

**ДНІПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра інжинірингу технічних систем

П о я с н ю в а л ь н а з а п и с к а

до дипломної роботи

освітнього ступеня "Магістр"

на тему:

**ЗАСТОСУВАННЯ ПІДТРИМУЮЧИХ РОЛИКІВ КОНВЕЄРНИХ
СТРІЧОК ВИГОТОВЛЕНИХ ІЗ ПОВТОРНО ПЕРЕРОБЛЕНИХ ГУ-
МОВО-КОРДНИХ МАТЕРІАЛІВ**

Виконав: студент 2 курсу, групи МгАІ-2-22
за спеціальністю 208 "Агроінженерія"

_____ Свіженець Артем Ігорович

Керівник: _____ Толстенко Олександр Васильович

Рецензент: _____

Дніпро 2023

**ДНПРОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ АГРАРНО-ЕКОНОМІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ**

Інженерно-технологічний факультет

Кафедра: Інжинірингу технічних систем

Освітній ступінь "Магістр"

Спеціальність 208 "Агроінженерія"

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

ІТС

(назва кафедри)

К.Т.Н. доцент

(вчене звання)

Дудін В.Ю.

(підпис)

(прізвище, ініціали)

”_____” _____ 2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Свіженець Артему Ігоровичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Застосування підтримуючих роликів конвеєрних стрічок виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів

керівник роботи к.т.н. доц. Толстенко О.В.

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від 09.11.2023 року
№ 3422

2. Строк подання студентом роботи до 1.12.2023

3. Вихідні дані до роботи Існуючі конструкції конвеєрів. Існуючі конструкції гумових стрічок для стрічкових конвеєрів. Аналіз конструкцій роликкоопор конвеєрних стрічок. Показники стану охорони парці в базовому підприємстві. Техніко-економічні показники роботи базового підприємства.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 1. Стан питання та задачі досліджень. 2. Теоретичне обґрунтування вдосконалення діагностування ЦПГ автомобільних двигунів. 3. Методика експериментального досліджень та їх результати. 4. Охорона праці та безпека життєдіяльності. 5. Техніко-економічні показники роботи. Загальні висновки та пропозиції. Посилання. Додатки

5. Перелік демонстраційного матеріалу

1. Тема роботи (1 аркуш А4). 2. Мета і задачі досліджень (1 аркуш А4). 3. Аналіз дефектів деталей ЦПГ (1 аркуш, А4). 4. Аналіз засобів діагностування (1 аркуш А4). 5. Результати теплового розрахунку (1 аркуш А4). 6. Загальна методика досліджень (1 аркуш А4). 7. Обладнання для експериментальних досліджень (1 аркуш, А4). 8. Експериментальні дослідження (1 аркуш, А4). 9. Алгоритм діагностування ЦПГ (1 аркуш, А4). 10. Охорона праці (1 аркуш А4). 11. Економічні показники (1 аркуш, А4). 12. Загальні висновки (1 аркуш А4).

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1, 2,3	Толстенко О.В., к.т.н., доцент		
4	Деркач О. Д., к.т.н., доцент		
5	Вінніченко І. І., д.е.н., професор		
Нормоконтролер	Івлєв В.В., к.т.н., доцент		

7. Дата видачі завдання: _____.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Пошукова частина роботи	до 01.10.2023	
2	Теоретичне обґрунтування роботи	до 25.10.2023	
3	Експериментальне підтвердження роботи	до 15.11.2023	
4	Охорона праці та безпека життєдіяльності	до 20.11.2023	
5	Економічне обґрунтування роботи	до 25.11.2023	
6	Демонстраційна частина	до 01.12.2023	

Студент

_____ Свіженець А.І. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ Толстенко О.В. _____
(підпис) (прізвище та ініціали)

РЕФЕРАТ

У дипломній роботі розглянуто застосування підтримуючих роликів конвеєрних стрічок, виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів. Показано, що ці ролики мають ряд переваг порівняно з роликами, виготовленими з традиційних матеріалів, зокрема:

- Вони є більш міцними та надійними.
- Вони мають більш тривалий термін служби.
- Вони є більш екологічними.

У рамках дипломного проекту було проведено дослідження механічних властивостей підтримуючих роликів конвеєрних стрічок, виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів. Було встановлено, що ці ролики мають кращі механічні властивості порівняно з роликами, виготовленими з традиційних матеріалів. Зокрема, вони мають більшу міцність на розрив, більшу еластичність, більшу зносостійкість та більш тривалий термін служби.

Використання повторно перероблених гумово-кордних матеріалів для виготовлення підтримуючих роликів конвеєрних стрічок є перспективним напрямком розвитку даної галузі.

Ключові слова: підтримуючі ролики конвеєрних стрічок, повторно перероблені гумово-кордні матеріали, механічні властивості, стрічковий конвеєр, знос, дослідження фізико-механічних властивостей.

ЗМІСТ

ВСТУП	8
РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ	10
1.1. Технологія переробки гумових виробів, що були в експлуатації у гумову крихту	10
1.2. Конструкції роликів, що застосовуються в стрічкових конвеєрах, фактори, що впливають на якість їхнього виготовлення і складання	23
1.3. Аналіз причин виходу з ладу роликів опор стрічкових конвеєрів, вплив навантажень на вузли стрічкових конвеєрів	28
1.4. Висновки за розділом	33
2. РОЗДІЛ. ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ОПОРНИХ РОЛИКІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ	35
2.1. Обґрунтування пропонованої конструкції опорного ролика конвеєра	35
2.2. Розрахунок навантажень на роликів опори стрічкового конвеєра	37
2.3. Висновок по розділу	44
РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ	45
3.1. Методика проведення досліджень на знос поверхні ролика	45
3.2. Методика випробувань дослідних зразків на твердість	49
3.3. Випробування зразків на опір стиранню	50
3.4. Моделювання навантаження ролика стрічкового конвеєра в середовищі Femap with NX Nastran	52
3.5. Комп'ютерне моделювання роботи опорного ролика нової конструкції в умовах змінного навантаження	59
4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	64

4.1. Загальні аспекти у сфері охорони праці у компанії	64
4.2. Безпека праці при експлуатації стрічкових конвеєрів	67
4.3. Пожежна безпека при експлуатації стрічкових конвеєрів.....	69
4.4. Висновок	72
5. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ.....	74
ВИСНОВКИ.....	78
ЛІТЕРАТУРА	80
ДОДАТКИ.....	83

ВСТУП

Конвеєрні стрічки є одним з найважливіших елементів конвеєрних систем. Вони використовуються для транспортування різноманітних вантажів, таких як руда, вугілля, зерно, будівельні матеріали тощо. Для забезпечення ефективної роботи конвеєрної системи важливо, щоб підтримуючі ролики конвеєрних стрічок були міцними, надійними та довговічними [1, 2, 3].

Традиційно підтримуючі ролики конвеєрних стрічок виготовляються з натуральної гуми або синтетичних гумових сумішей. Однак ці матеріали мають ряд недоліків, таких як [4]:

- Природна гума є недовговічною і потребує регулярної заміни.
- Синтетичні гумові суміші можуть бути токсичними та шкідливими для навколишнього середовища.

Використання повторно перероблених гумово-кордних матеріалів для виготовлення підтримуючих роликів конвеєрних стрічок є перспективним напрямком розвитку даної галузі. Це дозволяє вирішити низку проблем, пов'язаних з використанням традиційних матеріалів.

Перероблені гумово-кордні матеріали отримують шляхом подрібнення та переробки відходів, що утворюються при виробництві та експлуатації конвеєрних стрічок. Ці матеріали мають ряд переваг порівняно з традиційними матеріалами [5]: вони є більш міцними та надійними, вони мають більш тривалий термін служби, вони є більш екологічними.

Виготовлення підтримуючих роликів конвеєрних стрічок із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів здійснюється за спеціальною технологією. Спочатку матеріал подрібнюється до потрібної фракції. Потім він змішується з пластифікаторами та іншими компонентами. Отримана суміш формується в ролики потрібного розміру та конфігурації.

У рамках дипломного проекту було проведено дослідження механічних властивостей підтримуючих роликів конвеєрних стрічок, виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів. Було встановлено, що ці

ролики мають кращі механічні властивості порівняно з роликами, виготовленими з традиційних матеріалів. Зокрема, вони мають більшу міцність на розрив, більшу еластичність та більш тривалий термін служби.

Метою дипломного проекту є вивчення застосування підтримуючих роликів конвеєрних стрічок, виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів.

Завданнями дипломного проекту є:

- Огляд літератури з даної тематики.
- Вивчення технології виготовлення підтримуючих роликів конвеєрних стрічок із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів.
- Проведення дослідження механічних властивостей підтримуючих роликів конвеєрних стрічок, виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів.

Актуальність дослідження

Використання повторно перероблених гумово-кордних матеріалів для виготовлення підтримуючих роликів конвеєрних стрічок є перспективним напрямком розвитку даної галузі. Це дозволяє вирішити низку проблем, пов'язаних з використанням традиційних матеріалів.

Перероблені гумово-кордні матеріали мають ряд переваг порівняно з традиційними матеріалами:

- Вони є більш міцними та надійними.
- Вони мають більш тривалий термін служби.
- Вони є більш екологічними.

Застосування підтримуючих роликів конвеєрних стрічок, виготовлених із повторно перероблених гумово-кордних матеріалів, дозволяє:

- Знизити витрати на виробництво конвеєрних систем.
- Збільшити термін служби конвеєрних систем.
- Зменшити негативний вплив на навколишнє середовище.

РОЗДІЛ 1. СТАН ПИТАННЯ ТА ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1. Технологія переробки гумових виробів, що були в експлуатації у гумову крихту

В Україні щороку з'являється 180 тис тон відпрацьованих автомобільних покришок. З них переробляють 10%, решту йдуть на захоронення. ЄС щороку генерує 3,19 млн тон покришок, 91% з них переробляють. Матеріал використовують повторно або виробляють із нього енергію [6].

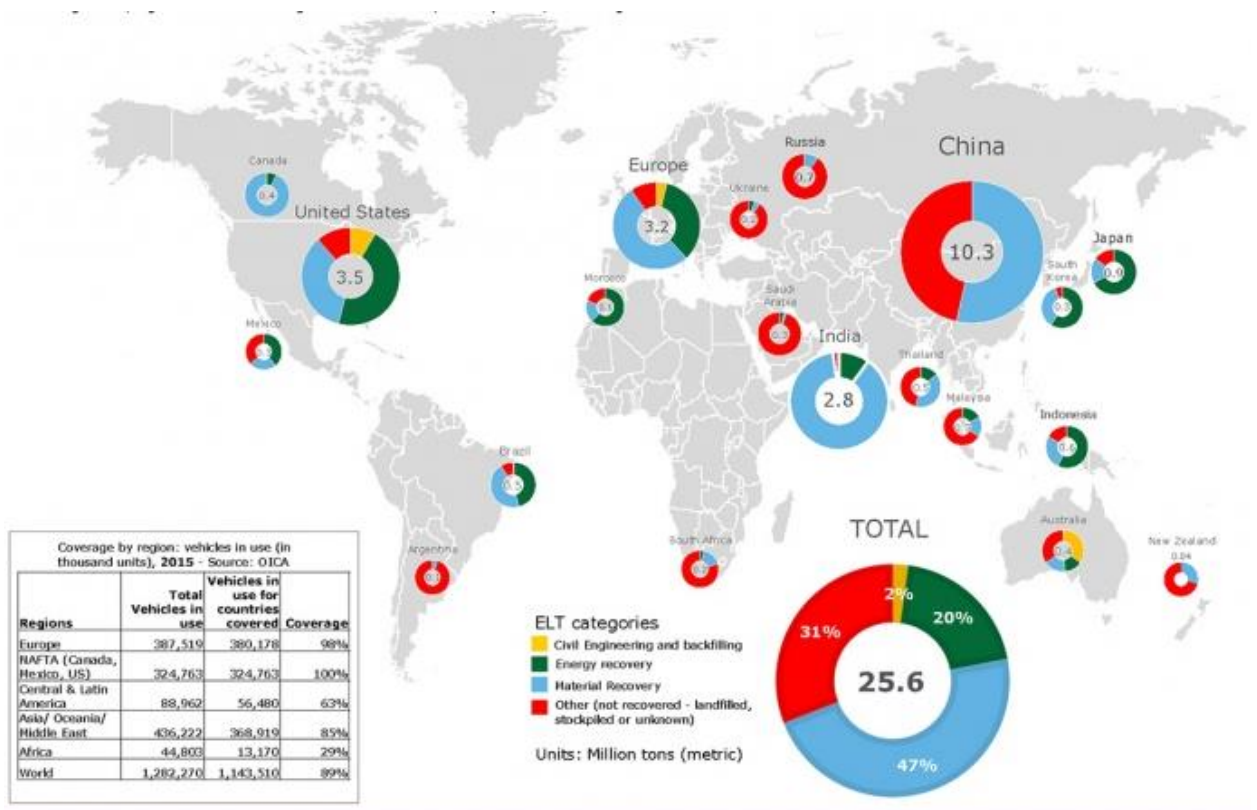


Рис. 1.1. Стан переробки шин у світі

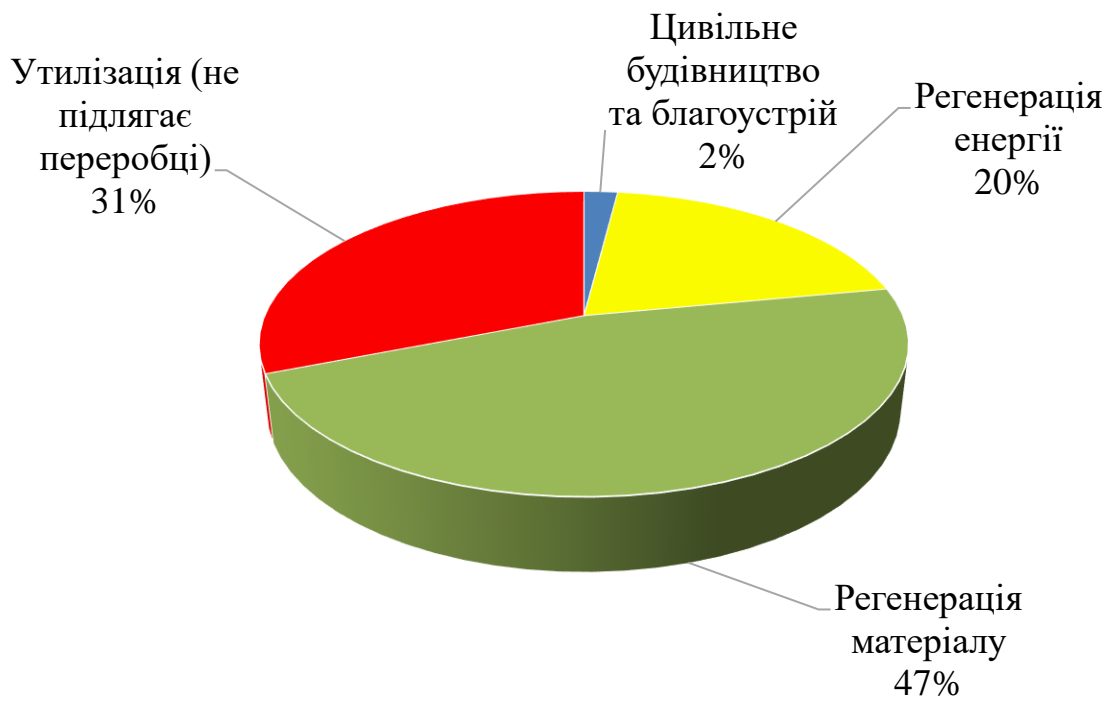


Рис. 1.2. Рівень переробки шин в світі



Рис. 1.3. Рівень переробки шин в Європі

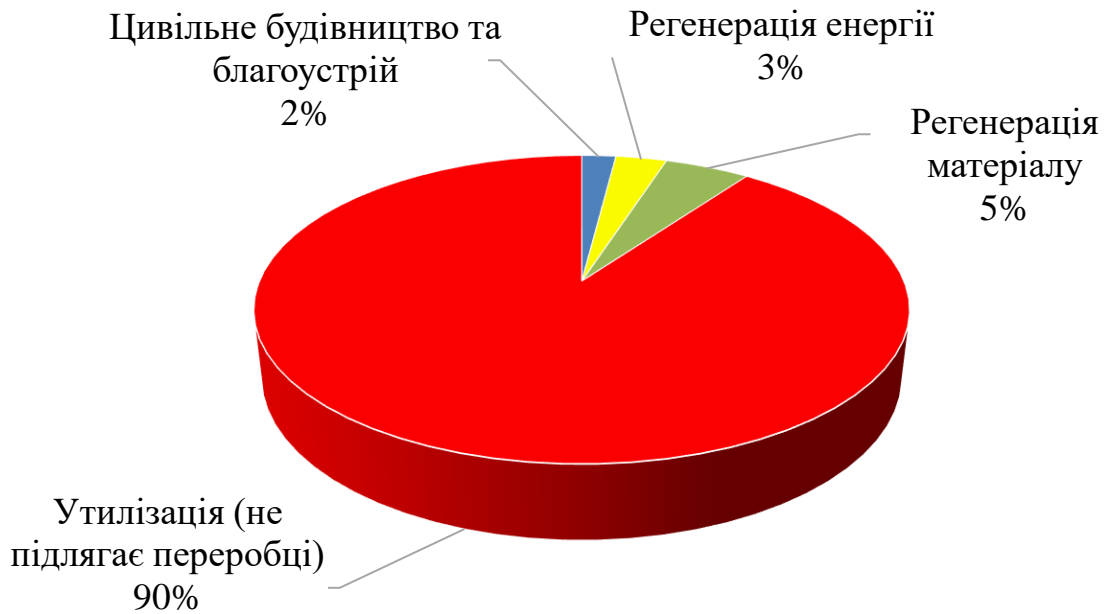


Рис. 1.4. Рівень переробки шин в Україні

Технології та обладнання з подрібнення та вторинного використання зношених автомобільних шин. Вирішення завдань з утилізації зношених автомобільних шин і забезпечення можливості вторинного використання є актуальним, як з точки зору екології довкілля, так і з погляду вельми суттєвої економії матеріальних ресурсів. Зокрема, це може бути підтверджено постановою уряду України № 915 "Про впровадження системи збирання, заготівлі та утилізації відходів як вторинної сировини". І хоча цієї тематики ми вже торкалися ще в 2004 році в статті "Технологія та обладнання з переробки зношених автомобільних шин" ("Шина Плюс" № 2/2004), зараз настав саме час повернутися до цього питання і подивитися, що змінилося сім років потому [7].

Стираємо шини в порошок Серед відомих технологій з утилізації зношених автомобільних шин найперспективнішою є їхнє подрібнення та переробка в гумову крихту або порошок. Ці продукти можна використовувати в різних сферах. Наприклад, у будівництві гумову крихту або порошок можна застосовувати у вигляді плит, листів, гумовобітумних мастик, антикорозій-

них, звуко-, гідро- і теплоізоляційних матеріалів. У хімічній промисловості їх можна використовувати як вихідну сировину і добавки для виробництва, ремонту та відновлення широкого спектра гумових, гумотехнічних і пластмасових виробів. У машинобудуванні, сільському господарстві та легкій промисловості перероблені колишні шини використовуються як матеріал для виготовлення різних деталей і комплектуючих. Під час будівництва та ремонту автомобільних і залізниць шинний порошок і крихту використовують як легкі хімічно інертні добавки до асфальтових та асфальтобетонних покриттів, а також у вигляді підкладок під рейки та у вигляді плит, які використовують під час будівництва переїздів.

Ще одна сфера застосування - гірничодобувна, нафтовидобувна і газовидобувна промисловість, де з перероблених шин виготовляють різні полікомпонентні наповнювачі, суміші, сорбенти і гумопласти. До переваг утилізації зношених автомобільних шин шляхом їхнього подрібнення на гумову крихту або порошок слід віднести і наявність у цьому випадку побічних комерційних продуктів. Як такі продукти можна використовувати металевий корд або текстиль, питома складова яких може досягати 20-30 % від обсягів вихідної сировини. Всі відомі і використовувані в даний час технології з переробки гумотехнічних відходів у гумову крихту і порошки можна умовно розділити на дві основні групи.

До першої групи входять "холодні" технології, які передбачають переробку старих шин кріогенним способом з використанням як холодоагентів рідкого азоту або холодного повітря, що генерується турбодетандерами або турбохолодильними установками. До другої групи належать "теплі" технології, коли шини переробляються за позитивних температур.

"Холодні" технології Кріогенні технології утилізації зношених автомобільних шин включають в себе наступний набір взаємопов'язаних операцій: очищення і видалення бортових кілець, первинне подрібнення, охолодження отриманих фракцій до заданих температур, вторинне кріогенне подрібнення до необхідних геометричних характеристик одержуваних гумової

крихти або порошоків, магнітне та повітряно-повітряне сепарування, поділ за фракціями, накопичення і розфасовку. Основною перевагою даної технології є практично повне відновлення вихідних фізико-механічних властивостей одержуваного гумового продукту, що, зокрема, є важливим фактором при використанні гумової крихти для відновлення зношених автомобільних шин. Одночасно кріогенні технології мають і низку недоліків.

Перший основний недолік полягає в тому, що температура використовуваного рідкого азоту становить -196°C . Цей показник значно нижчий за температуру склування подрібнюваної гуми, що призводить до підвищених термодинамічних втрат і, як наслідок, до підвищених енергетичних витрат.

Другий недолік проявляється в разі використання привізного рідкого азоту. Адже під час транспортування, зливу-наливу та зберігання рідкого азоту втрати можуть становити до 30%.

Третій недолік - розбіжність у теоретичних показниках із практичними даними. Так, теоретичні витрати рідкого азоту становлять приблизно 0,5 кг на 1 кілограм оброблюваної сировини. Однак на практиці досвід промислового використання показав, що внаслідок наявності різного роду недосконалостей і втрат, витрата азоту значно вища і, може досягати 0,8 кг/кг.

Четвертий недолік - громіздкість і відносна складність обладнання, що використовується при кріогенних технологіях.

П'ятий основний недолік - очевидні тенденції щодо підвищення вартості рідкого азоту і низький ступінь мобільності відповідних виробництв, що обумовлює високі транспортні витрати. Усі ці недоліки призводять до вельми істотного збільшення питомих капітальних витрат і експлуатаційних витрат при одночасному підвищенні собівартості одержуваної гумової крихти.

"Теплі" технології Перспективнішою видається переробка зношених автомобільних шин за позитивних температур. Особливо одержувану гумову крихту планується надалі використовувати в якості добавок до високоякісних зносостійких асфальтових і асфальтобетонних дорожніх покриттів. Пропонована в цьому випадку технологічна лінія представлена на рис. 1.5.

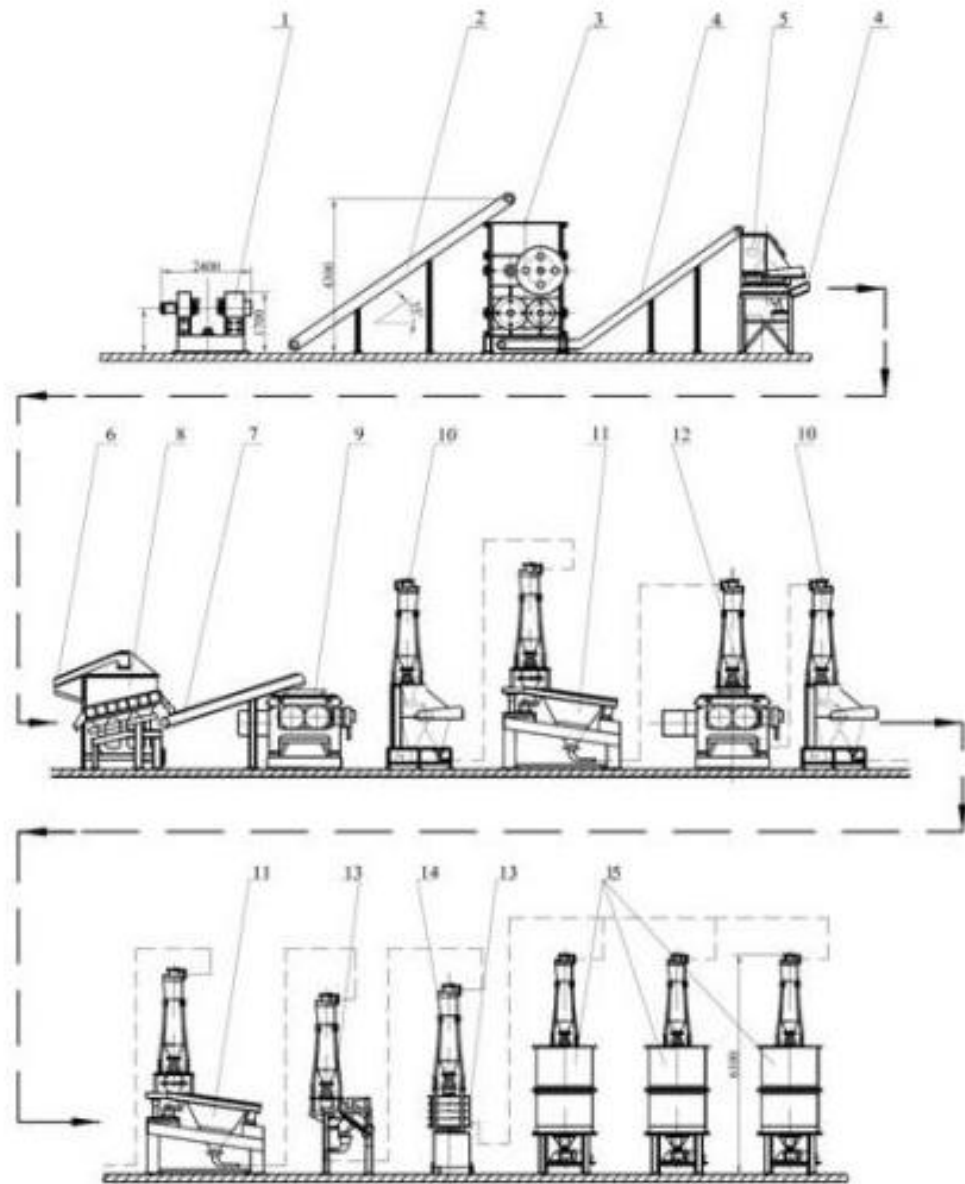


Рис. 1.5. Склад обладнання технологічної лінії з подрібнення зношених автомобільних шин і гумотехнічних відходів за позитивних температур
 1 - борторіз; 2, 4 і 7 - конвеєр; 3 - дробарка первинного подрібнення; 5 - роторно-ножова дробарка; 6 - магнітний сепаратор; 8, 10 і 13 - сепаратори; 9 - дробарні вальці; 11 і 14 - грохот; 12 - подрібнювальні вальці; 15 - бункер-накопичувач

Робота цієї технологічної лінії заснована на принципі багатоетапного подрібнення зношених автомобільних шин і гумотехнічних відходів за позитивних температур з поетапним виділенням металевого або текстильного ко-

рду. Розглянемо етапи цього технологічного процесу. Спочатку готується вихідний матеріал. Якщо це зношені автомобільні шини масового типорозміру, то насамперед на спеціальному верстаті для вирізки бортів (борторізі) видаляються кільця. Великогабаритні та надвеликогабаритні шини, а також інші гумотехнічні відходи спочатку розрізають на частини за допомогою стрічкових пилок, а тільки потім відправляють на технологічну лінію. Потім зношені шини без кілець, порізані габаритні шини та фрагменти гумовотехнічних відходів конвеєром транспортуються в дробарку первинного подрібнення.

Далі фрагменти, розміри яких після первинного подрібнення не перевищують 50-100 мм, подаються наступним конвеєром у роторно-ножову дробарку. Тут гума не тільки подрібнюється, але частково (до 80 %) вивільняється металевий корд. Після цього отримані фрагменти розміром не більше 10-20 мм подаються конвеєром у магнітний сепаратор для видалення металевого корду.

Потім подрібнення шин проходить у дві стадії на дробильних і розмілювальних вальцях з поетапним виділенням металевого або текстильного корду в магнітних сепараторах і сепараторах для виділення текстилю. Остаточне очищення гумової крихти від залишків металу відбувається в останньому електромагнітному сепараторі. З виходу дробильних вальців продукти подрібнення транспортуються далі пневматичним транспортом. Для цих цілей лінія переробки забезпечена трьома блоками рукавних фільтрів і вентиляторів високого тиску. В останньому грохоті гумова крихта розсіюється на необхідні фракції і складається в бункерах-накопичувачах.

Первинне подрібнення відходів. Аналіз складу і технологічних режимів роботи устаткування лінії, що розглядається (рис. 1.5), показав, що основними машинами, які реалізують процеси безпосереднього подрібнення, є дробарка первинного подрібнення, роторно-ножова дробарка, а також дробильні та розмілювальні вальці. Саме це обладнання багато в чому зумовлює асортимент, обсяги виробництва і собівартість одержуваної гумотехнічної крихти. Як первинні подрібнювачі зношених автомобільних шин масового типороз-

міру і відносно великих гумотехнічних фрагментів можна використовувати великий шредер ДнВ 2.400, подрібнювачі валково-дискові ИРВД 800-600 і ИРВГ 800-660/660. Також можна застосовувати і нові технічні рішення, засновані на використанні дискових ножів різного компонування і конструкції. Один із варіантів - конструкція установки з первинного подрібнення гумовотехнічних відходів, принципову схему якої представлено на рисунку 1.6.

Ця конструкція складається з силового корпусу, у верхній частині якого розміщено приймач оброблюваних фрагментів гумотехнічних відходів. Безпосередньо в силовому корпусі на опорах кочення встановлено кілька пар приводних ножових валів. При цьому осі обертання ножових валів кожної пари розміщені на одному горизонтальному рівні. Їхні приводи забезпечують можливість обертання ножових валів однієї й тієї самої пари з різними кутами швидкостями, тобто і (рис. 1.6). За допомогою шпонкових з'єднань і дистанційних розпірних втулок на ножових валах розміщені дискові ножі, що мають зубчасту нарізку у вигляді "вовчого зуба".

При цьому дискові ножі верхньої пари приводних ножових валів мають порівняно з дисковими ножами нижньої пари більшу товщину, а також зубчасту нарізку з великим кроком і більшою висотою зуба (рис. 1.6). Для видалення розрізаних гумотехнічних фрагментів із міждискового простору використовуються скребки, зафіксовані нерухомо щодо силового корпусу.

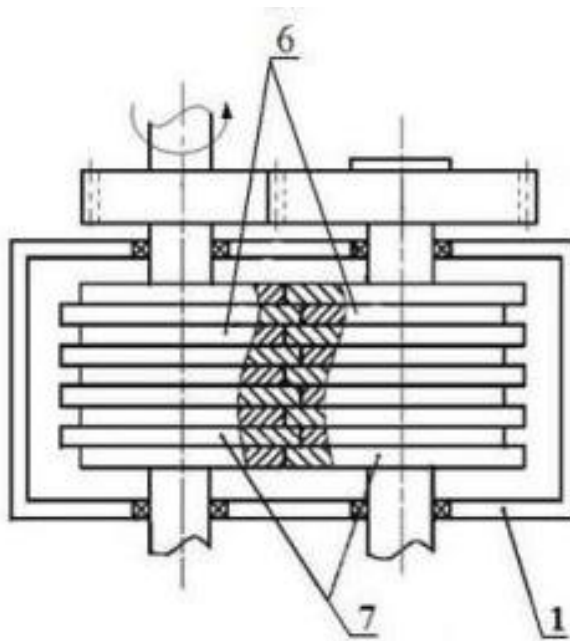
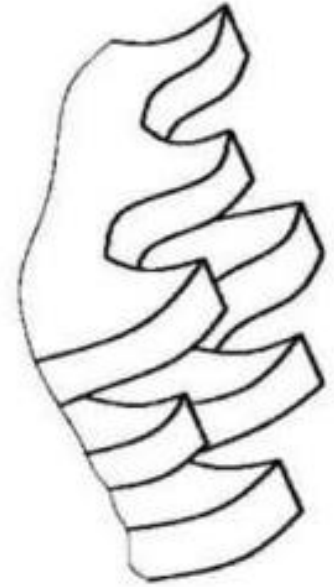
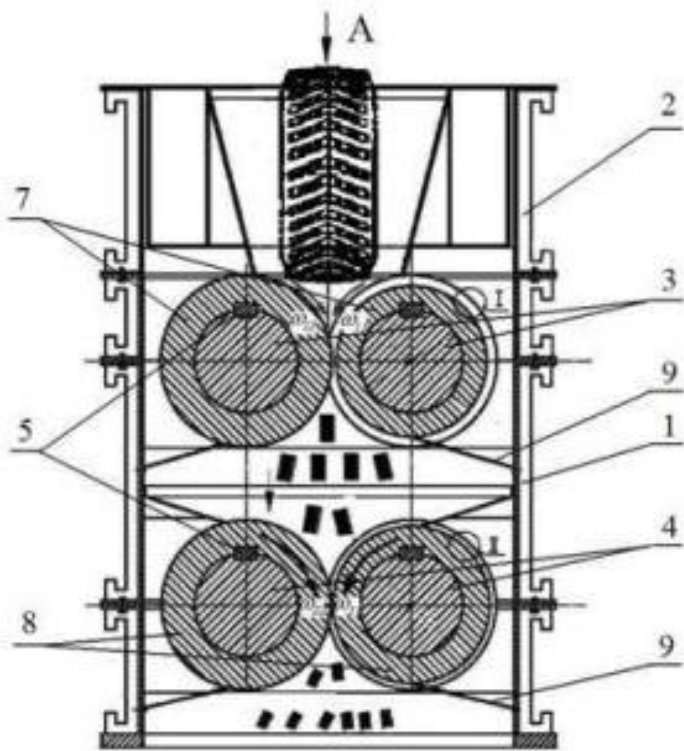




Рис. 1.6. Принципова схема конструкції установки з первинного подрібнення гумотехнічних відходів

1 - силовий корпус; 2 - приймач оброблюваних фрагментів гумотехнічних відходів; 3 і 4 - приводні ножові вали; 5 - шпонкові з'єднання; 6 - дистанційні розпірні втулки; 7 і 8 - дискові ножі; 9 - скребки.

Слід зазначити, що використання дискових ножів із зубчастою нарізкою на периферійних поверхнях і приводом, що забезпечує можливість їхнього обертання з різними коловими швидкостями, забезпечує одночасно різання великогабаритних гумових відходів у поздовжньому напрямі та розрив у поперечному напрямі. Це виключає необхідність повернення продуктів різання та їх подальше різання дисковими ножами того ж ступеня. В одному корпусі міститься два і більше комплекти приводних ножових валів із дисковими ножами, що мають одну вертикальну площину різання.

При цьому конструкція дискових ножів виконана таким чином, що кожна наступна сходинка має меншу товщину, крок і висоту зубчастої нарізки. Таким чином, наявність в одному корпусі декількох комплектів приводних ножових валів і конструктивне виконання дискових ножів дає змогу зберегти безперервність технологічного процесу подрібнення, виключає проміжні транспортні операції та сприяє розширенню сортаменту продуктів подрібнення.

Завдяки всім цим факторам збільшується ефективність і продуктивність процесу подрібнення зношених гумотехнічних відходів. Зниження динамічних навантажень і пікових значень сил різання в цьому випадку може бути досягнуто за рахунок відповідного компоновання дискових ножів, що забезпечує ефект "шевронного" різання.

Вторинне подрібнення відходів Згідно з розглянутою технологічною схемою (рис. 1.5), фрагменти гумовотехнічних відходів після їх первинного подрібнення піддаються вторинному подрібненню на дробильних і розмелювальних вальцях. Загальний вигляд і загальноприйняту принципову кінематичну схему даних вальців зображено на рисунку 3.

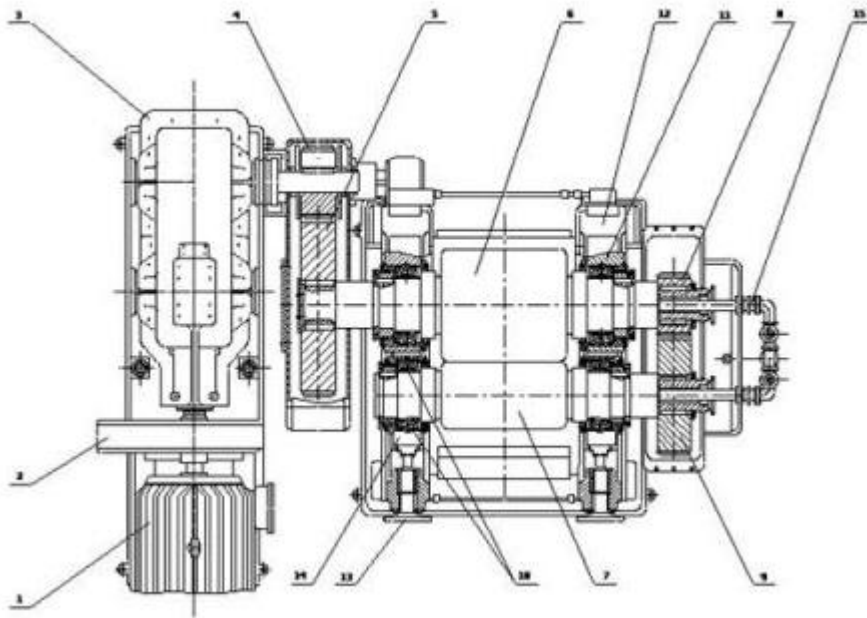


Рис. 1.7. Конструктивна схема дробильних вальців для вторинного подрібнення фрагментів гумотехнічних відходів

1 - електродвигун; 2 - гальмівний шків; 3 - конічно-циліндричний редуктор; 4 - відкрита зубчаста передача; 5 - ведена шестірня; 6 і 7 - провідний робочий валок; 8 - провідна шестірня; 9 - ведена шестірня; 10 - підшипники кочення; 11 - подушки; 12 - вузли станин; 13 - натискний механізм; 14 - запобіжний пристрій; 15 - система внутрішнього охолодження робочих валків; 16 - транспортабельні інструментальні плити або залізобетонний фундамент.

Привід цих вальців здійснюється від електродвигуна з гальмівним шківом через конічно-циліндричний редуктор і відкриту зубчасту передачу, ведена шестерня якої розміщена безпосередньо на хвостовику ведучого робочого валка. Привід обертання наступного веденого робочого валка здійснюється за допомогою високомодульної зубчастої передачі, ведуча шестерня якої розміщена на протилежному хвостовику першого ведучого робочого валка, а ведена шестерня - на хвостовику другого веденого робочого валка. Шийки обох робочих валків за допомогою підшипників кочення зафіксовані в подушках, розміщених у вікнах вузла станин.

При цьому для регулювання величини міжвалкового зазору використано натискний механізм у вигляді передачі гвинт-гайка із запобіжним пристроєм, виконаним у вигляді плунжерних гідроциліндрів, що розвивають силу, яка дещо перевищує силу вальцювання. Крім того, вальці оснащені системою внутрішнього охолодження робочих валків і можуть бути встановлені на залізобетонному фундаменті або транспортабельних інструментальних плитах.

Аналогічну за складом і за компонованням конструкцію мають розмілювальні вальці та установки для подальшого каландрування гумотехнічної крихти. При цьому їхньою основною відмінною особливістю є використання робочих валків не зі штучно шорсткою, а з переважно гладкою поверхнею. Крім того, якщо для процесів вальцювання необхідним є створення примусової асиметрії в окружних швидкостях обертання ведучого і веденого робочих валків, то під час каландрування ці окружні швидкості мають бути приблизно еквівалентними.



Рис. 1.8. Фрагмент перероблених шин



Рис. 1.9. Переробка транспортерної стрічки

Сьогодні в Україні за підтримки Європейського екологічного грантового товариства активно впроваджують проекти з переробки гумових елементів.

У вересні 2019 року в Івано-Франківську стартап EcoTure виграв квиток на суперфінал найбільшого у світі конкурсу "зелених" технологій ClimateLaunchpad в Амстердамі, а в жовтні переміг на одеському конкурсі стартапів і отримав 10 тис. дол від венчурного інвестфонду ICU Ventures.

У м. Бровари запрацювала потужна компанія ТОВ "Крокус ОПТ", яка виробляє та переробляє гумові деталі, в тому числі конвеєрні стрічки, компанією впроваджено технологію відновлення зношених конвеєрних стрічок.

У м. Одесі працює потужна компанія ТОВ НВП «УКРЕНЕРГОПОСТАЧ» яка окрім виготовлення енергетичного обладнання займається переробкою гумових виробів.

Та багато інших менш потужних компаній.

1.2. Конструкції роликів, що застосовуються в стрічкових конвеєрах, фактори, що впливають на якість їхнього виготовлення і складання

Загальним питанням теорії та практики виготовлення і складання опорних роликів конвеєрів і їх конструктивному виконанню присвячено велику кількість публікацій, патентів і наукових праць. Зокрема це роботи Співаковського А.О., Александрова М.П., Пертена Ю.А., Зенкова Л., Колобова М.

У згаданих роботах наголошується, що багато в чому надійна експлуатація роликкоопор і роликів конвеєра залежить від декількох важливих чинників, це характеристики вантажу, що транспортується (грубокусовість, запиленість середовища, наявність великої вологості), наявності ударних навантажень, особливо це помітно у вузлах завантаження, від якості виготовлення самих роликів і різних технологічних чинників [1]. Безліч деталей, що сполучаються, у ролику за наявних технологій виготовлення і складання можуть у низці випадків призводити до перекосів кілець підшипників і подальшого їхнього защемлення та значного скорочення терміну служби ролика.

З великої різноманітності конструкцій роликів можна виділити два типи: ролики з наскрізною віссю, на якій розміщені вбудовані підшипники, і моноблочні ролики з виносними підшипниками на півосях [8]. Найпоширенішими є ролики з наскрізними осями і циліндричними обертовими обичайками (рисунок 1.10).

Крім класифікації конвеєрних роликів за призначенням, це лінійні (рядові) і спеціальні, що виконують додаткові функції, як-от центрування, амортизація тощо, ролики також випускають різних типорозмірів, залежно від умов експлуатації.

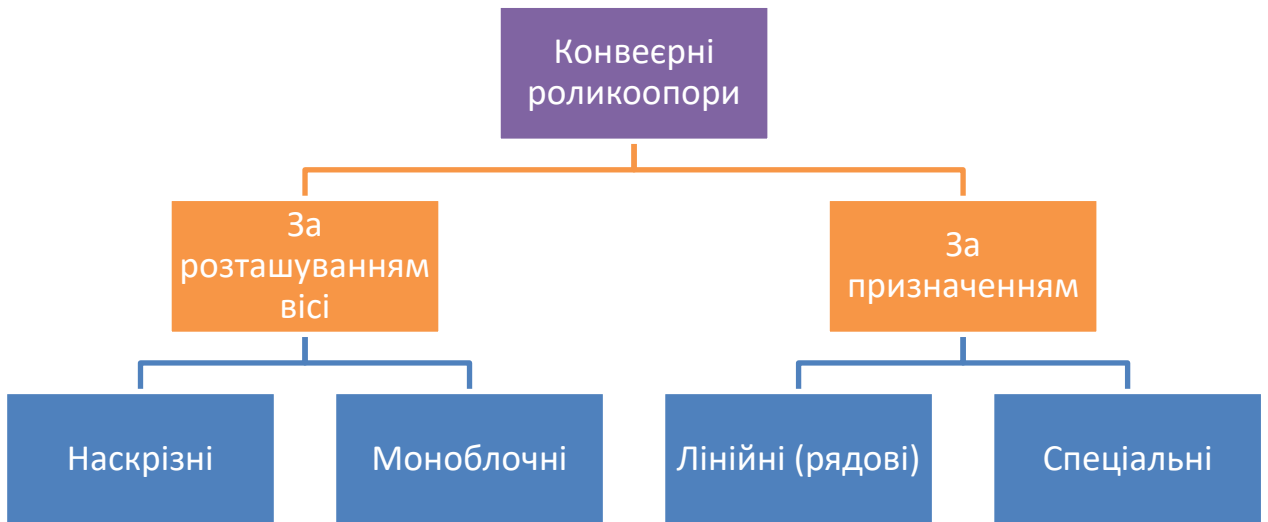


Рис. 1.10. Класифікація роликів

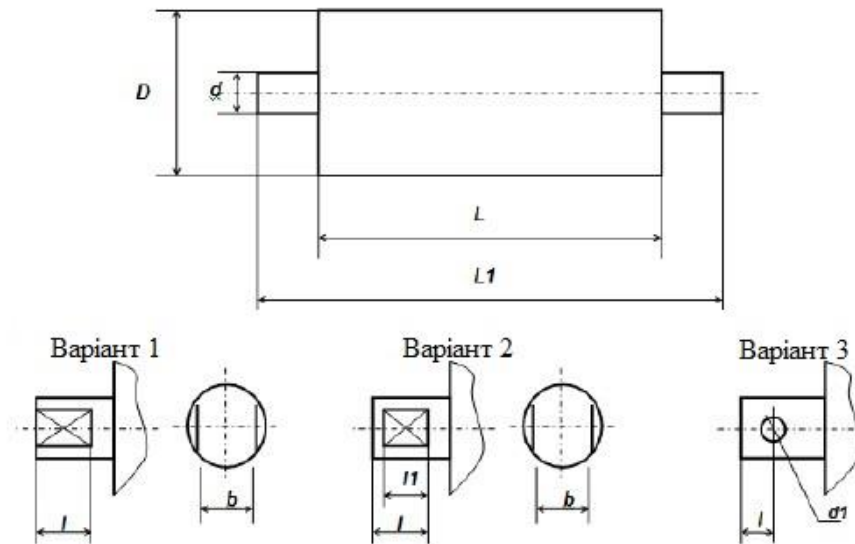


Рис. 1.10. Конструкція ролика

D - діаметр ролика; L - довжина обичайки ролика; $L1$ - загальна довжина ролика; d - діаметр осі ролика; b - ширина лиски; l - довжина лиски (варіант 1 осі); $l1$ - довжина лиски (варіант 2 осі); $d1$ - діаметр отвору на осі (варіант 3 осі).

Ролики стрічкових конвеєрів спочатку виготовляли з жорстким корпусом, і їхня міцність здебільшого досягалася завдяки більшій товщині стінки обичайки та жорсткій масивній маточині, в якій містився підшипник, здебі-

льшого це були розбірні конструкції, які можна було розібрати та в разі потреби поміняти підшипник [8].

Недоліком даних роликів є їхня підвищена металоємність і велика маса, яка істотно підвищувала масу самого конвеєра, термін служби даних роликів сильно залежав від якості виготовлення.

Для зменшення динамічного навантаження згодом почали застосовувати гірляндні роликоопори, поряд з ними, для пом'якшення динамічних навантажень створені конструкції роликів з гумометалевими маточинами, футеровані порожнистими гумовими кільцями або з маточинами з комбінованих матеріалів [8, 9].

Недоліком подібних конструкцій є зношення матеріалу футерування ролика, а в гірляндних роликоопорах - підвищений опір обертанню ролика і зношення опорних канатів і шарнірів роликоопор.

Для зменшення металоємності та маси роликів було розроблено конструкції роликів зі штампованими складними маточинами, які виконувалися як розбірними, так і нерозбірними. Як приклад можна розглянути конструкції роликів Бренд-Груп ЛТД, Україна, яке розробило кілька типів уніфікованих роликів (рисунок 1.12). Підшипники роликів забезпечені безконтактним лабиринтовим ущільненням, а також можливе додаткове блокове ущільнення. Термін служби цих роликів, відрізняючись складністю конструкції, також залежить від якості виготовлення.

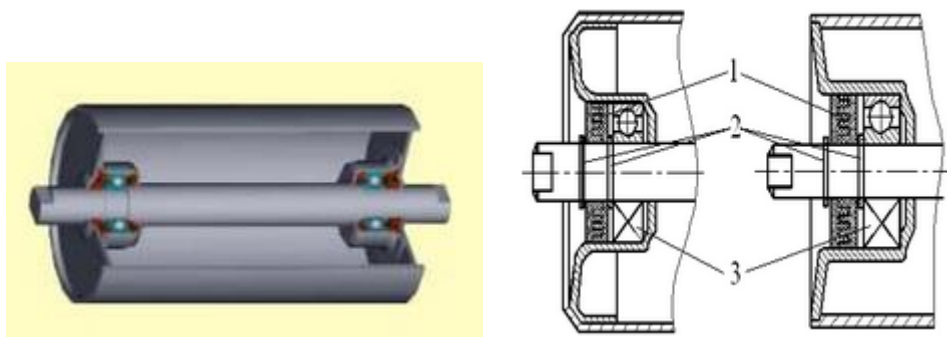


Рис. 1.12. Конструктивне виконання роликів з лабиринтовим ущільненням:

1 - лабиринт; 2 - стопорне кільце; 3 - підшипник

Відомі конструкції роликів із композиційних і полімерних матеріалів (рис. 1.13. Вони вирізняються малою вагою порівняно з роликами з металу, іноді в 5-6 разів, достатньою зносостійкістю і міцністю [10], що особливо важливо для пересувних конвеєрів. Однак наразі вони поки що не набули широкого поширення і використовуються в спеціалізованих конвеєрах хімічної та харчової промисловості. Однією з причин такого обмеженого застосування є те, що розроблені конструкції роликів недостатньо вивчені та часто не відповідають вимогам, що висувуються до вузлів конвеєрів, які останнім часом безперервно зростають.

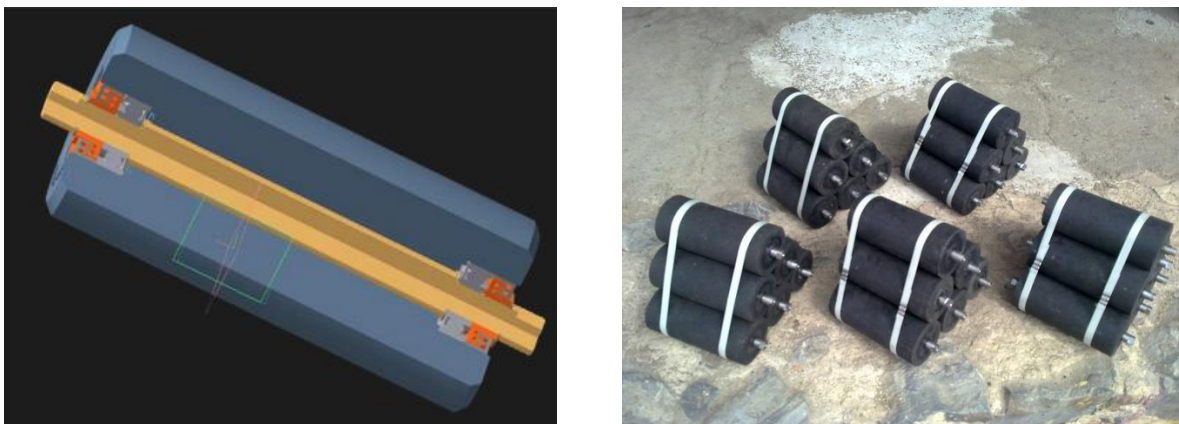


Рис. 1.13. Сополімерні ролики Конрол [10]



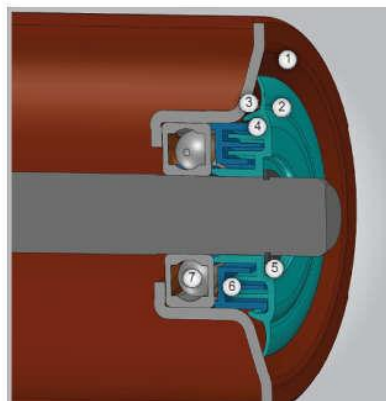
а - ролик призначений для легких і нормальних умов експлуатації; 1 - обичайка; 2 - підшипник; 3 - корпус підшипника штампований; 5 - стопорне кільце; 6 - внутрішня захисна шайба підшипник; 3 - корпус підшипника штампований; 4 - стопорне кільце; 5 - комплект лабіринтових ущільнень; 6 - внутрішня захисна шайба; 7 - вісь ролика; б - ролик для важких умов експлуатації; 1 - обичайка; 2 - вісь ролика; 3 – корпус підшипника; 4 - підшипник; 5 - зовнішня штампована кришка; 6 - комплект лабіринтових ущільнень; 7 - сто-

порне кільце; 8 - захисна шайба; 9 - роторне ущільнення; 10 - зовнішня захисна втулка; 11 - прес-оливне масло; в - ролик універсальний; 1- обичайка; 2 - вісь; 3 - внутрішня захисна шайба; 4 - підшипник; 5 - комплект лабіринтових ущільнень; 6 - роторне ущільнення; 7 - зовнішня захисна втулка; 8 - захисна кришка; 9 - стопорне кільце.

Рисунок 1.14 - Ролики конструкції ВАТ Промтяжмаш

Усі ці конструкторські рішення об'єднує одне, це власний оригінальний підшипниковий вузол, спеціально розраховане лабіринтове або комбіноване ущільнення і різні варіанти виконання маточини (лита, штампована, точена), обичайки ролика. Однак усі перераховані вище виробники роликів часто не виходять за рамки стандартних конструкторських рішень і лише обмежуються удосконаленням таких елементів, як ущільнення, підшипниковий вузол, і застосуванням більш сучасних матеріалів.

Конструкція фірми SUPERIOR INDUSTRIES LLC (США) (рисунок 1.15) - штампований корпус підшипника, оригінальне лабіринтове ущільнення, поєднане із захисною кришкою, створюються умови для відцентрового очищення передкамери під час обертання ролика. Усе це також підвищує ресурс ролика та знижує металоємність. Однак також не передбачає захист від технологічних і складальних перекосів і проникнення пилу під час зупинки обертання ролика.



1 - корпус підшипника; 2 - захисна кришка; 3 - створюється ефект відцентрового очищення внутрішньої порожнини під час обертання ролика; 4 -

спеціальне контактне ущільнення; 5 - стопорне кільце; 6 - лабіринтове ущільнення, поєднане із зовнішньою захисною кришкою; 7 - кульковий підшипник.

Рисунок 1.14 - Ролик конструкції SUPERIOR INDUSTRIES LLC (США) [11]

1.3. Аналіз причин виходу з ладу роликоопор стрічкових конвеєрів, вплив навантажень на вузли стрічкових конвеєрів

Експлуатація стрічкових конвеєрів, які працюють у важких умовах і запиленому середовищі, показує, що однією з причин аварій, які відбуваються на конвеєрах, є вихід з ладу роликів конвеєра. За даними НДІГС Респіратор та інституту ім. Академіка Скочинського А.А. статистичні дані свідчать, що майже 30% пожеж на підприємствах де активно експлуатуються стрічкові конвеєри (елеватори, виробництва з сипучими пильними матеріалами, шахти) пов'язано із загорянням конвеєрної стрічки.

Причому пожежі виникають, як правило, на приводних станціях (64%), натяжних станціях (10,8%) і лінійній частині конвеєра (25,2%) рис. 1.15. Основною причиною загоряння стрічки на лінійній частині конвеєра стає руйнування підшипника ролика, його подальше заклинювання, надмірне тертя ролика об стрічку і, як наслідок, нагрівання і загоряння [12, 13]. Вихід його з ладу ролика неминуче впливає на роботу всього конвеєра. Це може бути зростаючий опір обертанню стрічки, що призводить до підвищеного енергоспоживання, тертя ролика, що заклинило, об стрічку, а відтак - нагрів і можливе загоряння, спричинення порізів конвеєрної стрічки (малюнок 1.16), одного з найдорожчих елементів стрічкового конвеєра.

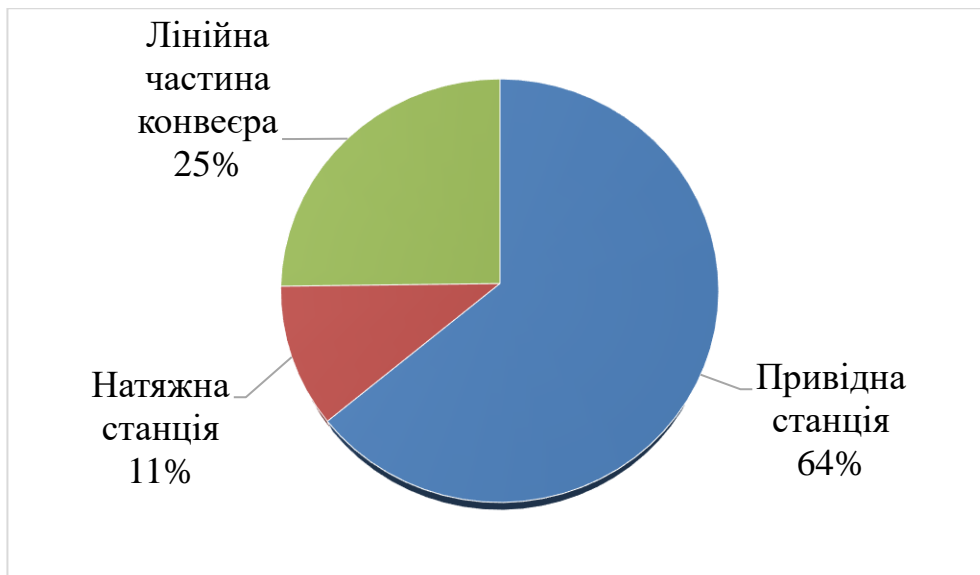


Рис. 1.15. Причини пожеж на конвеєрі

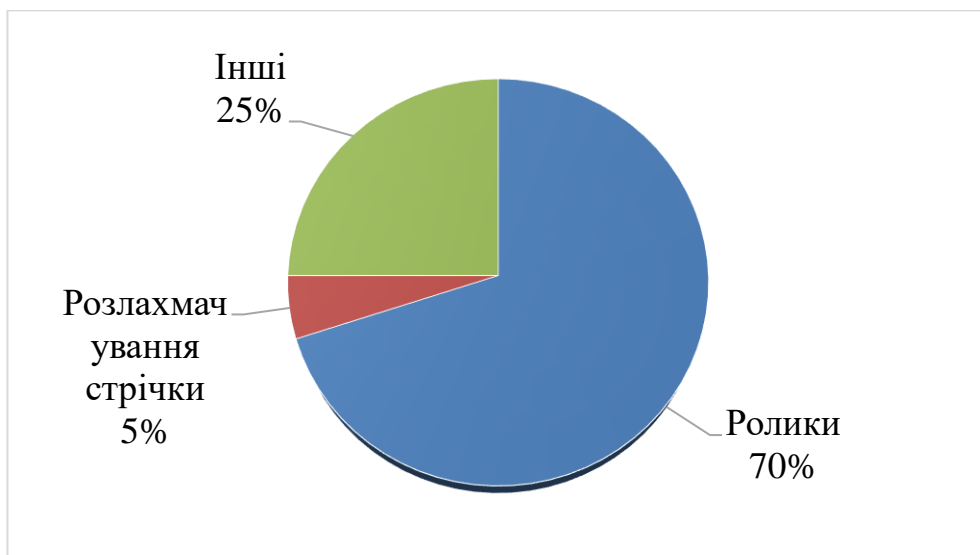


Рис. 1.16. Причини загорання лінійної частини конвеєра

Згідно з даними (таблиця 1.1), основними причинами виходу з ладу роликів є стопоріння підшипникових вузлів роликів внаслідок їхнього засмічення пилоподібними частинками (38%), недостатності змащення за передбачуваний термін технічного обслуговування (37%) [12].

Однією з причин стопоріння є заклинювання підшипника ролика внаслідок дії динамічних навантажень, які призводять до надмірного перекосу внутрішнього і зовнішнього кільця відносно одне одного і защемлення елементів кочення, постійні повторювані цикли защемлення можуть призвести, в кінцевому рахунку, до руйнування підшипника. Збільшення кутів перекосу

шарикопідшипників сприяє "самовстановленню" осі ролика в обичайці і може допомогти у вирішенні цієї проблеми.

Таблиця 1.1 – Статистичний розподіл відмов

Причини виходу з ладу	Частота відмов, %	
	Верхньої гілки	Нижньої гілки
Засмічення підшипників та їх стопоріння	38	12
Відсутність або нехватка мащення підшипників	37	36
Слабка посадка підшипників	12	10
Слабка посадка підшипників на осі, що не обертається	3	3
Рівномірне стирання обичайки по колу при перевантаженнях	2	30
Інше	8	9



Рис. 1.17. Розподіл відмов верхньої гілки конвеєра



Рис. 1.17. Розподіл відмов нижньої гілки конвеєра

Решта причин відмов викликані, як правило, або технологічними факторами (слабка посадка підшипників у корпусі або осі), неправильним підбором роликів для даних умов роботи або неправильним обслуговуванням та інше.

Заклинювання роликів - несправність, що веде до передчасного зношування елементів стрічкового конвеєра, є наслідком просипання вантажу, що транспортується. Налиплий на циліндричні поверхні роликів матеріал викликає вібрації і биття. Під дією таких динамічних навантажень підшипники роликів виходять з ладу - відбувається заклинювання.

Подальший рух стрічки супроводжується інтенсивним стиранням її робочої поверхні, а також циліндричної поверхні роликів опори конвеєра.

На рис 1.18 наведено дефекти роликів.

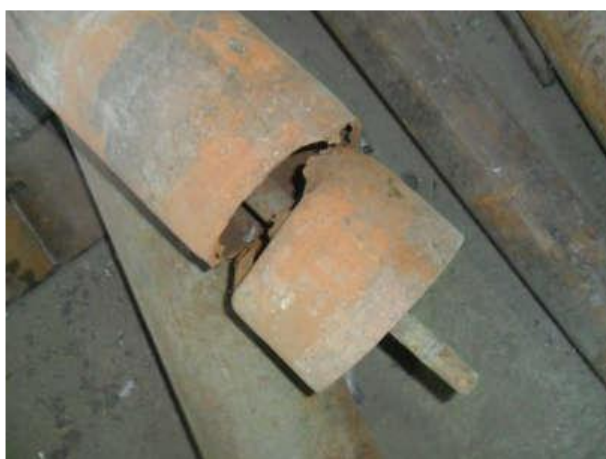


Рис. 1.18. Основні несправності під час роботи конвеєрних роликів

Аналізуючи динамічні навантаження на лінійних роликоопорах стрічкових конвеєрів, можна зробити висновки, що кожній середній швидкості руху стрічки відповідає оптимальний крок роликоопор, який забезпечує мінімальні динамічні навантаження. За невдало обраного кроку роликоопор,

він може бути визначальним фактором надійності вузлів стрічкового конвеєра під час транспортування крупнокускового вантажу. Також важлива конструкція та матеріал роликів.

1.4. Висновки за розділом

1 Розглянуто проблеми накопичення гумо-технічних виробів та методи їх переробки.

2. Розглянуто проблеми експлуатації стрічкових конвеєрів у гірничодобувній промисловості, проаналізовано причини виходу з ладу роликкоопор та їхній вплив на працездатність ЛК загалом.

3. Проведено аналіз конструкцій опорних роликів як одного з масових елементів ЛК, основних причин, що впливають на такі показники якості роликів як надійність і довговічність.

4. Узагальнюючи розглянуті конструкції та проведений аналіз технології обробки та складання роликів, зроблено висновок, що найбільш оптимальна конструкція конвеєрних роликів для роботи в умовах високої вологості та запиленого середовища досягається поєднанням технологічних та конструктивних факторів. Тобто вдосконалення конструкції ролика має бути в одному ряду з підвищенням якості всього технологічного процесу виготовлення і складання ролика.

5. Поставлено мету і завдання дослідження

Метою роботи є конструктивне та технологічне забезпечення якості опорних роликів стрічкових конвеєрів, що працюють у важких екстремальних умовах.

Відповідно до мети роботи було поставлено такі завдання:

- систематизувати і провести аналіз патентної та науково-технічної інформації щодо конструкцій роликів, технології їхнього виготовлення і складання, визначити перспективність пропонованих конструкцій;

- розробити нові конструкції опорних роликів стрічкових конвеєрів, визначити сумарні навантаження, що діють на ролики нової конструкції;
- виконати аналіз напружено-деформованого стану ролика при змінному навантаженні методами комп'ютерного моделювання;
- виконати аналіз технології виготовлення деталей опорних роликів, зокрема методами розмірного аналізу технологічного процесу, розробити прогресивну технологію виготовлення деталей ролика;
- провести заходи з удосконалення стану охорони праці на підприємстві,
- провести техніко-економічну оцінку роботи.

2. РОЗДІЛ. ПРОГНОЗУВАННЯ ПЕРСПЕКТИВИ РОЗВИТКУ КОНСТРУКЦІЙ ОПОРНИХ РОЛИКІВ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ

2.1. Обґрунтування пропонованої конструкції опорного ролика конвеєра

Згідно з Білецьким В.С. [14] одним з основних напрямків перспективного розвитку сучасних транспортувальних машин є (рис. 2.1):



Рис. 2.1. Напрямки розвитку транспортувальних машин

- Підвищення продуктивності конвеєра. Це реалізується шляхом вибору найбільш раціональної форми вантажонесучого елемента конвеєра, а також збільшення швидкості руху конвеєра;

-Підвищення надійності машин і спрощення їх обслуговування у важких умовах експлуатації;

-Зниження металоємності, маси і зменшення габаритних розмірів машин шляхом створення принципово нових полегшених конструкцій із застосуванням пластмас, легких сплавів, тонкостінних гнутих профілів металу тощо.

- Розвиток нових матеріалів та технологій також відіграє важливу роль у розвитку транспортних машин. Наприклад, використання легких матеріалів, таких як гума, полімери, вуглецеве волокно, дозволяє покращити ефек-

тивність транспортування. Розвиток нових технологій, таких як 3D-друк, дозволяє створювати транспортні машини більш складної форми та з меншою вагою.

При цьому, якщо взяти до уваги ті зміни, яких зазнали останнім часом стрічкові конвеєри, їхнє вдосконалення надалі здебільшого буде подальшим розвитком конструктивних виконань, а також у напрямі зниження ваги і розроблення оптимальної та недорогої технології виробництва сучасних конвеєрних стрічок для високопродуктивних конвеєрів.

Одним із перспективних напрямків розвитку є створення для конвеєрів мотор-барабанного або моторредукторного приводу, досконаліших конструктивно роликкоопор і, звісно, подальше вдосконалення їхньої технології виробництва. Тому проведена нами робота з конструктивного і технологічного вдосконалення роликкоопор добре вписується в цю концепцію.

Для опорного ролика стрічкового конвеєра (рисунок 2.2) була розроблена технологія виготовлення, проведений розмірний аналіз вузла і технологічного процесу механічної обробки деяких деталей, розроблений технологічний регламент, проведений глибокий аналіз з використанням сучасних засобів обчислювальної техніки.

Переваги ролика нової конструкції: підшипниковий вузол ролика - це тонкостінна пружна маточина певної геометричної форми, стакан, що дає змогу здійснювати примусовий перекіс зовнішнього кільця підшипника разом із внутрішнім кільцем підшипника за рахунок радіального навантаження, що діє на ролики. Це дає змогу запобігти защемленню елементів кочення в підшипнику й істотно подовжує термін служби.

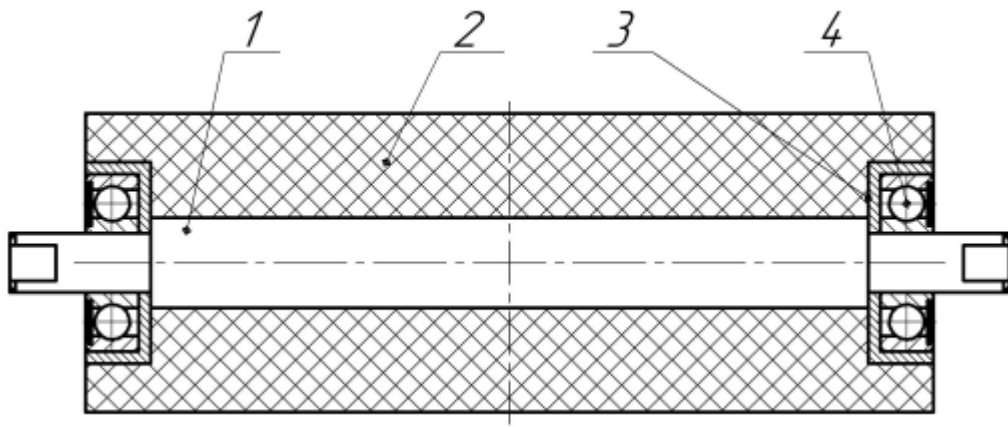


Рис. 2.2. Запропонований ролик із полімерного матеріалу
1 – вал, 2 – гумова основа, 3 - установочний стакан, 4 - підшипник

2.2. Розрахунок навантажень на роликосопори стрічкового конвеєра

Для створення алгоритму практично будь-якого розрахунку необхідно створити порядок, який би дозволив системно класифікувати параметри, що безпосередньо впливають на кінцевий результат. Методика розрахунку навантажень на ролики стрічкового конвеєра не є винятком. Бажано, щоб подібна методика розрахунку не була вузькоспеціальною, а її можна було б використовувати для різних, у цьому разі, варіантів вантажу, що транспортується. Вона необхідна для побудови алгоритму розрахунку навантаження і створення програми для ЕОМ, яка враховуватиме вплив виду матеріалу, що транспортується, його фізичних властивостей на навантаження в опорних роликах конвеєра, що дасть змогу надалі комп'ютеризувати процес розрахунку навантаження.

Затискаючий момент, що є наслідком перекосу кілець підшипника, один із негативних чинників, що впливають на працездатність і довговічність підшипника. Одноразова поява затискаючого моменту не призведе до мометального руйнування підшипника, але відомо, що неможлива монотонна, рівномірна експлуатація виробу без пікових критичних навантажень, а множинні затискаючі моменти, що повторюються, можуть призвести до заклинювання та, як наслідок, до руйнування підшипника.

Навантаження на підшипники роликів можна розділити на навантаження від ваги вантажу, стрічки і частин роликів і навантаження в роликах, що з'являються в результаті похибки виготовлення та збирання (це відхилення від співвісності, перекося під час установлення підшипників, неточності збирання). Тобто навантаження на підшипники опори залежить від фізико-механічних параметрів вантажу, що транспортується, характеру його розподілу на стрічці, положення ролика в опорі та ін. чинників (рисунок 2.3).

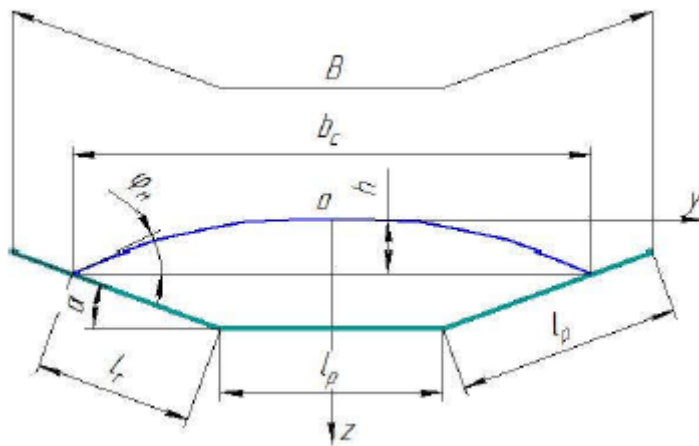


Рис. 2.3. Схема до розрахунку роликоопори

Основні аналітичні вирази використаної математичної моделі наявні в літературі [15]. Тиск сипучого вантажу на горизонтальну ділянку стрічки можна розрахувати як гідростатичний, тоді нормальне зусилля, прикладене до цієї ділянки, дорівнює:

$$N = 2 \cdot l_{on} \cdot \rho \int_0^{0,5l_p} h_0 dy \quad (2.1)$$

або

$$N = 0,5 \cdot l_{on} \cdot l_p \cdot \rho \left[2 \cdot l_r \cdot \sin \alpha + \left(b_c - \frac{l_p^2}{12 \cdot b_c} \right) \cdot \operatorname{tg} \varphi_H \right] \quad (2.2)$$

де l_{on} - відстань між роликкооперами;

$$l_p = K_p \cdot B \quad (2.3)$$

$K_p = 0,39$ - коефіцієнт пропорційності;

B - ширина стрічки конвеєра;

$\rho = 2m/m^3$ - об'ємна маса або насипна густина;

$$l_r = 0,5(K_B \cdot B - l_p) \quad (2.4)$$

$$b_c = l_p + 2 \cdot l_r \cdot \cos \alpha \quad (2.5)$$

де K_B - коефіцієнт використання ширини стрічки, оскільки

$$l_p = K_p \cdot B, \text{ то } l_r = 0,5 \cdot B(K_B - K_p) \quad (2.6)$$

$$K_B = 0,9 - \frac{0,05}{B} \quad (2.7)$$

φ_n - кут насипання вантажу або кут природного укосу в русі на стрічці залежить від φ - кута природного укосу для стану спокою.

На кожному з бічних похилих ділянок стрічки довжиною l_{on} зусилля буде

$$N_{\zeta} = 0,5 \cdot l_{on} \cdot l_r^2 \cdot \rho (1 + \xi \cdot \operatorname{tg}^2 \alpha) \left[\operatorname{tg} \alpha + \left(1 - \frac{l_r}{3 \cdot b_c} \cos \alpha \right) \operatorname{tg} \varphi_H \right] \cdot \cos^3 \alpha \quad (2.8)$$

де ζ -коефіцієнт бічного тиску;

$$\xi = m = \frac{1 - \sin \varphi}{1 + \sin \varphi} \approx \frac{0,18}{f} \quad (2.9)$$

f - коефіцієнт внутрішнього тертя, приймаємо його за табличними даними $f = 0,9$,

тоді

$$\xi \approx \frac{0,18}{0,9} \approx 0,2$$

Сила, що зсуває стрічку в поперечному напрямку і перпендикулярна вектору її швидкості (тобто осьове навантаження на підшипники) дорівнює:

$$F_{\tau} = 0,5(N + 0,4 \cdot q_{\text{л}} \cdot l_{\text{он}})(f_{\text{л}} \cdot \cos \theta - w_{\text{р}} \cdot \sin \theta) \quad (2.10)$$

$$F\tau_{\text{Б}} = 0,5(N_{\text{Б}} + 0,3 \cdot q_{\text{л}} \cdot l_{\text{он}})(f_{\text{л}} \cdot \cos \theta - w_{\text{р}} \cdot \sin \theta) + G_{\text{р}} \sin \alpha \quad (2.11)$$

де N , $N_{\text{Б}}$ - сила тиску на відповідний ролик;

$f_{\text{л}}$ - коефіцієнт тертя стрічки об ролик, для наближених розрахунків $f_{\text{л}} = 0,3$;

$w_{\text{р}}$ - коефіцієнт опору обертання ролика;

θ - кут перекосу горизонтального ролика опори в горизонтальній площині;

$K_{\text{Е}}$ - коефіцієнт еквівалентності, що враховує зміну навантаження на стрічку в процесі роботи конвеєра, $K_{\text{Е}} = 1$;

$G_{\text{р}}$ - вага частин ролика, що обертаються;

$Q_{\text{с}}$ - максимальна погонна вага стрічки; $Q_{\text{с}} = mVg$

де m - маса 1м^2 стрічки;

Згідно з розрахунковою схемою (рисунок 2.3) радіальне навантаження на підшипники горизонтального і нижній підшипник бічного ролика рівні:

$$F = 0,5(K_e \cdot N + 0,4 \cdot q_c \cdot l_{on} + G_p) \quad (2.12)$$

$$F_{Б.Н.} = 0,67 \cdot K_e N_B + 0,5 \cdot (0,3 \cdot q_c \cdot l_{on} + G_p \cdot \cos \alpha) \quad (2.13)$$

де K_E - коефіцієнт еквівалентності, що враховує зміну навантаження на стрічку в процесі роботи конвеєра;

Данні розрахунки формули досить громіздкі з безліччю даних, тому було розроблено програму для ЕОМ "Визначення навантаження на підшипники роликів стрічкового конвеєра". Вона може застосовуватися в галузі підіймально-транспортних машин (конкретно, стрічкового конвеєра) і призначена для визначення осьових і радіальних навантажень на підшипники трироликової жорсткої роликосопори стрічкового конвеєра під дією навантажень. Вид і значення навантаження визначаються залежно від виду вантажу (зерно, вапняк, різні руди, глина тощо).

Вхідні дані (усі дані обирають залежно від параметрів конвеєра і вантажу, що транспортується, і є в довідковій літературі):

- відстань між роликосопорами;
- ширина стрічки конвеєра;
- кут нахилу бічних роликів;
- кут природного укусу для стану спокою;
- маса 1 м² стрічки;
- вага роликосопори;
- число роликів;
- коефіцієнт внутрішнього тертя;
- коефіцієнт тертя стрічки об ролик;
- коефіцієнт опору обертання ролика;
- кут перекосу горизонтального ролика опори в горизонтальній площині.

ні.

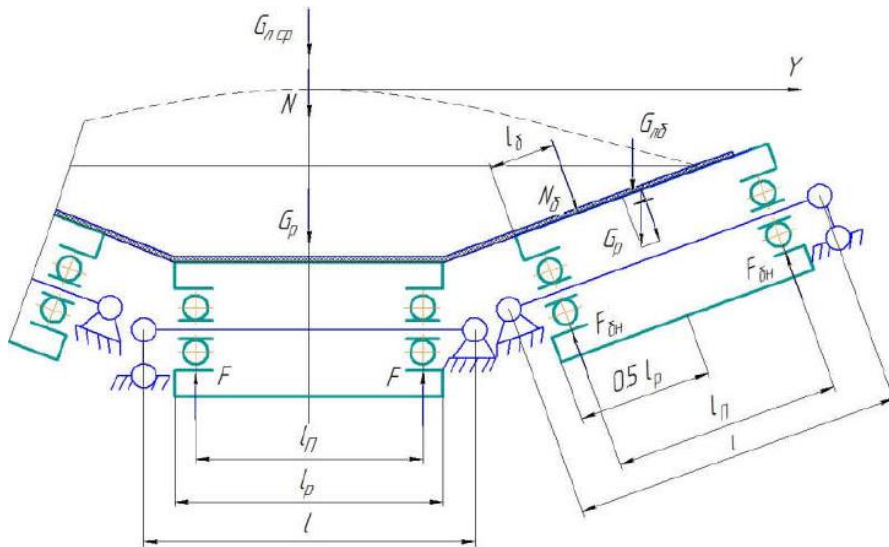


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема для визначення радіальних навантажень на підшипники трироlikової опори

Вихідні дані: нормальне зусилля, прикладене до горизонтальної ділянки стрічки; повне нормальне зусилля на кожен з бічних похилих ділянок стрічки; радіальне навантаження на підшипники горизонтального ролика; радіальне навантаження на нижній підшипник бокового ролика; осьове навантаження на підшипники нижнього ролика; осьове навантаження на підшипники бокового ролика.

Інтерфейс простий, інтуїтивно зрозумілий, не перевантажений зайвими елементами, і водночас функціональний.

Розмір програмного додатка становить 2 Мб, тому практично він може застосовуватися на всіх наявних ЕОМ. Програма може бути використана в навчальному процесі для технічних спеціальностей при виконанні курсових і дипломних робіт і для полегшення розрахунків у даній галузі іншими фахівцями, як з вузів, так і з виробництва.

Зробимо розрахунок на прикладі трироlikового стрічкового конвеєра, матеріал, що транспортується, - пшениця.

Характеристики конвеєра:

- Матеріал, що транспортується, - пшениця;
- Продуктивність до $Q=800$ т/год;

- Ширина стрічки $B=1400\text{мм}$;
- Швидкість конвеєра $V=2\text{м/с}$;
- Діаметр ролика конвеєра 159мм .

Із джерел [1, 16] видно, що фізико-хімічні властивості матеріалу, що транспортується (пшениця), різняться, це зумовлено тим, що властивості пшениці залежать від багатьох чинників. Одним з основних чинників, що впливають на значення зовнішнього навантаження, є об'ємна маса або насипна густина ρ (т/м^3), для розрахунку обираємо його максимальне значення, узятє шляхом вибірки з таблиці $\rho_{\text{max}} = 2\text{т/м}^3$.

Вихідні дані:

- відстань між роликоопорами, $l_{\text{оп}} = 1,1\text{м} = 1100\text{мм}$;
- ширина стрічки конвеєра, $B = 1,4\text{м} = 1400\text{мм}$;
- кут нахилу бічних роликів, $\alpha = 200$;
- кут природного укусу для стану спокою, $\varphi = 360$;
- маса 1 м^2 стрічки, $m = 37\text{кг}$;
- вага роликоопори, $G_{\text{Р}} = 49,8\text{ кг}$;
- число роликів, $n = 3$;
- коефіцієнт внутрішнього тертя, $f = 0,9$;
- коефіцієнт тертя стрічки об ролик, $f_{\text{с}} = 0,3$;
- коефіцієнт опору обертання ролика, $W_{\text{Р}} = 0,05$;
- кут перекосу горизонтального ролика опори в горизонтальній площині, $\theta_{\text{доп}} = 0^{\circ}8'$. Його можна також зіставити зі значенням $[\theta_{\text{п}}]$ - допустимий відносний кут повороту кілець підшипників, який становить без урахування похибки виготовлення $[\theta_{\text{п}}] = 0^{\circ}8'$, з урахуванням похибки виготовлення він може становити $[\theta_{\text{п}}] = 0^{\circ}4'$ [16].

Після введення вихідних даних натискаємо кнопку "РОЗРАХУНОК" і отримуємо дані:

- Нормальне зусилля, прикладене до горизонтальної ділянки стрічки $N = 2836\text{ Н}$.

- Повне нормальне зусилля на кожну з бічних ділянок стрічки $N_6 = 576,9 \text{ Н}$.

- Радіальне навантаження на підшипники горизонтального і нижній підшипник бічного ролика $F = 1611 \text{ Н}$.

$$F_{\text{Б.Н.}} = 546,7 \text{ Н}$$

- Осьове навантаження на підшипники,

$$F_{\text{Т}} = 458,8 \text{ Н}$$

$$F_{\text{тБ}} = 167,2 \text{ Н}$$

Ми отримали максимальні навантаження, які впливають на ролик під час його експлуатації. Однак необхідно мати на увазі, що існує безліч випадкових чинників, як-от ударні навантаження, великі шматки вантажу, врахувати їх практично неможливо. Прагнення врахувати всі фактори робить математичну модель громіздкою і часто нерозв'язною, тобто такою, що не має практичного застосування, тому для можливості практичного використання деякими випадковими факторами можна знехтувати без великої шкоди для точності розрахунку.

2.3. Висновок по розділу

Можна припустити, що у випадках появи екстремальних короткочасних навантажень, використання конструкцій роликів, що запобігають появі защемлювального моменту, сприяє збільшенню їхнього терміну служби, оскільки це зсуває величини навантажень, за яких виникає перекид, у більший бік. Що дає можливість, використовуючи стандартні шарикопідшипники, істотно збільшувати термін служби роликів і переносити короткочасні ударні навантаження з меншим збитком.

РОЗДІЛ 3. МЕТОДИКА ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ЇХ РЕЗУЛЬТАТИ

3.1. Методика проведення досліджень на знос поверхні ролика

Дослідження щодо спрацювання поверхні гуми виконувались за допомогою машини тертя МІ-2 відповідно до стандарту ГОСТ 426-77 Метод визначення опору стиранню при ковзанні. Суть методу полягає в стиранні зразків при постійній нормальній силі, яку застосовують до абразивної поверхні обертаючогося диска з постійною швидкістю. Під час експерименту вимірюють показники опору стиранню та стираємості.

Випробування проводились з нормальною силою, що дорівнює 26 Н (2,6 кгс), на два зразки. Схема приладу типу МІ-2 для визначення опору стиранню при ковзанні наведена на рисунку 3.1 і 3.2.

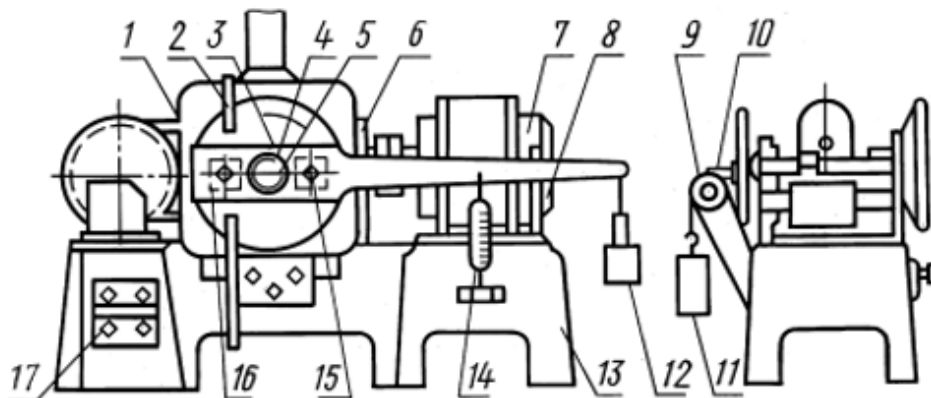


Рис.3.1 Схема приладу МІ-2.

1 - кожух; 2 - повітропровід; 3 – нерівноплечий важіль; 4 - диск; 5 - порожнистий вал; 6 - редуктор; 7 - електромотор; 8 - скоба; 9 - ролик; 10 - вантажний стрижень; 11 – постійний вантаж; 12 – зрівноважуючий вантаж; 13 - станина; 14 - динамометр; 15 - гвинти; 16 - рамка-тримач; 17 - вимикач



Рис. 3.2 Експериментальна машина тертя

На станині 13 (див. рис.3.1) розташований електромотор 7, який за допомогою редуктора 6 приводить в обертання порожнистий вал 5 із закріпленим диском 4. На цьому диску розміщується шліфувальна шкурка, яку кріплять за допомогою шайби і гайки. Обертання диска відбувається у вертикальній площині. Нерівноплечий важіль 3 несе дві рамки-тримачі 16, в які закріплюються зразки за допомогою гвинтів 15.

Товщина рамки повинна бути не менше 1 мм. На важелі закріплений вантажний стрижень 10, який прокладає шлях через порожнистий вал 5 та використовується для натискання важеля із зразками до диска. Відстань між центром кожного зразка та віссю стрижня становить 6,8 см. Притискання забезпечується постійним вантажем 11, який підвішений до стрижня за допомогою троса, перекинутого через ролик 9. Довгий важіль 3 має отвори для підвішування зрівноважуючого вантажу 12, що утримує його у рівновазі.

Сила тертя вимірюється за допомогою динамометра 14. Повітропровід, підведений до робочої частини диска, має загнуті кінці, на яких, звернених до диска, розташовані отвори діаметром 1 мм для обдування стисненим повітрям поверхні тертя (див. рис. 3.1). Відстань від трубки з отворами до диска становить 20-25 мм. Отвори розташовані під кутом 45° до робочої поверхні диска, проти напрямку його руху. Диск розміщений в кожуху, який має ви-

відну трубку, з'єднану з системою витяжної вентиляції. Для зупинки машини передбачений кінцевий вимикач, який вмикається після визначеної кількості обертів диска.

Зразки для випробування на стирання мають форму квадрата зі стороною 20 мм та обладнані заплічками шириною 4 мм і висотою 3 мм. Ці заплічки служать для закріплення зразків в рамках тримача (див. рис. 3.3). Частина, яка підлягає стиранню і виступає понад рамкою тримача, повинна мати висоту $(3,5 \pm 0,5)$ мм [17].

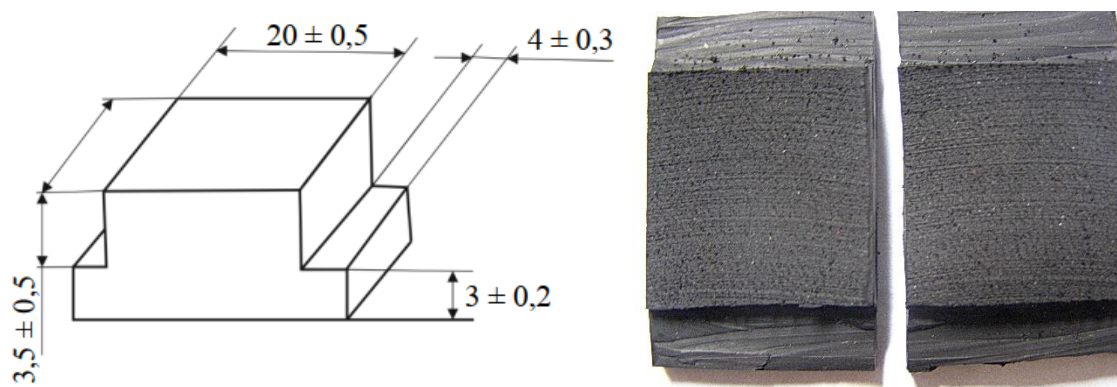


Рис. 3.3. Гумово-кордні зразки для проведення досліджень

Зразки (6 штук) готуються шляхом вирізання з готової смужки висотою 8 мм виготовленої з того ж матеріалу, що і ролик. Поверхня зразків повинна бути вільною від тріщин, пор, раковин та інших дефектів.

Після цього зразки натирають до шкурки, поки не відбудеться зняття зовнішньої плівки з усієї робочої поверхні. Процес натирання зразка та стабілізації шкурки можна виконувати одночасно. Після цих підготовчих операцій вимикаємо електродвигун, маркуємо олівцем положення зразків у рамках, виймаємо їх, очищаємо від пилу й бахромки, і зважуємо з точністю до 0,001 г (див. рис. 3.5).



Рисунок 3.5. Зважування зразка

Після взважування зразків їх знову закріплюють у рамках та розміщують у тримачі на машині так само, як і під час процедури притирання. Відвішують вантаж, який тисне на рамку зі зразками з силою 26 Н.

На кінцевому вимикачі лічильника встановлюється значення 200. Електродвигун увімкнено, і зразки піддаються процедурі стирання протягом 5 хвилин. Протягом кожної хвилини випробування реєструється маса врівноважуючого вантажу. Після завершення стирання зразки повторно очищають і вимірюють їх масу.

Втрати маси гуми під час стирання повинні бути не менше 0,05 г. У випадку, якщо це вимогу не виконано, продовжуємо випробування. Для перевірки стираючої здатності кожного круга шкурки, використовуючи еталонну гуму, проводимо оцінку до та після випробування шести пар зразків. Якщо спостерігається зменшення стираючої здатності кола шліфувальної шкурки на 20% і більше, замінюємо його новим.

3.2. Методика випробувань дослідних зразків на твердість

Для визначення твердості за Шором А гумового зразка використовується методика, що визначена у ГОСТ 263-75 [18].

Суть методу полягає в вимірі опору гуми зануренню в неї індентора (див. рис. 3.6).



Рисунок 3.6. Замір твердості гуми

Випробуваний зразок розміщується на рівній горизонтальній поверхні. Твердомір установлюється над зразком без різких рухів і ударів у вертикальному положенні так, щоб опорна поверхня майданчика контактувала зі зразком. Твердомір закріплюється в спеціальному пристрої, який дозволяє створювати притискні сили від 10,0 до 12,5 Н, або на твердомір може бути встановлено централізований по осі індентор з вантажем від 1,00 до 1,25 кг. Дозволяється також ручне навантаження твердоміра [18].

Твердість зразків за Шором А:

Гумово-кордна – 72-82,

Гума 2959 - 72,

Гума марки А - 82.

3.3. Випробування зразків на опір стиранню

Знос підготовлених зразків гуми проводили по наждачному папері двох зернистостей. Р-150, що відповідає ГОСТу для проведення даного дослідження та на Р-40 з метою моделювання екстремальних умов роботи. Випробування проводили на протязі 300 с, данні отримані після дослідів заносили в таблицю 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати стирання зразків на машині тертя МІ-2

Параметр	Гума					
	Гумово-кордна вторинна		2959		Марка А сильно наповнена	
Шліфувальний папір	Р-150	Р-40	Р-150	Р-40	Р-150	Р-40
Вага зразків до стирання, гр.	11,32	11,05	11,23	10,42	15,32	13,88
Вага зразків після стирання, гр.	11,25	10,74	11,00	9,84	15,19	13,17
Знос, гр.	0,07	0,31	0,23	0,58	0,21	0,71
Зрівноважуюча сила, Н	465,3	363,3	290	372	330	366

Після випробування проводилась обробка результатів згідно ГОСТ 426-77, а результати заносились до таблиці 3.2.

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

Показник	Гума					
	1		2		3	
Шліфувальний папір	Р-150	Р-40	Р-150	Р-40	Р-150	Р-40
Щільність гуми, кг/м ³	1140	1140	1165	1165	1077	1077

Вантаж, що врівноважує, гр.	465,3	363,3	290	372	330	366
Постійна машини, Н	26	26	26	26	26	26
Сила тертя, Н	3144	2511	2057	2565	2305	2528
Коефіцієнт тертя	1,21	0,97	0,79	0,99	0,89	0,97
Робота тертя, Дж	2735	2185	1789	2231	2005	2199
Знос зразків, мм ³	$6 \cdot 10^{-5}$	$3 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$5 \cdot 10^{-4}$	$2 \cdot 10^{-4}$	$7 \cdot 10^{-4}$
Стираємість, м ³ /ГДж	22	310	111	233	96	301
Зносостійкість (опір стиранню), Дж/мм ³	46,9	3,25	9,07	4,48	10,52	3,33

Результати розрахунків стосовно стираємості гуми наведено на рис.3.7.

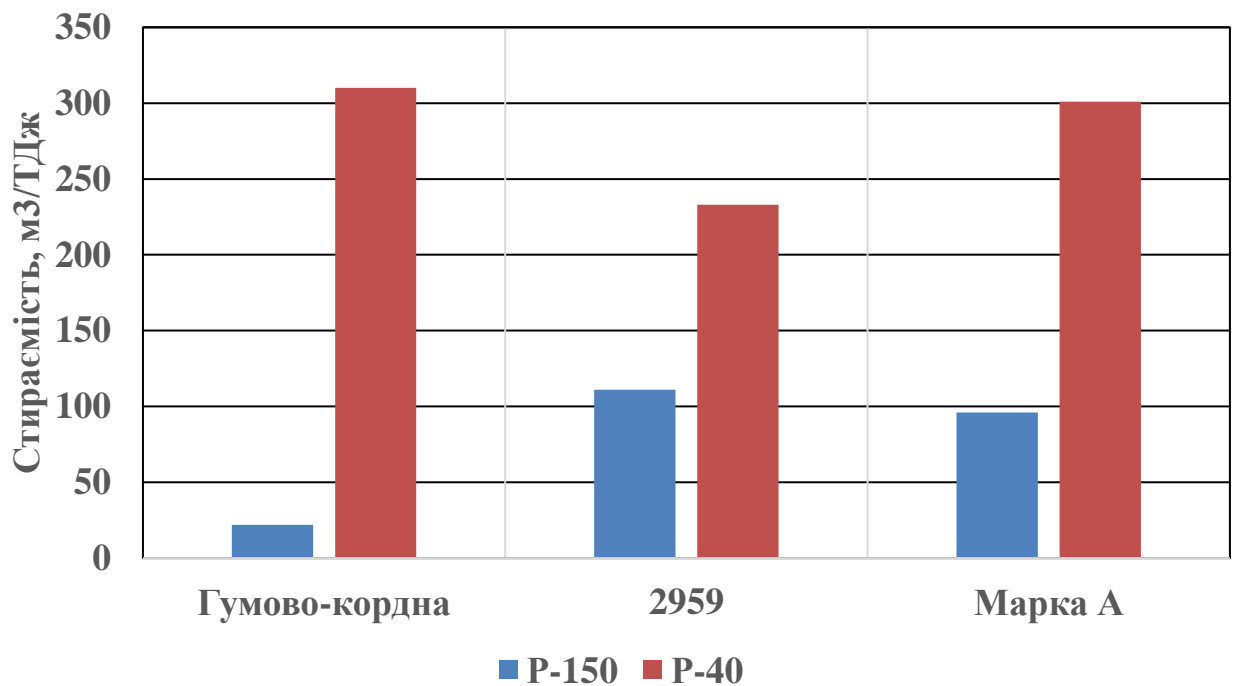


Рис.3.7. Стираємість різних марок гуми

Результати розрахунків стосовно зносостійкості (опору стиранню) гуми наведено на рис.3.8.

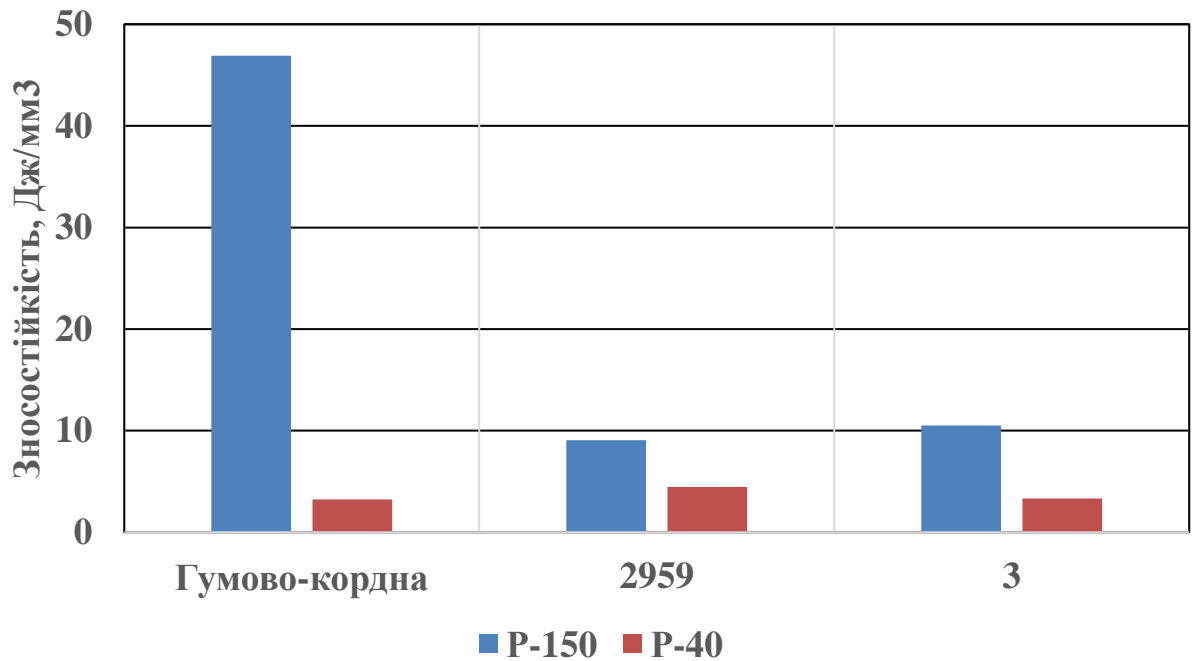


Рис.3.8. Зносостійкість різних марок гуми

Виходячи з графіків можна сказати, що гумово-кордні ролики добре будуть працювати в умовах де буде відсутній або мінімально присутній крупний абразив. Тобто дані ролики добре будуть працювати при транспортуванні зерна або штучних вантажів.

3.4. Моделювання навантаження ролика стрічкового конвеєра в середовищі Femap with NX Nastran

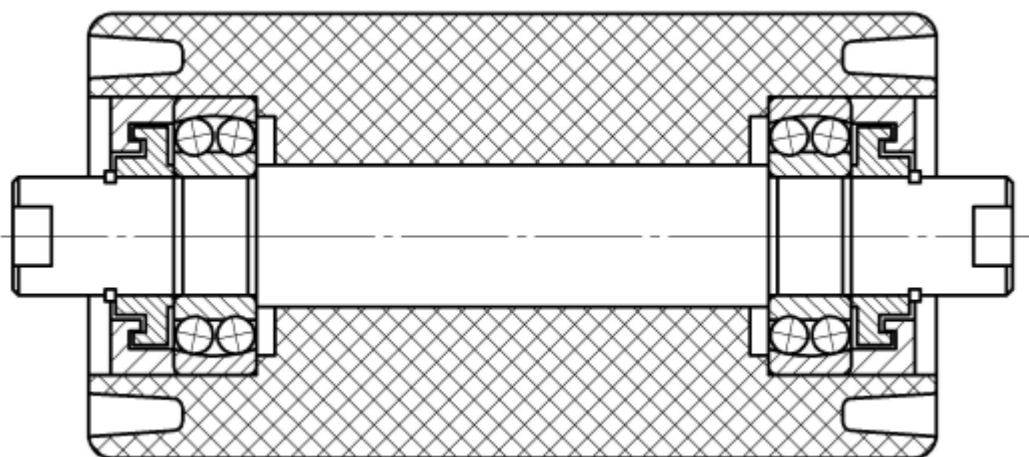


Рис. 3.9. Новий ролик з кульковим підшипником



Рис. 3.10. Новий ролик з підшипником ковзання

Поведінку ролика під дією змінних навантажень, напруження та деформації, що виникають у його вузлах, зазвичай визначають шляхом виготовлення самого виробу та проведення експериментальних досліджень. Теоретично деформації в підшипникових вузлах, напруження, що виникають у них, і жорсткість обичайки ролика конвеєра були розглянуті в роботах [1, 4, 5]. Однак отримані аналітичні вирази є доволі громіздкими і практично важко розв'язуваними. Теоретично досить складно передбачити і розрахувати поведінку тих чи інших вузлів у зборі, оскільки взаємний вплив різних вузлів один на одного складно і важко моделюється, а спроба врахувати всі нюанси призводить до появи складних і часто нерозв'язних аналітичних виразів.

З розвитком технологій підвищуються і можливості дослідників, одним з таких сучасних інструментів дослідження є метод скінченних елементів. Сам метод скінченних елементів відомий давно, ще в 1950 роках його використовували для розв'язання задач, пов'язаних із космічною галуззю [20]. Однак свого найбільшого розвитку метод набув після появи сучасних обчислювальних машин.

Основна ідея методу скінченних елементів показана в його назві. Деталь, вузол або область пружного тіла, що розглядається, розбивається на ділянки (кінцеві елементи), що мають спільні вузлові точки, в яких вони пов'язані, а загалом апроксимують форму об'єкта, що розглядається. При цьому в

кожному кінцевому елементі невідома величина має простий аналітичний вираз. І завдання методу полягає у визначенні невідомих величин шляхом використання варіаційної інтерпретації. Ефективне розв'язання подібних задач стало можливим із застосуванням ЕОМ.

Для розрахунку напружено-деформованого стану ролика нової конструкції було використано програмний комплекс Femap with NX Nastran [24]. Femap with NX Nastran - це скінченно-елементний комплекс, розроблений компанією Siemens PLM Software. Пакет Femap with NX Nastran складається з програми моделювання конструкцій "Femap" і програми скінченно-елементного аналізу "NX Nastran".

У програмі Femap здійснюють підготовку скінченно-елементних моделей і обробляють результати, до неї включено власні засоби побудови геометричної моделі та її редагування. Якщо необхідно, побудову геометричної моделі виробу може бути створено на етапі конструювання в будь-якій сумісній САД-системі. Для створення скінченноелементної моделі використовуються інструменти автоматичної генерації сіток. Можливості програми забезпечують її взаємодію з багатьма іншими подібними програмами скінченно-елементного аналізу. Програма забезпечує можливість обробки, відображення та збереження результатів аналізу.

NX Nastran це програма скінченно-елементного аналізу загального призначення. Її можливості це, виконання аналізу конструкцій у статиці та динаміці, задач теплопередачі, аеропружності. Маючи подібні вхідні файли для кожного виду аналізу, програма дає змогу легко перемикатися між ними.

Обидві програми об'єднані в інтегроване середовище проектування, моделювання та аналізу конструкцій "Femap with NX Nastran". Основні виконувані ним завдання: розрахунок напружено-деформованого стану, розрахунок власних частот і форм коливань, аналіз стійкості, розв'язування задач теплопередавання, аналіз нелінійних статичних процесів, аналіз нелінійних динамічних перехідних процесів, розрахунок критичних частот і вібрацій роторних машин, аналіз частотних характеристик під час впливу випадкових на-

вантажень. У Femap with NX Nastran можливе моделювання з використанням практично всіх типів матеріалів, а також моделювання вузлів, що складаються з різних матеріалів. Графічний інтерфейс системи (малюнок 3.11) багато в чому схожий з графічними інтерфейсами інших подібних систем і виконаний у стандарті Windows.

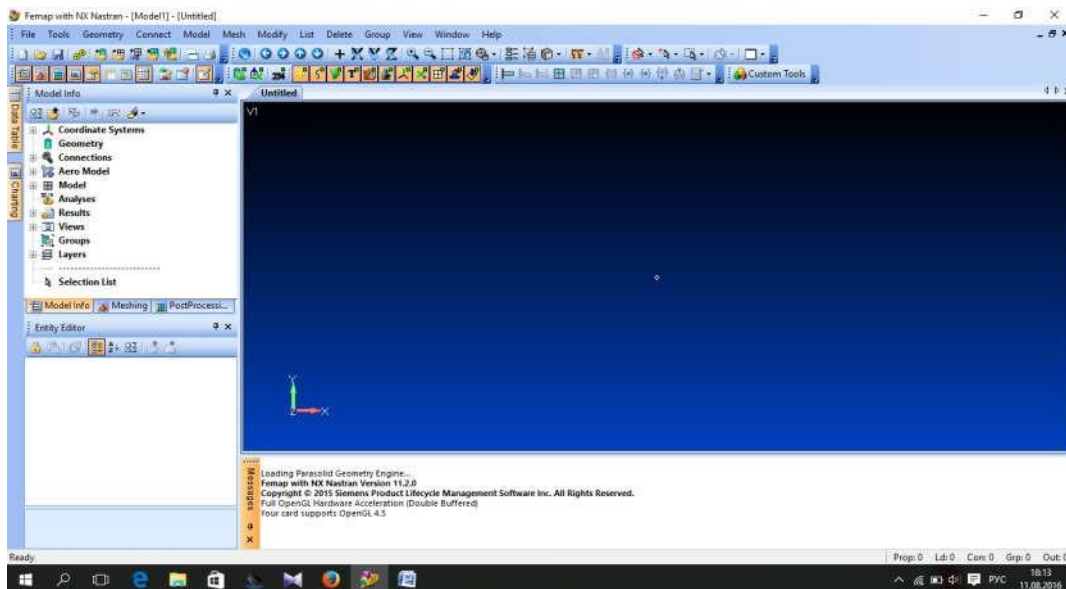


Рисунок 3.11 - Інтерфейс системи Femap with NX Nastran

Програмний комплекс Femap with NX Nastran дає змогу замінити дорогі експерименти, з виготовленням виробу з металу та використання лабораторного обладнання, на віртуальне скінченноелементне моделювання експерименту з подальшим аналізом результатів. Це дає можливість знизити витрати на стадії проектування, оскільки створення цифрової моделі того ж ролика і обчислювальний експеримент дешевше, ефективніше і займає менше часу, ніж експерименти з реальними виробами. Також з'являється можливість моделювати та проводити аналіз більшої кількості варіантів експериментальних досліджень.

Було вирішено замість дорогих натурних експериментів із дослідження напружень і деформацій, що виникають у ролик конвеєра нової конструкції (рисунок 3.9, 3.10), провести віртуальне моделювання та аналіз за допомогою модуля Femap with NX Nastran. Для моделювання навантаження вибираємо

виходячи з розрахункової схеми розподілу навантажень (рисунок 2.4) середній, найбільш навантажений ролик.

Навантаження приймаємо як розподілене по всій обичайці ролика конвеєра (рисунок 3.12), водночас модель ролика в модулі Femap креслимо спрощено без лабіринтових ущільнень і захисної шайби, як елементів, що не впливають на міцність конструкції. Взаємодія з Femap with NX Nastran здійснюється безпосередньо за допомогою графічного інтерфейсу, тобто команди обирають із меню, необхідні параметри вводять за допомогою діалогових вікон.

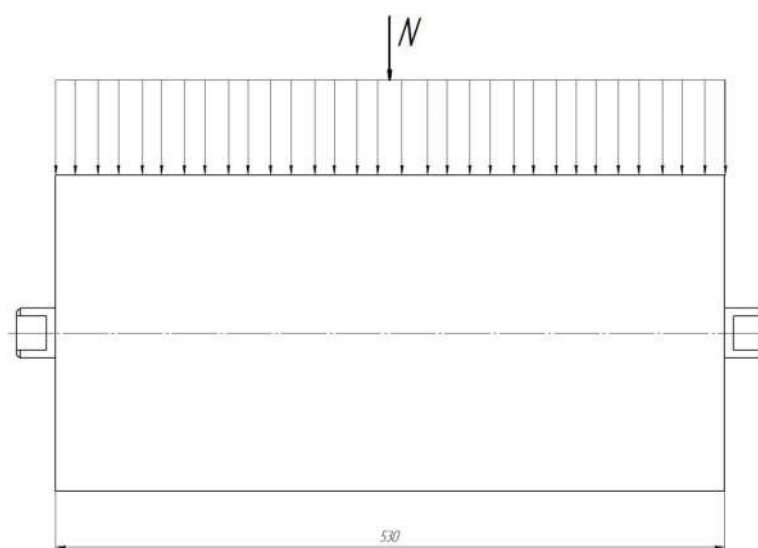


Рисунок 3.12 - Розподіл навантаження в горизонтальному ролику

Аналіз ролика конвеєра за допомогою модуля Femap with NX Nastran містить у собі такі етапи:

- Створення геометричної моделі ролика. Було зроблено такі припущення, для спрощення побудови та редагування геометричної моделі: на подальших видах ролика підшипник 60306 (аналог 6306Z) умовно не показано; стакан ролика приварену до тонкостінної маточини умовно не показано; вісь задано розмірами й надалі умовно показано як лінію; геометричну модель побудовано без елементів ущільнення й захисного кожуха як таких, що не впливають на міцність вузла;

- Матеріали деталей: Обичайка - сталь 5сп, тонкостінна маточина - Сталь 14ХГС, стакан - сталь 30, вісь - сталь 5сп, а також повністю гумовий ролик;

- Генерування сітки скінченних елементів - шляхом розбиття геометричної моделі ролика (рисунок 3.13) і завдання закріплень моделі;

- Вказати напрямок і характер навантаження на скінченно-елементну модель (рисунок 3.12);

- Вибір виду та параметрів аналізу (у нашому випадку вибір деформації або напруження);

- Скінченно-елементний аналіз конструкції ролика;

- Аналіз результатів розрахунку, їх обробка та оформлення.

Згідно з розрахунками, проведеними в 2.2 нормальне зусилля або навантаження на горизонтальну ділянку дорівнює $N = 2836\text{Н}$, повне нормальне зусилля на кожну з бічних ділянок стрічки $N_6 = 576,9\text{Н}$. Таким чином, повне навантаження на горизонтальній ділянці роликкоопори або на горизонтальний ролик буде $N_{\text{полн}} = N + 2 \cdot N_6 = 2836 + 2 \cdot 576,9 = 3989,8\text{Н}$. Під час розрахунку навантаження ми використовували максимальні значення даних (насипна щільність, маса ролика, маса стрічки тощо), тому отримане значення повного навантаження ($N_{\text{повн}}$) є максимальним для цього типу вантажу, який транспортується.

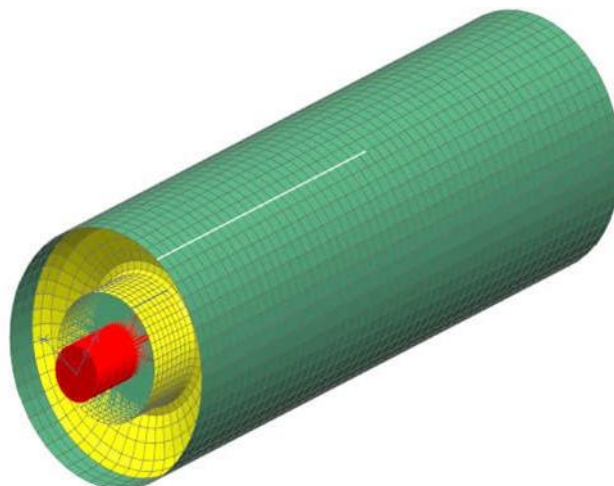


Рисунок 3.12 - Сітка скінченних елементів геометричної моделі

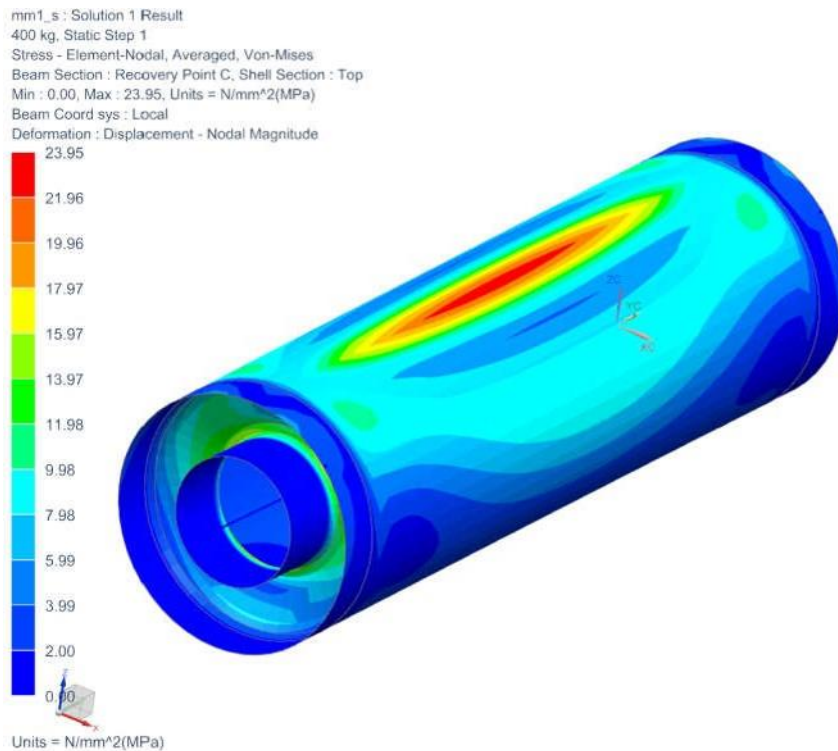


Рисунок 3.13 - Напруження в ролику, що виникають під час навантаження 4000Н

Моделюємо напруження і деформації, що виникають у ролику при навантаженні $N=4000\text{Н}$ (рисунок 3.13). Максимальні напруження виникають на обичайці ролика і становлять 23,95 МПа, що в рази менше за межу міцності матеріалу, з якого він виготовлений. Напруги, що виникають під час моделювання, показують, що у ролика є необхідний запас міцності і він цілком працездатний.

Максимальні деформації під час навантаження ролика (рисунок 3.14), також розташовані на обичайці і становлять 0,0729 мм. Подібні деформації не є критичними для конструкції роликів.

mm1_s : Solution 1 Result
400 kg, Static Step 1
Displacement - Nodal, Magnitude
Min : 0.0000, Max : 0.0729, Units = mm

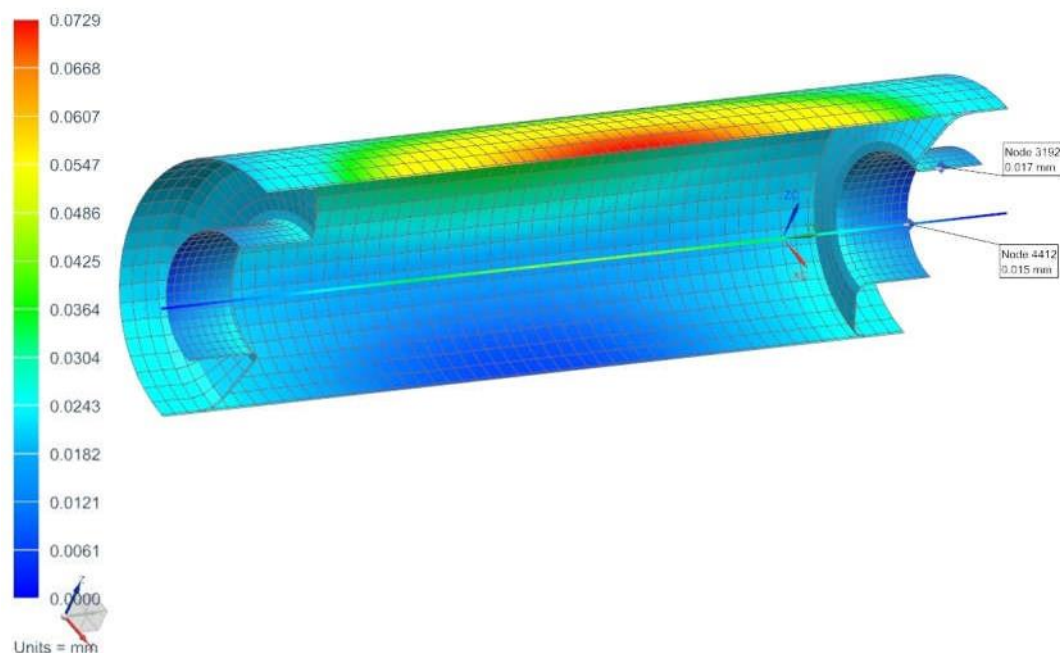


Рисунок 3.14 - Деформації, що виникають у ролику при навантаженні 4000Н

3.5. Комп'ютерне моделювання роботи опорного ролика нової конструкції в умовах змінного навантаження

Однією з особливостей нової конструкції ролика є її можливість самовстановлюватися під дією радіальних навантажень, тобто допускається спільний перекус кілець підшипника відносно одне одного.

Для перевірки можливості спільного перекошу шляхом моделювання в середовищі Femap with NX Nastran, була використана наявна геометрична модель, на якій знімаються значення деформацій під дією змінних навантажень. Значення деформацій знімають у двох точках (рисунок 3.15), розташованих на одній лінії з центром осі кульок підшипника, перпендикулярно горизонтальній осі ролика. Перша точка (№1) розташована на осі, на якій встановлено внутрішнє кільце підшипника, і деформація або переміщення в цій точці відповідає переміщенню внутрішнього кільця підшипника. Друга точка

(№2) розташована на цій самій прямій і розташована на тонкостінній маточині, яка впливає на зовнішнє кільце підшипника, воно відповідає зміщенню на зовнішньому кільці підшипника.

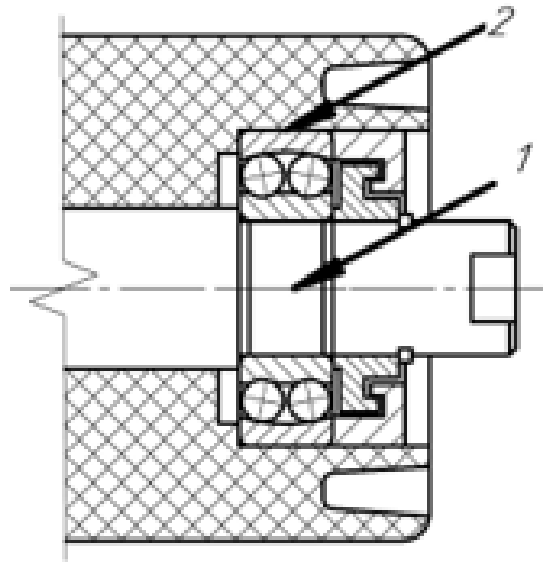


Рис. 3.15. Точки виміру деформацій

Моделювання проводять за навантажень: 1750Н, 2000Н, 2500Н, 2750Н, 3000Н, 3500Н, 4000Н, 4500Н (малюнок 3.16 - 3.17), результати моделювання зведено в таблицю 3.3.

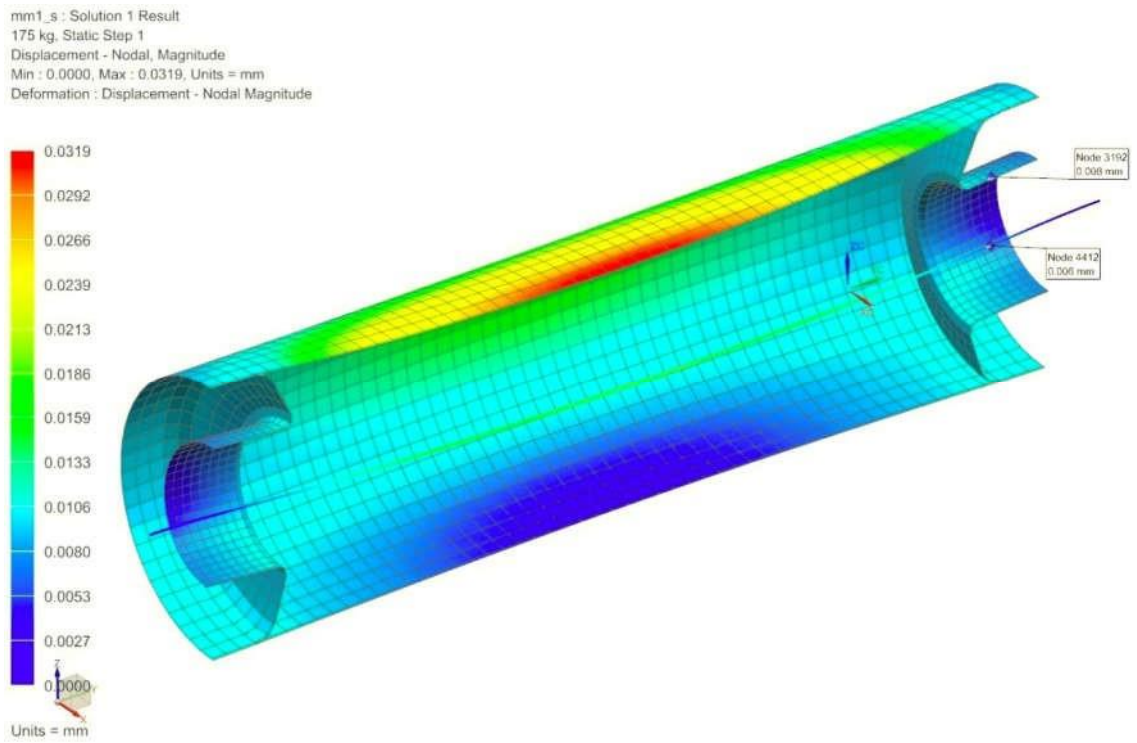


Рисунок 3.16 - Деформації у вузлі ролик конвеєра при навантаженні 1750Н

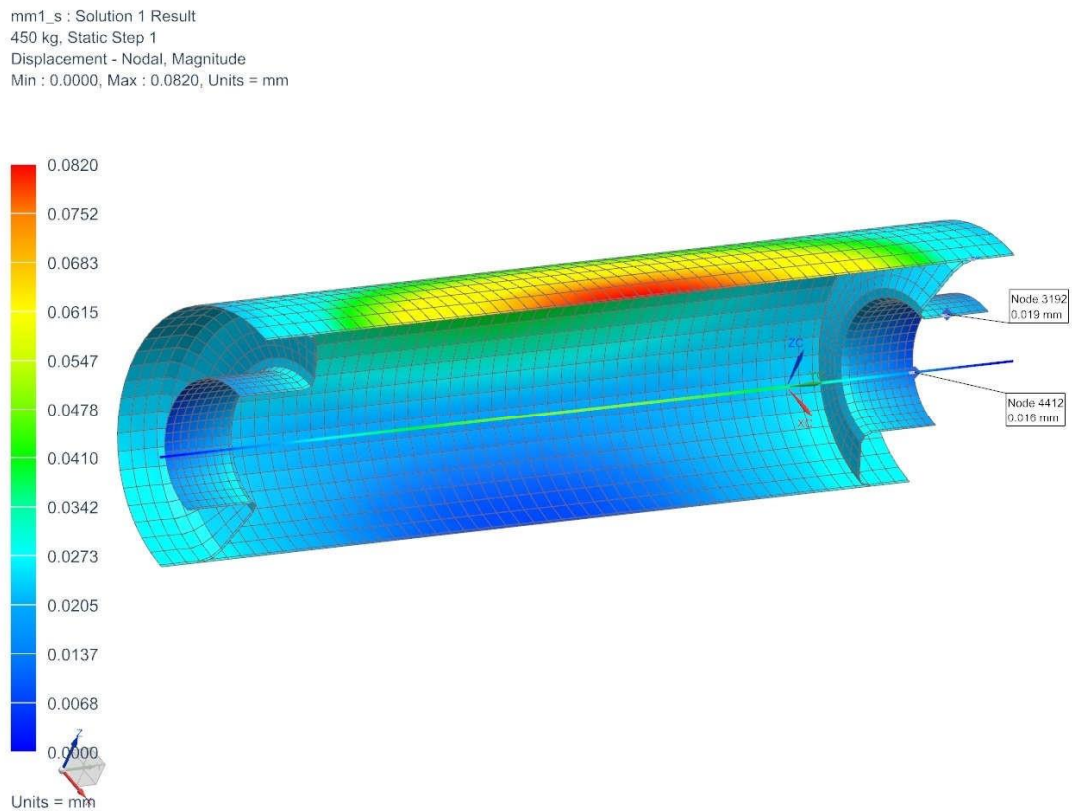


Рисунок 3.17 - Деформації у вузлі ролик конвеєра за навантаження 4500Н

Таблиця 3.3 - Значення деформацій, отримані під час моделювання

Нагрузки	1750Н	2000Н	2500Н	2750Н	3000Н	3500Н	4000Н	4500Н
Деформації в точці №1 (мм)	0,006	0,007	0,009	0,01	0,011	0,013	0,015	0,016
Деформації в точці №2 (мм)	0,008	0,009	0,011	0,012	0,013	0,015	0,017	0,019

Порівнюючи деформації в точках 1 і 2, отримані моделюванням (таблиця 3.3), можна зробити висновок про присутність спільного перекосу кілець підшипника в даній конструкції ролика конвеєра.

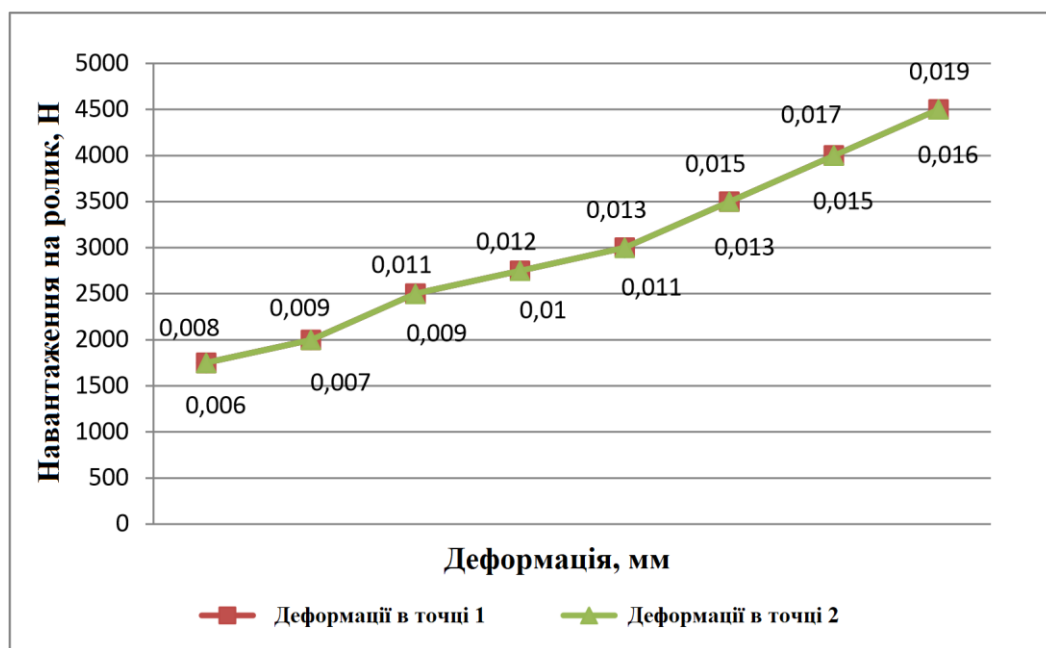


Рисунок 3.18 -Графік залежності деформацій у різних точках ролика від навантажень

З графіка на малюнку 3.18 ми також бачимо, що різниця в деформаціях (зсуві) на зовнішньому і внутрішньому кільці підшипника за різного навантаження залишається практично постійною і становить у середньому 0,002 мм, тобто можна сказати, що спільний перекіс кілець підшипника присутній.

При цьому максимальні деформації на обичайці при навантаженні 4500Н досягли значення 0,082 мм (рисунок 3.17).

3.6. Висновки за розділом

1 Розроблено методику досліджень та встановлено, що знос гумово-кордних матеріалів суттєво змінюється при збільшенні абразивності матеріалу тобто ролики виготовлені з даного матеріалу можливо використовувати на конвеєрах для транспортування зерна та інших не абразивних матеріалів.

2. Розраховано максимальне навантаження на ролики стрічкового конвеєра за допомогою створеної програми для ЕОМ, яка дає змогу розраховувати навантаження для всіх видів вантажу залежно від його фізико-хімічних властивостей, тобто програма для ЕОМ є універсальною.

3. Моделюванням навантажень у середовищі Femap with NX Nastran було отримано значення напружень і деформацій за змінного навантаження, які показують, що спільний перекис кілець підшипника відносно один одного відносно один одного наявний, що дає змогу унеможливити заклинювання кульки підшипника, збільшуючи термін його служби.

4. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1. Загальні аспекти у сфері охорони праці у компанії

Компанія ТОВ Дніпровський завод конвеєрного обладнання (ДЗКО) існує на українському ринку обладнання з 2017 року і, зокрема, з 2019 року визнана однією з найбільших у країні. Основною сферою діяльності є продаж та обслуговування конвеєрного обладнання, включаючи оригінальні запасні частини, що є стратегічним напрямком бізнесу компанії. Крім того, компанія також спеціалізується на продажу техніки.

Структура компанії представлена на рисунку 4.1. Управління станом охорони праці на підприємстві покладено на керівника компанії [25]. Внутрішня організація включає три ключові підрозділи: сервісний підрозділ, який відповідає за ремонт конвеєрного обладнання; конструкторський відділ; і відділ виготовлення конвеєрів і дільниця металообробки. Остання не лише виконує механічну обробку для внутрішніх потреб, але також надає послуги на замовлення.

Графік робочого часу та початок робочого дня на підприємстві ТОВ ДЗКО.

Підприємство функціонує в одну зміну протягом 8-10 годин, але різні підрозділи мають різний початок робочого дня. Конструкторський відділ та відділ менеджменту розпочинають свою роботу о 9:00, тоді як майстерні та механічний цех стартують з 8:00.

Такий графік робочого часу дозволяє оптимально організувати діяльність підприємства, забезпечуючи синхронізацію робочих процесів між відділами. Початок робочого дня з різних годин допомагає забезпечити ефективно координацію робіт та взаємодію між підрозділами компанії.



Рисунок 4.1. Структурна схема курування службою охорони праці

Кабінет охорони праці на підприємстві ТОВ ДЗКО. На підприємстві працює 152 працівники, що призводить до наявності спеціаліста з охорони праці та його помічника в штаті підприємства. Для проведення інструктажів і занять по охороні праці встановлено оснащений кабінет розміром 24 м², який відображено на рисунку 4.2.

Кабінет охорони праці призначений для проведення інструктажів і занять з питань безпеки та охорони праці з працівниками. У кабінеті розміщені робочі місця для учнів і викладача (спеціаліста, що проводить навчання або інструктаж). Ці робочі місця можуть бути обладнані комп'ютерами, а також клас може мати проектор для ефективного візуального представлення матеріалу.

Цей кабінет також використовується для оренди, де надається можливість проведення навчань та інструктажів для співробітників сусідніх підприємств. Це сприяє поширенню знань і навичок з охорони праці серед широкого кола промислових підприємств.



Рисунок 4.2. Оснащення кабінету де проводяться інструктажі та навчання з ОП

На рисунку 4.2 зображено кабінет охорони праці, який використовується для проведення занять з пожежної безпеки, електробезпеки, цивільної оборони та інших тем. Кабінет обладнаний наочним приладдям, літературою та інформаційними матеріалами, такими як плакати та стенди, які охоплюють не лише теми охорони праці, але й інші аспекти безпеки.

У кабінеті розміщені стелажі із засобами захисту для навчання правильного їх використанню. Це допомагає працівникам засвоювати навички безпеки та користування засобами захисту.

Особливу увагу приділяють елементам, які допомагають у наданні першої медичної допомоги. Так, у кабінеті є тренажер серцево-легеневої реанімації та манекен у повний зріст людини, на якому проводяться тренування з надання першої медичної допомоги. Це робить кабінет мультимодальним інструментом для підготовки працівників до різних ситуацій, пов'язаних із безпекою та охороною праці.

4.2. Безпека праці при експлуатації стрічкових конвеєрів

Стрічкові конвеєри є одними з найпоширеніших видів конвеєрного транспорту. Вони використовуються в різних галузях промисловості для переміщення різноманітних вантажів, таких як гірська порода, руда, вугілля, зерно, будівельні матеріали та інші.

Для забезпечення безпечної експлуатації стрічкових конвеєрів необхідно дотримуватися наступних вимог:

- Конвеєри повинні бути обладнані всіма необхідними засобами безпеки, такими як: аварійні стоп-кнопки, огороження рухомих частин, звукові та світлові сигнали, засоби захисту від статичної електрики та ін.
- Конвеєри повинні бути справними та регулярно обслуговуватися.
- Працівники, які обслуговують конвеєри, повинні пройти навчання з охорони праці та мати відповідні посвідчення.

Конкретні вимоги до безпечної експлуатації стрічкових конвеєрів можна розділити на наступні групи:

- Вимоги до конструкції та обладнання конвеєрів

Стрічкові конвеєри повинні бути спроектовані та виготовлені відповідно до вимог нормативно-технічної документації. Вони повинні бути обладнані всіма необхідними засобами безпеки, такими як:

- Аварійні стоп-кнопки, розташовані в доступних місцях по всій довжині конвеєра.

- Огородження рухомих частин конвеєра, таких як барабани, роликки, приводні механізми.
- Звукові та світлові сигнали, що попереджають про запуск або зупинку конвеєра.
- Засоби захисту від статичної електрики.
- Вимоги до експлуатації конвеєрів

Перед початком експлуатації конвеєра необхідно перевірити його справність та наявність всіх необхідних засобів безпеки. Конвеєр повинен запускатися тільки після того, як всі працівники, які знаходяться в зоні його дії, будуть відсторонені від роботи.

Під час експлуатації конвеєра забороняється:

- Наближатися до рухомих частин конвеєра на відстань менше безпечної.
- Заправляти конвеєр або проводити інші роботи на ньому без відключення його від електроживлення.
- Ставити на конвеєр предмети, які можуть перешкоджати його роботі.
- Вимоги до обслуговування та ремонту конвеєрів

Обслуговування та ремонт конвеєрів повинні проводитися тільки кваліфікованими працівниками, які пройшли навчання з охорони праці.

Під час проведення робіт з обслуговування та ремонту конвеєра необхідно:

- Відключити конвеєр від електроживлення.
- Заблокувати конвеєр від несанкціонованого запуску.
- Прийняти заходи щодо запобігання падіння працівників з висоти.

Додаткові вимоги

У разі експлуатації конвеєрів в умовах підвищеної небезпеки, такі як наявність вибухонебезпечних або токсичних речовин, необхідно дотримуватися додаткових вимог, передбачених нормативно-технічною документацією.

Виконання вимог безпечної експлуатації стрічкових конвеєрів допоможе запобігти нещасним випадкам на виробництві та зберегти життя та здоров'я працівників.

4.3. Пожежна безпека при експлуатації стрічкових конвеєрів

Дослідженнями встановлено, що в 30% екзогенних пожеж джерелом виникнення є стрічкові конвеєри. Розподіл пожеж на стрічкових конвеєрах за місцями їх виникнення: 64% - на приводній станції, 25,2% - на лінійному ставі (у тому числі на лінійному ставі (зокрема, 13% пов'язані з експлуатацією несправних і зношених роликів), 10,8% - на натяжній станції (пункт 1.2).

Причини виникнення пожеж на стрічкових конвеєрах відомі та добре вивчені [1-4].

- зменшення натягу стрічки через витяжку;
- зменшення натягу стрічки через зменшення натягу на натяжному пристрої;
- збільшення опору руху стрічки (натягу) за рахунок збільшення вантажопотоку;
- збільшення натягу стрічки через обвалення кріплення і породи на стрічковий конвеєр;
- збільшення опору руху стрічки (натягу) через збільшення опору обертання роликів;
- збільшення опору руху стрічки (натягу) через зупинку (вихід з ладу) неприводного барабана;
- збільшення опору руху стрічки (натягу) за рахунок заштибовки приводної станції;
- збільшення опору руху стрічки (натягу) за рахунок заштибування нижньої гілки;
- нагрівання роликів, що вийшли з ладу (заклинювання підшипникових вузлів) тертям рухомої стрічки;

- тертя об стійки кріплення, борт виробки, об нерухомі частини метало-конструкції і ставши конвеєра поперечного сходу стрічки;

- тертя внаслідок намотування на вали обертових барабанів смуги стрічки, що відірвалася, через поперечне сходження;

- вихід з ладу підшипників електродвигуна і редуктора через перевантаження або неправильне регулювання.

Для запобігання пожежам на стрічкових конвеєрах необхідно дотримуватися наступних заходів протипожежної безпеки:

- Конвеєри повинні бути обладнані всіма необхідними засобами пожежогасіння, такими як:

- Вогнегасники.
- Системи автоматичного пожежогасіння.
- Ручні пожежні крани.

- Конвеєри повинні бути обладнані автоматичними системами пожежної сигналізації та оповіщення.

- Працівники, які обслуговують конвеєри, повинні пройти навчання з протипожежної безпеки та мати відповідні посвідчення.

Конкретні вимоги до протипожежної безпеки на стрічкових конвеєрах можна розділити на наступні групи:

- Вимоги до конструкції та обладнання конвеєрів

Стрічкові конвеєри повинні бути спроектовані та виготовлені відповідно до вимог нормативно-технічної документації. Вони повинні бути обладнані всіма необхідними засобами пожежогасіння, такими як:

- Вогнегасники повинні бути розміщені в доступних місцях по всій довжині конвеєра. Вони повинні бути відповідного типу та в кількості, достатній для гасіння пожежі в зоні розташування конвеєра.

- Системи автоматичного пожежогасіння повинні бути спроектовані та встановлені відповідно до вимог нормативно-технічної документації. Вони повинні включати в себе датчики, які реагують на появу вогню, і при-

строї, що автоматично подають воду, піну або інші вогнегасні речовини на місце пожежі.

- Ручні пожежні крани повинні бути розташовані в доступних місцях по всій довжині конвеєра. Вони повинні бути справними та регулярно обслуговуватися.

- Вимоги до експлуатації конвеєрів

Перед початком експлуатації конвеєра необхідно перевірити його справність та наявність всіх необхідних засобів пожежогасіння. Конвеєр повинен запускатися тільки після того, як всі працівники, які знаходяться в зоні його дії, будуть відсторонені від роботи.

Під час експлуатації конвеєра забороняється:

- Заправляти конвеєр або проводити інші роботи на ньому без відключення його від електроживлення.

- Ставити на конвеєр предмети, які можуть перешкоджати його роботі.

- Засмічувати конвеєр або допускати накопичення на ньому горючих речовин.

- Вимоги до обслуговування та ремонту конвеєрів

Обслуговування та ремонт конвеєрів повинні проводитися тільки кваліфікованими працівниками, які пройшли навчання з протипожежної безпеки.

Під час проведення робіт з обслуговування та ремонту конвеєра необхідно:

- Відключити конвеєр від електроживлення.

- Заблокувати конвеєр від несанкціонованого запуску.

- Прийняти заходи щодо запобігання падінню працівників з висоти.

- Провести ретельну перевірку конвеєра на наявність горючих речовин та інших пожежонебезпечних факторів.

Додаткові вимоги

У разі експлуатації конвеєрів в умовах підвищеної пожежної небезпеки, такі як наявність вибухонебезпечних або токсичних речовин, необхідно дотримуватися додаткових вимог, передбачених нормативно-технічною документацією.

Виконання вимог протипожежної безпеки на стрічкових конвеєрах допоможе запобігти пожежам та зберегти життя та здоров'я працівників.

На рис 4.2. наведено плакат з вимогами перед початком роботи стрічкового конвеєра.

ПЕРЕД ПУСКОМ КОНВЕЄРА ТРЕБА ПЕРЕВІРИТИ		
СТАН ОБКЛАДКИ, СТРІЧКИ ТА ЇЇ СТИКІВ		НАДІЙНІСТЬ БОКОВИХ ЗАГОРОДЖЕНЬ ТА ЗАХИСНИХ КОЖУХІВ
		
Стрічка повинна бути чистою, без складок, тріщин, раковин	Стики повинні бути гладкими. Металеві з'єднання із випадкових матеріалів не допускаються	Червоним позначено особливо небезпечні зони
		 Міжду набігаючої лентой и натяжним барабаном
Пошкоджену стрічку треба замінити, цілком або відремонтувати пошкоджені ділянки	Контроль положення стрічки та рівня її натягнення	Між набігаючою стрічкою та натяжним барабаном

Рис. 4.2. Вимоги перед пуском конвеєра

4.4. Висновок

Стрічкові конвеєри є одними з найбільш пожежонебезпечних видів обладнання. Вони можуть стати джерелом пожежі внаслідок різних причин, тому для їх експлуатації необхідно дотримуватися всіх вимог протипожежної безпеки.

Виконання цих вимог допоможе запобігти пожежам та зберегти життя та здоров'я працівників.

Основні заходи протипожежної безпеки на стрічкових конвеєрах:

- Обладнання конвеєрів необхідними засобами пожежогасіння та автоматичними системами пожежної сигналізації та оповіщення.
- Проведення навчання працівників з протипожежної безпеки.
- Дотримання вимог до конструкції та обладнання конвеєрів, а також до їх експлуатації та обслуговування.

Конкретні заходи протипожежної безпеки, які необхідно впровадити на конкретному підприємстві, визначаються в залежності від виду конвеєра, його конструкції, умов експлуатації та інших факторів.

5. ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ РОБОТИ

Як відомо, критерій рентабельності заміни металу полімерним матеріалом складається з прибутків на трьох стадіях: отримання матеріалу, виготовлення і використання виробу.

Прибуток, що з'являється на першій стадії, має для економіки країни виняткове значення, але в кількісному вираженні не може бути оцінений. Він виходить непрямым чином, через вартість матеріалу, у прибуток другої стадії. Цей прибуток розподіляється, в основному, наступними факторами: вартістю матеріалу, вартістю виготовлення і фондovими витратами.

Для порівняльної оцінки економічної ефективності виконання роликкоопор, виготовлених із нових конструкційних еластомірних матеріалів, за базовий виріб прийнято кращі зразки серійних сталевих роликів, які випускають спеціалізовані заводи, вартість яких наведено в таблиці 5.1.

Економічний аналіз застосування нових еластомірних роликкоопор ведеться на основі [93, 94] і включає наступні етапи на стадії виготовлення.

Перший етап - розрахунок капітальних вкладень. Зіставлення запропонованих і замінних роликкоопор за капітальними витратами.

Другий етап - розрахунок собівартості виготовлення роликкоопор у порівнюваних варіантах і розрахунок економії на собівартості.

Проведемо розрахунок вартості переукомплектування конвеєра для транспортування пшениці на току, продуктивністю 80 т/год., та довжиною 12 м, переукомплектування буде включати заміну металевих стандартних роликів на гумово-кордні, кількість роликкоопор складає на транспортувальній гілці 8 шт, та на гілці холостого ходу 4 опори, всього 12 роликкоопор.

$$C_{рем} = 3П + C_{мзч} + C_{вв} + A \quad (5.1)$$

де $3П$ - вказує на заробітну плату з урахуванням нарахувань в гривнях,

$C_{мзч}$ - представляє собою вартість матеріалів та запасних частин в гривнях,

$C_{вв}$ - відображає вартість виробничих витрат в гривнях,

A - означає амортизаційні відрахування, також в гривнях.

Зарплата виробничих робітників розраховується за допомогою наступної формули:

$$ЗП = ЗП_{год} \cdot t_{рем}, \quad (5.2)$$

де $ЗП_{год}$ – ставка слюсаря-ремонтника за 1 год. роботи згідно тарифної сітки, грн.;

$t_{рем}$ – тривалість заміни роликів, год.

$$ЗП = 120 \cdot 13 = 1560,0 \text{ грн.}$$

Витрати на придбання металевих роликкоопор становитимуть $2100,0 \times 14 = 29400,0$ грн.

Витрати на придбання роликкоопор виготовлених з гумовокордних матеріалів становитимуть $2600,0 \times 14 = 36400,0$ грн.

Але враховуючи статистичні данні які вказують на те, що металеві роликкоопори працюють 0,4 роки, то на рік треба робити 3 заміни, тобто $29400,0 \times 3 = 88200,0$ грн., а роликкоопори гумовокордні відпрацьовують рік без заміни.

Розрахуємо витрати на виробництво.

$$C_{вв} = (ЗП_{год} \cdot t_{мо}) + B_{ел} \quad (5.3)$$

де $t_{мо}$ - затрати часу на проведення планових ремонтно-обслуговуючих робіт конвеєра, год.

B_{el} - ціна однієї кВт/год. електроенергії, грн.

$$B_{el} = W \cdot B_{el}, \text{грн} \quad (5.4)$$

де W - витрати електроенергії пов'язані на ремонт конвеєра (розрізання та ремонт стрічки, використання зачисних машин для стиковки стрічок та інше), як правило на рік витрачається близько 5 кВт.

$$B_{el} = 5 \cdot 6,8 = 34,0, \text{грн}$$

Враховуючи вище викладене

$$C_{\text{вв}} = (120,0 \cdot 1,2) + 34,0 = 178,0 \text{грн}$$

Далі визначимо відрахування на амортизацію конвеєра

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{100 \cdot N}, \text{грн} \quad (5.5)$$

де B - вартість комплекту 14 роликкоопор, грн.

λ - норматив на відрахування по амортизації, %.

N - кількість переукомплектувань за рік (так як у вартість металевого комплекту вже враховано 3 переукомплектування за рік то приймаємо для металевих роликкоопор 1 переукомплектування).

$$A^{\text{метал}} = \frac{88200,0 \cdot 15}{100 \cdot 1} = 13230,0, \text{грн}$$

$$A^{\text{сума}} = \frac{36400,0 \cdot 15}{100 \cdot 1} = 5460,0, \text{грн}$$

Враховуючи вищевикладене розрахуємо собівартість переукомплектування роликкоопор

$$C_{рем}^{метал} = 1560,0 + 88200,0 + 178,0 + 13230,0 = 103168,0 \text{ грн}$$

$$C_{рем}^{гума} = 1560,0 + 36400,0 + 178,0 + 5460,0 = 43598,0 \text{ грн}$$

Після розрахунку собівартості переукомплектування проводимо розрахунок ефективності даної операції.

$$E = \left[\left(C_{рем}^{метал} + E_n \cdot C_{мзч}^{метал} \right) - \left(C_{рем}^{гума} + E_n \cdot C_{мзч}^{гума} \right) \right] N, \text{ грн} \quad (5.6)$$

$$E = \left[(88200,0 + 0,2 \cdot 88200,0) - (36400,0 + 0,2 \cdot 36400,0) \right] 1 = 62160,0, \text{ грн}$$

Розрахуємо за скільки часу окупляться капіталовкладення на переукомплектування конвеєру з металевих роликкоопор на гумові.

$$T = \frac{B}{E} = \frac{36400,0}{62160,0} = 0,6, \text{ років}$$

Здійснені обчислення вказують на вигідність впровадження технології заміни металевих роликкоопор на гумово-кордні, оскільки економія становить приблизно 62160,0 гривень. Термін окупності капітальних вкладень оцінюється на 0,6 років.

ВИСНОВКИ

Узагальнюючи розглянуті конструкції та проведений аналіз технології обробки та складання роликів, зроблено висновок, що найбільш оптимальна конструкція конвеєрних роликів для роботи в умовах високої вологості та запиленого середовища досягається поєднанням технологічних та конструктивних факторів. Тобто вдосконалення конструкції ролика має бути в одному ряду з підвищенням якості всього технологічного процесу виготовлення і складання ролика.

Можна припустити, що у випадках появи екстремальних короткочасних навантажень, використання конструкцій роликів, що запобігають появі защемлювального моменту, сприяє збільшенню їхнього терміну служби, оскільки це зсуває величини навантажень, за яких виникає перекіс, у більший бік. Що дає можливість, використовуючи стандартні шарикопідшипники, істотно збільшувати термін служби роликів і переносити короткочасні ударні навантаження з меншим збитком.

Розроблено методику досліджень та встановлено, що знос гумовордних матеріалів суттєво змінюється при збільшенні абразивності матеріалу тобто ролики виготовлені з даного матеріалу можливо використовувати на конвеєрах для транспортування зерна та інших не абразивних матеріалів.

Розраховано максимальне навантаження на ролики стрічкового конвеєра за допомогою створеної програми для ЕОМ, яка дає змогу розраховувати навантаження для всіх видів вантажу залежно від його фізико-хімічних властивостей, тобто програма для ЕОМ є універсальною.

Моделюванням навантажень у середовищі Femap with NX Nastran було отримано значення напружень і деформацій за змінного навантаження, які показують, що спільний перекіс кілець підшипника відносно один одного відносно один одного наявний, що дає змогу унеможливити заклинювання кульки підшипника, збільшуючи термін його служби.

Стрічкові конвеєри є одними з найбільш пожежонебезпечних видів обладнання. Вони можуть стати джерелом пожежі внаслідок різних причин, тому для їх експлуатації необхідно дотримуватися всіх вимог протипожежної безпеки.

Виконання цих вимог допоможе запобігти пожежам та зберегти життя та здоров'я працівників.

Здійснені обчислення вказують на вигідність впровадження технології заміни металевих роликкоопор на гумово-кордні, оскільки економія становить приблизно 62160,0 гривень. Термін окупності капітальних вкладень оцінюється на 0,6 років.

ЛІТЕРАТУРА

1. Підйомно-транспортні машини / [А. С. Кобець, В. І. Дирда, Ю. Г. Козуб та ін.]. – Луганськ: ДЗ "ЛНУ імені Тараса Шевченка", 2013. – 218 с.
2. Пугач А.М., Лисиця М.І., Калганков Є.В., Лисиця Н.М., Грунський Д.О. - Обґрунтування товщини гумової футерівки барабанів стрічкових конвеєрів. Геотехнічна механіка. 2021. № 157, С. 152-162.
3. Грунський Д. О. Обґрунтування параметрів гумових конвеєрних стрічок та заходи з підвищення їх довговічності : магістр. дипломна робота : 208 Агроінженерія / Грунський Д. О.; Дніпровський держ.аграр.-економ. ун-т, Інженерно-технологічний ф-т, Каф. надійності і ремонту машин. – Дніпро, 2021. – 109 с.
4. Ролики конвеєрні (транспортні) [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://promua-group.com/ua/vyhotovlennya-rolykiv>.
5. All about rubber tire recycling: A comprehensive overview [Електронний ресурс]. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: <https://contec.tech/rubber-tire-recycling-overview/>.
6. Некрасов В. Як старі шини перетворити на ресурс: Історія українського стартапу EcoTyre, який Україні не потрібен [Електронний ресурс] / В. Некрасов. – 2019. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.epravda.com.ua/rus/publications/2019/10/23/652867/>.
7. Сатонин А. В. УТИЛІЗАЦІЯ ШИН: ОБИРАЄМО ТЕХНОЛОГІЮ [Електронний ресурс] / А. В. Сатонин // Шина плюс – Режим доступу до ресурсу: https://tyretrader.ua/ua/article_info/articles_id_26.html.
8. Іванченко Ф.К. Підйомно-транспортні машини: Підручник / Ф.К. Іванченко – К., 1993. – 413 с.
9. Діденко М. М. Вплив розмірно-точносних характеристик посадок підшипників кочення на їх довговічність / М. М. Діденко, Є. В. Калганков. // Zbiór artykułów naukowych Sp. z o.o. «Diamond trading tour». – 2017. – S. 38–43.

10. Конвеєрні ролики [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://conrol.com.ua/produktsiya/konveyerni-roliki/>.

11. logo superior More Conveyor monitoring in real time. All the time [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://superior-ind.com/vantage/>.

12. Маркович Ю.М. Зниження пожежної небезпеки у вугільних шахтах / Техніка безпеки. – К.: 1981. – 43 с.

13. Рибіна В. А. Протипожежний захист гірничих виробок, оснащених стрічковими конвеєрами в умовах шахти \"Алмазна\" ТОВ ДТЕК [Електронний ресурс] / В. А. Рибіна // ДонНТУ. – 2012. – Режим доступу до ресурсу: <http://masters.donntu./2012/igg/rybina/diss/indexu.htm>.

14. Мала гірничча енциклопедія : у 3 т. / за ред. В. С. Білецького. — Д. : Східний видавничий дім, 2013. — Т. 3 : С — Я. — 644 с.

15. Calculate conveyor capacities. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.engineeringtoolbox.com/bulk-material-conveyor-capacity-d_1558.html.

16. Григоров О. В., Петренко Н. О. Вантажопідйомні машини: Навч. посібник. - Харків НТУ «ХП», 2005. - 304 с.

17. 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.

18. ГОСТ 263-75, Резина. Метод определения твердости по Шору А. 1975. - 7 с.

19. Пат. 100401 Україна, МПК (2006.01) G01N 3/46. Спосіб визначення енергії руйнування гумових футерівок / Дирда В. І., Калганков Є. В, Черній О. А., Цаніді І. (Україна); № u 2015 00639; заявл. 27.01.2015; опубл. 27.07.15, Бюл. № 14. - 4 с.

20. Калганков Е.В., Новикова А.В. К задаче об ударе шара о вязкоупругую плоскость // Геотехнічна механіка. – 2013. – № 108. – С. 104–109.

21. Науменко М. М. До визначення товщини плити гумової футеровки рудорозмельних кульових млинів / М. М. Науменко, Є. В. Калганков // Сборник научных статей. Техника и технология. Приоритетные направления науки. Закопане.: 2015. – с. 27-34.

22. Калганков Е.В. Расчет долговечности резиновых футеровок шаровых рудоразмельных мельниц с учетом старения резины / Калганков Е.В. // Геотехнічна механіка: Міжвід. зб. наук. Праць, Ін-т геотехнічної механіки ім. М.С. Полякова НАН України. – Дніпропетровськ, 2013. – № 113. С. 181–202.

23. Кобец А.С. Энергетическая оценка износа антифрикционных материалов / Кобец А.С., Дырда В.И., Калганков Е.В., Цаниди И.Н. // Геотехническая механика. 2012. Вып. 106. С. 78–90.

24. Kolotilov N. Презентация Simcenter Femap 2021.1. [Електронний ресурс] / Nikita Kolotilov. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://community.sw.siemens.com/s/question>

25. Про компанію [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://dzko.com.ua/#/aboutUs>.

26. Вініченко І.І. Методичні рекомендації з економічного обґрунтування дипломних робіт для студентів факультету механізації сільського господарства / І.І. Вініченко, А.О. Сітковська. Дніпропетровськ: ДДАЕУ, 2016. – 27 с.

27. Калганков Є.В. Методичні рекомендації до виконання і оформлення дипломних проектів ОС "Бакалавр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" і дипломних робіт ОС "Магістр" за спеціальністю 208 "Агроінженерія" / Калганков Є.В. – Д.: ДДАЕУ, 2021. – 36 с.

ДОДАТКИ