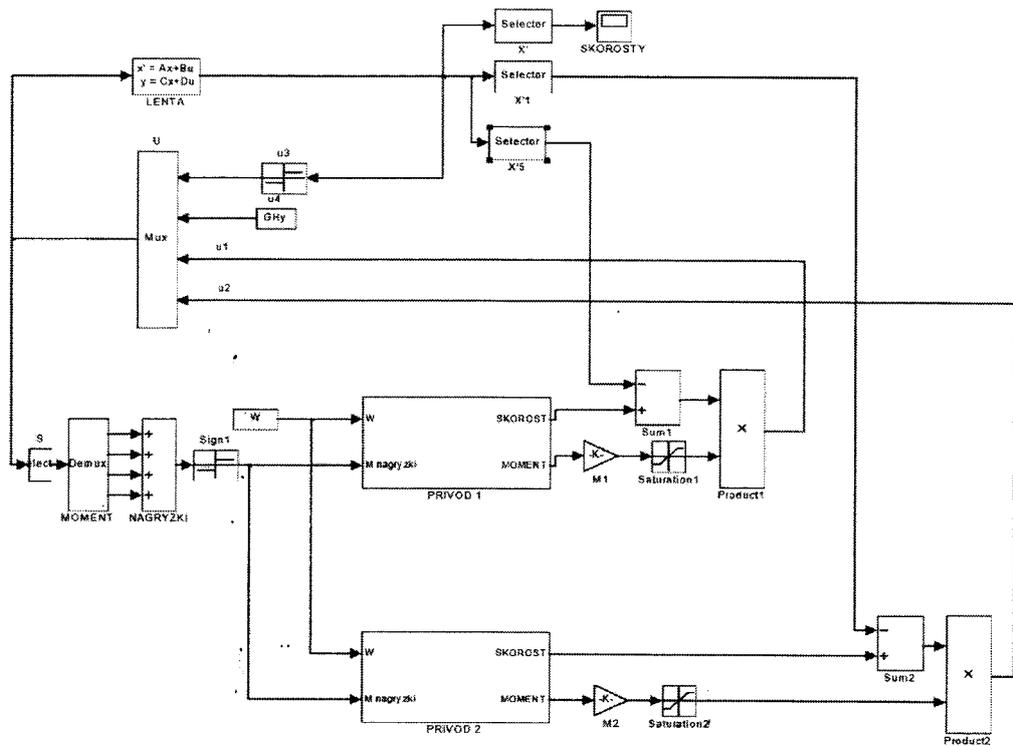


Рисунок 2.3 – Схема моделювання двопривідного конвеєра у SIMULINK

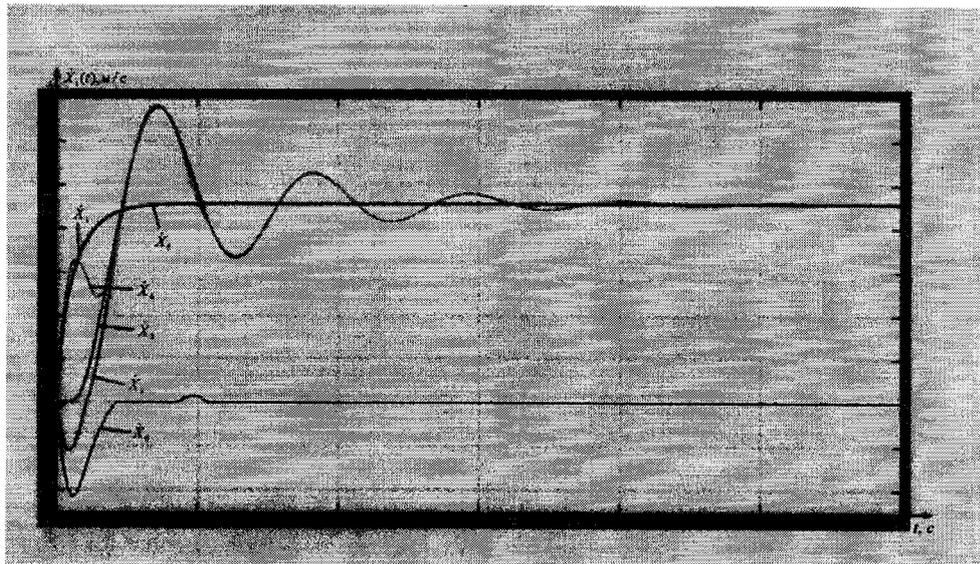


Рисунок 2.4 – Перехідні процеси за швидкостями узагальнених координат під час пуску конвеєра зі швидкістю 2,5 м/с.

Перехідні процеси за швидкостями узагальнених координат стрічки та натяжного пристрою, показані на рисунку 2.4, були результатом комп'ютерного

					ГМiM.602–mMM.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

моделювання. Графіки показують режим роботи конвеєра із постійною швидкістю та режим розгону. Осцилограми процесів, які відповідають реальним процесам. За допомогою результатів моделювання можна визначити швидкості та натяги в певних точках конвеєрної стрічки. Це дозволить створити подальшу систему керування швидкістю руху конвеєрної стрічки, коли приводні барабани не пробуксовують, і коли навантаження рівномірно розподіляється між приводами за будь-якої швидкості руху конвеєра.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		45

Розділ 3 ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧИХ ПРОЦЕСІВ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Конвеєрне встаткування істотно змінюється, при цьому постійно зростає його надійність при експлуатації й зменшується трудомісткість робіт з обслуговування й експлуатації. Застосування особливо міцних конвеєрних стрічок, шарнірних підвісних роликоопор, роликів з довгочасним змащенням, удосконалених навантажувальних і перевантажувальних пунктів, широке застосування засобів автоматизації, телемеханіки й комп'ютерної техніки, різного роду модернізованих допоміжних пристроїв у значній мірі сприяє поліпшенню технічного оснащення конвеєрів і підвищує надійність їх роботи.

За даними різних джерел [14] вартість конвеєрної стрічки складає від 50 до 70% вартості конвеєра, а амортизаційні відрахування на стрічку складають 80 % амортизаційних відрахувань на ремонт всього конвеєра.

Для дослідження надійності стрічки було взято різні типи стрічок, які використовуються на підприємстві для порівняння і визначення кращих характеристик, які наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Типи стрічок, що використовуються на підприємстві

Марка стрічки	Виробник	Кількість шарів	Ціна м ² , грн
ТК-200 5/2	Китай	5	420
ТК-200 5/2	Україна	5	550
PHOENIX» — EP 1600/5	Німеччина	5	860

Як видно з таблиці вартість китайської та української стрічки майже однакова, а стрічка німецького виробництва майже в два рази дорожча.

ГМіМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ				
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
Розроб.		Бондаренко		15.01
Керівн		Вірченко		14.12
Перевір.		Васильєв		15.01
Н. Контр.		Васильєв		15.01
Затвер.		Орисенко		19.01
Розділ 3				
Лім..		Аркуш		Аркушіє
		46		
НУПП імені Юрія Кондратюка 2024				

Тому необхідно дослідити надійність стрічок та надати рекомендації щодо їх використання, бо підприємство виготовляє конвеєри як для сільського господарства, де транспортується зернова маса, комбікорми та інше і також для гірничої промисловості де потрібно транспортувати породу з кар'єру, яка подається на конвеєр у вигляді кусків розміром до 250 мм і має гострі кромки та дуже міцна. А ще підприємство постачає конвеєри для металургійних підприємств де транспортують не тільки важкі заготовки, а і гарячі. Тому вибір типу стрічки дуже важливий, і суттєво впливає на собівартість конвеєра.

Основні навантаження та деформації які сприймає стрічка є стирання та розтяг, а також теплова дія від проковзування стрічки по барабану і від проковзування матеріалу. Тому подальші дослідження будуть направлені на ці види зносу стрічки.

Випробування на стирання проводиться на машині тертя МИ-2 "Грасселі" (рис. 3.1) згідно методики [15]. Зразки для випробування на стирання, з поверхнею яка підлягає стиранню, у формі квадрата зі стороною 20 мм оснащені заплічками шириною 4 мм і висотою 3 мм, які служать для закріплення в рамках тримача. Частина яка підлягає стиранню і, що виступає над рамкою тримача, повинна мати висоту $(3,5 \pm 0,5)$ мм.

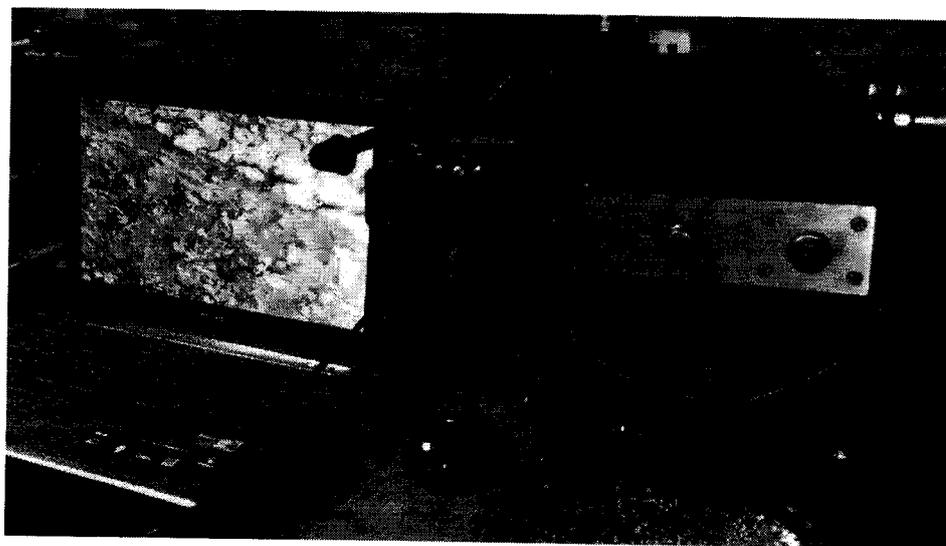


Рисунок 3.1 – Установка МИ-2 з відео фіксацією процесу стирання

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

Зразки (6 шт.) готовимо шляхом вирізання з готової стрічки конвеєра.

На поверхні зразків не повинно бути тріщин, пор, раковин і інших дефектів.

Опір стиранню визначається при постійному навантаженні 26 Н. Випробування рекомендується проводити при тиску 0,0325 МПа. На диску закріплюємо шкірку, встановлюємо на машину тримач зі зразками. Машину включаємо і стабілізуємо шкірку протягом 15 хв при тиску 0,0325 МПа.

Після цього притираємо зразки до шкірки до зняття зовнішньої плівки з усієї робочої поверхні. Притирання зразка й стабілізацію шкірки можна робити одночасно. Після цих підготовчих операцій виключаємо електродвигун, відзначаємо олівцем положення зразків у рамках, виймаємо їх, очищаємо від пилу й бахропки, зважуємо із точністю до 0,001 г. (рис. 3.2).

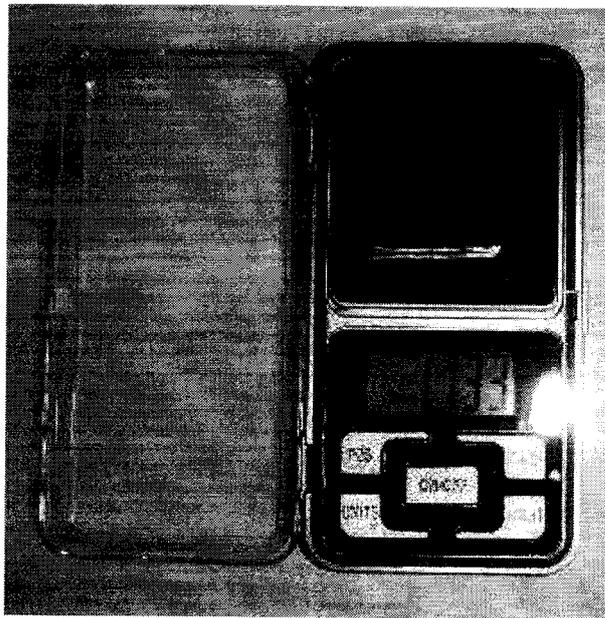


Рисунок 3.2 – Зважування зразка на електронних вагах

Потім зважені зразки знову закріплюємо у рамках і встановлюємо тримач на машину так само, як для притирання. Підвішуємо вантаж, що притискає рамку зі зразками з зусиллям 26 Н.

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

Кінцевий вимикач лічильника ставимо на цифру «200». Включаємо електродвигун і піддаємо зразки стиранню протягом 5 хв. У ході випробування щохвилини записуємо масу врівноважуючого вантажу. По закінченню стирання зразки знову очищаємо і зважуємо.

Втрати маси гуми при стиранні повинні становити не менш 0,05 г, а якщо ні, то тривалість випробування збільшуємо. Здатність до стирання кожного кола шкурки за допомогою еталонної гуми перевіряємо до і після випробування шести пар зразків. При зменшенні здатності до стирання кола шліфувальної шкурки на 20% і більш його заміняємо новим.

Таблиця 3.2 - Результати випробувань по визначенню опору гум стиранню при ковзанні

Показник	Зразки		
	1	2	3
Маса зразка: до стирання	12,0	12,0	12,0
після стирання	11,2	11,33	11,45
Втрати маси, кг	0.0008	0.00067	0.00055
Щільність гуми, кг/м ³	1200	1200	1200
вантаж, що врівноважує, Н	0,55	0,58	0,7
Постійна машини, Н	26	26	26
Робота тертя, Дж	2262	2262	2262
Стирання, м ³ /Дж	2,9 · 10 ⁻⁹	2,78 · 10 ⁻⁹	2,6 · 10 ⁻⁹

Як видно з таблиці всі стрічки мають майже однакове стирання.

Стандартні зразки для випробування у формі двосторонньої лопатки розтягують на розривній машині (рис. 3.3) при постійній швидкості переміщення рухомого затискача або шківа. Силу й подовження реєструють протягом безперервного розтягання зразка й до моменту розриву.

					ГМіМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		49

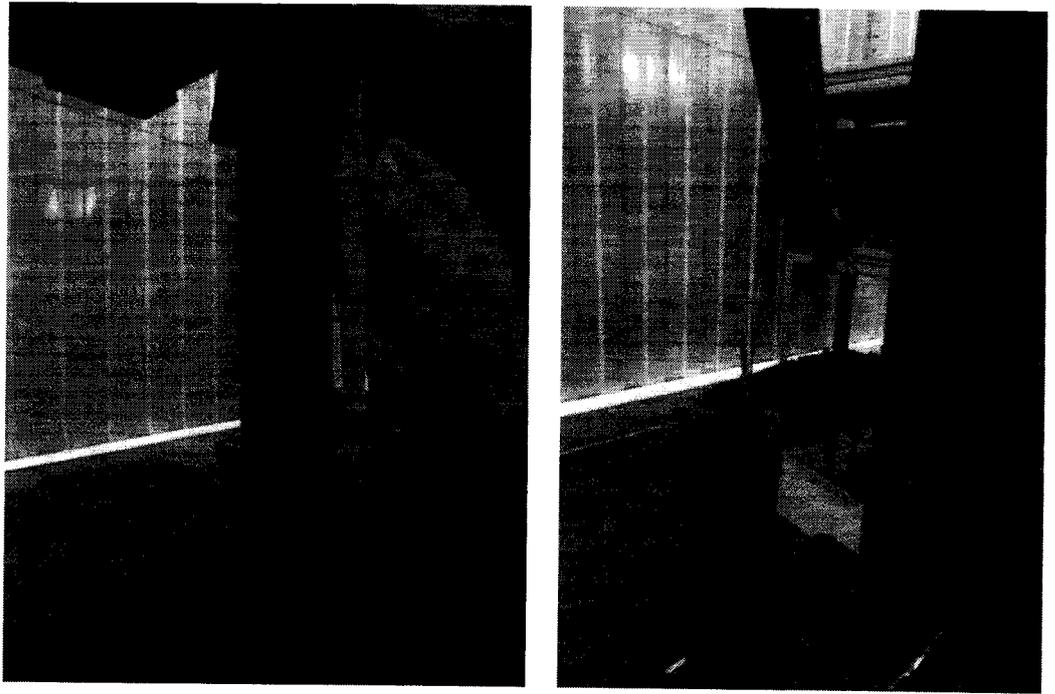


Рисунок 3.3 – Випробування елементів стрічок на розрив

Результати випробувань наведені на рис. 3.4.

Мінімальна міцність за ДСТУ для 5 шарової стрічки повинно складати не менше 1200 Н/мм.

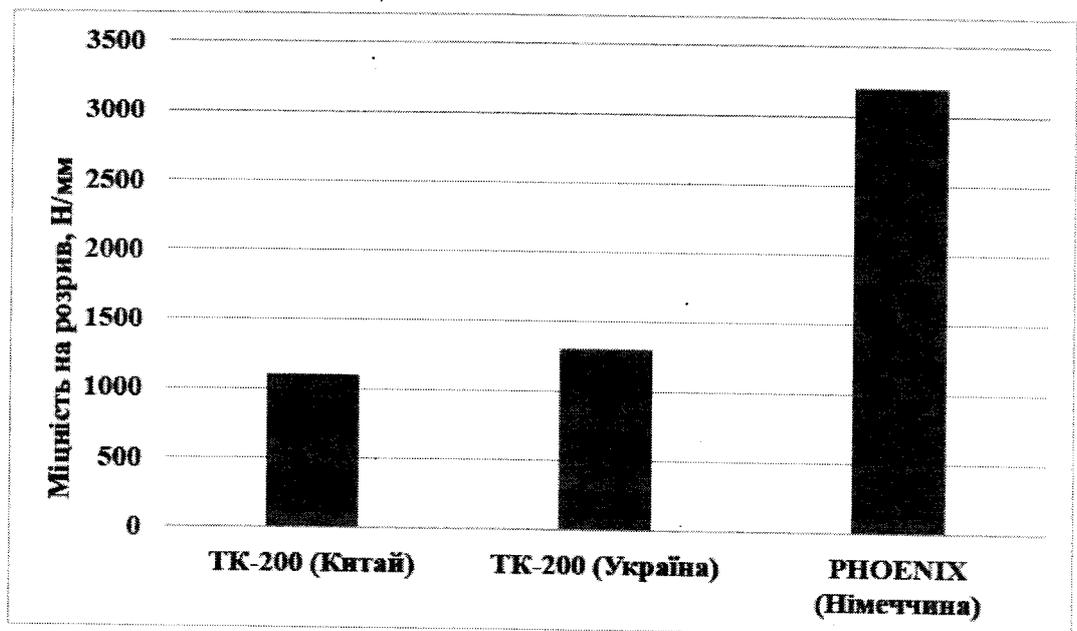


Рисунок 3.4 – Міцність на розрив стрічок різних виробників

					ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

На рис. 3.5 наведено довговічність стрічки в залежності від довжини конвеєра виробництва Китай та Німеччина.

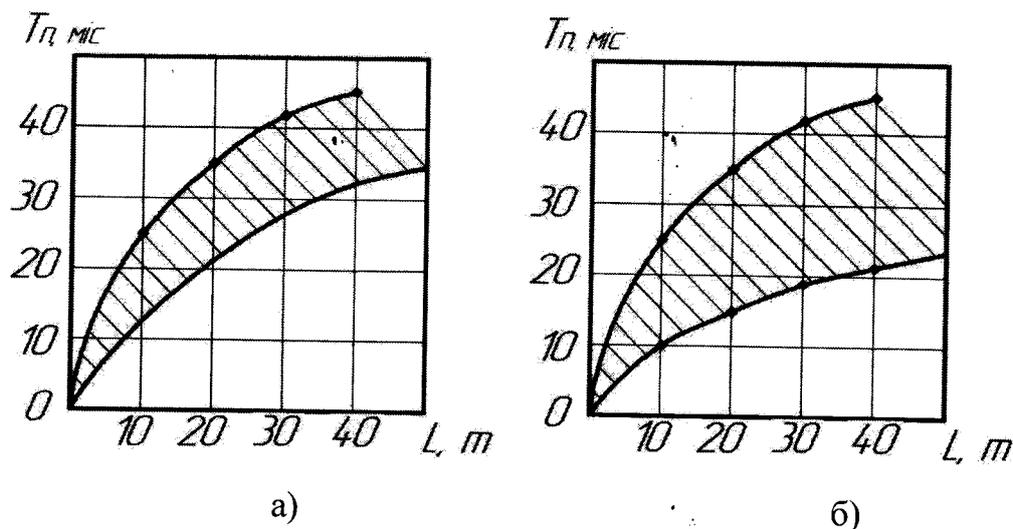


Рисунок 3.5 – Залежність строку служби конвеєрної стрічки від довжини стрічки а – стрічка виробництва Німеччина, б – стрічка виробництва Китай

Як видно з рисунку у стрічки китайського виробництва значно більша зона розсіювання відмови.

Визначення твердості по Шору гумової футеровки проводиться за методикою, викладеної в ГОСТ 263-75 [16].

Сутність методу полягає у вимірі опору гуми зануренню в неї індентора (рис. 3.6).

Випробуваний зразок поміщують на гладку горизонтальну поверхню. Твердомір установлюють на зразок без поштовхів і ударів у перпендикулярному положенні так, щоб опорна поверхня майданчика стикалася зі зразком. Твердомір установлюють у спеціальне пристосування, що дозволяє створювати притискне зусилля від 10,0 до 12,5 Н, або на нього монтують центрований по осі індентора вантаж масою від 1,00 до 1,25 кг.

Допускається твердомір навантажувати вручну [16].

					ГМіМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		51

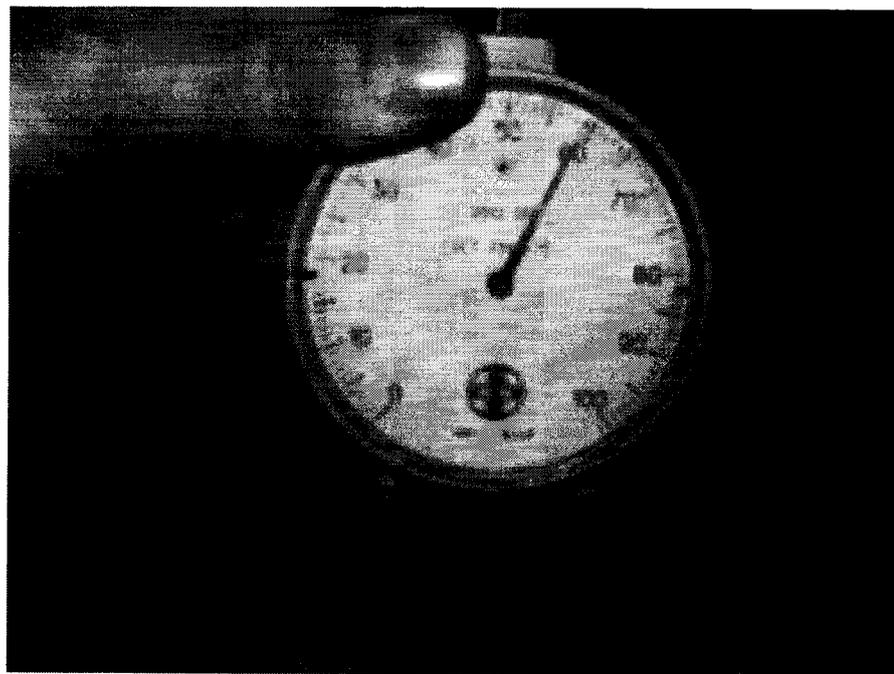


Рисунок 3.6 – Визначення твердості по Шору

Таблиця 3.4 – Вимірювання твердості

Марка конвеєра та виробник	Твердість по Шору
ТК-200 5/2 Китай	59
ТК-200 5/2 Україна	63
PHOENIX» — EP 1600/5 Німеччина	65

Для збільшення міжремонтного періоду було вирішено використовувати систему стабілізації погонного навантаження конвеєра. Розроблений алгоритм повинен бути використаний для контролю швидкості руху конвеєра. Підсистеми моделі системи складаються з різних пристроїв, які використовуються в конвеєрній установці. Ці підсистеми включають модель руху стрічкового конвеєра, модель асинхронного частотно-керованого КЗ приводу руху, модель регулятора швидкості руху стрічки, яка включає модель

					ГМіМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

шахтного випадкового вантажопотоку, модель датчика швидкості, власний регулятор і модель пристрою, яка визначає величину помилки регулювання. Розглянемо змодельований графік, створений в середовищі MATLAB, який показує реальне завантаження стрічкового конвеєру, яке змінюється стрімко з часом.

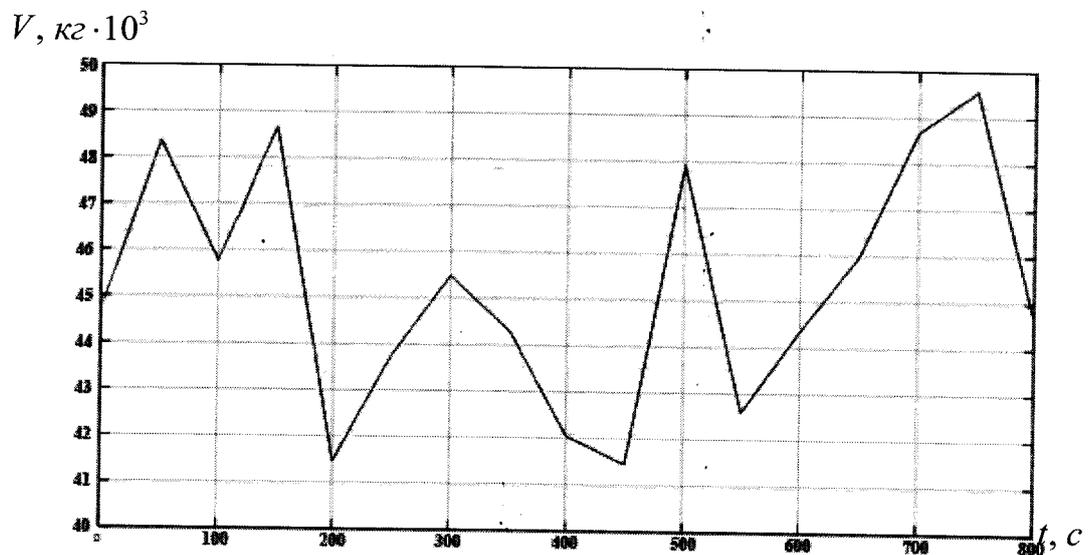


Рисунок 3.7 – Графік фактичного завантаження стрічкового конвеєру.

Як показано на графіку завантаження стрічкового конвеєру, завантаження є нерівномірним і знаходиться в певних межах. Це означає, що стрічковий конвеєр регулярно працює в режимі перевантаження та недовантаження. Крім того, це вплине на його роботу в цілому. Режими перевантаження збільшують знос робочих органів. Крім того, в режимі недовантаження енергоефективність приводної системи значно страждає.

Застосування блоку керування продуктивності стрічкового конвеєру дозволяє регулювати навантаження конвеєру, що підвищує продуктивність, час роботи та споживання енергії.

Рис. 3.8 показує результати використання регулювання швидкості стрічкового конвеєру в залежності від навантаження.

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		53

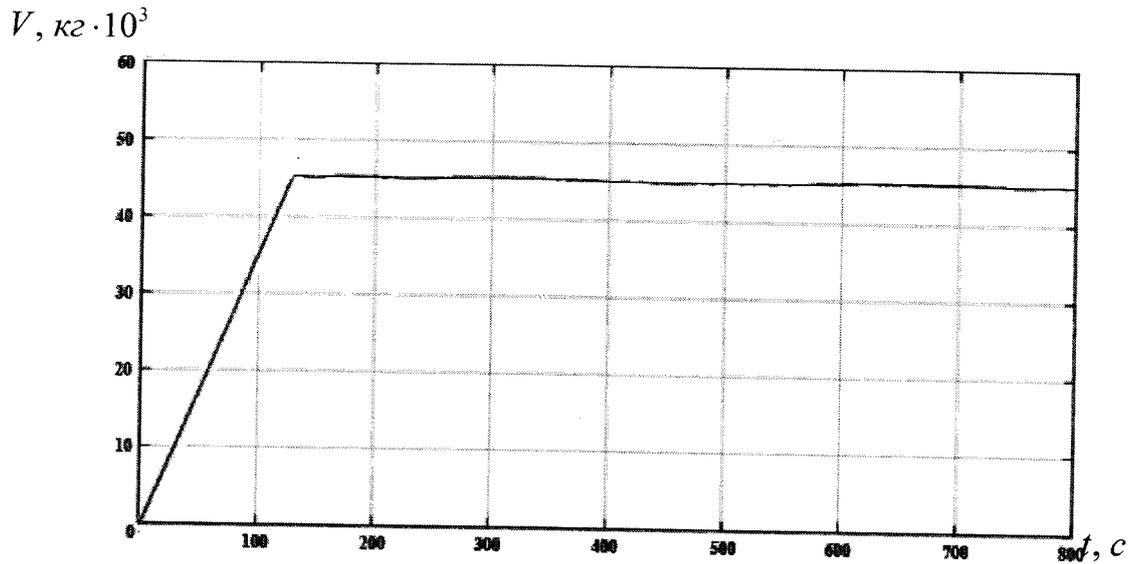


Рисунок 3.8 – Графік завантаження стрічкового конвеєру з регулюванням його швидкості в залежності від навантаження.

Як видно з графіка, завантаження стрічкового конвеєра на всьому проміжку часу приблизно рівне номінальному. Це також означає, що він споживає менше енергії, що збільшує продуктивність і тривалість роботи.

Для того, щоб точно визначити, наскільки добре працює система керування продуктивністю стрічкового конвеєру, необхідно провести дослідження її на справність при різних типах завантаження. Щоб досягти цього, в схемі моделювання системи стабілізації погонного навантаження стрічкового конвеєра потрібно замінити блок, який надає навантаження, іншим. Потім для кожного нового блоку повторимо процес моделювання.

Наведені нижче схеми з новими блоками задання навантаження, графіки реального завантаження стрічкового конвеєра та отримані результати регулювання завантаження конвеєра, яке змінює швидкість стрічкового конвеєра відповідно до реального завантаження.

Наступний графік показує реальне навантаження стрічкового конвеєру, якщо використовується блок задання навантаження Random Number.

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

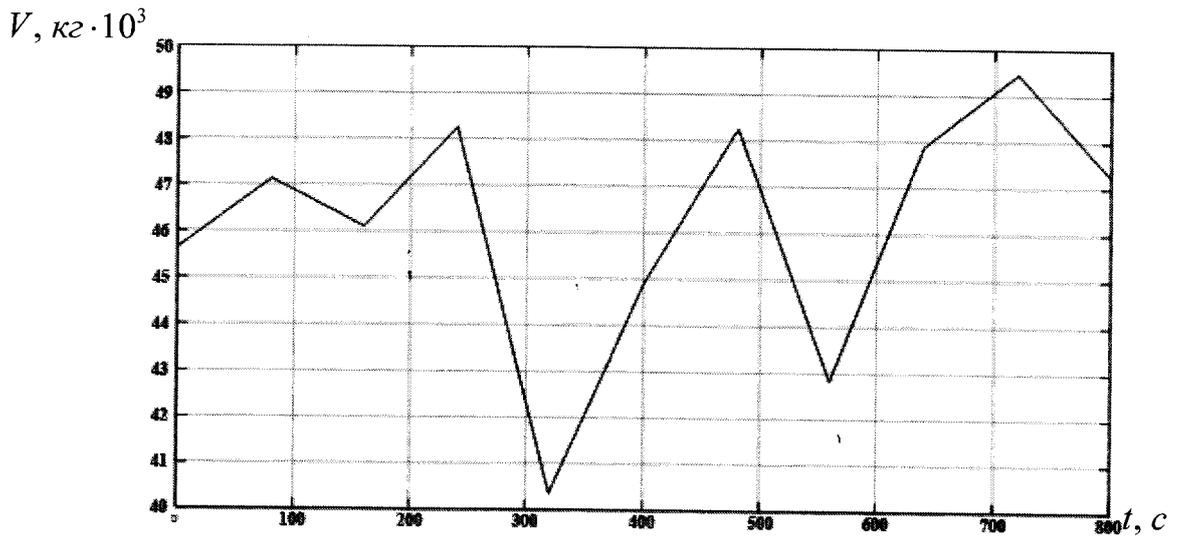


Рисунок 3.9 – Графік фактичного завантаження стрічкового конвеєру.

Рис. 3.10 демонструє результати застосування регулювання швидкості стрічкового конвеєру в залежності від навантаження.

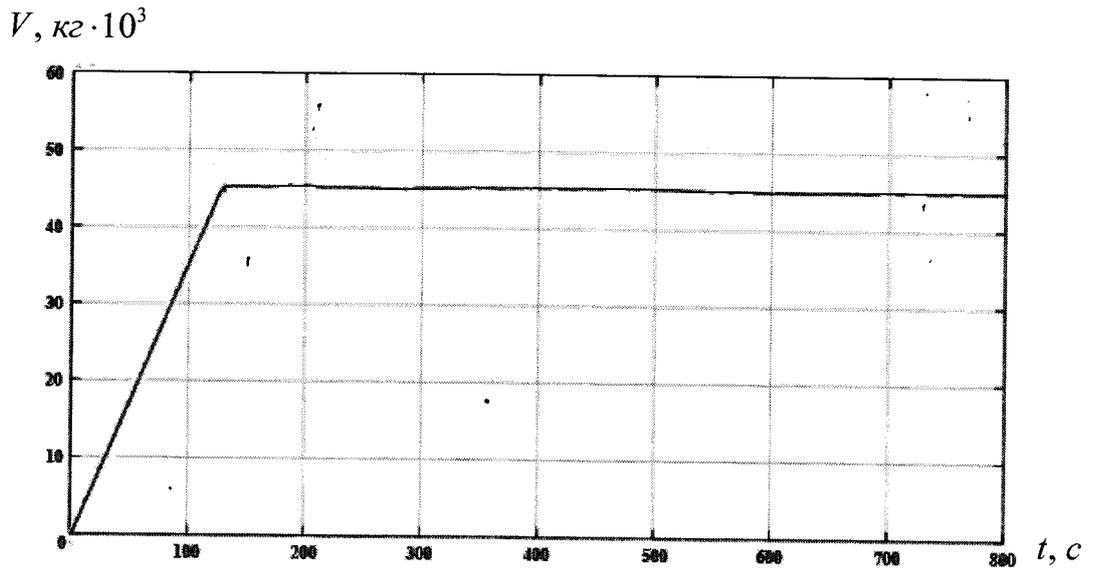


Рисунок 3.10 – Графік завантаження стрічкового конвеєру з регулюванням його швидкості в залежності від навантаження.

Наступний графік показує реальне навантаження стрічкового конвеєру при використанні блоку задання навантаження Sine Wave.

$V, \text{кг} \cdot 10^3$

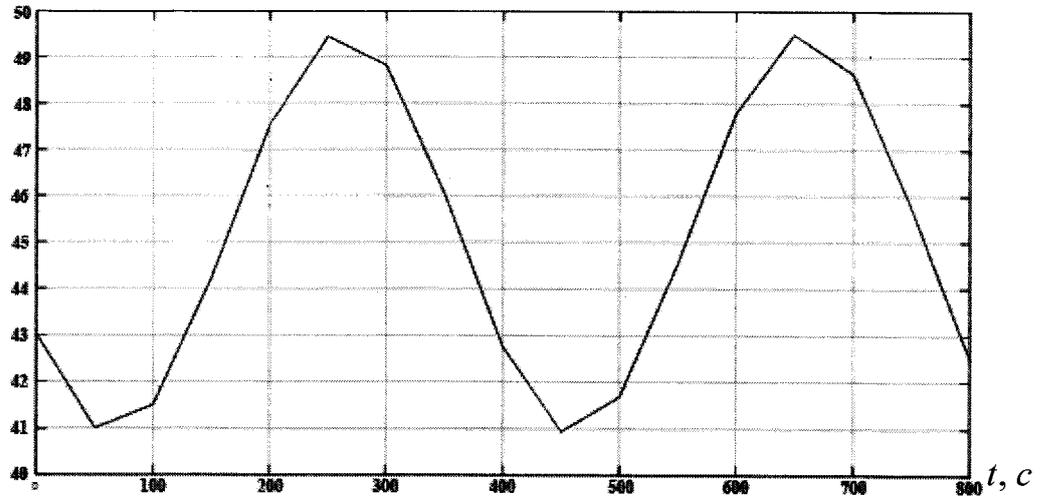


Рисунок 3.11 – Графік фактичного завантаження стрічкового конвеєру.

На рис. 3.12 показано результати застосування регулювання швидкості стрічкового конвеєру в залежності від навантаження.

$V, \text{кг} \cdot 10^3$

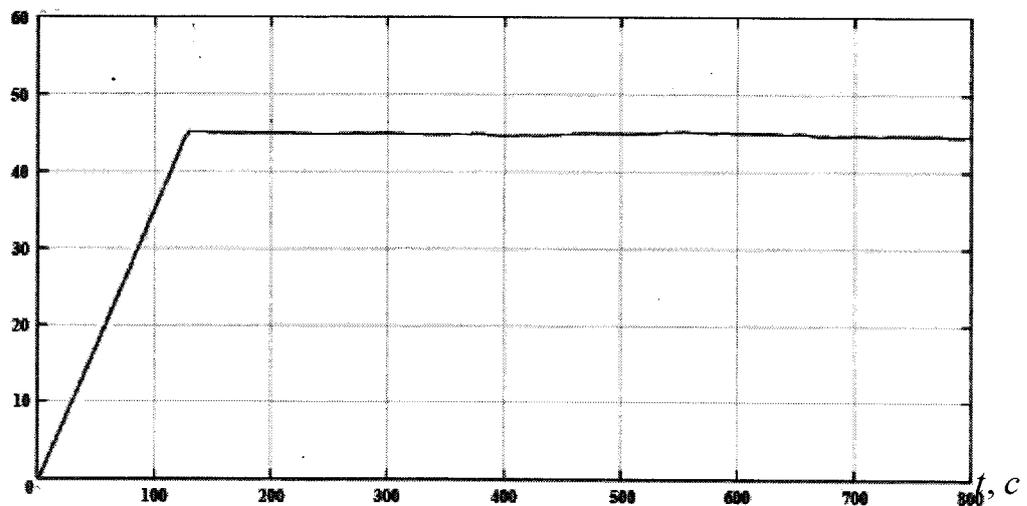


Рисунок 3.12 – Графік завантаження стрічкового конвеєру з регулюванням його швидкості в залежності від навантаження.

					ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

Встановлено, що найбільш вагомим зносом конвеєрних стрічок є абразивний знос та втомний. Проведені дослідження дали змогу встановити, що на підприємстві використовуються різні типи гумовотканинних стрічок різних виробників, які суттєво відрізняються одна від одної за вартістю.

Встановлено, що стрічки виробництва Китай найбільш підтверджені стиранню, так стирання стрічки ТК-200 (Китай) складає $2,9 \cdot 10^{-9}$, ТК-200 (Україна) $2,78 \cdot 10^{-9}$, а Німецька РНОENIX» — EP 1600/5 - $2,6 \cdot 10^{-9}$.

Встановлено, що при випробуваннях на розрив стрічка ТК-200 виробництва Китай не відповідає вимогам ДСТУ і складає 1100 Н/мм, стрічки ТК-200 (Україна) та Німецька РНОENIX» — EP 1600/5 відповідають ДСТУ і складають відповідно 1300 і 3200 Н/мм. Також слід відмітити, що стрічка виробництва Німеччини майже втричі перевищує міцність Української і Китайської стрічок.

Щоб оптимізувати якість управління, було запропоновано використання алгоритму управління, який робить регулювання завантаження шляхом зміни швидкості руху стрічки конвеєра пропорційно вантажопотоку. У результаті порівняння результатів моделювання було виявлено, що запропонований метод регулювання є кращим. Загальнопромисловий програмований логічний контролер, який використовується для автоматизації завдань, може підтримувати як алгоритм управління, так і блок формування завдань по змінним стану. Більш ретельне вивчення динамічних властивостей конвеєрної системи може дозволити подальшому покращенню якості регулювання завантаження.

					ГМіМ.602–мММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		57

ВИСНОВКИ

При виконанні даної магістерської дипломної роботи було проведено аналіз конструкцій і типів стрічкових конвеєрів. Також проведено аналіз робочих процесів стрічкового конвеєра та визначено всі недоліки та переваги даної конструкції.

На основі цих досліджень було запропоновано математичну модель. Було проведено експериментальні дослідження характеристик стрічок різних виробників, які використовуються на підприємствах для виготовлення стрічкових конвеєрів. В результаті було визначено що найбільш вагомим зносом конвеєрних стрічок є абразивний знос та втомний. що стрічки виробництва Китай найбільш підтверджені стиранню, так стирання стрічки ТК-200 (Китай) складає $2,9 \cdot 10^{-9}$, ТК-200 (Україна) $2,78 \cdot 10^{-9}$, а Німецька РНОENIX» — EP 1600/5 - $2,6 \cdot 10^{-9}$.

При випробуваннях на розрив стрічка ТК-200 виробництва Китай не відповідає вимогам ДСТУ і складає 1100 Н/мм, стрічки ТК-200 (Україна) та Німецька РНОENIX» — EP 1600/5 відповідають ДСТУ і складають відповідно 1300 і 3200 Н/мм. Також слід відмітити, що стрічка виробництва Німеччини майже втричі перевищує міцність Української і Китайської стрічок.

Для збільшення міжремонтного періоду було вирішено використовувати систему стабілізації погонного навантаження конвеєра.

ГМІМ.602-МММ.003-00.00.000.ПЗ								
Зм..	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ	Літ..	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бондаренко		15.01				
Керівн		Вірченко		19.12				38
Перевір.		Васильєв		6.01				
Н. Контр.		Васильєв		15.01				
Затвер.		Орисенко		19.01				
						НУПП імені Юрія Кондратюка 2024		

ЛІТЕРАТУРА

1. Онищенко О.Г., Помазан В.М. Будівельна техніка - Київ: Урожай, 1998 – 179 с.
2. Баладінський В.Л., Назаренко І.І., Онищенко О.Г. Будівельна техніка - Київ-Полтава: КНУБА-ПНТУ, 2002 – 320 с.
3. Онищенко О.Г., Онищенко В.О., Коробко Б.О., Вірченко В.В. Будівельна техніка. – Київ. Кондор-Видавництво, 2017 – 320 с.
4. Баладінський В.Л., Лівінський О.М., Хмара Л.А., Фомін А.В., Гаркавенко О.М. *Будівельна техніка*. – Київ. Либідь, 2001 – 320 с.
5. Підйомно-транспортні машини / [А. С. Кобець, В. І. Дирда, Ю. Г. Козуб та ін.]. – Луганськ: ДЗ "ЛНУ імені Тараса Шевченка", 2013. – 218 с.
6. Мала гірнича енциклопедія в 3 т. / [В. С. Білецький, В. С. Бойко, В. С. Бокін та ін.]. – Донецьк: Донбас, 2004. – 640 с.
7. Особливості розрахунку приводних барабанів стрічкових вертикальних елеваторів / Н. М. Фідровська, І. М. Лук'янов // *Машинобудування*. - 2015. - № 15. - С. 64-70.
8. Колісник М.П., Шевченко Д.Ф., Мелашич В.В. Основи розробки, виробництва, монтажу, випробувань та обстежень підйомно-транспортних машин. Навчальний посібник. Дніпропетровськ: Пороги, 2007. 193 с.
9. Патент 80804 Україна, МПК В65G 15/00. Стрічковий конвеєр / Руденко О. С., Єгоров Г. О., Моргун В. Н., Забіров В. З., Артем'єва Н. Г., Кучма К. В.; замовник: «». - №201214886; заявлений 25.12.2012.; опублікований 10.06.2013. Бюлет.№13.
10. Дирда В. І. Міцність та руйнування еластомірних конструкцій в екстремальних умовах / В. І. Дирда. - Київ: Наукова думка, 1988. - 232 с.

ГМІМ.602–МММ.003–00.00.000.ПЗ								
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Література	Літ.	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Бондаренко		15.01				
Керівн		Вірченко		19.12			59	
Перевір.		Васильєв		15.01				
Н. Контр.		Васильєв		15.01				
Затвер.		Орисенко		19.01				
						НУПП імені Юрія Кондратюка 2024		

11. Цаніді І. М. Вивчення конструкції та визначення основних параметрів стрічкового конвеєра: методичні рекомендації / І. М. Цаніді. – Дніпро: ДДАЕУ, 2018. – 24 с.

12. Пат. 119244 Україна, МПК7 МПК G01N 33/44 (2006.01). Пристрій для випробувань гумових елементів на стирання [Текст] / Дирда В. І.; Калганков Є. В.; Черній О. А.; Цаніді І. М.; Калганков Б. В. u201602207; заявл. 09.03.2016 ; опубл. 25.09.2017, бюл. № 18- 4с.

13. ГОСТ 263-75, Гума. Метод визначення твердості по Шору. 1975. - 7 с.

14. Назаренко В.М., Єфименко Л.І. Оцінка зусиль на ставку стрічкового конвеєра при регулюванні швидкості транспортування. -Ізв. вишів. – Горн. журн, 1985 – С.60 – 62.

15. Новіков Є.Є., Смирнов В.К. Теорія стрічкових конвеєрів для кускових гірських порід. -Київ: Наукова думка, 1983.-184 с.

					ГМіМ.601–МММ.003–00.00.000.ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		60

**Дослідження робочих процесів обладнання для
переміщення сипких, дрібно кускових та пластичних матеріалів**

Презентаційні матеріали

ГМіМ.602-мММ.003-00.00.000ПМ

**Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки**

**Магістерська робота на тему:
Дослідження робочих процесів обладнання
для переміщення сипких, дрібно кускових
та пластичних матеріалів**

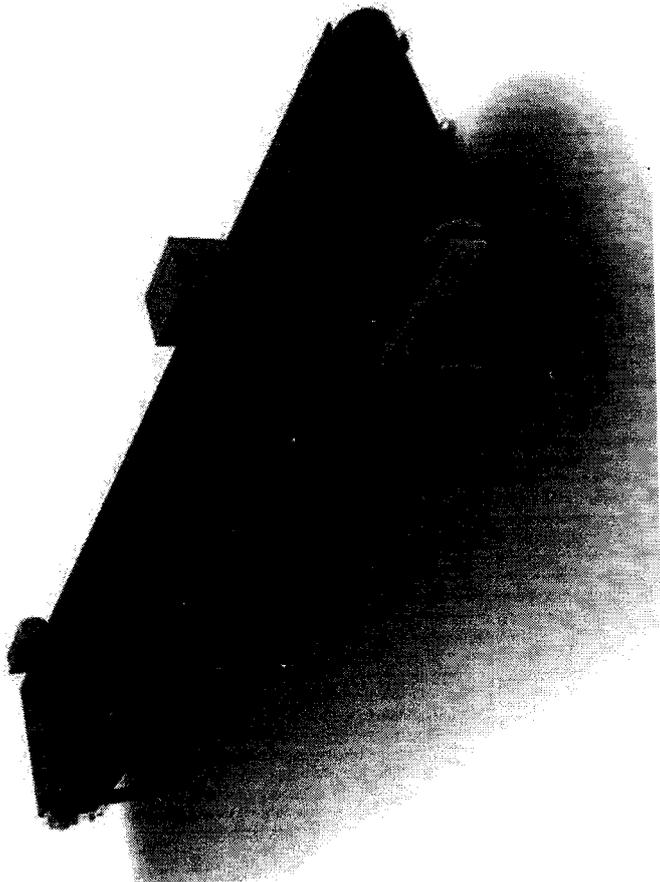
**Виконав: студент групи 602-ММ
Бондаренко Марк
Керівник: к.т.н., доцент
Вірченко Віктор**

Полтава 2024

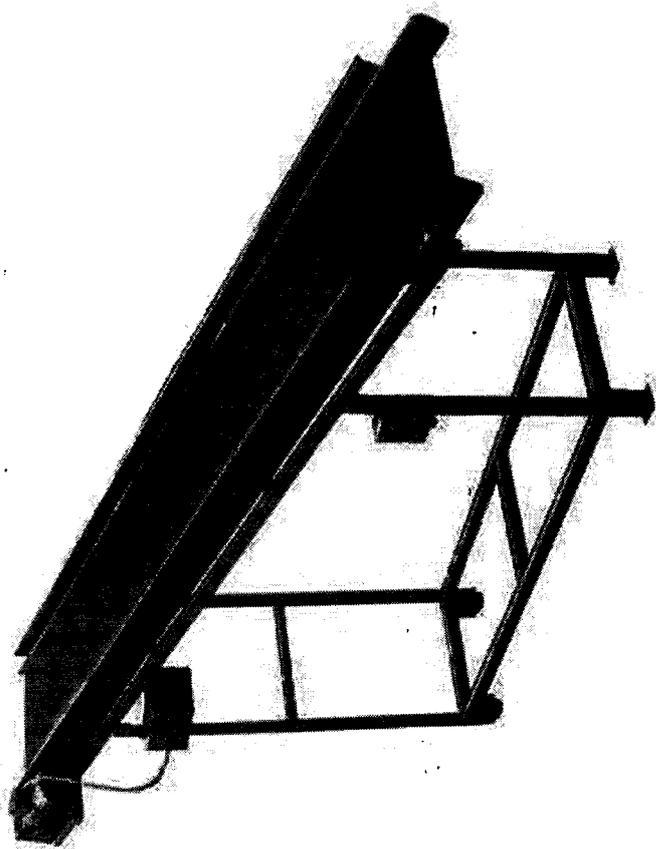
Мета: проведення дослідження
робочих процесів обладнання для
переміщення сипких матеріалів на
основі існуючих конвеєрів

Об'єкт – процеси переміщення
матеріалу по стрічковому конвеєру
Предмет – стрічка, стрічковий
конвеєр

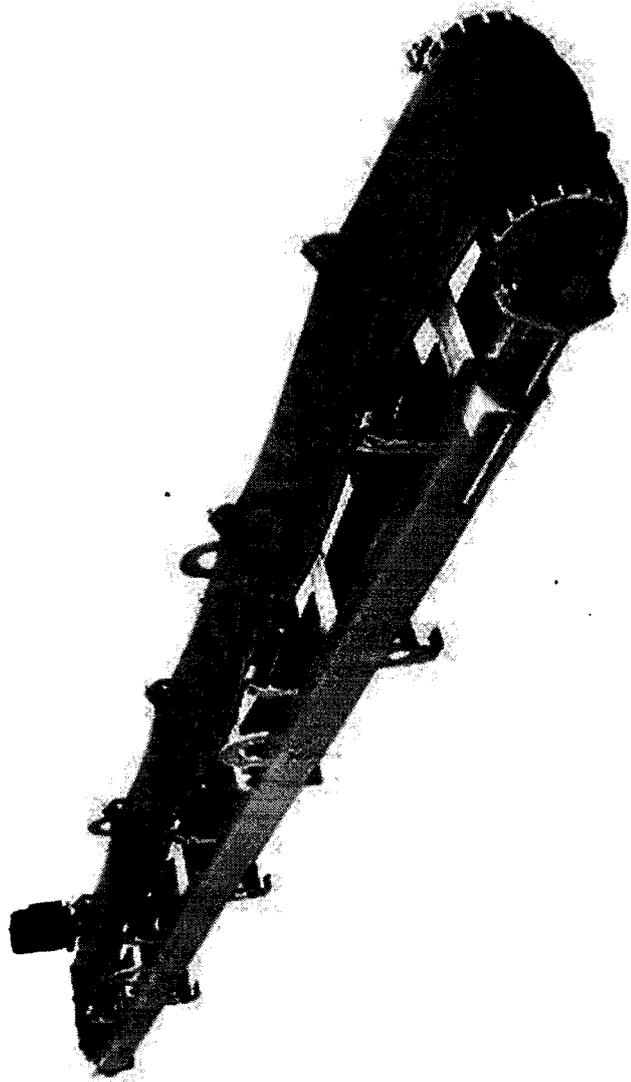
АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ



Горизонтальний стрічковий конвеєр



Похилый конвеєр



Похилый конвейер із шевронною стрічкою

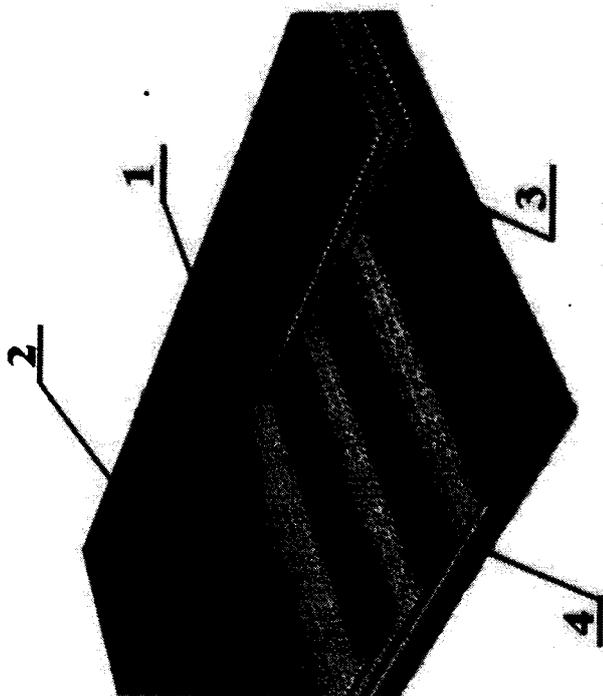


Пересувний стрічковий конвеєр

Багатопрокладкова

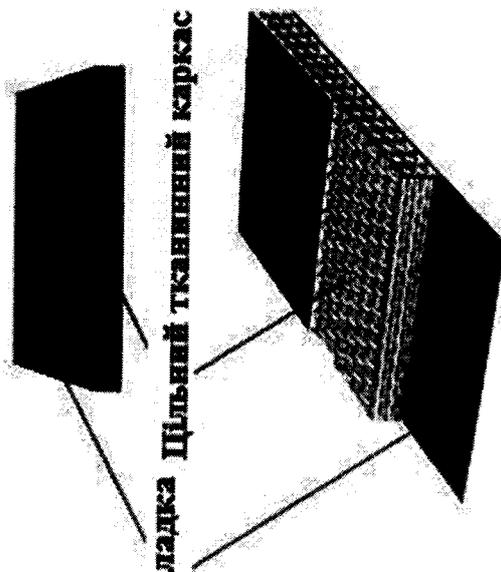
гумовотканинна трічка:

- 1 – тканинні прокладки;
- 2 – гумова робоча обкладка;
- 3 – гумова неробоча обкладка;
- 4 – гумовий проміжний шар

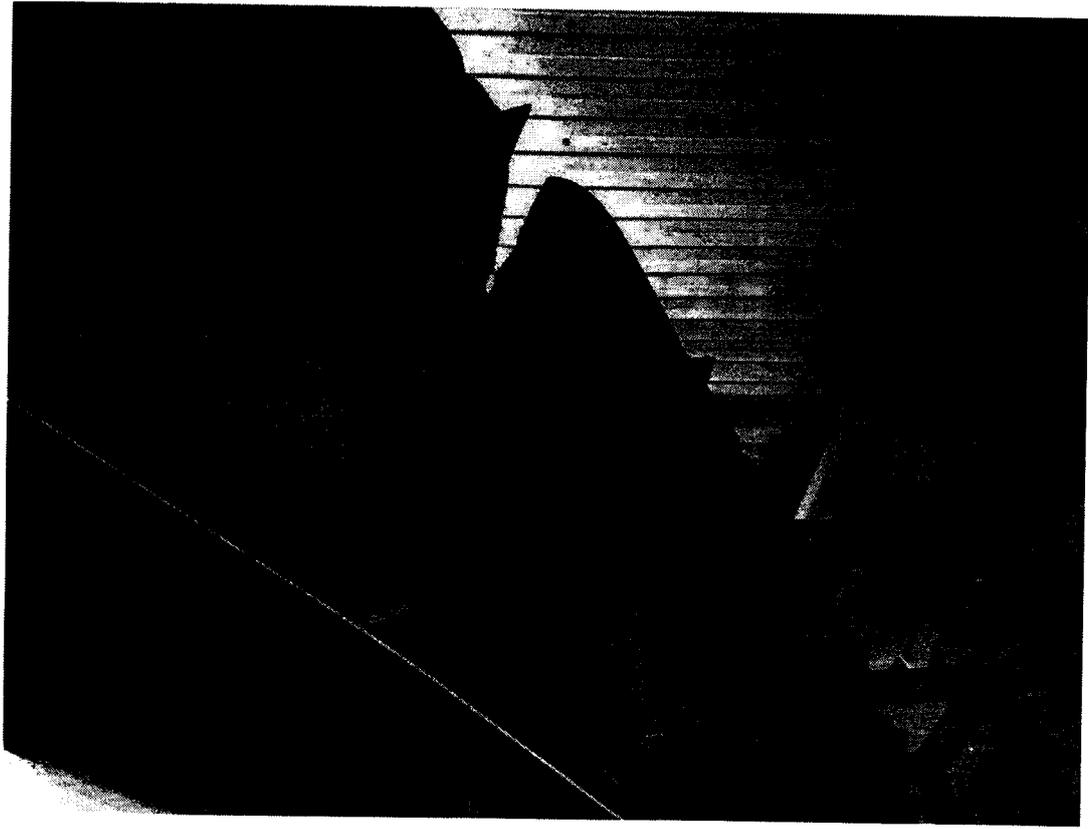


Конвеєрна стрічка із цілним
тканинним каркасом

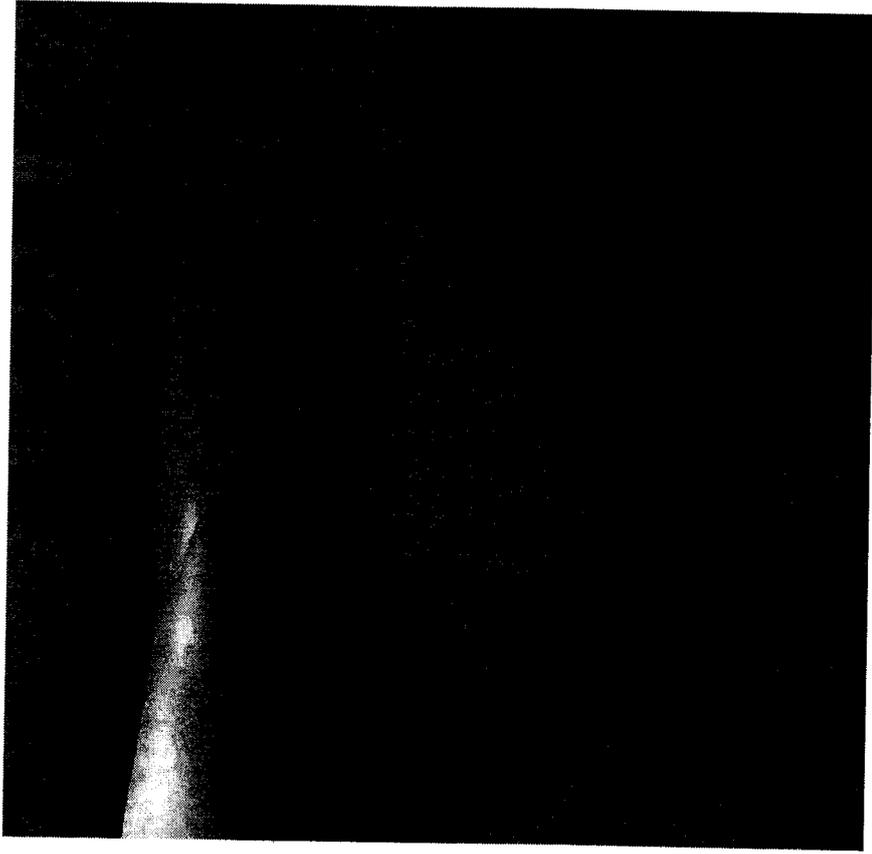
Обкладка Цільний тканинний каркас



Дефект стрічки (надрив)

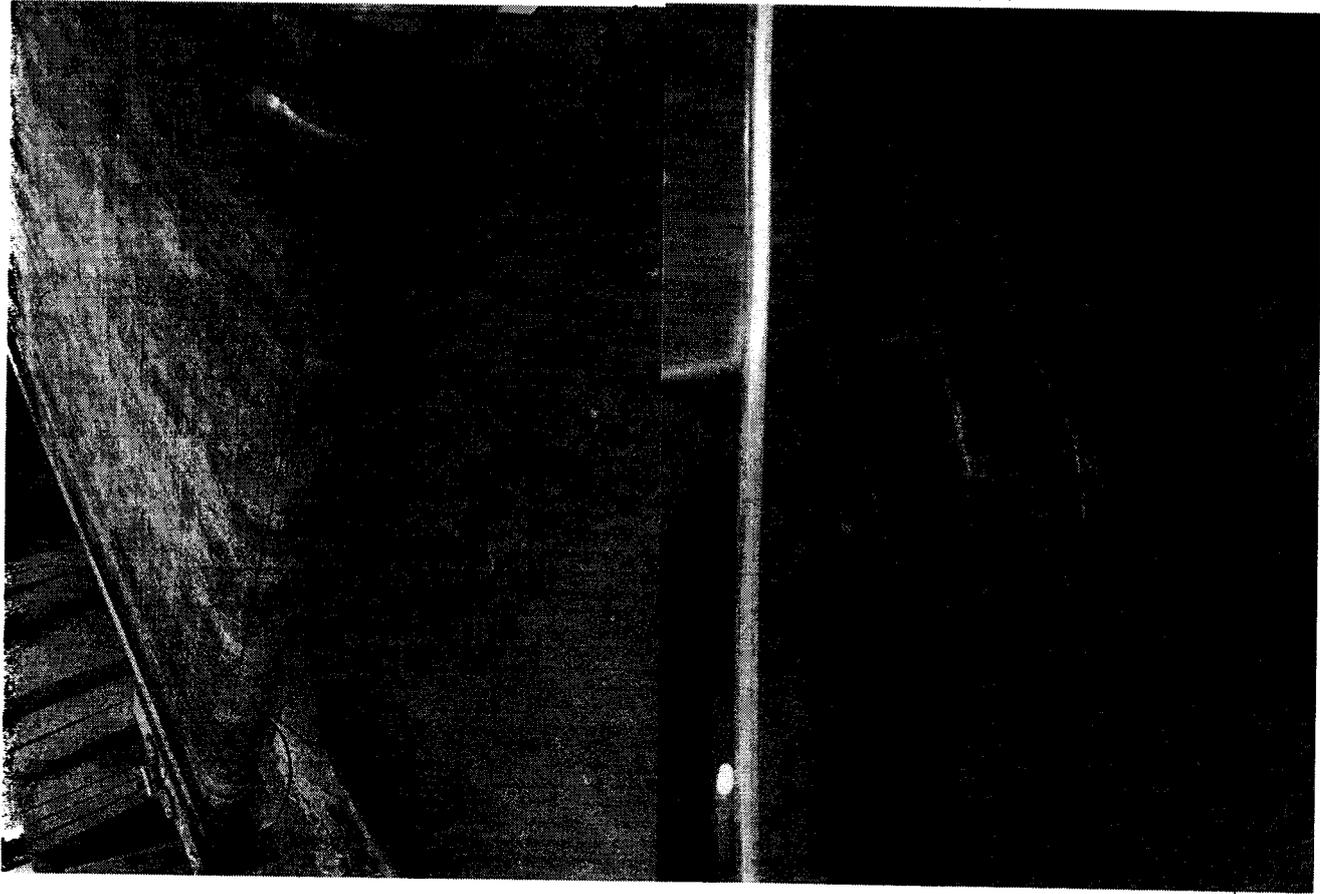


Бічний знос стрічки



Утворення тріщини та порив стрічки

Розшарування стрічки у місцях склеювання



МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

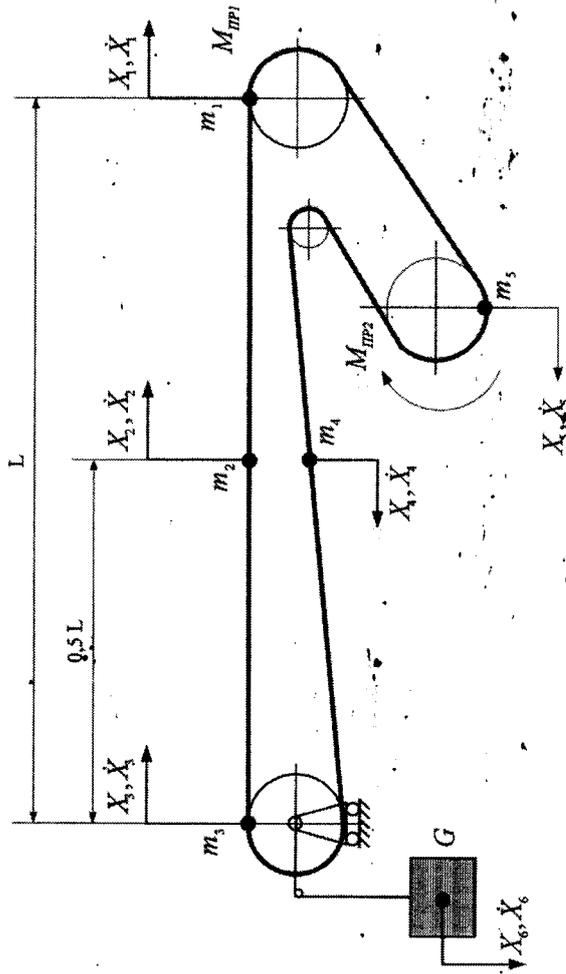


Рисунок демонструє розрахункову схему конвеєрної установки з двома приводами та натяжним пристроєм у хвостовій частині. Шість зосереджених мас апроксимують систему з розподіленими параметрами: m_1 , m_2 , m_3 розташовані на вантажній гілці, m_4 , m_5 розташовані на порожній гілці, а m_6 є масою натяжного пристрою.

$$\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial T}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left(\frac{\partial T}{\partial q_i} \right) + \frac{\partial}{\partial t} \Pi + \frac{\partial}{\partial q_i} A = 0$$

$$T_{ij} = \frac{G_{ij} l_{ij}}{6g} \left[\dot{X}_i^2 + \dot{X}_i \dot{X}_j + \dot{X}_j^2 \right]$$

$$\Pi_{ij} = C_{ij} \frac{(X_i - X_j)^2}{2} + G_{ij} l_{ij} \frac{X_i + X_j}{2} \sin \beta$$

$$A_{ij} = G_{ij}^1 \mu \frac{X_i + X_j}{2} \cos \beta, \quad A_{mp} = -\frac{M_{n1} X_1}{R_{61}} - \frac{M_{n2} X_5}{R_{62}}$$

$$A_{ij} = \frac{\eta}{2} \left[(\dot{X}_i - \dot{X}_{i+1})(X_i - X_{i+1}) + (\dot{X}_i - \dot{X}_{i-1})(X_i - X_{i-1}) \right]$$

$$T_x = \frac{G_r^1}{6g} (\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1 \dot{X}_2 + \dot{X}_2^2) + \frac{G_l^1}{6g} (\dot{X}_2^2 + \dot{X}_2 \dot{X}_3 + \dot{X}_3^2) + \frac{G_n^1}{6g} (\dot{X}_3^2 + \dot{X}_4 \dot{X}_3 + \dot{X}_4^2) +$$

$$+ \frac{G_n^1}{6g} (\dot{X}_4^2 + \dot{X}_5 \dot{X}_4 + \dot{X}_5^2) + \frac{G_n^1}{6g} (\dot{X}_5^2 + \dot{X}_1 \dot{q}_5 + \dot{X}_1^2),$$

$$T_z = \frac{G_r^1}{6g} (\dot{X}_1^2 + \dot{X}_1 \dot{X}_2 + \dot{X}_2^2) + \frac{G_l^1}{6g} (\dot{X}_2^2 + \dot{X}_2 \dot{X}_3 + \dot{X}_3^2) + \frac{G_n^1}{6g} (\dot{X}_3^2 + \dot{X}_4 \dot{X}_3 + \dot{X}_4^2) +$$

$$+ \frac{G_n^1}{6g} (\dot{X}_4^2 + \dot{X}_5 \dot{X}_4 + \dot{X}_5^2) + \frac{G_n^1}{6g} (\dot{X}_5^2 + \dot{X}_1 \dot{q}_5 + \dot{X}_1^2) + \frac{m_{n1} \dot{X}_1^2}{2} + \frac{m_{n2} \dot{X}_5^2}{2} + \frac{G_{m7} \dot{X}_6^2}{2g}$$

$$\Pi_k = \frac{(X_1 - X_2)^2 C}{2} + \frac{(X_2 - X_3)^2 C}{2} + \frac{(X_3 - X_4)^2 C}{2} + \frac{(X_4 - X_5)^2 C}{2} + \frac{(X_5 - X_1)^2 C}{2}$$

$$m_r (2\ddot{X}_1 + \ddot{X}_2) + m_u (2\ddot{X}_1 + \ddot{X}_3) + m_{mp} \ddot{X}_1 + C(2\ddot{X}_1 - \ddot{X}_2 - \ddot{X}_3) + 0.5(G_r l + G_n l_u) \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_1 +$$

$$+ \eta(2\dot{X}_1 - \dot{X}_2 - \dot{X}_3) = \frac{M_{mp1} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1)}{R_6},$$

$$m_r (2\ddot{X}_2 + \ddot{X}_1) + m_r (2\ddot{X}_2 + \ddot{X}_3) + C(2\ddot{X}_2 - \ddot{X}_1 - \ddot{X}_3) + G_r \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_2 + \eta(2\dot{X}_2 - \dot{X}_1 - \dot{X}_3) = 0,$$

$$m_r (2\ddot{X}_3 + \ddot{X}_2) + m_n (2\ddot{X}_3 + \ddot{X}_4) + C(2\ddot{X}_3 - \ddot{X}_2 - \ddot{X}_4) + 0.25C_k (X_3 - X_4 - 2X_6) +$$

$$+ \eta(2\dot{X}_3 - \dot{X}_2 - \dot{X}_4) + 0.5(G_r + G_n) \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_3 = 0$$

$$m_n (2\ddot{X}_4 + \ddot{X}_3) + m_n (2\ddot{X}_4 + \ddot{X}_5) + C(2\ddot{X}_4 - \ddot{X}_5 - \ddot{X}_3) + 0.25C_k (X_4 - X_3 + 2X_6) +$$

$$+ G_n \mu \operatorname{sgn} \dot{X}_4 + \eta(2\dot{X}_4 - \dot{X}_5 - \dot{X}_3) = 0$$

$$m_n(2\ddot{X}_5 + \ddot{X}_4) + m_n(2\ddot{X}_5 + \ddot{X}_1) + m_{mp2}\ddot{X}_5 + C(2X_5 - X_1 - X_4) + \\ + 0.5(G_n I + G_n I_n)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_5 + \eta(2\dot{X}_5 - \dot{X}_1 - \dot{X}_4) = \frac{M_{mp2}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c2} - \dot{X}_5)$$

$$\frac{G_{ny}}{g} \ddot{X}_6 + 0.5C_k(X_4 - X_3 + 2X_6) + G_{ny} + G_{ny} f \operatorname{sgn} \dot{X}_6 = 0$$

$$(2m_r + 2m_n + m_{mp})\ddot{X}_1 + m_r\ddot{X}_2 + m_n\ddot{X}_3 + 2\eta\dot{X}_1 - \eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_3 + 2CX_1 - CX_2 - CX_3 +$$

$$+ 0.5(G_r I + G_n I_n)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_1 = \frac{M_{mp1}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1),$$

$$m_r\ddot{X}_1 + 4m_r\ddot{X}_2 + m_r\ddot{X}_3 - \eta\dot{X}_1 + 2\eta\dot{X}_2 - \eta\dot{X}_3 - CX_1 + 2CX_2 - CX_3 + G_r\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_2 = 0,$$

$$m_r\ddot{X}_2 + (2m_r + 2m_n)\ddot{X}_3 + m_n\ddot{X}_4 - \eta\dot{X}_2 + 2\eta\dot{X}_3 - \eta\dot{X}_4 - CX_2 + (2C + 0.25C_k)X_3 -$$

$$-(C + 0.25C_k)X_4 - 0.5C_k X_6 + 0.5(G_r + G_n)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_3 = 0$$

$$m_n\ddot{X}_3 + 4m_n\ddot{X}_4 + m_n\ddot{X}_5 - \eta\dot{X}_3 + 2\eta\dot{X}_4 - \eta\dot{X}_5 - (C + 0.25C_k)X_3 + (2C + 0.25C_k)X_4 - CX_5$$

$$+ G_n\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_4 = 0$$

$$m_n\ddot{X}_1 + m_n\ddot{X}_4 + (2m_n + 2m_n + m_{mp2})\ddot{X}_5 - \eta\dot{X}_1 - \eta\dot{X}_4 + 2\eta\dot{X}_5 - CX_1 - CX_4 + 2CX_5 +$$

$$+ 0.5(G_n I + G_n I_n)\mu \operatorname{sgn} \dot{X}_5 = \frac{M_{mp2}}{R_6} \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c2} - \dot{X}_5)$$

$$\frac{G_{ny}}{g} \ddot{X}_6 - 0.5C_k X_3 + 0.5C_k X_4 + C_k X_6 + G_{ny} + G_{ny} f \operatorname{sgn} \dot{X}_6 = 0.$$

Модель руху конвеєрної стрічки у просторі станів представляється як система нелінійного диференціального рівняння:

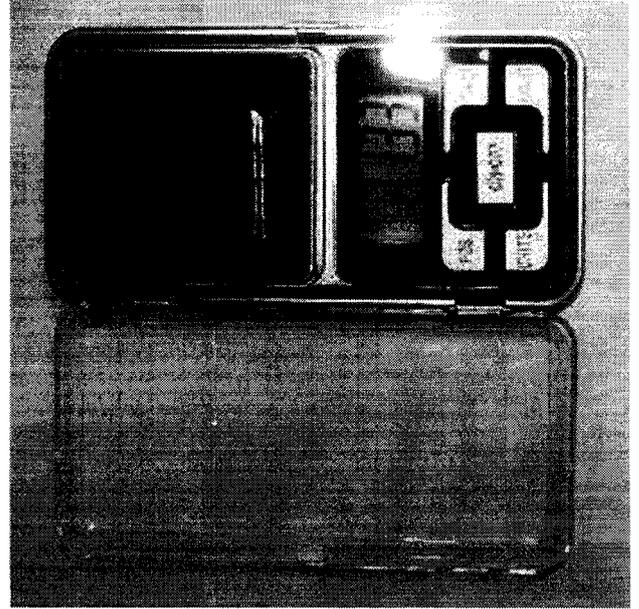
$$\dot{X} = -(M^{-1}N + M^{-1}C)x + M^{-1}S \operatorname{sgn} x + M^{-1}VG_{ny} + M^{-1}P_1 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_1)M_{mp1} + \\ + M^{-1}P_2 \operatorname{sgn}(\dot{X}_{c1} - \dot{X}_5)M_{mp2}.$$

Типи стрічок, що використовуються на підприємстві

Марка стрічки	Виробник	Кількість шарів	Ціна м ² , грн
TK-200 5/2	Китай	5	420
TK-200 5/2	Україна	5	550
PHOENIX» — EP 1600/5	Німеччина	5	860

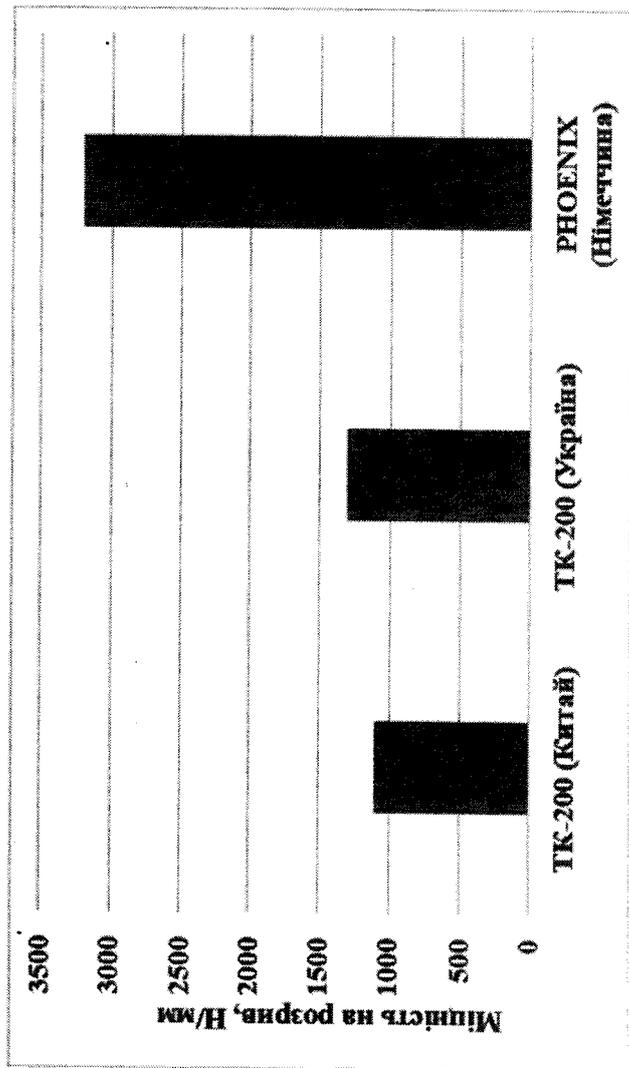


Установка МИ-2 з
відео фіксацією
процесу стирання

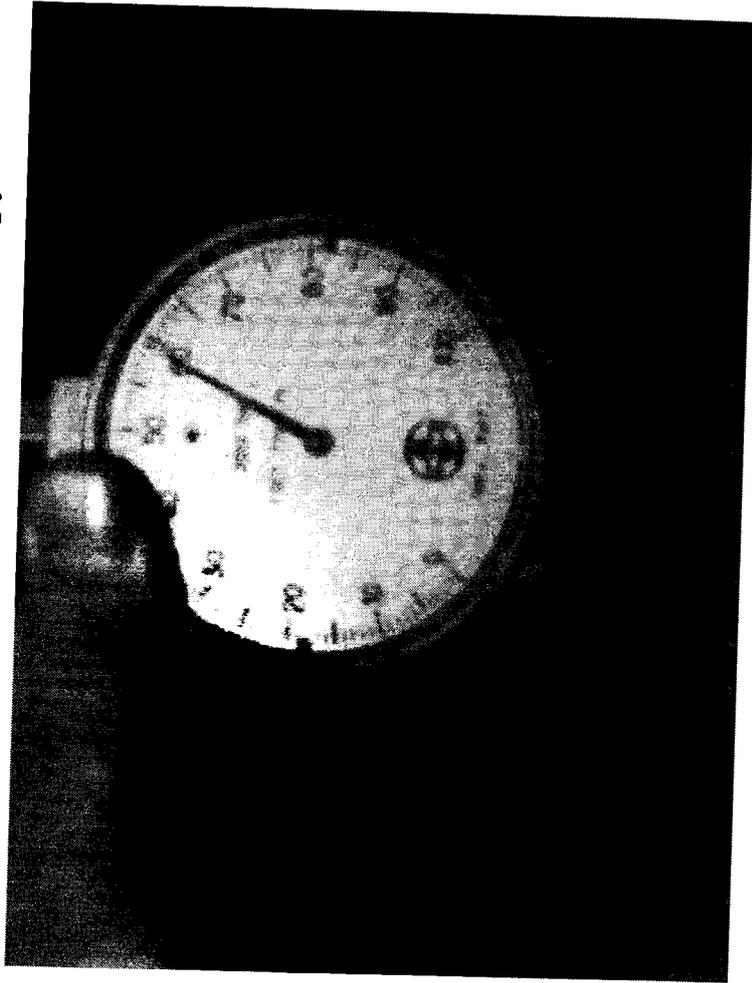


Показник	Зразки		
	1	2	3
Маса зразка: до стирання	12,0	12,0	12,0
після стирання	11,2	11,33	11,45
Втрати маси, кг	0.0008	0.00067	0.00055
Щільність гуми, кг/м ³	1200	1200	1200
вантаж, що врівноважує, Н	0,55	0,58	0,7
Постійна машини, Н	26	26	26
Робота тертя, Дж	2262	2262	2262
Стирання, м ³ /Дж	2,9 · 10 ⁻⁹	2,78 · 10 ⁻⁹	2,6 · 10 ⁻⁹

Випробування елементів стрічок на розрив

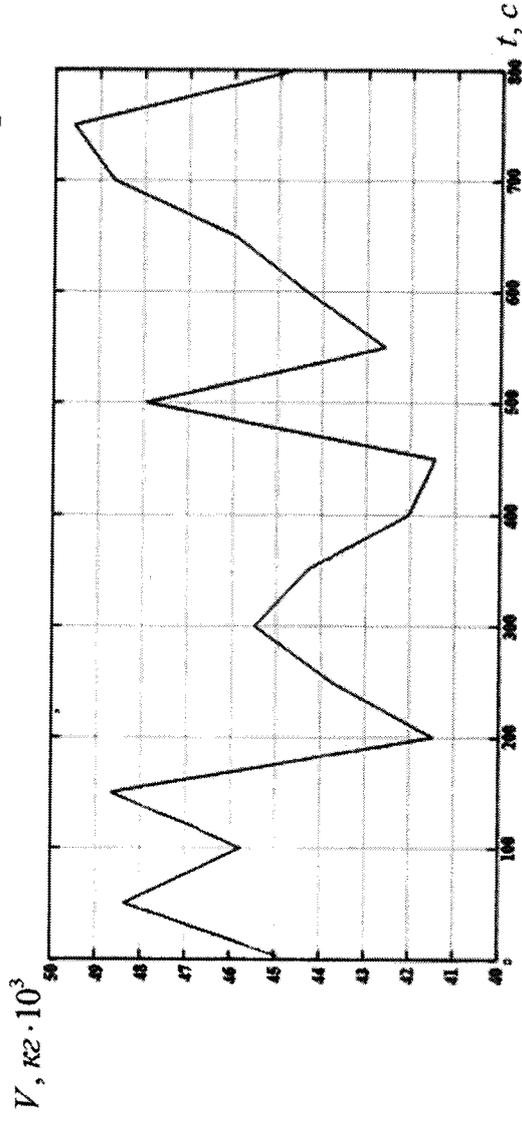


Визначення твердості по Шору

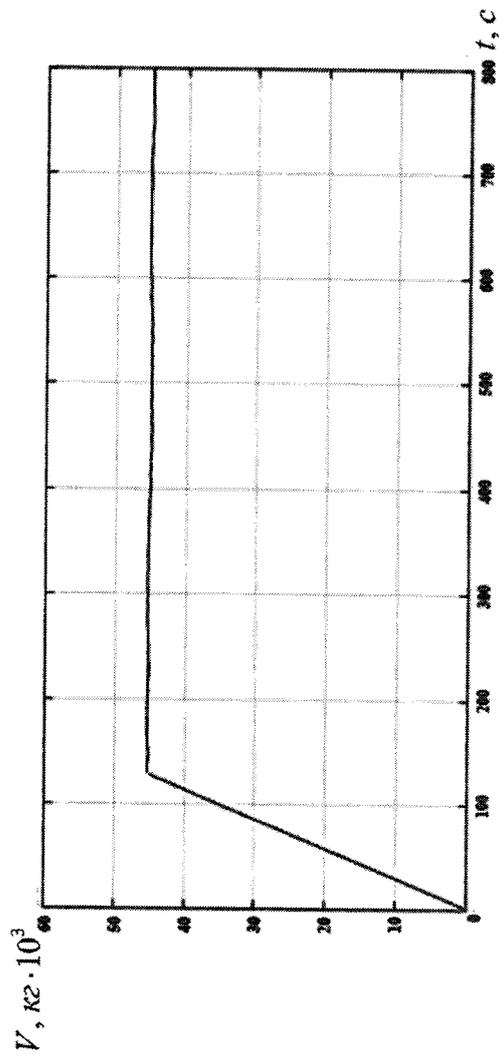


Марка конвеєра та виробник	Твердість по Шору
TK-200 5/2 Китай	59
TK-200 5/2 Україна	63
PHOENIX» — EP 1600/5 Німеччина	65

Змодельований графік, створений в середовищі MATLAV, який показує реальне завантаження стрічкового конвеєру, яке змінюється стрімко з часом

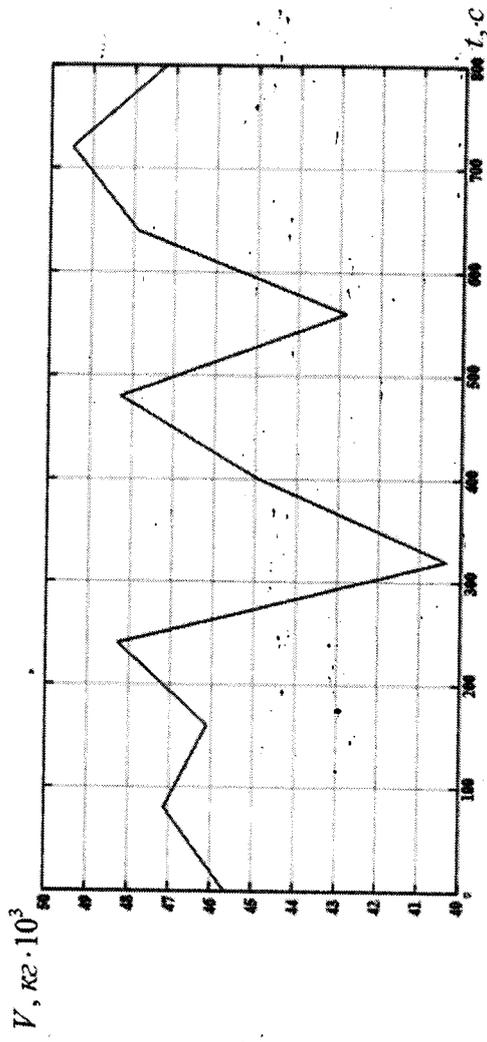


Графік фактичного завантаження стрічкового конвеєру

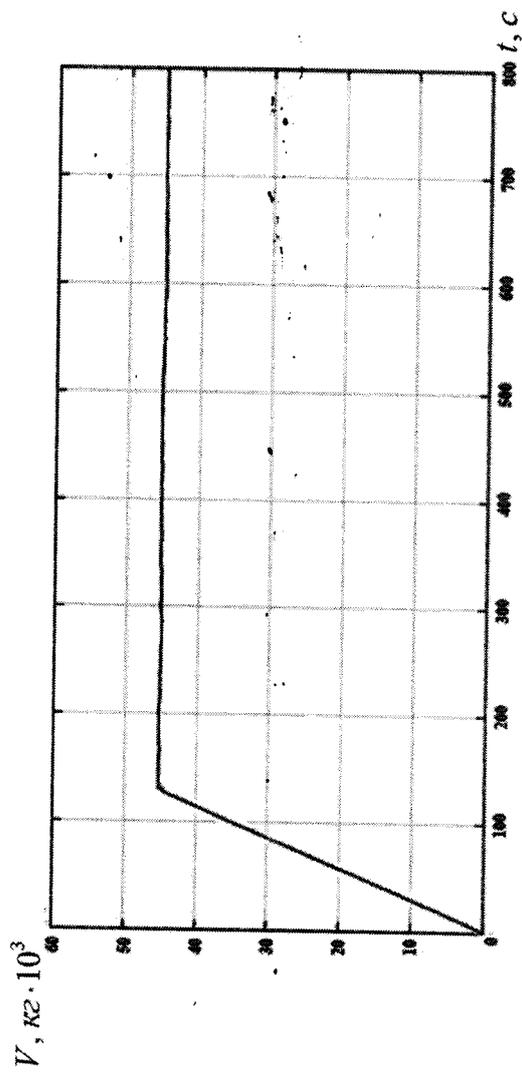


Графік завантаження стрічкового конвеєру з регулюванням його швидкості в залежності від навантаження

Графік показує реальне навантаження стрічкового конвеєру, якщо використовується блок задання навантаження Random Number

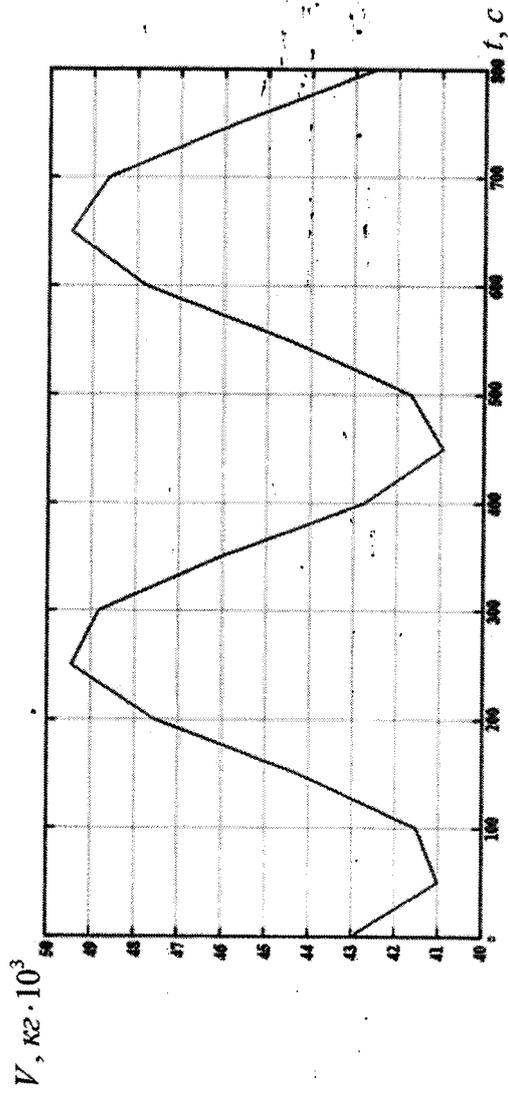


Графік фактичного завантаження стрічкового конвеєру

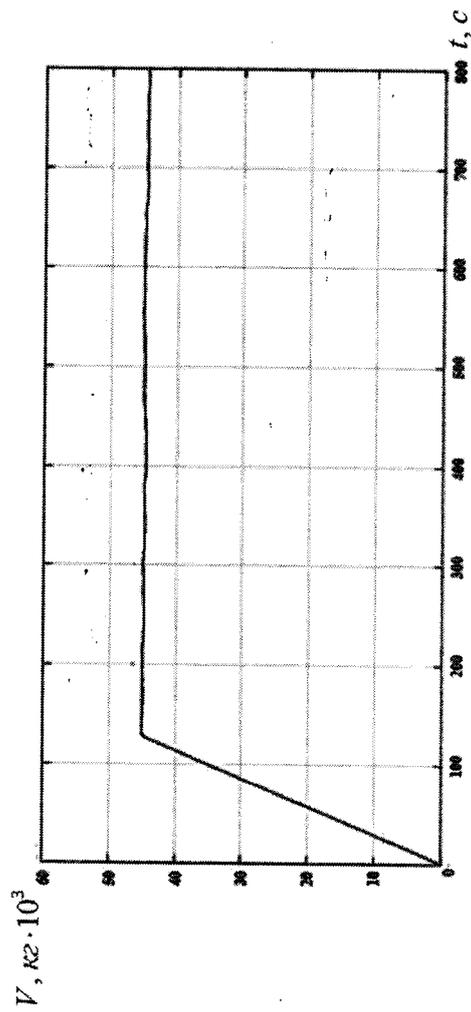


Графік завантаження стрічкового конвеєру з регулюванням його швидкості в залежності від навантаження

Графік показує реальне навантаження стрічкового конвеєру при використанні блоку задання навантаження Sine Wave



Графік фактичного завантаження стрічкового конвеєру



Графік завантаження стрічкового конвеєру з регулюванням його швидкості в залежності від навантаження

ВИСНОВКИ

1. При виконанні даної магістерської дипломної роботи було проведено аналіз конструкцій і типів стрічкових конвеєрів. Також проведено аналіз робочих процесів стрічкового конвеєра та визначено всі недоліки та переваги даної конструкції.
2. На основі цих досліджень було запропоновано математичну модель. Було проведено експериментальні дослідження характеристик стрічок різних виробників, які використовуються на підприємствах для виготовлення стрічкових конвеєрів. В результаті було визначено що найбільш вагомим зносом конвеєрних стрічок є абразивний знос та втомний, що стрічки виробництва Китай найбільш підтвержені стиранню, так стирання стрічки ТК-200 (Китай) складає 2,9·10-9, ТК-200 (Україна) 2,78·10-9, а Німецька PHOENIX» — EP 1600/5 - 2,6·10-9.
3. При випробуваннях на розрив стрічка ТК-200 виробництва Китай не відповідає вимогам ДСТУ і складає 1100 Н/мм, стрічки ТК-200 (Україна) та Німецька PHOENIX» — EP 1600/5 відповідають ДСТУ і складають відповідно 1300 і 3200 Н/мм. Також слід відмітити, що стрічка виробництва Німеччини майже втричі перевищує міцність Української і Китайської стрічок.
4. Для збільшення міжремонтного періоду було вирішено використовувати систему стабілізації погонного навантаження конвеєра.