

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
„КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО”
Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

До захисту допущено

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

«_____» _____ 2026 р.

Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра

за освітньо-професійною програмою «Інжиніринг обладнання виробництва полімерних та будівельних матеріалів і виробів»

зі спеціальності – 133 «Галузеве Машинобудування»

на тему: Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією
роликаопор

Студент IV к, **групи** ЛП-21

_____ *Горбатенко Микита Віталійович*

(шифр групи)

(прізвище, ім'я, по батькові)

(підпис)

Керівник проекту: _____ *професор, доктор технічних наук Гондляр О.В.*

(вчена ступінь, звання, прізвище, ініціали)

(підпис)

Консультанти з питань

МОДЕРНІЗАЦІЇ: д.т.н., проф. Щербина В.Ю. _____

ТЕХ. МАШ.: ст. викл. Борщик С.О. _____

ОХОРОНИ ПРАЦІ: ст. викл. Ковтун А.І. _____

РЕЦЕНЗЕНТ _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів
без відповідних посилань.

Студент (-ка) _____

Київ 2026 рік

НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

Факультет автоматизації, промислової інженерії та екології
Кафедра хімічного, полімерного і силікатного машинобудування

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – *133 Галузеве Машинобудування*

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ **Олександр Сокольський**

« ____ » _____ 2026 р.

ЗАВДАННЯ
на дипломний проект студенту

Горбатенко Микита Віталійович

1. Тема проекту «Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією роликоопор», керівник проекту Гондлях Олександр Володимирович професор, доктор технічних наук, затверджені наказом по університету від «19.05» 2026 р. №1817-С

2. Термін подання студентом проекту 12.06.2026 р.

3. Вихідні дані до проекту

Фракційність частин – ≤ 100 мм; розрахункова продуктивність – 70 т/год; час роботи в добу – 16 годин; швидкість стрічки – 1,5 м/с; довжина стрічки – 55 м; висота підйому вантажу – 6 м; насипна щільність – 0,83 т/м³; коефіцієнт внутрішнього тертя – 0,8.

4. Зміст пояснювальної записки

Вступ. 1. Призначення та галузь застосування стрічкового конвеєра у технологічній лінії транспортування вугілля. 2. Технічна характеристика стрічкового конвеєра. 3. Опис конструкції, її основних частин та принципу дії. 4. Літературно-патентний огляд для вибору варіанту модернізації роликоопор стрічкового конвеєра. 5. Розрахунки стрічкового конвеєра, які підтверджують його працездатність. 6. Охорона праці та навколишнього середовища. 7. Технологія машинобудування. Загальні висновки. Список використаних джерел. Додатки.

5. Перелік графічного матеріалу

1. Лінія транспортування вугілля. 2. Загальний вигляд стрічкового конвеєра для транспортування вугілля з модернізацією роликкоопор. 3. Креслення вузла немодернізованої роликкоопори. 4. Креслення вузла модернізованої роликкоопори. 5. Плакат по 3D-моделюванню базової і модернізованої конструкції роликкоопор. 6. Плакат виконання числового розрахунку базової і модернізованої конструкції роликкоопор.

6. Консультанти розділів проекту*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
МОДЕРНІЗАЦІЇ	Щербина В.Ю., професор	20.05.26	25.05.26
ТЕХ. МАШИНОБУД.	Борщик С.О., ст. викладач	20.05.26	02.06.26
ОХОРОНА ПРАЦІ	Ковтун А.І., ст. викладач	20.05.26	27.06.26

7. Дата видачі завдання 20.05.2026 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ. Призначення та галузь застосування стрічкового конвеєра у технологічній лінії транспортування вугілля	20.05.24-28.05.26	
2	Технічна характеристика стрічкового конвеєра	29.05.24-30.05.26	
3	Опис конструкції, її основних частин та принципу дії	31.05.24-01.06.26	
4	Літературно-патентний огляд для вибору варіанту модернізації роликкоопор стрічкового конвеєра	01.06.24-03.06.26	
5	Розрахунки стрічкового конвеєра, які підтверджують його працездатність	03.06.24-05.06.26	
6	Охорона праці та навколишнього середовища	06.06.24-07.06.26	
7	Технологія машинобудування	08.06.24-11.06.26	
8	Оформлення пояснювальної записки та креслень	12.06.24-15.06.26	

Студент

Микита ГОРБАТЕНКО

Керівник проекту

Олександр ГОНДЛЯХ

РЕФЕРАТ

Дипломний проєкт на тему «Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією роликоопор».

Загальний обсяг пояснювальної записки — 88 сторінок; робота складається зі вступу, семи розділів, загальних висновків, переліку посилань і додатків, містить 45 рисунки та 11 таблиць.

Актуальність роботи зумовлена потребою гірничодобувної промисловості в надійному та енергоефективному конвеєрному транспорті, оскільки саме від роботи роликоопор значною мірою залежать ресурс стрічки, енергоспоживання приводу та безпека транспортування вугілля.

Об'єкт дослідження — стрічковий конвеєр для транспортування кам'яного вугілля. Предмет дослідження — конструкція роликоопори та шляхи підвищення її міцності й довговічності.

Метою роботи є модернізація роликоопори стрічкового конвеєра для підвищення надійності, довговічності та ресурсу роботи вузла в умовах вугільної промисловості. Для досягнення мети проаналізовано призначення, технічну характеристику та принцип дії конвеєра; виконано літературно-патентний огляд і обґрунтовано вибір варіанта модернізації за патентом UA 126108 із застосуванням П-подібних скоб та шарнірного кріплення осей роликів; побудовано 3D-моделі базової й модернізованої роликоопор; проведено порівняльні розрахунки на міцність; розроблено заходи з охорони праці та технологічний процес виготовлення деталі.

Дослідження виконано з використанням 3D-моделювання в системі SolidWorks, методу скінченних елементів у програмному комплексі ANSYS (модуль Static Structural) та параметричного розрахунку мовою програмування C++.

За результатами числового моделювання модернізованої конструкції (сталі 38Х2МЮА) максимальні еквівалентні напруження за Мізесом знижено з 24,049 МПа до 3,5 МПа, максимальні деформації — з 0,0232 мм до 0,0130 мм, а коефіцієнт запасу міцності зріс із 34,7 до 238,6. У технологічній частині розроблено технологічний процес виготовлення корпусу ролика (обичайки) зі сталі 38Х2МЮА із застосуванням обладнання з ЧПК.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для модернізації наявних і проектування нових конвеєрних систем на підприємствах вугільної та гірничодобувної промисловості.

Ключові слова: СТРІЧКОВИЙ КОНВЕЄР, ВУГІЛЛЯ, РОЛИКООПОРА, РОЛИКИ, СТРІЧКА, МОДЕРНІЗАЦІЯ, ПАТЕНТ, МЕТОД СКІНЧЕННИХ ЕЛЕМЕНТІВ

ABSTRACT

Diploma project on the topic «Belt conveyor for transporting coal with modernization of roller supports».

The total volume of the explanatory note is 88 pages; the work consists of an introduction, seven chapters, general conclusions, a list of references and appendices, and contains 45 figures and 11 tables.

The relevance of the work is determined by the mining industry's need for reliable and energy-efficient conveyor transport, since the service life of the belt, the drive power consumption and the safety of coal transportation largely depend on the operation of the roller supports.

The object of the study is a belt conveyor for transporting hard coal. The subject of the study is the design of the roller support and ways to increase its strength and durability.

The aim of the work is the modernization of the conveyor roller support to increase the reliability, durability and service life of the unit under coal-industry conditions. To achieve this aim, the purpose, technical characteristics and operating principle of the conveyor were analyzed; a literature and patent review was carried out and the modernization option based on patent UA 126108, using U-shaped brackets and hinged mounting of the roller axes, was substantiated; 3D models of the basic and modernized roller supports were built; comparative strength calculations were performed; occupational-safety measures and the part manufacturing process were developed.

The study was carried out using 3D modeling in SolidWorks, the finite element method in the ANSYS software package (Static Structural module) and a parametric calculation in the C++ programming language.

According to the numerical simulation of the modernized design (steel 38Kh2MYuA), the maximum von Mises equivalent stresses were reduced from 24.049 MPa to 3.5 MPa, the maximum deformations from 0.0232 mm to 0.0130 mm, and the safety factor increased from 34.7 to 238.6. In the technological section, the manufacturing process of the roller body (shell) made of steel 38Kh2MYuA using CNC equipment was developed.

The practical value lies in the possibility of using the results to modernize existing and design new conveyor systems at enterprises of the coal and mining industries.

Key words: BELT CONVEYOR, COAL, ROLLER SUPPORT, ROLLERS, BELT, MODERNIZATION, PATENT, FINITE ELEMENT METHOD

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

B – ширина конвеєрної стрічки, мм;
 D – діаметр приводного барабана, мм;
 F_0 – тягова сила конвеєра, Н;
 f – коефіцієнт зовнішнього тертя;
 g – прискорення вільного падіння, м/с^2 ;
 H – висота підйому вантажу, м;
 i – кількість прокладок стрічки;
 i_p – передавальне відношення вибраного редуктора;
 k' – коефіцієнт, що залежить від міцності стрічки;
 $LГ$ – довжина горизонтальної проекції шляху конвеєра, м;
 N – потужність електродвигуна, кВт;
 n – коефіцієнт запасу міцності;
 n_p – допустима для редуктора частота обертання швидкохідного вала, об/хв;
 $Q_{\text{розр}}$ – розрахункова (масова) продуктивність, кг/год;
 $S_{\text{мах}}$ – максимальний натяг стрічки, Н;
 s – переміщення (деформація) конструкції, мм;
 v – швидкість стрічки, м/с;
 $K_{\text{ВМ}}$ – коефіцієнт використання матеріалу;
 α – кут охоплення барабана стрічкою, °;
 β – кут нахилу конвеєра, °;
 η – ККД приводу;
 $\rho_{\text{П}}$ – насипна щільність вантажу, кг/м^3 ;
 $\sigma_{\text{екв}}$ – еквівалентне напруження за Мізесом, МПа;
 σ_p – межа міцності стрічки, Н/мм;
 σ_t – межа текучості матеріалу, МПа.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	12
1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	14
2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	17
3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА... ..	18
3.1 РОЛИКОВІ ОПОРИ.....	18
3.2 КОНВЕЄРНІ СТРІЧКИ.....	21
3.3 ПРИВОДИ КОНВЕЄРІВ	22
3.4 НАТЯЖНІ ПРИСТРОЇ... ..	23
3.5 ЗАВАНТАЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ... ..	24
3.6 РОЗВАНТАЖУВАЛЬНІ ПРИСТРОЇ... ..	25
3.7 ОЧИСНІ ПРИСТРОЇ... ..	26
4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЛИКООПОРИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.	27
4.1 ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЛИКООПОРИ... ..	30
5 РОЗРАХУНКИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ.....	34
5.1 ПАРАМЕТРИЧНИЙ РОЗРАХУНОК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.	30
5.2 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА.....	37
5.3 КІНЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ РЕДУКТОРА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	41
5.4 РОЗРАХУНОК НАВАНТАЖЕННЯ НА РОЛИК СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА	44

					<i>ЛП.21.041116.01-70-ПЗ</i>		
Змн	Лис	№ докум.	Підп ис	Да та			
Розроб.	Горбатенко М.В				Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією роикоопори		
Перевір.	Гондляр О.В						
Т. контр.							
Н. контр.							
Зав. каф.	Сокольський.О.Л						
						Літ.	Арк.
							Аркушів
						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХПСМ	

5.5 3D-МОДЕЛЮВАННЯ НЕМОДЕРНІЗОВАНОЇ РОЛИКООПОРИ В СИСТЕМІ SOLIDWORKS...	47
5.6 3D-МОДЕЛЮВАННЯ МОДЕРНІЗОВАНОЇ РОЛИКООПОРИ В СИСТЕМІ SOLIDWORKS.....	49
5.7 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ НЕМОДЕРНІЗОВАНОЇ РОЛИКООПОРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS.....	52
5.8 РОЗРАХУНКИ НА МІЦНІСТЬ МОДЕРНІЗОВАНОЇ РОЛИКООПОРИ ЗА ДОПОМОГОЮ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS	54
5.9 ВИКОНАННЯ ПАРАМЕТРИЧНОГО РОЗРАХУНКУ ЗА ДОПОМОГОЮ МОВИ ПРОГРАМУВАННЯ C++	56
6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	59
6.1. ЗАПИЛЕНІСТЬ ПОВІТРЯ РОБОЧОЇ ЗОНИ	53
6.2. ШУМ І ВІБРАЦІЯ.....	56
6.3. МЕХАНІЧНІ НЕБЕЗПЕКИ.....	58
6.4. МІКРОКЛІМАТ... ..	60
6.5. ПОЖЕЖНА ТА ЕЛЕКТРИЧНА БЕЗПЕКА	63
6.6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА	65
7 ТЕХНОЛОГІЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	66
7.1 ОПИС ТА ПРИЗНАЧЕННЯ ДЕТАЛІ.....	68
7.2 РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ВИГОТОВЛЕННЯ ДЕТАЛІ.....	69
7.3 ВИБІР ПРИСТОСУВАННЯ	72
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ... ..	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	66
ДОДАТКИ	

					ЛП.21.041116.01-70-ПЗ				
Змн	Лис	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.		Горбатенко М.В			Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією роикоопори		Літ.	Арк.	Аркушів
Перевір.		Гондляр О.В							
Т. контр.							КПІ ім. Ігоря Сікорського, ХПСМ		
Н. контр.									
Зав. каф.		Сокольський.О.Л							

ВСТУП

У сучасних умовах розвитку промисловості та постійного зростання потреби в ефективних транспортних системах особлива увага приділяється вдосконаленню технологій конвеєрного транспорту. Найбільш актуальним це є для галузей із високими виробничими навантаженнями, зокрема для гірничодобувної промисловості та систем транспортування вугілля [1]. Вугілля залишається одним із основних енергетичних ресурсів, тому питання ефективності, безпеки й екологічності його переміщення мають важливе значення. У зв'язку з цим значну роль відіграють стрічкові конвеєри, оснащені модернізованими роликоопорами.

Роликоопори є важливим елементом стрічкових конвеєрів, адже саме від їх роботи значною мірою залежить термін експлуатації стрічки та рівень енергоспоживання привідної системи. До таких конструкцій висуваються вимоги щодо економічності, довговічності, мінімального опору обертанню, а також зручності монтажу та обслуговування[27].

Метою даної дипломної роботи є розробка вдосконаленої конструкції стрічкового конвеєра з модернізованими роликовими опорами для використання у вугільній промисловості. Основними завданнями є зменшення втрат вантажу під час транспортування та підвищення ресурсу роботи роликів, їх опор і транспортної стрічки. Реалізація цих рішень дозволить покращити технічні та економічні показники конвеєра, а також підвищити його надійність і ефективність експлуатації.

Об'єкт дослідження - є роликоопора стрічкового конвеєра для транспортування вугілля, що використовується для підтримки та напрямлення конвеєрної стрічки під час переміщення сипкого матеріалу.

Предмет дослідження - міцність, напруження та деформації роликоопори стрічкового конвеєра під дією робочих навантажень.

Методи дослідження. Для вирішення поставлених завдань у роботі використано:

- САД-проекування: для побудови тривимірної геометричної моделі вузла згідно з нормами ЄСКД.

- САЕ-модельовання: для виконання чисельних розрахунків методом скінченних елементів (МСЕ), що дозволило візуалізувати еквівалентні напруження за Мізесом та температурні градієнти в конструкції.

1 ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ГАЛУЗЬ ЗАСТОСУВАННЯ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА У ТЕХНОЛОГІЧНІЙ ЛІНІЇ ТРАНСПОРТУВАННЯ ВУГІЛЛЯ

Залежно від конструктивних та експлуатаційних особливостей конвеєри класифікують за кількома основними ознаками:

За функціональним призначенням розрізняють універсальні конвеєри, які застосовуються на поверхнях шахт і збагачувальних фабриках, підземні, конвеєри для відкритих гірничих робіт, а також спеціалізовані конструкції. [15]

За видом вантажу конвеєри поділяються на обладнання для транспортування сипучих матеріалів і для переміщення кускових вантажів.

За типом несучої гілки виділяють конвеєри з верхньою несучою гілкою (рис. 1, а), підземні конвеєри з нижньою несучою гілкою (рис. 1, б), а також конструкції з двома несучими гілками (рис. 1, в).

За способом розташування холостої гілки існують конвеєри з традиційним розміщенням (рис. 1, а, б), де ролики контактують із забрудненою стороною стрічки, та перевернуті конструкції, у яких холоста гілка підтримується чистою стороною стрічки (рис. 1, г).

За формою поперечного перерізу несучої частини стрічки розрізняють конвеєри з плоскою стрічкою (рис. 1, д) і жолобчастою стрічкою (рис. 1, е).

Відповідно до конфігурації траси конвеєри можуть бути прямолінійними, криволінійними у профілі або криволінійними в плані.

Для детальнішого аналізу стрічкових конвеєрів у таблиці 1.1 наведено їх основні переваги та недоліки.

Стрічкові конвеєри широко застосовуються в системах безперервного транспортування завдяки своїй універсальності, високій продуктивності та ефективності роботи [2]. Вони характеризуються можливістю транспортування матеріалів на значні відстані, простотою конструкції, надійністю та зручністю експлуатації. Таке обладнання використовується для переміщення сипучих і кускових матеріалів, зокрема різних видів гірських порід. Конвеєри можуть функціонувати як на горизонтальних, так і на похилих ділянках траси, забезпечуючи переміщення вантажів угору або вниз.

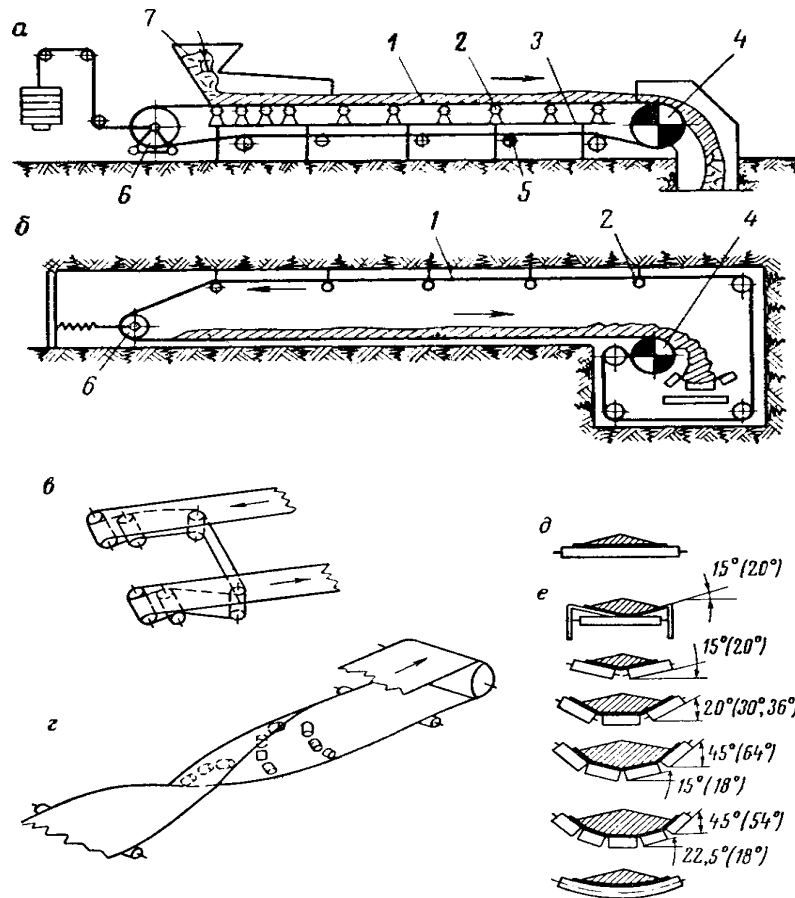


Рис. 1.1 – Принципові схеми стрічкових конвеєрів

Таблиця 1.1 – Переваги і недоліки стрічкових конвеєрів

Переваги:	Недоліки:
Можливість автоматизації	Потреба в попередньому подрібненні великошматкових матеріалів
Здатність транспортування по горизонталі та під кутом вгору чи вниз	Доволі короткий час експлуатації роликів і стрічок в комплексі з їх високою ціною
Відносно мала енергоємність при значній довжині одного устаткування	Ефективність роботи залежить від погодних умов (для відкритих)
Простота конструкції та технічного обслуговування	Підвищений знос стрічки та роликкоопор при транспортуванні абразивних матеріалів
Тривала робота у безперервному режимі	Потреба у великій площі для встановлення довгих трас конвеєра
Можливість транспортування великих обсягів вантажу	Обмежена ефективність при складній конфігурації траси

До основних переваг стрічкових конвеєрів належать висока продуктивність, можливість транспортування вантажів на великі відстані від одного приводу, невелике енергоспоживання, простота технічного обслуговування та низький рівень шуму під час роботи[15]. Важливою перевагою також є можливість автоматизації транспортних процесів, що має велике значення для сучасних промислових підприємств.

Разом із перевагами стрічкові конвеєри мають і певні недоліки. До них належать обмеження щодо роботи на великих кутах нахилу, неможливість ефективної експлуатації на сильно викривлених трасах, а також відносно невеликий термін служби стрічки та роликів при їх значній вартості. Крім цього, ефективність роботи конвеєра залежить від властивостей матеріалу, зокрема його абразивності та розмірів частинок, а при відкритому розміщенні — ще й від погодних умов. Для великошматкових матеріалів часто виникає потреба у попередньому подрібненні.

Стрічкові конвеєри широко використовуються у технологічних процесах транспортування вугілля. Їх застосовують у шахтах, на збагачувальних фабриках та відкритих гірничих розробках[29]. Значне поширення такого обладнання у вугільній промисловості підтверджує його ефективність та важливу роль в оптимізації транспортних процесів.

Інші типи конвеєрів зазвичай використовують лише в тих випадках, коли застосування стрічкових систем є неможливим або недоцільним, наприклад при великих кутах нахилу траси чи складних просторових викривленнях.

2 ТЕХНІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Ширина стрічки, мм	Швидкість руху стрічки, м/с	Продуктивність, м ³ /с	Момент крутий, Нм	Потужність приводу, кВт
400	1-2,5	50-165	370-5300	До 60

Таблиця 2.1 – Вихідні дані

Вид вантажу	Вугілля кам'яне
Рядовий чи відсортований вантаж	Рядовий
Фракційність частин, мм	До 100
Розрахункова продуктивність, т/год	70
Рухливість вантажу	Середня
Абразивність, мг	Малоабразивний, до 5
Місце встановлення	Під навісом
Температура навколишнього середовища, С°	-15 до +30
Вологість повітря, %	70-95
Вміст абразивного пилу в повітрі, мг/м ³	85-140
Час роботи в добу, годин	16
Швидкість стрічки, м/с	1,5
Довжина стрічки, м	55
Висота підйому вантажу, м	7

Кам'яне вугілля належить до сипучих вантажів і характеризується такими параметрами: насипна щільність становить 0,83 т/м³, що відповідає категорії середньої щільності [3]. За гранулометричним складом вантаж є відносно однорідним, максимальний розмір кусків сягає 100 мм, тому його кусковатість відноситься до середнього рівня. Рухливість вантажу оцінюється як середня, а абразивність — низька.

Для подальших розрахунків слід доповнити вихідні дані відсутніми. Показники (дані) представлені у таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – «розрахункові характеристики матеріалу»

1	Насипна щільність, т/м ³	0,83
2	Кут природного укосу, град: в спокої в русі	43° 12°
3	Коефіцієнт зовнішнього тертя: по гумі по сталі	0,71 0,6
4	Коефіцієнт внутрішнього тертя	0,8

Живильники працюють на відкритому повітрі під навісами, що може спричиняти підвищену запиленість абразивним пилом, високу вологість повітря, ускладнений доступ для технічного обслуговування, недостатнє освітлення, а також вплив несприятливих погодних умов.

Таблиця 2.3 – Показники умов роботи конвеєра

Час роботи в добу, год	16
Насипна щільність вантажу, $\frac{m}{m^3}$	0,83
Вологість повітря, %	60-95
Зміст абразивного пилу у повітрі, $\frac{mg}{m^3}$	95-140
Температура навколишнього середовища, °C	Від -15 до +30

3 ОПИС БАЗОВОЇ КОНСТРУКЦІЇ, ЇЇ ОСНОВНИХ ЧАСТИН ТА ПРИНЦИПУ ДІЇ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

На рис 3.1 представлено схему стрічкового конвеєра разом із його ключовими компонентами [4]. До складу конвеєра, окрім основних вузлів, також входять системи керування та моніторингу, пристрої очищення стрічки, а також інше допоміжне обладнання. Далі розглянемо основні елементи більш детально.

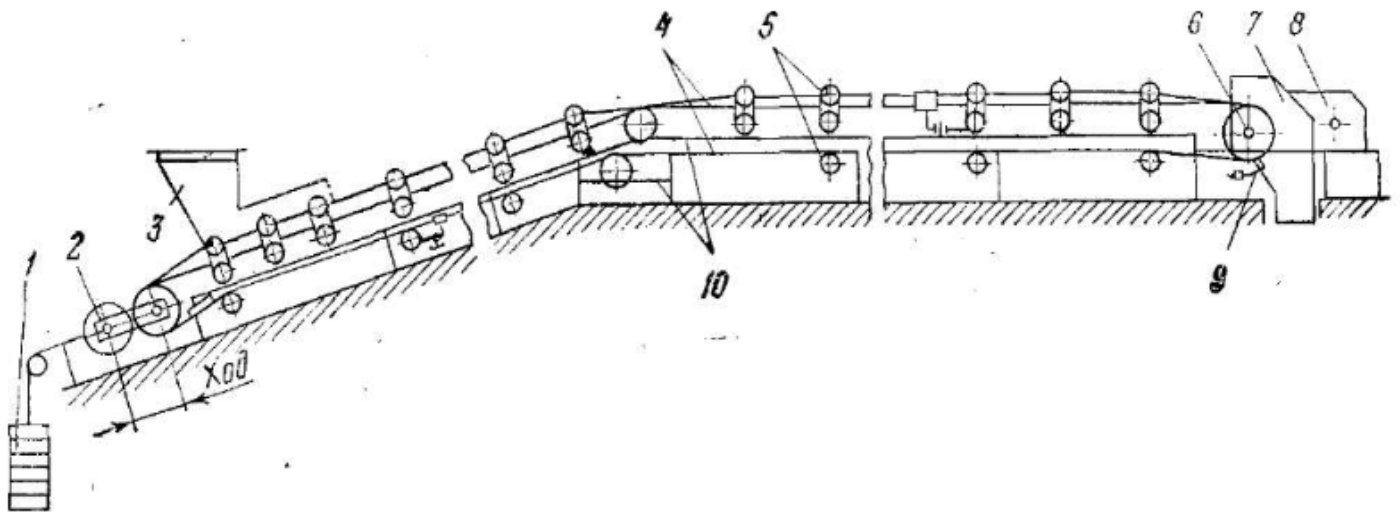


Рис. 3.1 - Схематичне зображення лінії стрічкового конвеєра: 1 - натяжна станція; 2 - барабан натяжної станції; 3 - завантажувальний пристрій; 4 - стрічка; 5 - роликові опори; 6 - приводний барабан; 7 - розвантажувальний пристрій; 8 - приводна станція; 9 - очисний пристрій; 10 - рама

3.1 Роликові опори

Роликові опори є одним із ключових елементів стрічкових конвеєрів, оскільки значною мірою впливають на строк служби стрічки та рівень енергоспоживання приводу. Вони повинні відзначатися достатньою міцністю, економічністю, низьким опором обертанню та зручністю в обслуговуванні [7].

Роликоопори поділяються на рядові, які встановлюються вздовж усієї траси конвеєра, та спеціальні — центруючі, амортизуючі, а також ролики, призначені для очищення стрічки[19].

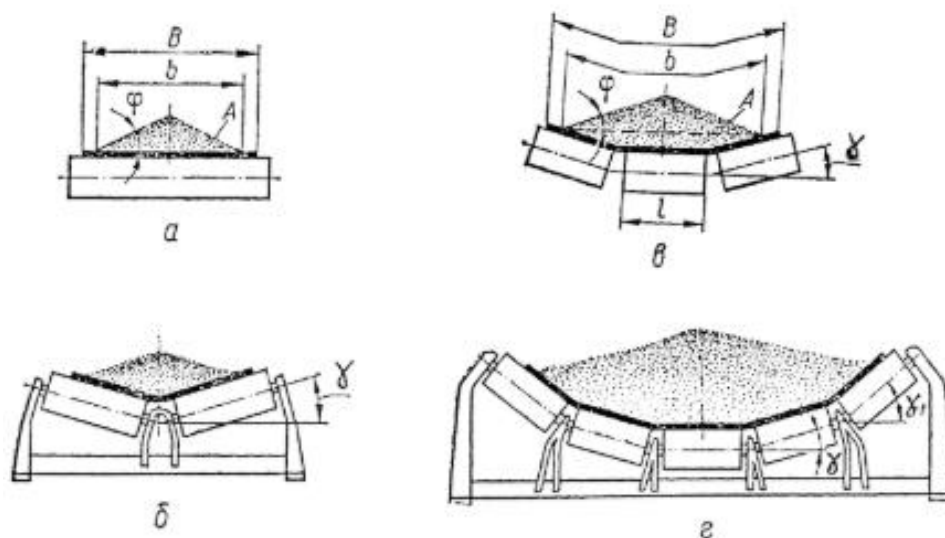


Рис. 3.2 – Схема різновидів роликоопор: а) однороликова; б) двохоликова; в) трьохроликова; г) п'ятироликова.

Зазвичай, для широких стрічок використовуються двороликові опори. Інтервал між роликами залежить від ширини стрічки та її вантажу, зазвичай це 0,9...1,5 м, а для високоміцніших стрічок — 3...4 м[15]. Трьохроликові опори є найпоширенішими, двороликові застосовують на легких переносних конвеєрах, а п'ятироликові — на конвеєрах з широкими стрічками для збільшення продуктивності і глибини ринву. Одророликові опори застосовують для переміщення штучних або насипних вантажів задля виконання технологічних операцій, таких як зневоднювання і тд.

Центруючі опори допомагають утримувати стрічку на місці, а що амортизують — захищають стрічку від пошкоджень від падіння вантажу.

3.2 Конвеєрні стрічки

У стрічкових конвеєрів стрічка служить водночас вантажонесучим та тяговим органом. Рух тягового органу (стрічки) конвеєра здійснюється за рахунок фрикційного зв'язку стрічки з приводним барабаном[17]. При роботі конвеєра, стрічка піддається значним навантаженням від натягу і переміщення вантажу, а також зносу від тертя робочих обкладок, руйнування при взаємодії з транспортуємим матеріалом, дії навколишнього середовища (вологи, тепла, повітря і т.д.), перегинами на барабанах і роликоопорах. На рис. 3.3 показані конструкції конвеєрних стрічок. На конвеєрах застосовуються стрічки з прокладками з бавовняних та синтетичних тканин (а,б), а також тросовою основою(в)

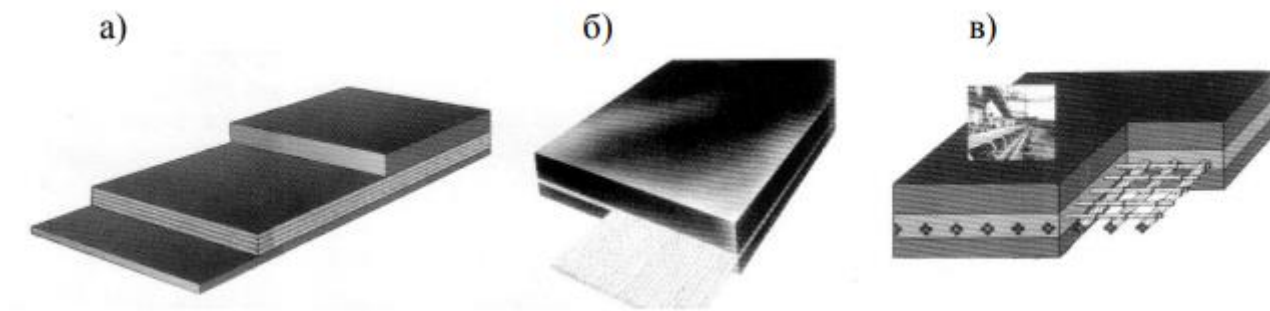


Рис. 3.3 Конструкції конвеєрних стрічок.

Для стрічкових конвеєрів найчастіше використовуються гумовотканинні і гумовотросові стрічки[2]. Конструкції і будова стрічок показані на рис. 3.

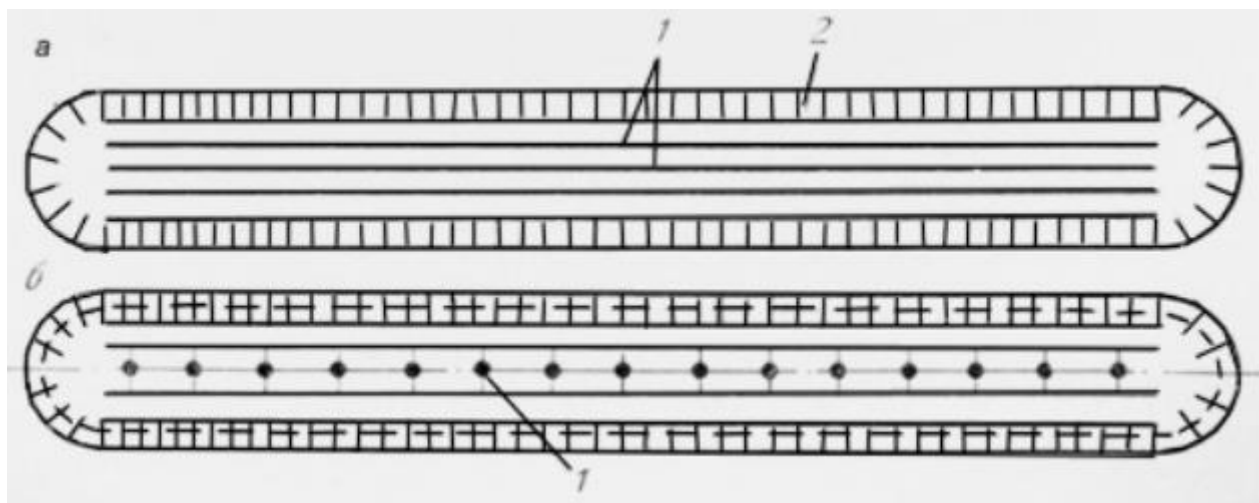


Рис. 3.4 Конструкції гумовотканинної (а), і гумовотросової (б) стрічок.

Основними частинами конвеєрної стрічки є каркас (1) і захисне покриття (2). Призначення каркаса – сприйняття поздовжніх і поперечних навантажень, а захисного покриття – захист каркасу від механічних пошкоджень.

Каркас гумовотканинних стрічок - Ш, 2Ш, ПВХ (рис. 3.4 а) складається з пошарово прокладених прокладок 1. Призначення прокладок – передача тягового зусилля від приводного барабана. Захисний шар гуми (обкладка) 2 наноситься на каркас зверху, знизу і з боків. Верхній шар гуми –робочий, який товщий ніж нижній (неробочий).

Гумовотросові стрічки - РТЛ, РТЛО використовують на магістральних конвеєрах великої довжини. Вони мають високу міцність (до 30 кН/см і більше) і мале відносне подовження (до 0,25 %). В гумовотросовій стрічці (рис.3.4 б) основою служать сталі канатики – троси 1. Недоліком гумовотросових стрічок є велика маса і трудоемність з'єднання стиків при поривах та з'єднаннях стрічок.

Для з'єднання кінців високоміцних тканинних і гумовотросових стрічок на стаціонарних конвеєрах використовують гарячу вулканізацію

3.3 Приводи конвеєрів

Привод конвеєра здійснює передачу тягового зусилля стрічці. Основними елементами приводу є приводні, розвантажувальні, відхиляючі барабани і силові агрегати. Елементи приводу, змонтовані на несучій конструкції, складають приводну станцію. В приводах знайшли широке застосування пускозапобіжні гідromуфти, які встановлюються між валом електродвигуна і вхідним валом редуктора, для плавного запуску і запобіганню від недопустимих перевантажень приводу стрічкового конвеєра.

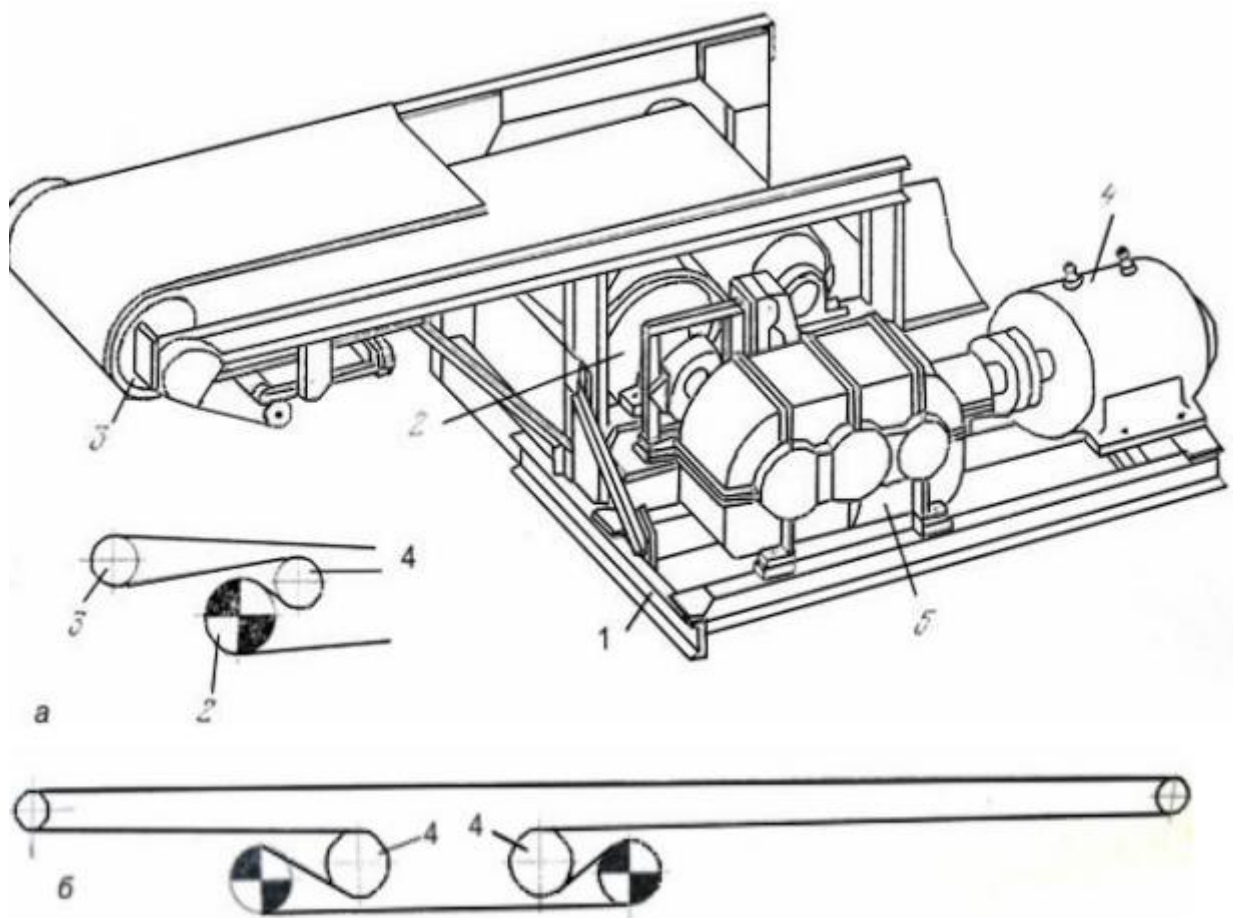


Рис. 3.5 Конструкція та схеми приводу стрічкових конвеєрів. а) – з одним приводним барабаном; б) – з двома приводними барабанами.

1 - рама, 2 - приводний барабан, 3 - розвантажувальний барабан, 4 - електродвигун, 5 - редуктор, 4 – відхиляючий барабан, 6 – електродвигун, 7 – натяжний барабан.

Залежно від потреби в тяговому зусиллі, використовуються приводи з різною кількістю барабанів - один, два чи більше. Існують також приводи з одним або декількома двигунами. Найпростішою і широко використовуваною є привод з одним барабаном, де стрічка охоплює його неробочою стороною, забезпечуючи оптимальне зчеплення завдяки куту обхвату в $210...230^\circ$. Для транспортування важких вантажів на далекі відстані застосовують двобарабанний привод, що збільшують тягове зусилля через збільшений загальний кут обхвату до 480° [5].

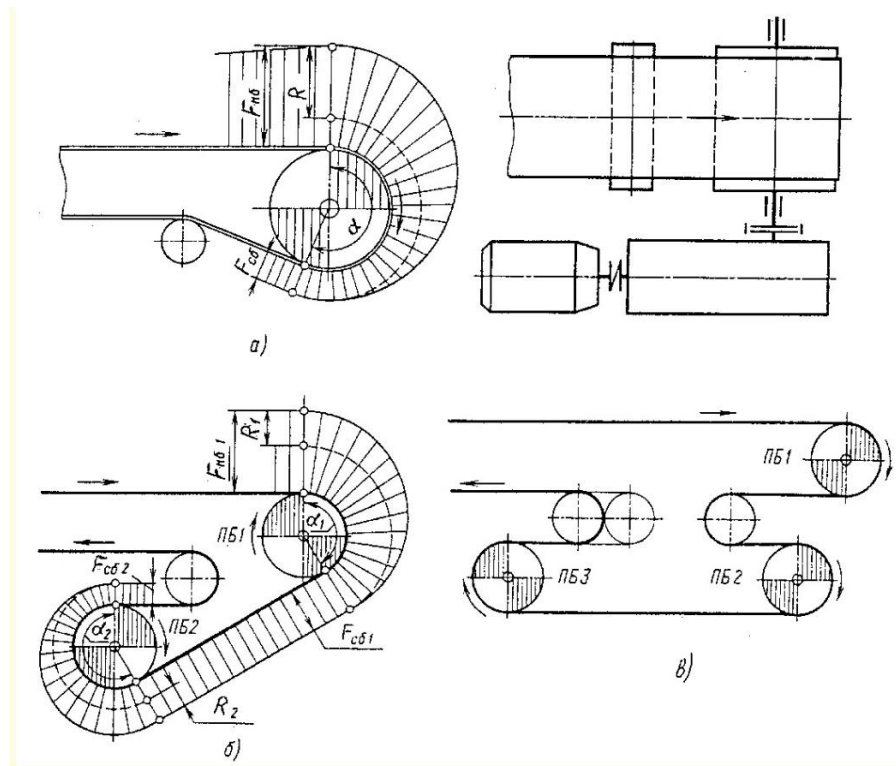


Рис. 3.6. Схеми конвеєрів з різними видами приводів: а – однобарабанним; б – двобарабанним; в – трибарабанним

Різні конструкції стрічкових конвеєрів, в залежності від довжини, продуктивності, кута нахилу мають від одного до 3-х приводних барабанів. Величина тягового зусилля, що передається стрічці тертям шляхом огинання барабанів, залежить від натягу стрічки, коефіцієнту тертя, схемою та кутом обхвату барабанів стрічкою. Для максимальної передачі тягового зусилля, збільшують кут обхвату приводного барабану стрічкою, за допомогою відхиляючих барабанів

3.4 Натяжні пристрої

Натяжний пристрій в стрічковому конвеєрі необхідний для оптимального натягу стрічки і запобігання пробуксовування приводних барабанів, обмеження провисання стрічки між ролюкоопорами і компенсації її видовження в процесі роботи[15]. Основними параметрами натяжних пристроїв являються натяг стрічки, швидкість переміщення натяжного барабану і величина його ходу. Хід компенсує видовження стрічки, яке виникає в процесі її експлуатації, дає можливість вкоротити стрічку при стиковці після обриву.

Натяжні пристрої поділяються на періодичні (гвинтові, рейкові) та автоматичні (вантажні, гідравлічні, пневматичні), з можливістю регулювання натягу. Розміщують їх у місці мінімального натягу стрічки, у похилих конвеєрах — у нижній частині.

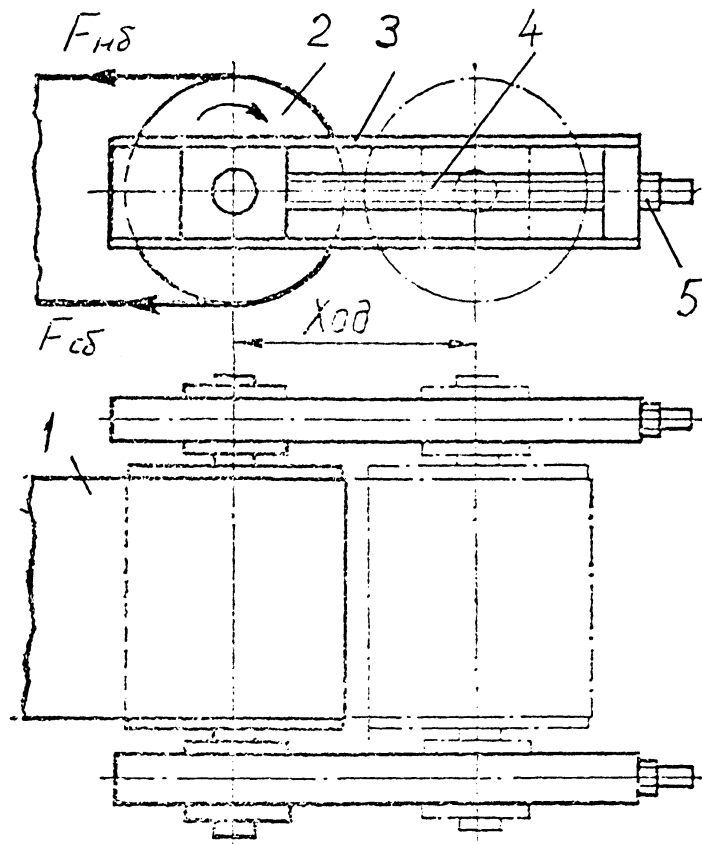


Рис. 3.7. Гвинтовий натяжний пристрій

В конвеєрах невеликої довжини (до 80 м) натяжний барабан ковзає корпусами підшипників свого вала по направляючим за допомогою лебідки з ручним приводом або гвинта. На горизонтальних стаціонарних і напівстаціонарних конвеєрах довжиною більше 100м натяжний барабан

жорстко встановлюється на візку, який переміщується по рейкам за допомогою електричної лебідки. Управління лебідкою автоматизують встановленням датчику контролю навантаження стрічки.

3.5 Завантажувальні пристрої

Завантаження рухомої стрічки конвеєра здійснюється через завантажувальний лоток, при цьому ширину його вихідного отвору рекомендується приймати в межах 60–70% від ширини стрічки а кут нахилу бічних стінок — 10–15° [6]. Зона завантаження є найбільш навантаженою ділянкою конвеєра з точки зору можливих пошкоджень та інтенсивного зношування стрічки. Для зменшення ударних навантажень і захисту стрічки застосовують похилі завантажувальні лотки з колосниковими решітками, які забезпечують відсів дрібних фракцій і формування захисного шару матеріалу, а також гумові амортизуючі елементи. Підвищена щільність встановлення роликів опор у зоні завантаження дозволяє запобігти провисанню стрічки..

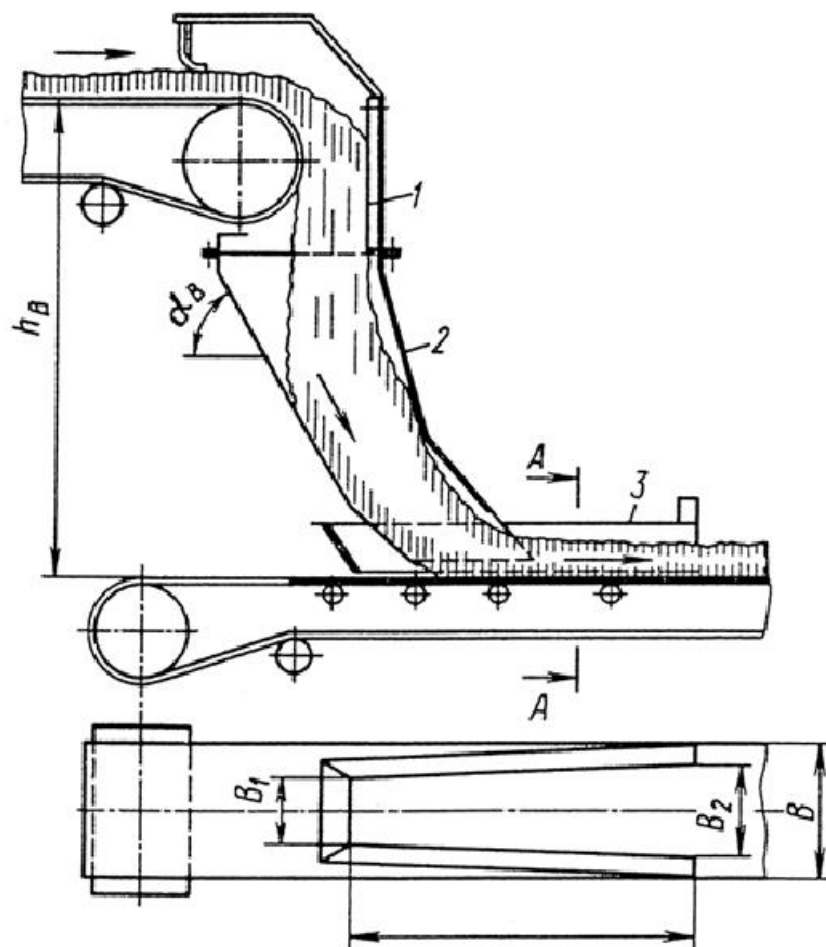


Рис. 3.8. Завантажувальний пристрій стрічкового конвеєра

3.6 Розвантажувальні пристрої

При розробці та використанні навантажувальних пристроїв для стрічкових конвеєрів важливо враховувати траєкторію руху вантажів, оскільки це дає можливість точно визначити місце розміщення розвантажувального механізму. Крім того, правильне визначення цієї траєкторії допомагає підтримувати ефективну роботу роликкоопор та приймача.

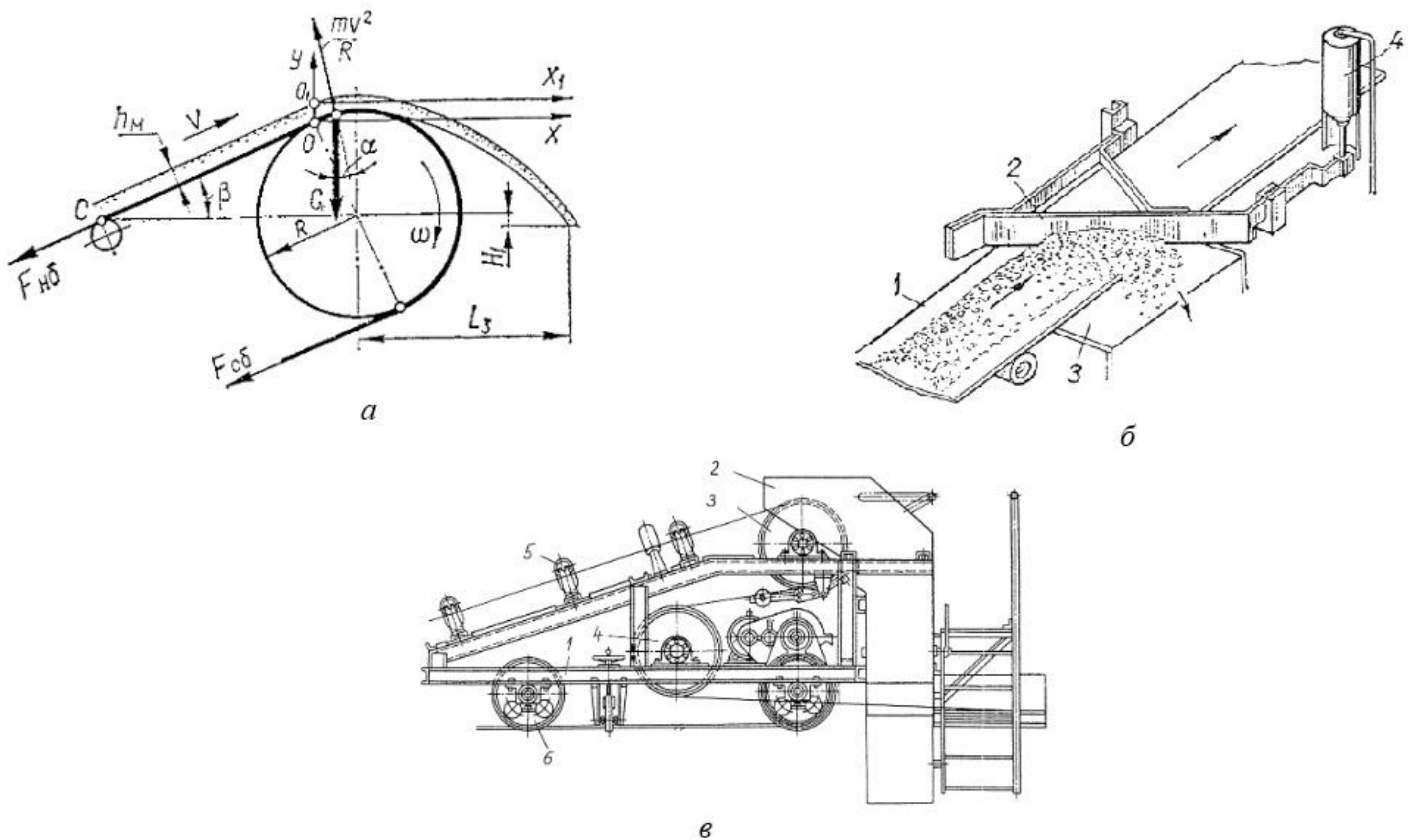


Рис. 3.9 – Розвантажувальні пристрої: а) відрив вантажу від стрічки,
б) розвантаження сипучих вантажів,
в) розвантаження насипних і кускових вантажів

Проміжне розвантаження насипних і кускових вантажів зі стрічки 1 проводиться плужковими одно- і двосторонніми скидачами 2 (рис. 3.9, б). По конструктивному виконанню вони бувають знімні, відкидні й пересувні. На сучасних конвеєрах скидачі управляються автоматично від електромагнітного або пневматичного 3 приводів, куди повітря подається з повітропроводу 4. Поряд з недоліками (підвищене зношування стрічки, значні місцеві опори обмежують швидкість стрічки до 2 м/с і ін.) плужкові скидачі є єдиним пристроєм для проміжного знімання з конвеєра штучних вантажів.

Основним пристроєм для проміжного розвантаження сипучих вантажів із крутих конвеєрів є самохідні двохбарабанні розвантажувальні візки (рис. 3.9, в). Вони бувають із одно- і двостороннім розвантаженням. На рамі 1 змонтовано два неприводні барабани 4 і ролюкоопори 8, по яких проходить навантажена конвеєрна стрічка. При сході стрічки з верхнього барабана вантаж висипає у вирву 7, а порожня стрічка, обігнувши нижній барабан, виходить із візка на свою трасу. Візок переміщується на ходових колесах 10 по рейковому шляху за допомогою редукторного привода 5. Для забезпечення стійкості візка передбачений рейковий захват 2 із приводом 3. Шибера 9 із приводом 6 управляють випуском сипучих вантажів з вирви.

Загальний вид конвеєра з розвантажувальним візком наведений на рис. 3.4, г. Візок переміщається по рейках уздовж траси в міру потреби розвантаження матеріалу в необхідному місці (бункері). Показані крайнє С і проміжне В положення візка на трасі.

3.7 Очисні пристрої

Очисні пристрої призначені для очистки стрічки від налипаючого вантажу[2]. Їх виконують у вигляді шкребків, армованих резиною і встановлюють на нижній гілці стрічки біля привода так, щоб вони притискувались до поверхні стрічки не пошкоджуючи її. Плужкові скидачі використовуються при транспортуванні неабразивних матеріалів при швидкості до 1,5 м/с. Застосовуються також циліндричні, капронові щітки, які приводяться в зустрічне обертання по відношенню до напрямку руху стрічки від самостійного приводу або барабану конвеєра.

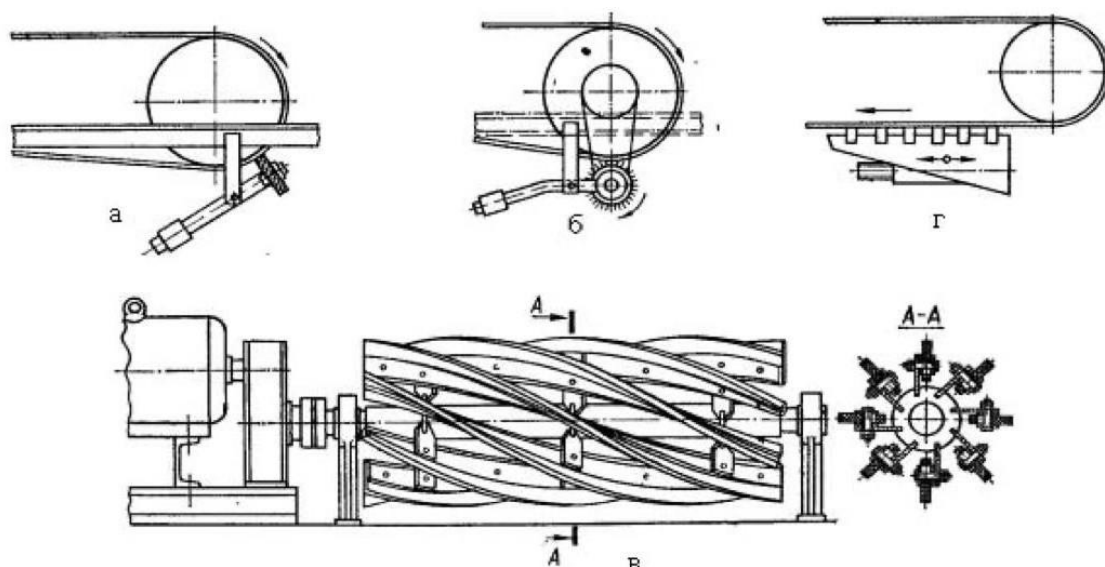


Рис. 3.10 – Типи пристроїв для очищення стрічки: а) скребкові, б) щіткові, в) винто-лопатеві, г) вібраційні, гідравлічні і пневматичні.

4 ЛІТЕРАТУРНО-ПАТЕНТНИЙ ОГЛЯД ДЛЯ ВИБОРУ ВАРІАНТУ МОДЕРНІЗАЦІЇ РОЛИКООПОРИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА

Під час роботи над дипломним проектом було оглянуто науково-технічні джерел та патентні бази для дослідження конструктивних особливостей вузлів стрічкових конвеєрів. Основна увага приділялася вивченню переваг та слабких місць існуючих систем для пошуку шляхів їх удосконалення. До найпоширеніших недоліків можна віднести високу собівартість стрічки та роликоопор також прискорений знос. Значна вартість вузлів може суттєво підвищувати загальні капіталовкладення в транспортну мережу. Крім того, через постійні навантаження та тертя деталі піддаються інтенсивному зношуванню, що спричиняє потребу в регулярному обслуговуванні та частих замінах. Оскільки в багатьох конструкціях не закладено можливості самоналаштування під вагу вантажу, це провокує нестабільну роботу системи та ще швидшу деградацію її елементів.

Для вдосконалення конфігурації вузлів та усунення вказаних проблем було проаналізовано патентну літературу. З метою вибору оптимального шляху модернізації було відібрано 5 технічних розробок, кожна з яких пропонує унікальний підхід до вирішення конструкторських завдань. Нижче наведено їх детальний аналіз.

У патенті [10] запропоновано роликоопору стрічкового конвеєра (UA 94391 U), що містить опорну балку, ступичні диски, металеві пруті циліндричної форми, закріплені зі зміщенням під кутом α відносно осі, та з'єднувальні елементи у вигляді куль, розміщених між кінчними поверхнями жорстко закріпленої на основі втулки та ступичного диска, при цьому одна зі втулок закріплена з можливістю переміщення вздовж осі для регулювання осьового зазору. Запропоновані конструктивні рішення забезпечують збільшення ресурсу роликоопори та терміну служби стрічки за рахунок зменшення її перегину та зносу, покращення центрування, а також скорочення кількості рухомих елементів і, як наслідок, витрат на ремонт та технічне обслуговування.

У патенті [11] розглянуто роликоопору стрічкового конвеєра (UA 113965 U), що містить комплект роликів, закріплених на гнучкій осі з кінцевими цапфами конічної форми, та підшипникові вузли, кожен з яких складається з корпусу, приєднувального штуцера і вклеєної конічної втулки із зовнішньою мастильною канавкою. Конічна втулка утворює в зборі з кінцевою цапфою зазор, що заповнюється повітряним мастилом крізь

мастильні отвори і мастильні кишені. Дана корисна модель забезпечує зниження коефіцієнта опору обертанню і збільшення терміну служби роlikоопори за рахунок виключення контакту металевих поверхонь тертя та надлишкового тиску повітря, що перешкоджає потраплянню абразивних частинок до підшипникового вузла.

У патенті [12] описується роlikоопора стрічкового конвеєра (UA 108334 C2), що містить ролик, утворений металевими прутами циліндричної форми, закріпленими зі зміщенням під кутом α , встановленими на маточинних дисках через з'єднувальні елементи. Кожен з'єднувальний елемент складається зі сферичного тіла — кулі, розміщеної між конічними контактними поверхнями нерухомої втулки та маточини диска, що виключає використання традиційної осі. Завдяки даній корисній моделі досягається збільшення ресурсу роlikоопори при виключенні значної кількості рухомих елементів підшипникового вузла, спрощення конструкції, скорочення простоїв і витрат на ремонт, а в цілому — збільшення терміну служби всього конвеєра.

У патенті [13] запропоновано енергозберігаючу роlikоопору стрічкового конвеєра (UA 93593 U), що містить бічні ролики та центральні здвоєні ролики малого діаметра на шарнірно встановленій рамі. Центральні ролики встановлені на кінцях несиметричного колихаючого коромисла, перше плече якого у 1,2–1,4 рази довше за друге і спирається на демпфуючий елемент — пружину стиснення або гумовий амортизатор, — що забезпечує постійний контакт першого ролика з незавантаженою стрічкою. Дана модифікація забезпечує рівномірне розподілення навантаження на центральні ролики і, як наслідок, зменшення прогинання стрічки, зниження маси обертових частин при холостому ході та загальне зниження енергоспоживання конвеєра.

Патент [14] описує роlikоопору стрічкового конвеєра (UA 109767 U), що містить одну середню та дві бокові осі з вільно і попарно встановленими на них роliками для стрічки, осі кожної пари яких шарнірно з'єднані між собою зі стійками поставу. Середня та бокові осі кожної пари роликів на своїх розміщених назустріч торцях виконані з глухими циліндричними отворами і доповнені встановленими в них обома кінцями циліндричними пружинами згину. Здійснене удосконалення роlikоопори стрічкового конвеєра дозволяє підвищити її амортизаційну здатність при ударних навантаженнях від гірських мас зі скальними вклученнями, доповнюючи пружність стрічки в місцях її згину між парами роликів різних осей дією пружин згину, що забезпечує самоустановку роликів та рівномірний розподіл навантаження по ширині стрічки.

Розглянуті модернізації позитивно впливають на механічні властивості конвеєра і продовжують термін його служби, а також сприяють зниженню експлуатаційних витрат завдяки спрощенню конструкції, застосуванню стандартних компонентів і скороченню часу, необхідного для технічного обслуговування та ремонту.

4.1 Обґрунтування вибору варіанту модернізації роликоопори

Після проведення огляду наукових і патентних джерел було обрано модифікацію для удосконалення роликоопори, яка базується на технічному інновації.

Для подальшого впровадження в проєкті обрано модернізацію на основі патенту UA 126108[1] . Цей варіант пропонує значне удосконалення існуючих конструкцій, вирішує проблему надійності роботи конвеєра при транспортуванні нерівномірних вантажів. Подібні навантаження зазвичай характерні для гірничодобувної галузі, де під час транспортування гірських мас часто зустрічаються важкі скельні вclusions.

Головний недолік існуючих рішень полягав у тому, що осі роликів були закріплені на стійках статично. Через таку жорстку установку система позбавлена можливості саморегулювання при проходженні вантажу, що спричиняє нерівномірні навантаження та прискорює знос робочих вузлів.

Удосконалена конструкція, як зазначено у патенті, передбачає використання жорстких П-подібних скоб, якими з'єднані кінці кожної пари роликів. Ці скоби дозволяють виключити пряму ударну взаємодію роликів із рамою (поставом) конвеєра, що значно підвищує надійність вузла, подовжує термін його експлуатації та знижує витрати на ремонт. Крім того, завдяки шарнірному з'єднанню осей зі стійками, конструкція забезпечує кращу самоустановку роликів під дією ваги вантажу, що сприяє рівномірному розподілу навантаження по всій ширині стрічки та запобігає її пошкодженню.

Запропонований патент відповідає задачі підвищення надійності роботи роlikоопори стрічкового конвеєра та збільшення ефективності його використання завдяки новому механізму захисту від ударів, що забезпечується не лише за рахунок міцності осей, а й за допомогою встановлення додаткових жорстких обмежувальних елементів.

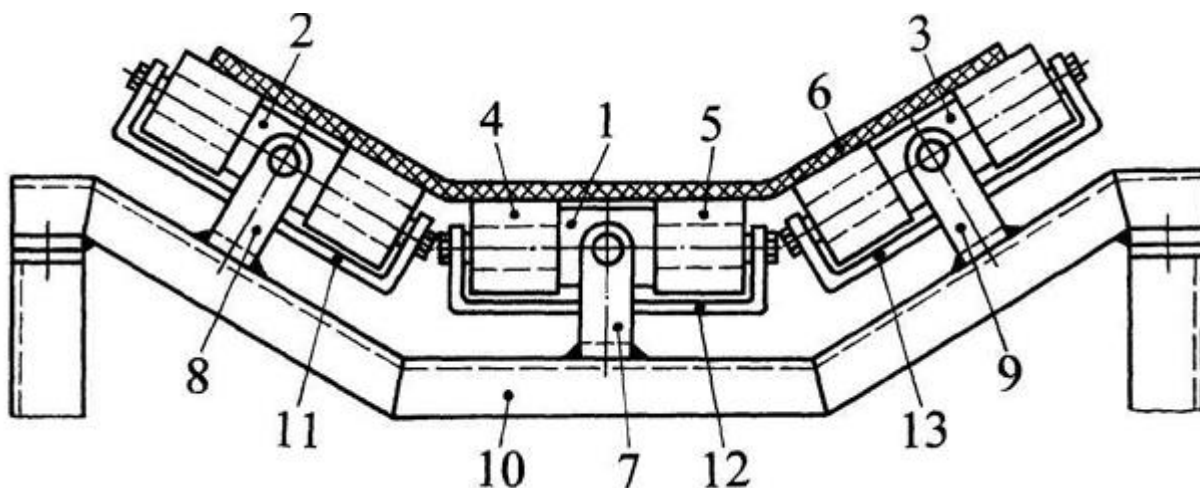


Рис. 4.1 – Удосконалена роlikоопора стрічкового конвеєра: 1, 2, 3 – осі; 4, 5 – ролики; 6 – стрічка; 7, 8, 9 – стійки; 10 – постав; 11, 12, 13 – П-подібні скоби.

Отже, запропонована в патенті модернізація спрямована на комплексне покращення роботи опорних вузлів завдяки поєднанню шарнірної підвіски осей та жорстких П-подібних скоб. Шарнірне кріплення до стійок дозволяє роliкам автоматично підлаштовувати свій нахил під вагою вантажу, що забезпечує правильне центрування стрічки та рівномірний розподіл зусиль. При цьому встановлені на кінцях осей скоби діють як запобіжники: у разі сильних коливань вони першими контактують із поставом, захищаючи самі ролики від пошкоджень. В патенті немає детальних розрахунків вартості, очевидно, що такий захист від ударів у комбінації з рухливістю системи дозволить суттєво подовжити термін експлуатації обладнання. Впровадження цієї конструкції дозволяє зменшити кількість аварійних зупинок і знизити витрати на запчастини, що в результаті дає позитивний техніко-економічний ефект при тривалому використанні конвеєра.

5 РОЗРАХУНКИ СТРІЧКОВОГО КОНВЕЄРА, ЯКІ ПІДТВЕРДЖУЮТЬ ЙОГО ПРАЦЕЗДАТНІСТЬ

5.1 Розрахунок стрічкового конвеєра

Для вибору приводного барабана необхідно розрахувати його діаметр, а потім підібрати типорозмір, що підходить для обраного типу стрічки[17]. Діаметр барабана розраховується за такою формулою [10]:

$$D_6 = k' * k'' * i$$

де k' - коефіцієнт, що залежить від міцності стрічки, при $\sigma_p = 55\text{Н/мм}$, приймаємо $k' = 125$;

k'' - коефіцієнт призначення барабана, для приводного барабана приймаємо $k'' = 1$;

i - число прокладок в стрічці.

$$D_6 = 125 * 1 * 2 = 250\text{мм}$$

Приймаємо стандартний діаметр барабана $D = 250\text{мм}$

Прийнятий діаметр приводного барабана перевіряється за середнім тиском стрічки на барабан

$$P_{cp} = \frac{360 * F_0}{D * \beta * \alpha * \pi} \leq [p_\phi]$$

Де $F_0 = S_{нб} - S_{сб}$ - тягове зусилля на приводному барабані, Н

α – кут обхвату стрічкою барабана, град;

$[p_\phi]$ - допустимий середній тиск стрічки на барабан, приймаємо

$$[p_\phi] = 20000\text{Па}.$$

$$F_0 = S_{нб} - S_{сб}$$

$$F_0 = 2808 - 1093 = 1715\text{Н}.$$

$$p = \frac{360 * 1715}{0,25 * 0,4 + 180 + 3,141} = 110924\text{Па} < [p] = 200000\text{Па}.$$

Умова міцності барабана виконується.

Довжина барабана для стрічки шириною менше 800мм:

$$L = B + 50,$$

$$L = 400 + 50 = 450\text{мм.}$$

На рис. 5.1 представлений ескіз приводного барабана.

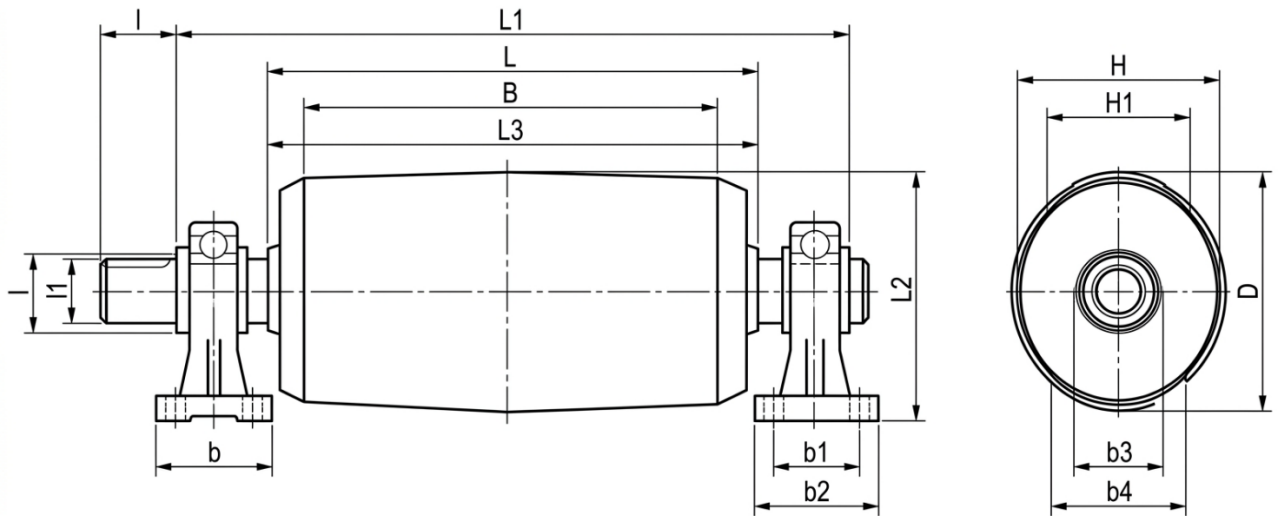


Рис. 5.1. Параметри та розміри приводного барабана

Таблиця 5.1 – Параметри та розміри приводного барабана[17]

Ширина стрічки, мм																Підшипник	Маса обертових частин барабана, кг
	D	L	L ₁	L ₂	L ₃	H	H ₁	b	b ₁	b ₂	b ₃	b ₄	d ₆	l ₁	l		
450	250	500	730	917	500	120	60	60	45	-	225	170	16	68	67	1308	38

Визначимо діаметр барабана, що відхиляє.

$$D_{60} = k' * k'' * i$$

де k'' - коефіцієнт призначення барабана, для барабанів, що відхиляють
приймаємо $k'' = 0,56$;

$$D_{60} = 125 \cdot 0,6 \cdot 2 = 150\text{мм.}$$

Приймаємо стандартний діаметр барабана $D_{60} = 160\text{мм.}$

На рис. 5.2 представлений ескіз барабана, що відхиляє.

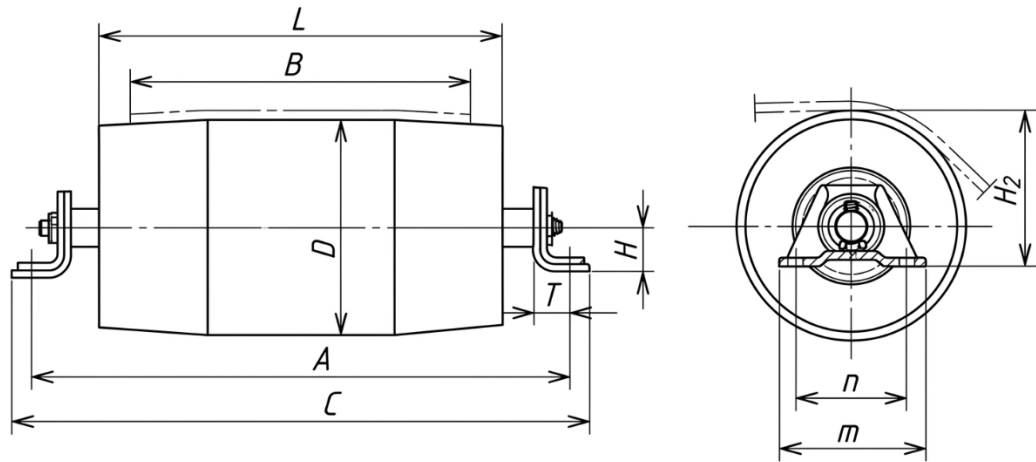


Рис. 5.2 – Параметри та розміри барабана, що відхиляє

Рядові роликоопори для робочої гілки вибираються відповідно до ширини стрічки і раніше призначеним кутом нахилу бічних роликів.

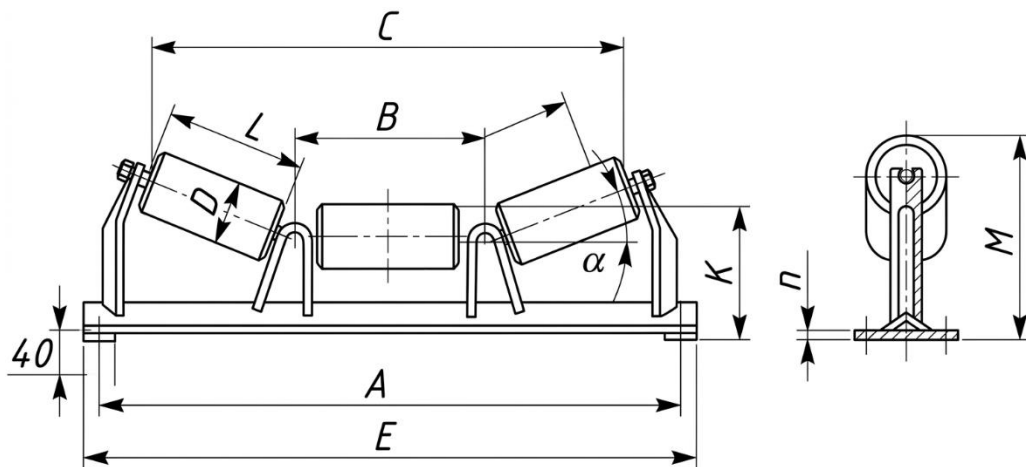


Рис. 5.3 – Схема параметрів та розмірів верхніх рядових жолобчастих роликоопор

Таблиця 5.2 – Параметри та розміри верхніх рядових жолобчастих Роликоопор

Ширин а стрічки, мм	Розміри, мм								Кут нахилу α , град.	Маса обертових частин, кг	
	D	K	L	A	E	C	M	n			
400	102	195	160	620	650	465	225	6	20	12,4	

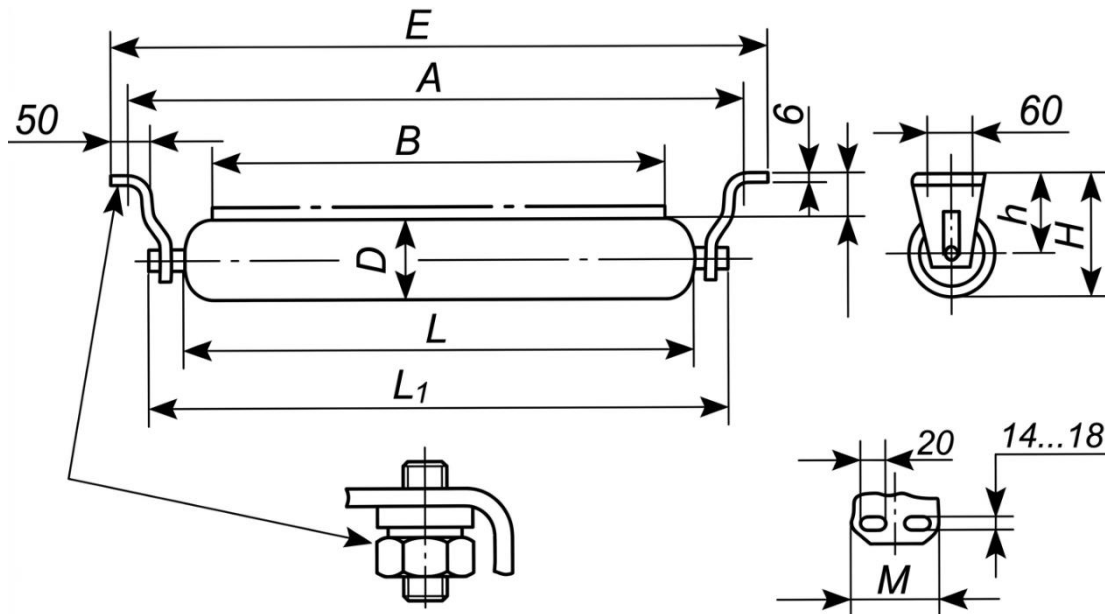


Рис. 5.4 – Схема параметрів та розмірів нижніх, прямих роликоопор

Основні параметри нижніх, прямих роликоопор зведено таблицю 5.3.

Таблиця 5.3 – Параметри та розміри нижніх, прямих роликоопор

Ширин а стрічки , мм	Розміри, мм										Маса оберткових частин, кг
	D	L_1	L	A	E	H	h	M	d_0	n	
400	102	524	500	620	660	157	106	100	12	6	6,0

5.2 Розрахунки на міцність стрічкового конвєсра

Перевірка на міцність вибраної стрічки

За уточненим значенням $S_{max} = S_6 = 2993H$ перевіряємо міцність стрічки.

Необхідна мінімальна кількість прокладок

$$i \geq \frac{S_{max}}{\sigma_{\pi} * B}$$

$$i \geq \frac{2993}{5,5 * 400} \geq 1,4$$

Не перевищує раніше отриману кількість прокладок $i=2$. Отже, обрана раніше стрічка приймаємо остаточно.

5.3 Кінематичні розрахунки редуктора стрічкового конвеєра

Потужність на приводному валу конвеєра [3]:

Де F_0 – тяговая сила, Н

$$N = \frac{F_0 \cdot V}{1000 \cdot \mu_{\text{мех}}}$$

$\eta_{\text{мех}} = 0,83$ – КПД механізму привода.

$$N = \frac{1853 \cdot 1,5}{1000 \cdot 0,83} = 3,35 \text{ кВт}$$

З таблиці вибираємо електродвигун типу 4A132S8Y3 номінальною потужністю $P_{\text{дв}} = 4,0$ кВт; при частоті обертання $n = 750 \text{ хв}^{-1}$; діаметр хвостовика $d_1 = 38 \text{ мм}$; габарит по ширині 260 мм. Момент інерції ротора $I_p = 0,042 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$. Кратність максимального моменту $\psi_{\text{max}} = 1,8$.

Вибір редуктора

Частота обертання валу приводного барабана

$$n_6 = \frac{60 \cdot V}{\pi \cdot D_6},$$

де D_6 – діаметр приводного барабана, м.

$$n_6 = \frac{60 \cdot 1,5}{3,14 \cdot 0,25} = 114 \text{ хв}^{-1}$$

Необхідне передатне число між валом двигуна та валом приводного барабана

$$i = \frac{n_{\text{дв}}}{n_6}$$

$$i = \frac{750}{114} = 7,01$$

Визначимо розрахунковий момент, що крутить, на валу приводного барабана.

$$M_{\text{кр}} = k_3 \cdot F_0 \cdot D_6 / 2,$$

де k_3 – коефіцієнт запасу, приймаємо $k_3 = 1,15$.

$$M_{\text{кр}} = 1,15 \cdot 1853 \cdot 0,25 / 2 = 267 \text{ Н} \cdot \text{м}$$

Вибираємо редуктор типу КЦ за такими умовами:

$$i_p \approx i_n,$$

$$n_p \geq n_{\text{дв}},$$

$$N_p \geq N_{\text{дв}} \quad (M_p \geq M_{\text{кр}}),$$

де i_p – табличне значення передавального числа редуктора;

n_p – допустима для редуктора частота обертання швидкохідного валу, об/хв;

N_p – допустима для редуктора потужність, кВт;

M_p – номінальне значення крутного моменту на тихохідному валу редуктора, Н·м.

З таблиці вибираємо конічно-циліндричний редуктор типорозміру КЦ1-200 з передавальним числом $u_p = 6,29$, що має при частоті обертання швидкохідного валу $n_{\text{ред}} = 600 \text{ хв}^{-1}$ потужність $N_{\text{ред}} = 5,4 \text{ кВт}$; діаметр вхідного вала $d_1 = 40 \text{ мм}$; діаметр вихідного вала $d_2 = 45 \text{ мм}$.

5.4 Розрахунок навантаження на ролик стрічкового конвеєра

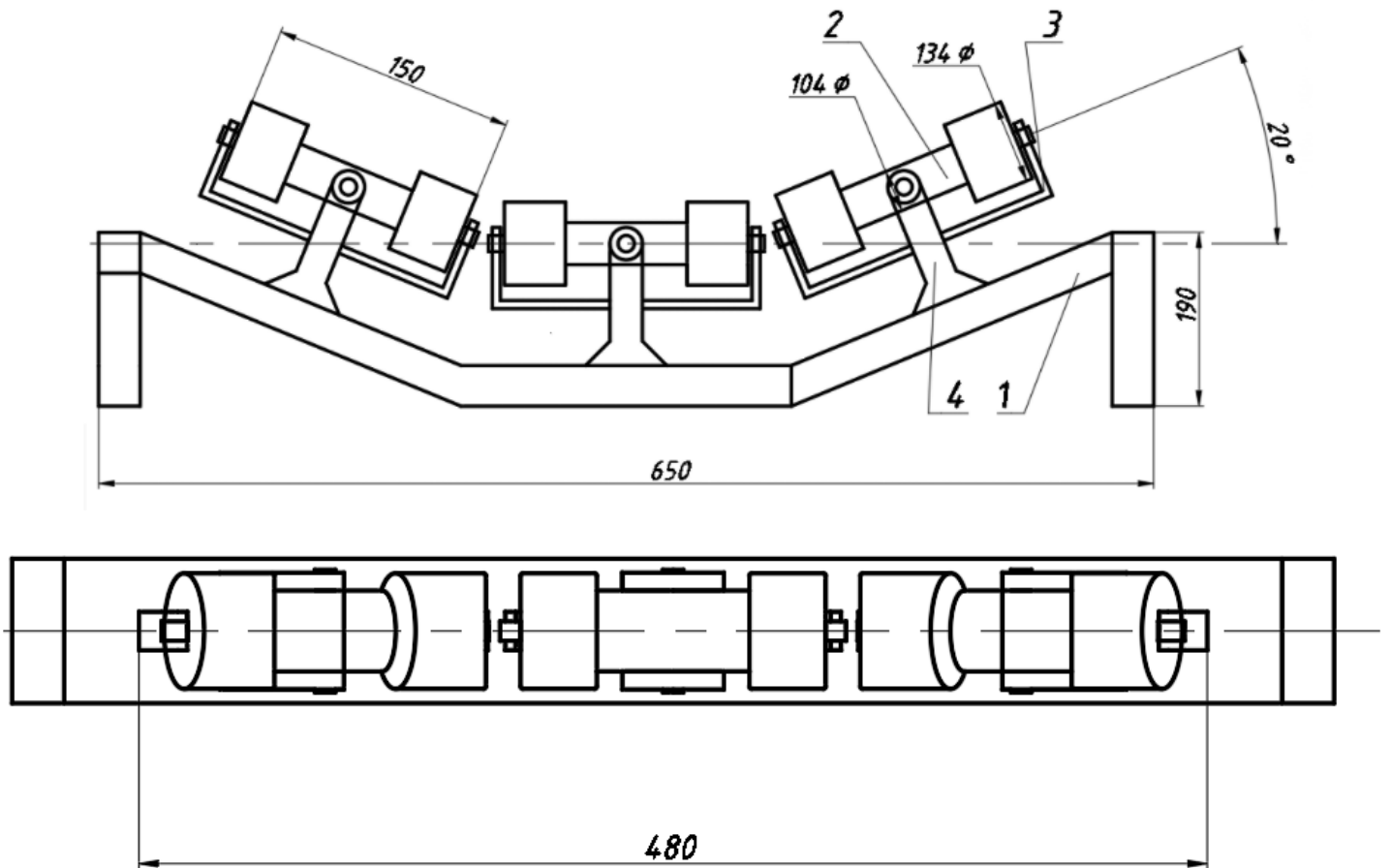


Рис. 5.5 – Схема навантаження на ролики

Розрахуємо площу поперечного перерізу вантажу:

$$S = \frac{0,182 + 0,465}{2} \cdot 0,051 = 0,0165 \text{ м}^2$$

Також врахуємо природний укіс при насипі вугілля:

Таблиця 5.4 – Кут природного укосу вугілля

В спокої	40°
В русі	12°

Додаткова площа поперечного перерізу при укосі вугілля:

$$S_{\text{ук}} = \frac{0,465 \cdot 0,465}{2 \cdot 2} \cdot \text{tg} 12^\circ = 0,0454 \text{ м}^2$$

Об'єм вугілля:

$$V = (S + S_{\text{ук}}) \cdot L = (0,0165 + 0,0454) \cdot 1,5 = 0,093 \text{ м}^3$$

Навантаження від такого об'єму вугілля на один ролик рівне:

$$P = \frac{V \cdot \rho \cdot g}{3} = \frac{0,093 \cdot 1500 \cdot 9,81}{3} = 456,2 \text{ Н}$$

де, ρ – щільність вугілля

5.5 3D-моделювання немодернізованої роликоопори в системі SolidWorks

Для побудови 3D-моделі вузла роликової опори використовуємо CAD систему SolidWorks.

Розглянемо побудову немодифікованої роликової опори. Вона складається із двох типів кронштейнів, косинок, швелера та трьох роликів[20].

Окремо здійснюємо побудову кожної окремої деталі:

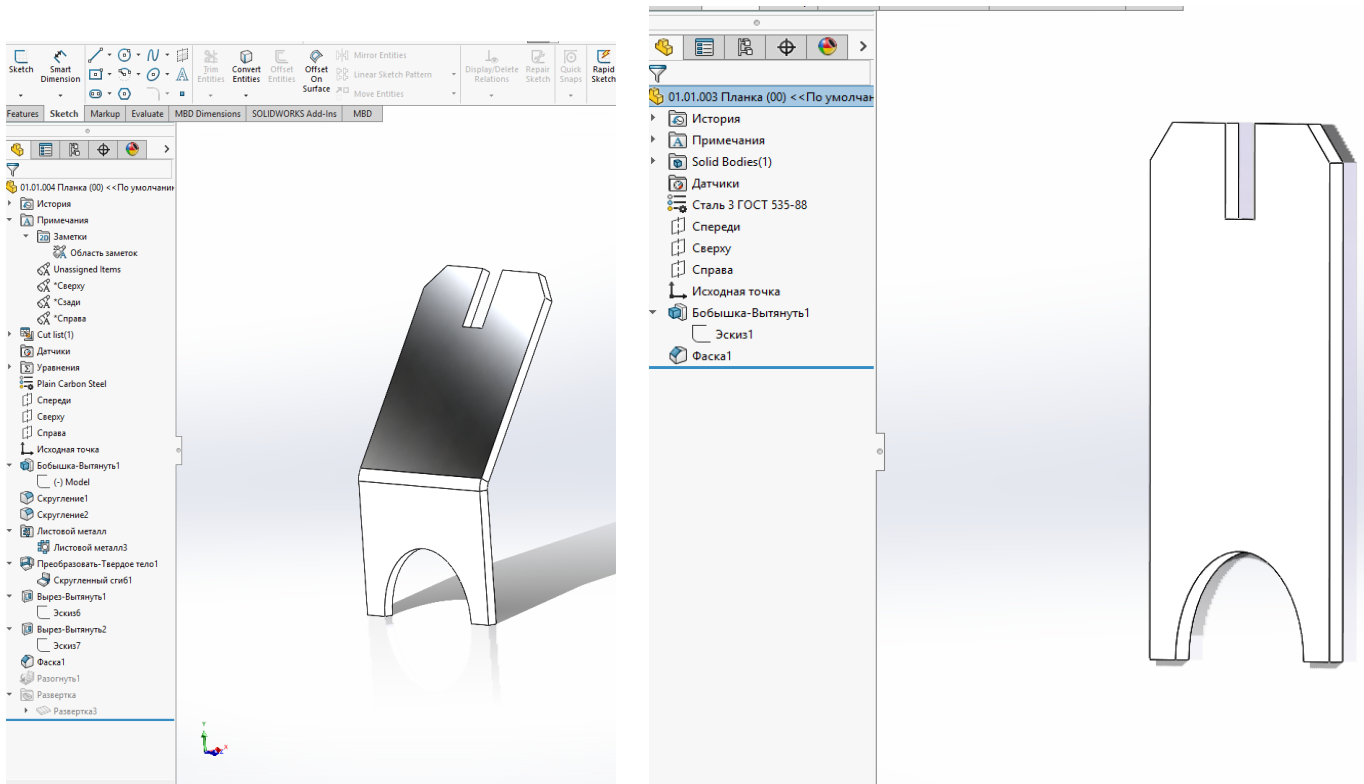


Рис. 5.6 – Кронштейн гнутий та прямий

Зліва на рис.5.6 зображено дерево побудови деталі. Можна помітити, що деталь виготовлена через гнуття листового матеріалу згідно потрібних розмірі

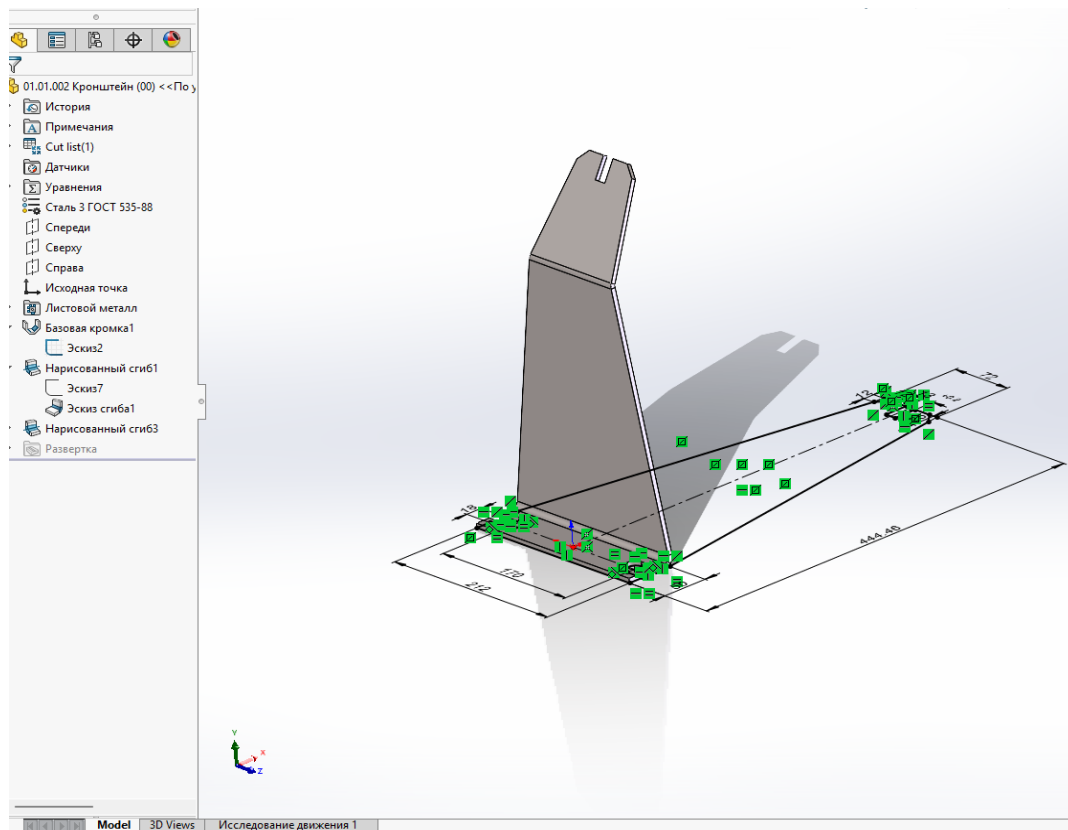


Рис. 5.7 – Кронштейна-стійка

На рис.5.7 зображено також гнутий листовий матеріал. По центру деталі виконано паз для фіксації роликів.

Основою роликової опори служить Траверса (рис. 5.8).

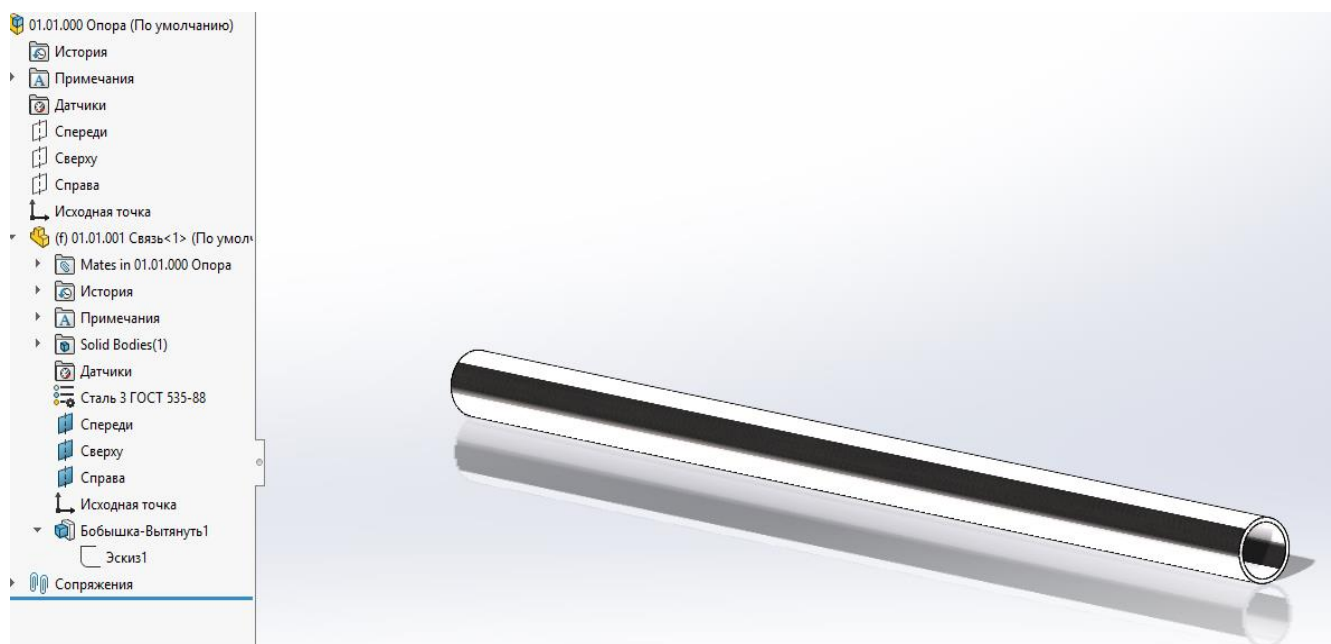


Рис. 5.8 –Траверса

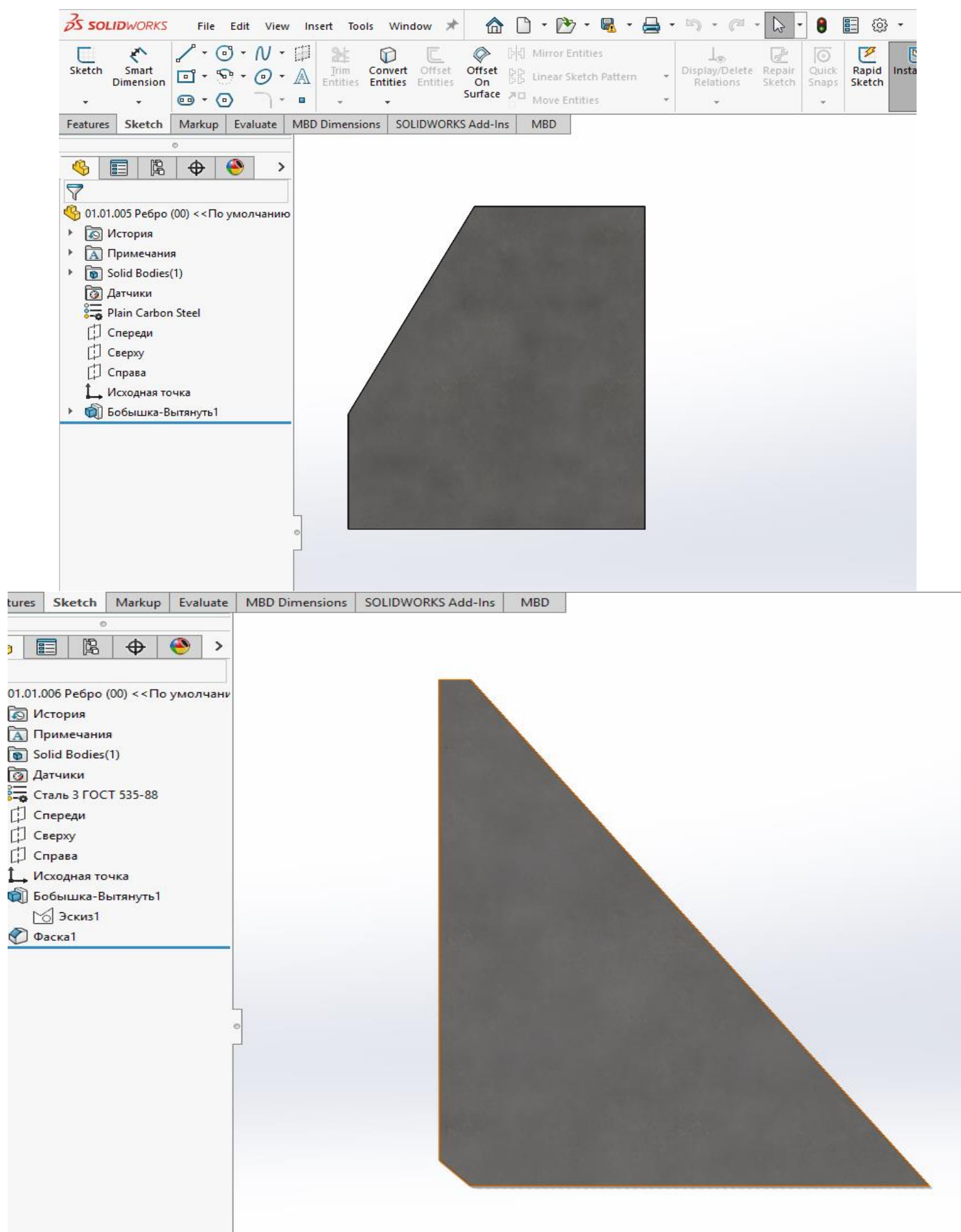


Рис. 5.9 – Ребро велике та маленьке

Для більш надійнішої фіксації деталі «Кронштейн-стійка» використовують ребра жорсткості, які приварюються і до стійки, і до основи (швелер).

На роликовій опорі розміщуються три однакових ролика (рис. 5.10) – один горизонтальний та два симетрично нахилені.

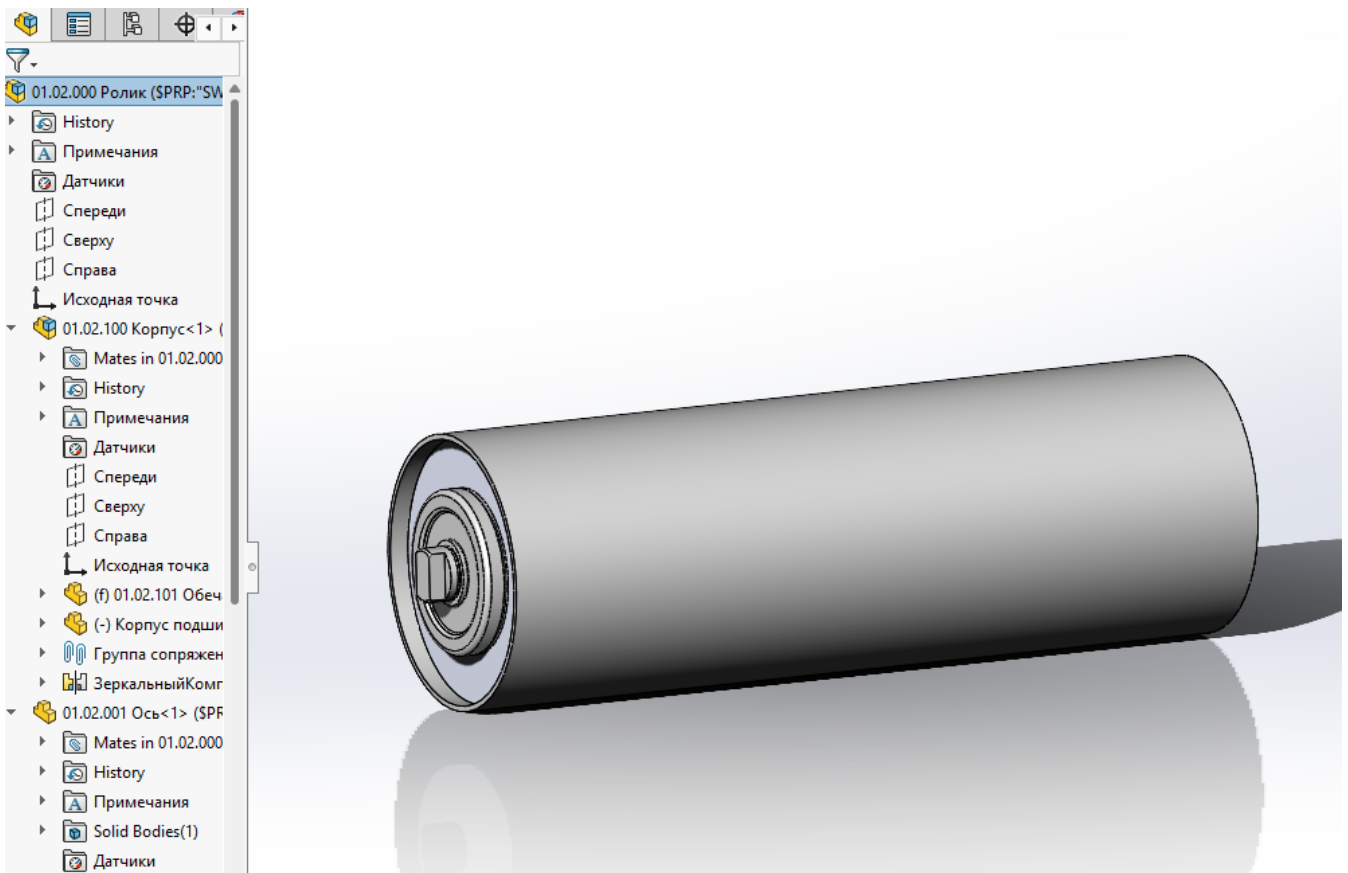


Рис. 5.10 – Ролик

Ролик являє собою окремий вузол, що складається із двох підшипників, стакану, двох втулок та валу, який виставляється по кронштейнах роликової опори (рис. 5.10).

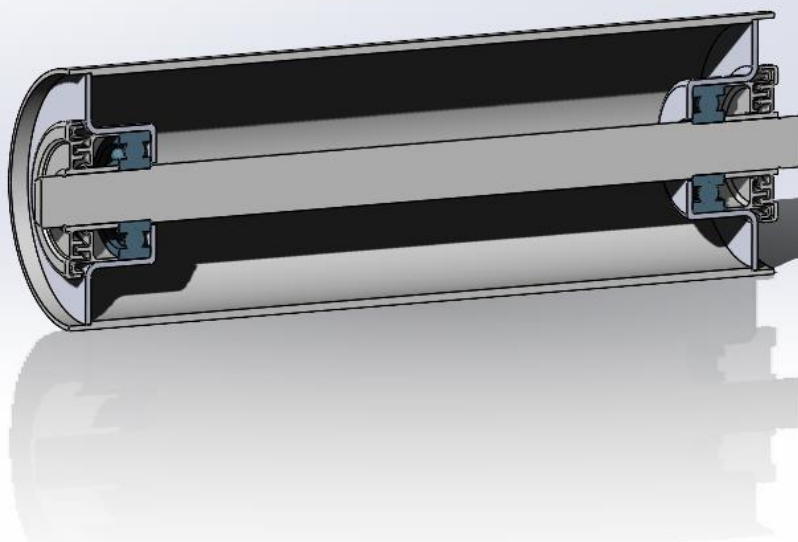


Рис.5.11 – Ролик в розрізі

Вузол роlikової опори в зборі виглядає наступним чином:

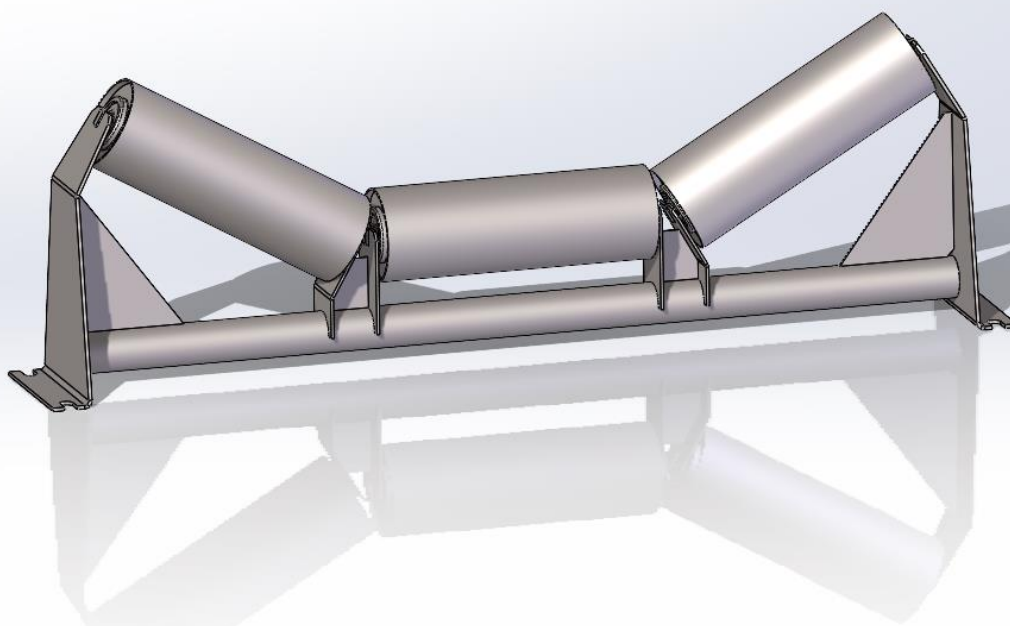


Рис. 5.12 – Немодифікована роlikова опора

5.6 3D-моделювання модернізованої роlikоопори в системі SolidWorks

Для побудови 3D-моделі вузла роlikової опори використовуємо CAD систему SolidWorks.

Розглянемо побудову модифікованого вузла роlikової опори.

Будуємо деталі модифікованої роlikової опори:

1. Рама – опора горизонтальна, основа вузла.

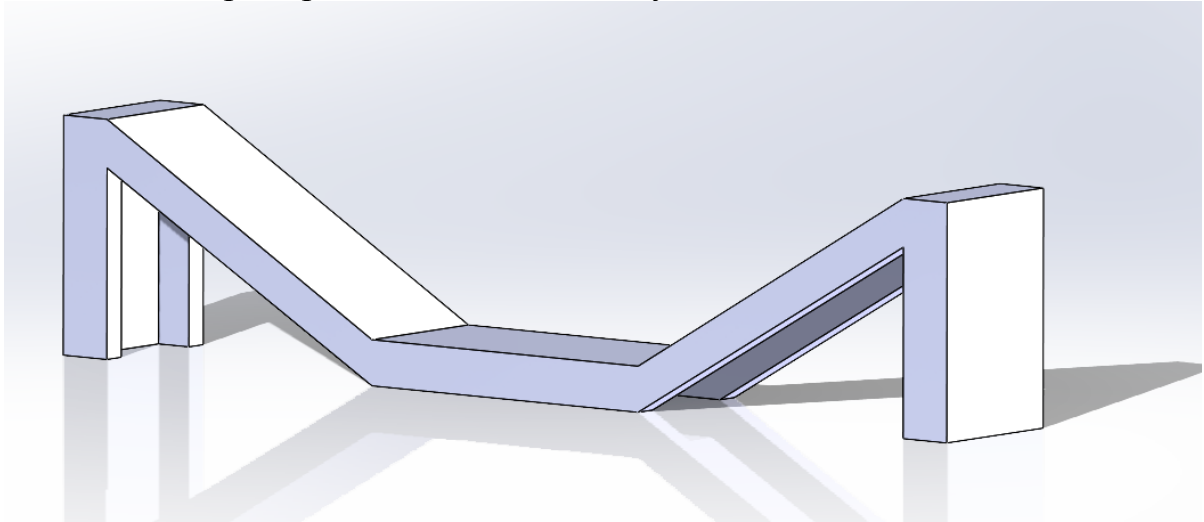


Рис. 5.13 – Основа модифікованої роlikової опори

2. Вуха в зборі з основою та косинками для більш надійного кріплення на швелері.

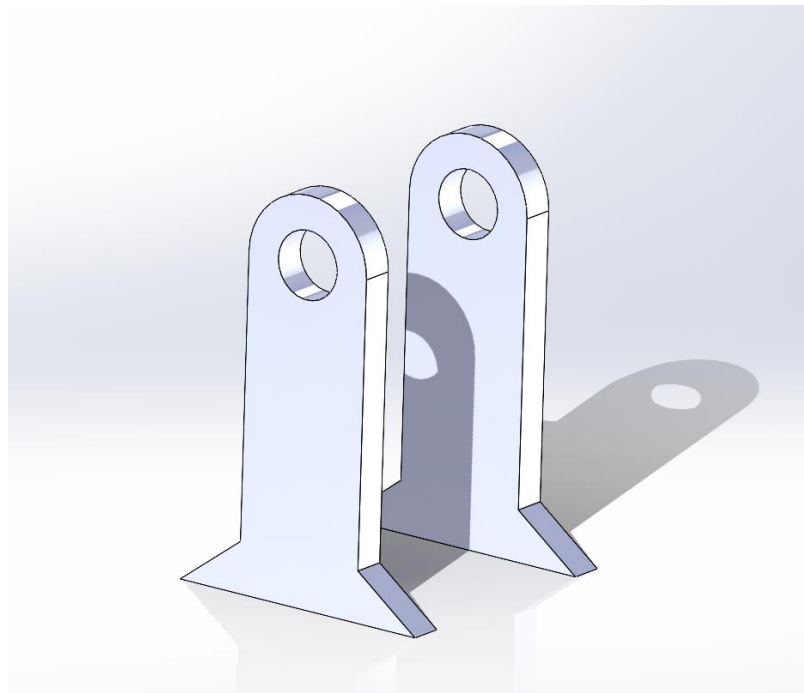


Рис. 5.14 – Кріпильне вуха роликів

3. Будуємо вісь та вал для фіксування осі в вухові (кронштейні). Основний діаметр вала та діаметр отворів в вухові та діаметр наскрізного отвору в осі однакові.

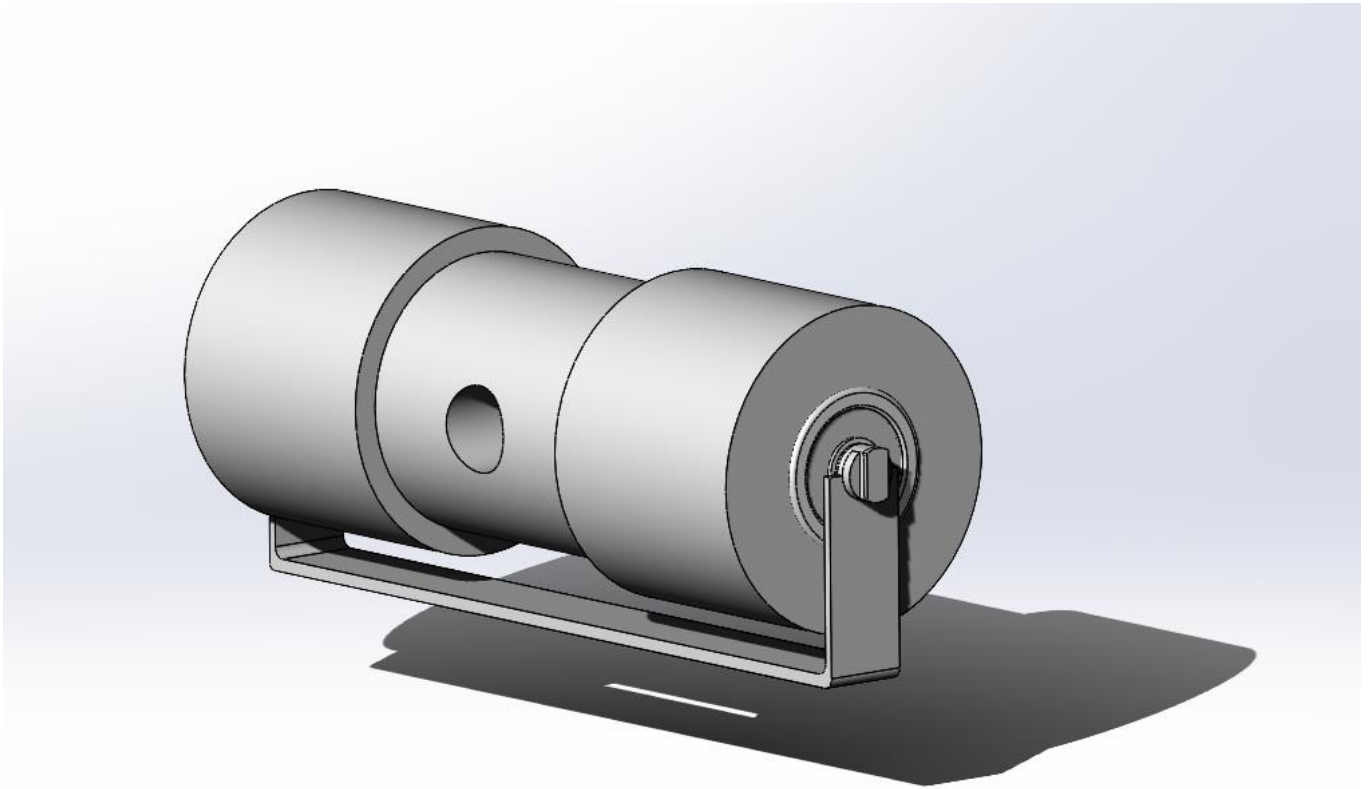


Рис. 5.15 – Корпус та П-подібна скоба

Лівий та правий ролик горизонтального ролика виконуються однаковими.

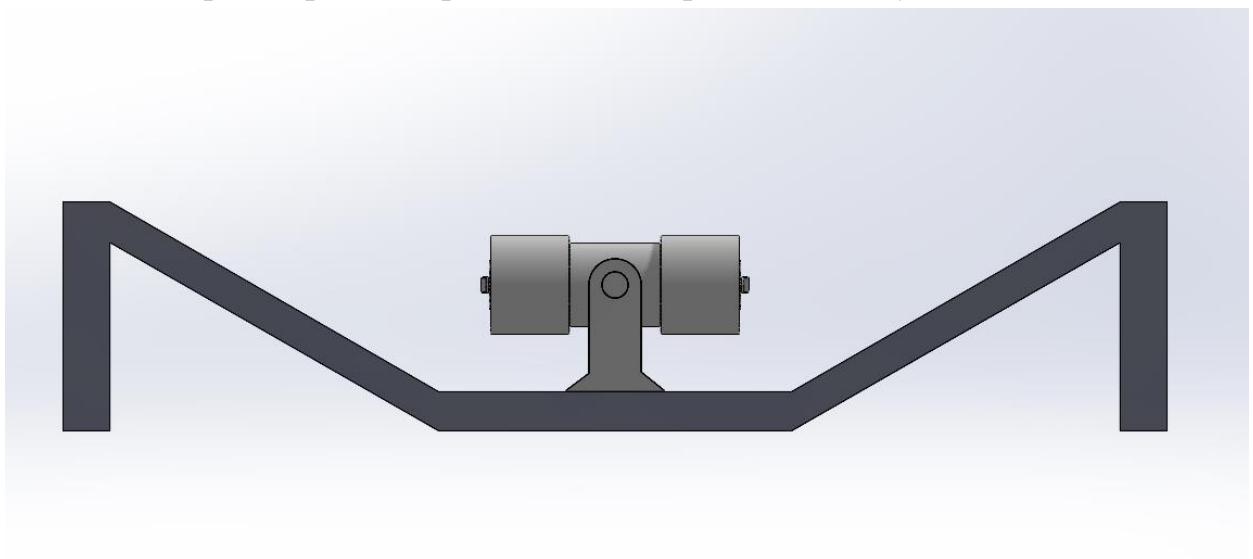


Рис. 5.16 – Додаємо швелери до опори

Встановлюємо на похилих швелерах аналогічно до попередніх пунктів ще дві ролика.

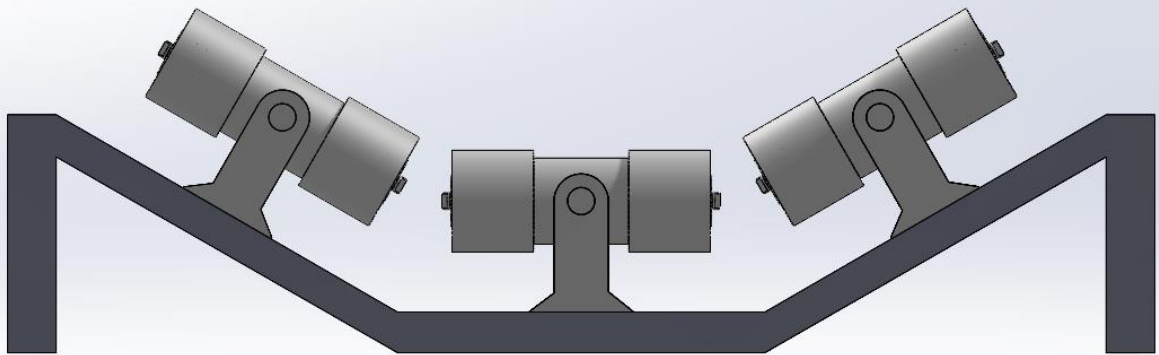


Рис. 5.17 – Три ролика на опорі та рама

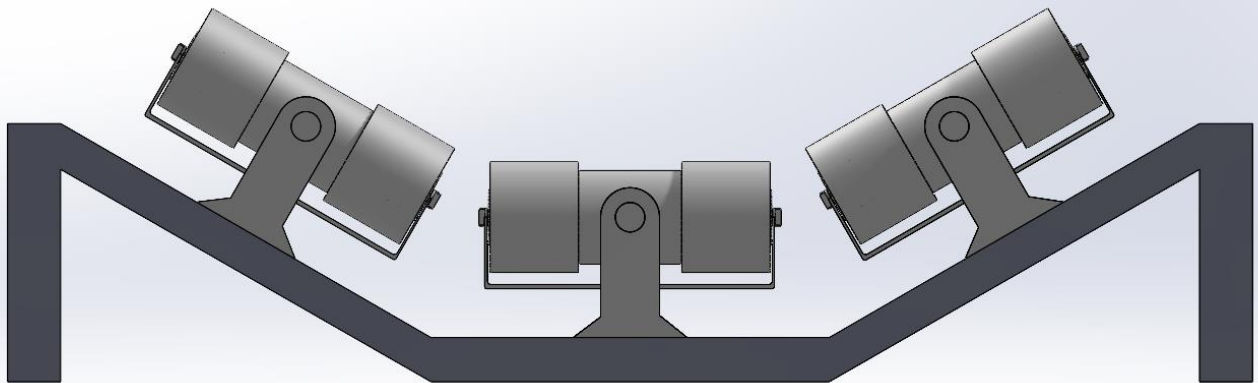


Рис. 5.18 – Модифікована роликова опора

На рис. 5.18 зображено збірку модифікованого вузла з доданими п-образними скобами.

5.7 Розрахунки на міцність немодернізованої роlikоопори за допомогою програмного комплексу ANSYS

Для розрахунків напружено-деформованого стану базової й модернізованої конструкцій опорного ролика за допомогою CAE-системи обрав програмне забезпечення ANSYS. Створюємо новий проект Static Structural та імпортуємо геометрію у вигляді STEP моделі базової конструкції ролика.

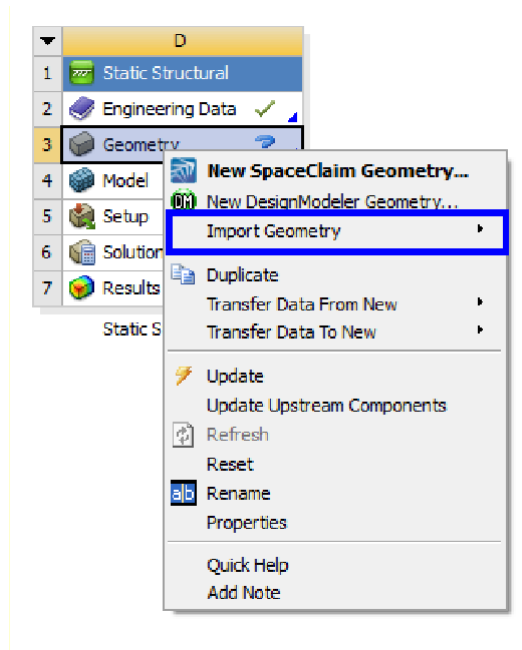


Рис. 5.19 – Створення нового проекту Static Structural

Переходимо в розділ Model де задаємо закріплення ролика відповідно до конструкції та навантаження, що відповідає вазі транспортувального матеріалу.

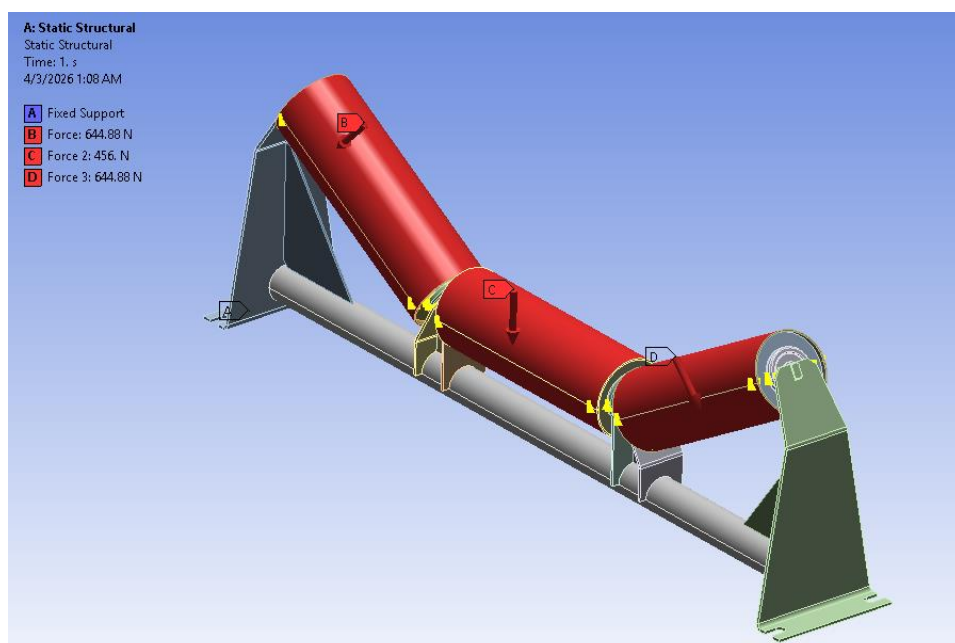


Рис. 5.20 – Задання закріплень і навантаження

Для проведення аналізу напружено-деформованого стану (НДС) роликкоопори були задані наступні умови, що відповідають реальному режиму роботи конвеєра:

Закріплення (Fixed support): Для імітації жорсткого кріплення роликкоопори до рами конвеєра було використано тип закріплення «Fixed support» (Нерухома геометрія).

Закріплення прикладені до нижньої частини кронштейнів-стійок, у місцях їхнього з'єднання з основною стійкою (рамою) роликкоопори.

Навантаження (Force): Навантаження у 456N прикладене до робочих поверхонь трьох роликів у напрямку дії сили тяжіння (вертикально вниз) Значення навантаження взято з розрахунків у пункті 5.4.

Далі задаємо необхідні розрахунки: переміщення, еквівалентні деформації, еквівалентні напруження та запас міцності.



Рис. 4.3 – Задання необхідних розрахунків

Задаємо матеріал деталі, у нашому випадку це сталь – 38X2МЮА.

1	Contents of Engineering Data	Source	Description
2	Material		
3	38X2MЮА	General_Materials.xml	Fatigue Data at zero mean stress comes from 1998 ASME BPV Code, Section 8, Div 2, Table 5-110.1

Properties of Outline Row 3: 38X2MЮА				
	A	B	C	D E
1	Property	Value	Unit	
2	Material Field Variables	Table		
3	Density	7850	kg m ⁻³	
4	Isotropic Secant Coefficient of Thermal Expansion			
5	Coefficient of Thermal Expansion	1.2E-05	C ⁻¹	
6	Isotropic Elasticity			
7	Derive from	Young's Modulus and Poisson's...		
8	Young's Modulus	2E+11	Pa	
9	Poisson's Ratio	0.3		
10	Bulk Modulus	1.6667E+11	Pa	
11	Shear Modulus	7.6923E+10	Pa	
12	Strain-Life Parameters			
13	Display Curve Type	Strain-Life		
14	Strength Coefficient	9.2E+08	Pa	
15	Strength Exponent	-0.106		
16	Ductility Coefficient	0.213		
17	Ductility Exponent	-0.47		
18	Cyclic Strength Coefficient	1E+09	Pa	
19	Cyclic Strain Hardening Exponent	0.2		
20	S-N Curve	Tabular		
21	Interpolation	Log-Log		
22	Scale	1		
23	Offset	0	Pa	
24	Tensile Yield Strength	2.5E+08	Pa	
25	Compressive Yield Strength	2.5E+08	Pa	
26	Tensile Ultimate Strength	4.6E+08	Pa	
27	Compressive Ultimate Strength	0	Pa	
28	Isotropic Thermal Conductivity	60.5	W m ⁻¹ C ⁻¹	
29	Specific Heat, C _p	434	J kg ⁻¹ C ⁻¹	
30	Isotropic Relative Permeability	10000		
31	Isotropic Resistivity	1.7E-07	ohm m	

Рис. 5.21 – Задання необхідного матеріалу нашій конструкції

Після підготовки задачі проводимо розрахунок базового ролика та отримуємо наступні результати.

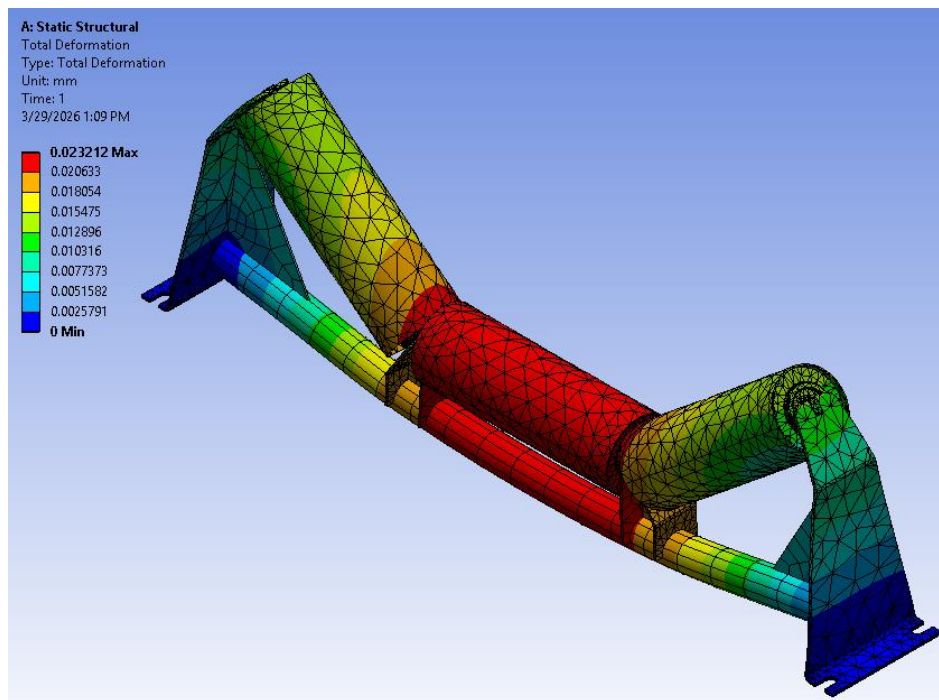


Рис. 5.22 Загальні переміщення

За результатами розрахунку максимальна сумарна деформація (Total Deformation) склала 0,0232 мм. Найбільші переміщення спостерігаються на середньому ролику, що є очікуваним через те, що це стрічковий конвеєр, основне навантаження припадає на середній роликоопор. Отримані результати свідчать про прийнятну загальну жорсткість розробленої конструкції. Еквівалентне напруження за Мізесом.

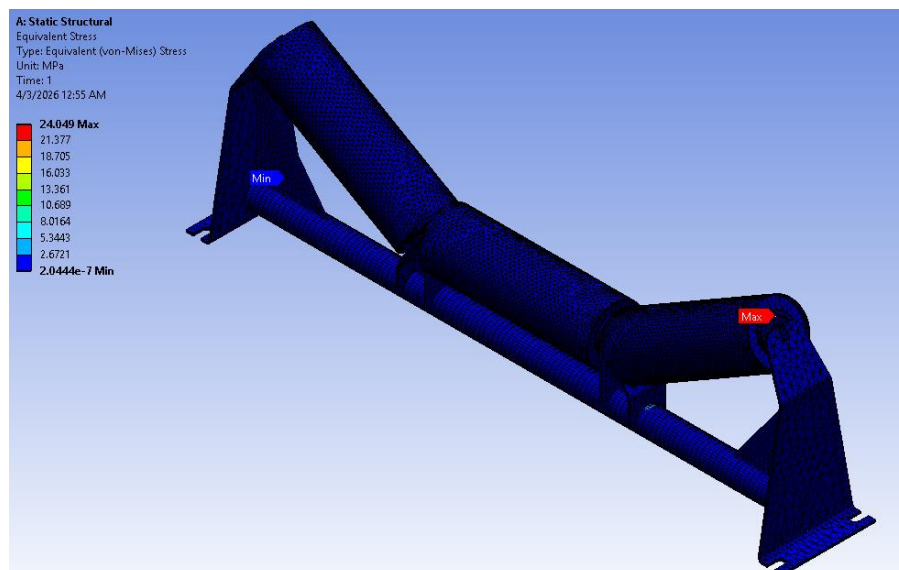


Рис. 5.23 Еквівалентні напруження конструкції

Проведений розрахунок підтвердив працездатність роликоопори. Максимальні напруження $\sigma_{\text{екв}} = 24,049$ МПа. Такий рівень навантаження зумовлений навантаженням стрічки. Максимальне напруження у кронштейнах-стійках (в місцях кріплення). Мінімальне напруження на основній частині траверси та бічних поверхнях

роликів. Ці елементи мають великий запас міцності тому залишаються практично недовантаженими

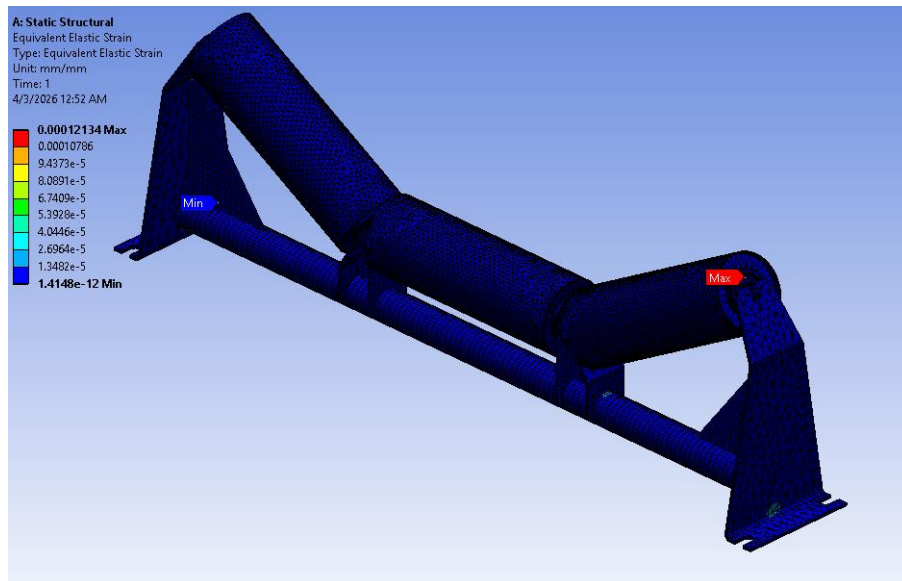


Рис. 5.24 Розподіл еквівалентних деформацій

.Отримані значення еквівалентних деформацій знаходяться в межах пружної області роботи матеріалу (сталі). Це свідчить про те, що конструкція має достатню жорсткість, а після зняття навантаження роликкоопора повернеться до своєї початкової форми без залишку пластичних деформацій.

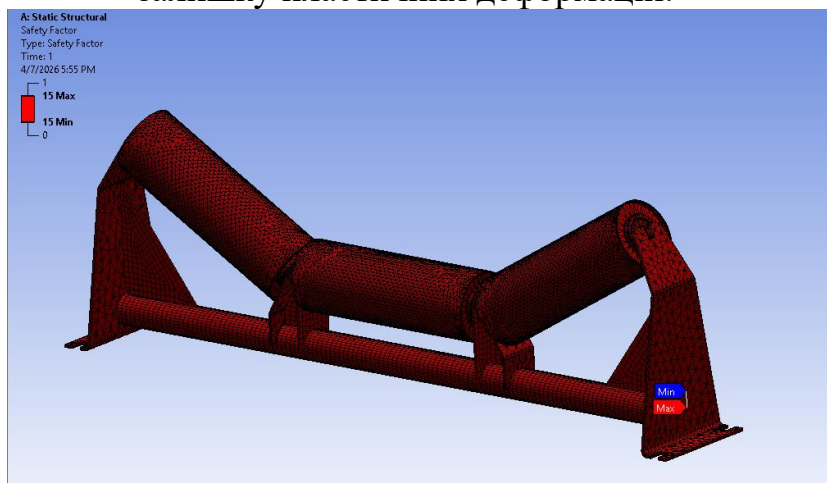


Рис. 5.25 Запас міцності конструкцій

Отримали найбільші еквівалентні напруження за Мізесом $\sigma_{екв} = 24,049$ МПа та найбільші деформації $s = 0,0232$ мм. Коефіцієнт запасу міцності конструкції складає

$$\frac{\sigma_t}{\sigma_{екв}} = \frac{835}{24,049} = 34,827, \quad n = 34,827$$

отриманий показник підтверджує, що діючі напруження не перевищують гранично допустимих значень для сталі 38Х2МЮА, що свідчить про надійність та працездатність роликкоопори стрічкового конвеєр.

5.8 Розрахунки модернізованої роликоопори за допомогою програмного комплексу ANSYS

Для розрахунку модернізованого ролика копіюємо оригінальний проект та замінюємо геометрію на 3Д-модель модернізованого ролика.

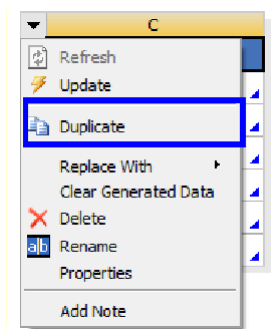


Рис. 5.26 – Створення дублікату проекту

Повторюємо всі дії, що й для базової конструкції змінюючи закріплення відповідно до модернізованої конструкції та залишаємо навантаження й матеріал незмінними для порівняння міцності.

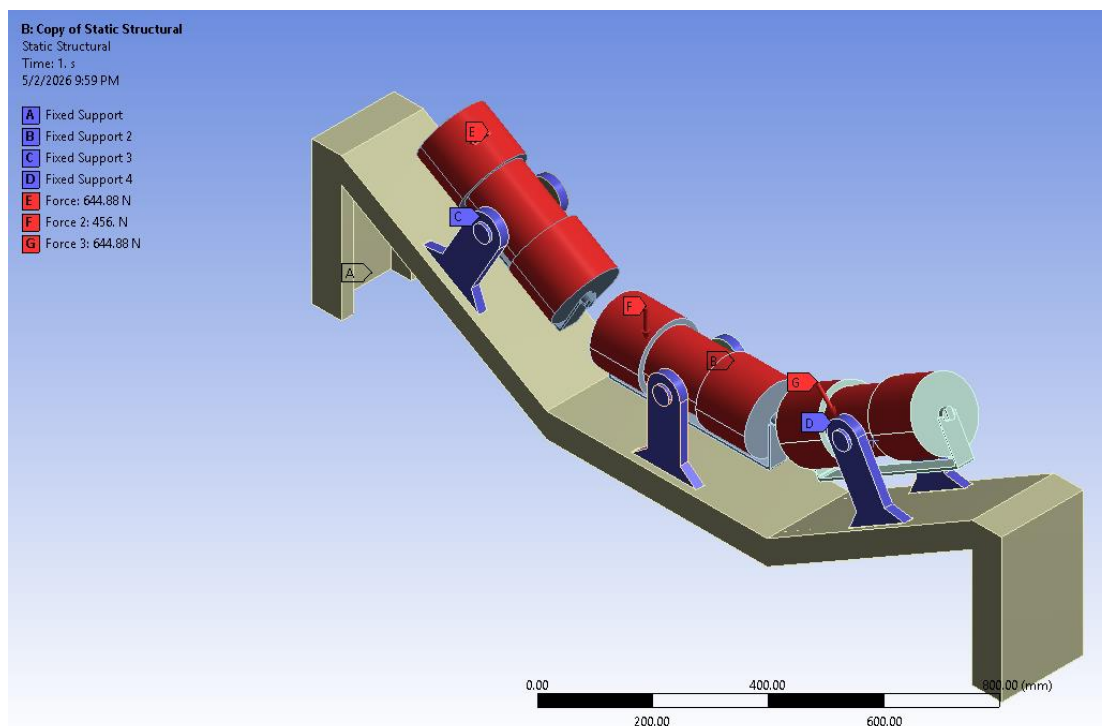
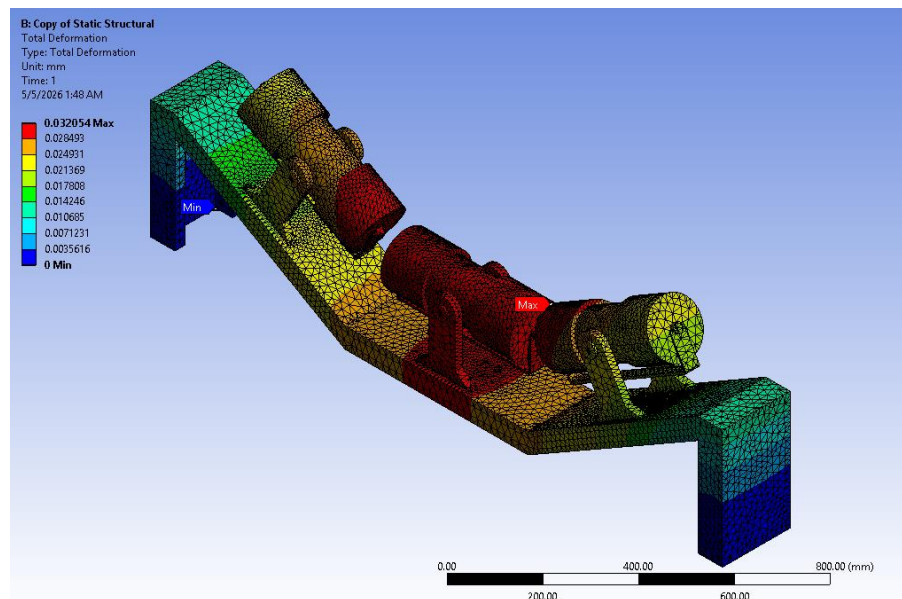
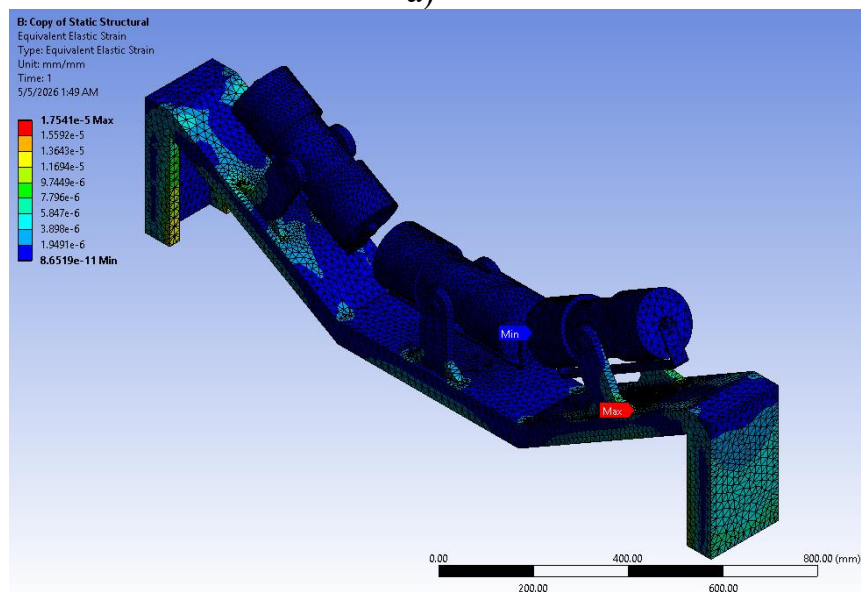


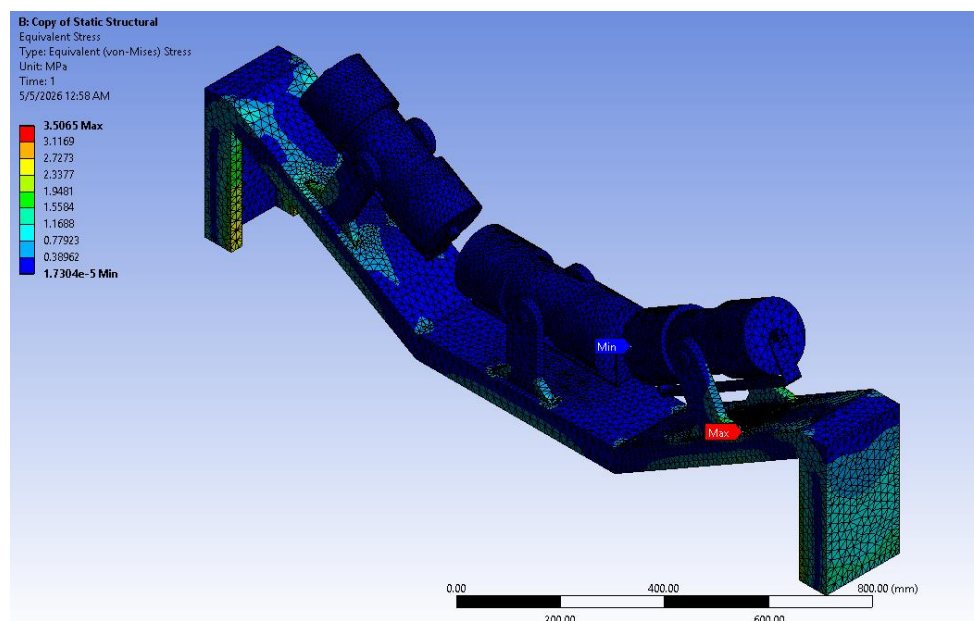
Рис. 5.27 – Задання закріплень і навантаження



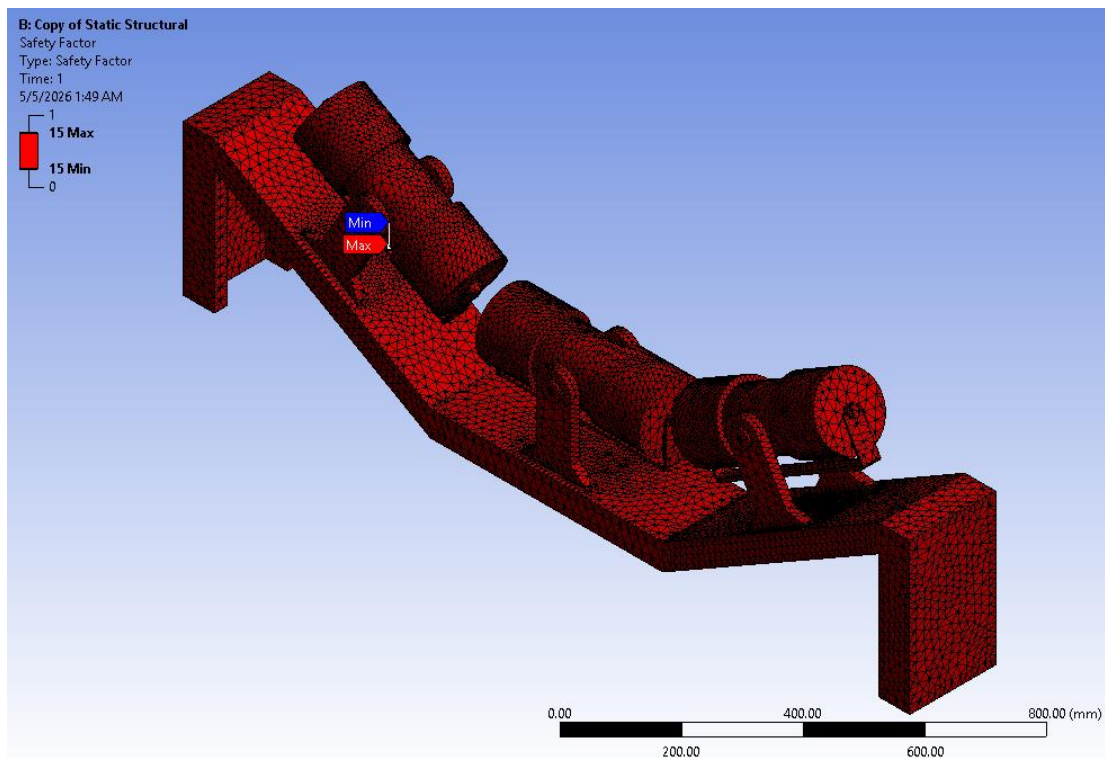
a)



b)



B)



г)

Рис. 5.28 – Отримані результати модернізованої моделі: а) розподіл переміщення, б) розподіл еквівалентних деформацій, в) розподіл еквівалентного напруження, г) розподіл коефіцієнту запасу міцності

Отримали найбільші еквівалентні напруження за Мізесом $\sigma_{\text{екв}} = 3,5$ МПа та найбільші деформації $s = 0,0130$ мм. Коефіцієнт запасу міцності конструкції складає

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_{\text{екв}}} = \frac{835}{3,5} = 238,6 ; n = 238,6$$

отриманий показник підтверджує значне підвищення надійності конструкції після модернізації. Завдяки впровадженню П-подібних скоб за патентом UA 126108 максимальні напруження знизились на 85,4% порівняно з базовою конструкцією, а коефіцієнт запасу міцності зріс у 6,9 рази, що свідчить про суттєве підвищення працездатності та довговічності модернізованої роликоопори стрічкового конвеєра.

ВИСНОВКИ ПО РОЗДІЛУ

В результаті при виготовленні роликів з однакового матеріалу та з незмінними навантаженнями модернізована конструкція має розподіл еквівалентного напруження 3.5 МПа порівняно з базовою - 24.049 МПа. Таким чином, модернізація дозволила знизити рівень еквівалентних напружень приблизно на 85,4%, що свідчить про суттєво більш рівномірний розподіл навантаження в елементах конструкції та зменшення концентрацій напружень у критичних зонах.

Отриманий результат пояснюється вдосконаленням конструкції роликоопори, зокрема застосуванням шарнірного кріплення осей та додаткових П-подібних скоб, які забезпечують кращу адаптацію конструкції до дії навантаження.

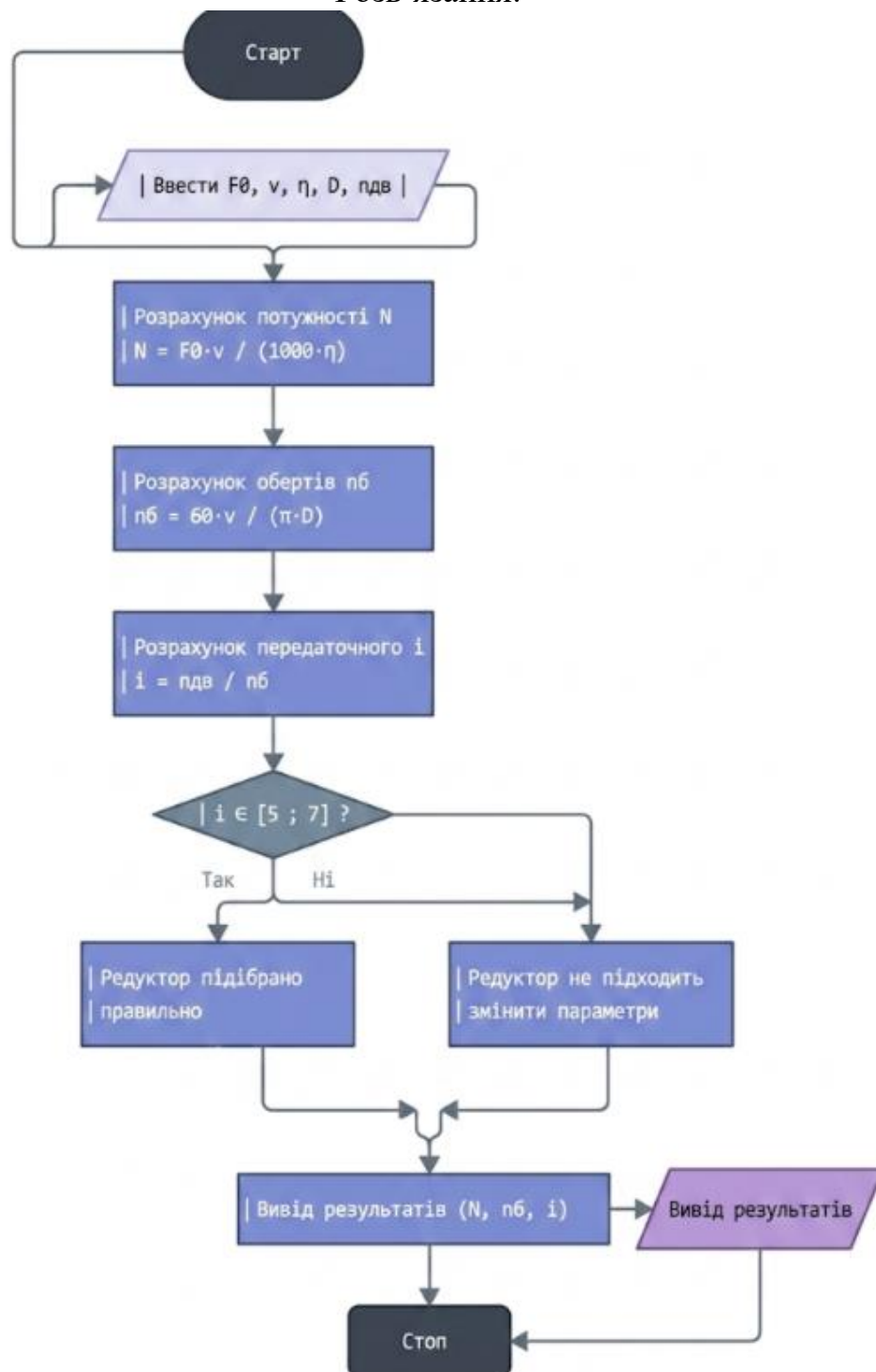
Зниження рівня напружень значно підвищує довговічність вузла, зменшує ймовірність виникнення пластичних деформацій і руйнування, що в цілому покращує надійність та ефективність роботи стрічкового конвеєра.

5.9 Виконання параметричного розрахунку за допомогою мови програмування с++

Таблиця 5.5 – Вихідні дані для розрахунків

№	Вхідні дані	формула	Результат
1	$F_0 = 1853 \text{ Н}$	$N = F_0 \cdot v / (1000 \cdot \eta)$	$N = 3.05 \text{ кВт}$
2	$v = 1.4 \text{ м/с}$	$n_б = 60 \cdot v / (\pi \cdot D)$	$n_б = 107 \text{ об/хв}$
3	$D = 0.25 \text{ м}$	$i = n_{дв} / n_б$	$i = 6.54$
4	$n_{дв} = 700 \text{ об/хв}$	-	-
5	$\eta = 0.85$	-	-

Розв'язання:



```
Terminal

nikita@pc:~/kpi/ycheba/diplom$ g++ -o konveyer konveyer.cpp
nikita@pc:~/kpi/ycheba/diplom$ ./konveyer
=====
    РОЗРАХУНОК СТРИЧКОВОГО КОНВЕЄРА (роликоопора, транспорт вугілля)
    Натисніть Enter, щоб прийняти значення за замовчуванням.
=====

>>> Вхідні дані для навантаження на ролик:
Ширина потоку вантажу b, м [0.465]:
Висота шару вантажу h, м [0.180]:
Кут природного укосу в спокої, град [40.000]:
Довжина ділянки L, м [1.500]:
Щільність вугілля rho, кг/м^3 [1500.000]:

>>> Вхідні дані для барабана та приводу:
Ширина стрічки B, м [0.400]:
Коефіцієнт міцності стрічки k' [125.000]:
Коефіцієнт призначення барабана k'' [1.000]:
Число прокладок у стрічці i [2.000]:
Тягове зусилля F0, Н [1853.000]:
Кут обхвату стрічкою барабана, град [180.000]:
Швидкість стрічки V, м/с [1.400]:
Частота обертання двигуна n, об/хв [700.000]:
ККД механізму приводу [0.850]:
Коефіцієнт запасу kz [1.150]:

>>> Вхідні дані для перевірки стрічки:
Максимальне натягнення Smax, Н [2993.000]:
Допустиме напруження прокладки, Н/мм [5.500]:

-----
РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ
-----

[1] Навантаження на ролик:
    Площа перерізу вантажу S      = 0.016 м^2
    Дод. площа при укосі Sук      = 0.045 м^2
    Об'єм вугілля V               = 0.092 м^3
    Навантаження на ролик P       = 452.917 Н

[2] Приводний барабан:
    Діаметр барабана Dб           = 250.000 мм
    Середній тиск стрічки p_ср     = 37060.000 Па
    Умова міцності (p_ср < 20000.000 Па): НЕ ВИКОНУЄТЬСЯ

[3] Кінематика приводу:
    Частота барабана nб           = 106.952 об/хв
    Передатне число i             = 6.545
    Потужність на валу N           = 3.052 кВт
    Крутний момент Mкр            = 266.369 Н*м

[4] Перевірка міцності стрічки:
    Мін. кількість прокладок i_min = 1.360
    Прийнято прокладок i          = 2
    Умова (i_min <= i): ВИКОНУЄТЬСЯ - стрічка підходить

-----
Розрахунок завершено.
nikita@pc:~/kpi/ycheba/diplom$
```

Рис. 5.29 – Розрахунок на мові C++

ВИСНОВКИ

Було проведено параметричний розрахунок стрічкового конвеєра з використанням мови програмування C++ у середовищі Visual Studio Code. Програма, написана мовою C++, забезпечує вивід результатів у консоль, які продемонстровані вище. Отже, даний розрахунок підтверджує правильність виконання обчислень.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності. Згідно зі статтею 153 Кодексу законів про працю України та Законом України «Про охорону праці» від 14.10.1992 № 2694-XII умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, стан обладнання та засобів захисту повинні відповідати вимогам нормативних актів з охорони праці.

Згідно з темою дипломного проєкту «Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією роликсопори» у цьому розділі розглянуто умови праці на транспортній дільниці, де здійснюється переміщення кам'яного вугілля стрічковим конвеєром.

Об'єктом аналізу є транспортна дільниця, на якій встановлено стрічковий конвеєр продуктивністю 70 т/год зі швидкістю стрічки 1,5 м/с, шириною стрічки 400 мм та довжиною транспортування 54 м. Конвеєр розміщено у транспортній галереї завдовжки 54 м і завширшки 3 м; площа дільниці становить 162 м², висота галереї — 3,5 м, об'єм приміщення — 567 м³. Зазначені розміри дільниці враховуються далі під час нормування шкідливих і небезпечних факторів. Дільниця працює у дві зміни при температурі навколишнього середовища від -15 до +30 °C та відносній вологості повітря 60–95 %.

На зазначеній дільниці на працівників діє низка небезпечних і шкідливих виробничих факторів (НШВФ), перелік яких та їх нормативні обмеження наведено в таблиці 6.1. У межах розділу детально розглянуто основні фактори: підвищену запиленість повітря вугільним пилом, підвищені рівні шуму та вібрації, механічні небезпеки від рухомих частин конвеєра, несприятливий мікроклімат, а також пожежну та електричну небезпеку. Для кожного фактора наведено нормативні значення згідно з чинними документами, проаналізовано фактичний стан на дільниці та надано рекомендації щодо зниження ризику.

Таблиця 6.1 — Небезпечні і шкідливі виробничі фактори

Фактор	Характеристика та норматив
Пил	ГДК вугільного пилу — 4 мг/м ³ (наказ МОЗ від 09.07.2024 № 1192)
Шум і вібрація	Шум — не більше 80 дБА (ДСН 3.3.6.037-99); загальна вібрація — за ДСН 3.3.6.039-99
Механічні небезпеки	Огородження — ДСТУ EN 953:2014; безпечні відстані — ДСТУ EN ISO 13857:2021
Мікроклімат	Оптимальні параметри за ДСН 3.3.6.042-99 (категорія робіт Па)
Пожежна безпека	НАПБ А.01.001-2014; ДСТУ 8828:2019; НКМ поширення полум'я пилу ≈ 35 г/м ³
Електробезпека	ДСТУ Б В.2.5-82:2016, ПУЕ; опір заземлення — не більше 4 Ом

6.1 Запиленість повітря робочої зони

Згідно з Державними медико-санітарними нормативами допустимого вмісту хімічних і біологічних речовин у повітрі робочої зони, затвердженими наказом МОЗ України від 09.07.2024 № 1192, гранично допустима концентрація (ГДК) вугільного пилу у повітрі робочої зони становить 4 мг/м³.

На транспортній дільниці фактична концентрація вугільного пилу в зоні завантаження та пересипання сягає 85–140 мг/м³. Джерелом пилоутворення є вузли завантаження, пересипання й розвантаження вугілля, а також просипання матеріалу вздовж траси конвеєра. Таким чином, фактичний рівень запиленості перевищує ГДК у 20–35 разів, що становить значну загрозу для органів дихання працівників.

Я рекомендую для зниження запиленості застосувати засоби колективного захисту: встановити місцеву аспірацію з рукавними фільтрами у зонах завантаження і пересипання та систему зрошення (зволоження) вугілля, яка знижує пилоутворення на 40–60 %. Як засоби індивідуального захисту я рекомендую протипилові респіратори класу FFP3 (наприклад, 3M Aura 9332+) за ДСТУ EN 149:2017 та захисні окуляри з антизапітнілим покриттям (наприклад, Uvex Pheos) за ДСТУ EN 166:2017.

Я зробив висновок, що після впровадження запропонованих заходів концентрація вугільного пилу знижується до значень, що не перевищують ГДК, і цей фактор перестас становити небезпеку для здоров'я працівників.

6.2 Шум і вібрація

Відповідно до ДСН 3.3.6.037-99 «Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку» еквівалентний рівень шуму на постійних робочих місцях не повинен перевищувати 80 дБА. Допустимі рівні загальної виробничої вібрації регламентує ДСН 3.3.6.039-99 «Державні санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації».

Під час роботи конвеєра фактичний рівень шуму на ділянці сягає 92 дБА. Основними джерелами шуму та вібрації є приводний електродвигун потужністю 3 кВт, редуктор, обертання приводного й натяжного барабанів, а також роlikоопори під час руху стрічки. Перевищення допустимого рівня шуму складає 12 дБА, що потребує впровадження заходів зі зниження шумового навантаження.

Я рекомендую як засоби колективного захисту виконати динамічне балансування барабанів і роликів, установити пружні віброізолювальні опори під привід та редуктор, а також застосувати звукопоглинальні кожухи на приводній станції. Як засоби індивідуального захисту я рекомендую протишумові навушники (наприклад, ЗМ Peltor Optime III) із рівнем зниження шуму до 35 дБ за ДСТУ EN 352-1:2018.

Після впровадження зазначених заходів рівень шуму на робочих місцях знижується до 78–80 дБА, що відповідає нормативним вимогам.

6.3 Механічні небезпеки

Вимоги безпеки до рухомих частин машин і захисних огорожень установлює ДСТУ EN 953:2014. Мінімальні безпечні відстані для запобігання досягненню небезпечних зон визначає ДСТУ EN ISO 13857:2021, вимоги до пристроїв аварійного зупинення — ДСТУ EN ISO 13850:2016, а загальні принципи оцінювання та зниження ризиків — ДСТУ EN ISO 12100:2016.

На ділянці механічну небезпеку становлять рухома стрічка зі швидкістю 1,5 м/с, обертові барабани, ролики, муфта та редуктор. Найбільш небезпечними є зони контакту стрічки з барабанами та переходу на роlikоопори, де можливе затягування одягу або

кінцівок працівника. За відсутності захисних огорожень зазначені зони створюють високий ризик механічного травмування.

Я рекомендую встановити суцільні або сітчасті захисні огороження на всіх рухомих частинах конвеєра, розраховані на зусилля не менше 250 Н (ДСТУ EN 953:2014). Уздовж усієї траси конвеєра я рекомендую змонтувати тросові вимикачі аварійного зупинення так, щоб відстань від будь-якої точки до найближчого вимикача не перевищувала 10 м, а висота встановлення була в межах 0,6–1,7 м (ДСТУ EN ISO 13850:2016). Як засоби індивідуального захисту я рекомендую захисні каски (наприклад, ЗМ Н-700) за ДСТУ EN 397:2017, захисне взуття з металевим підноском та антиковзною підошвою (наприклад, Caterpillar S3) за ДСТУ EN ISO 20345:2016 і спецодяг прилеглого крою без вільних елементів за ДСТУ EN ISO 13688:2016.

Я зробив висновок, що застосування захисних огорожень, системи аварійного зупинення та засобів індивідуального захисту знижує ризик механічного травмування до допустимого рівня.

6.4 Мікроклімат

Параметри мікроклімату на ділянці нормуються згідно з ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи з обслуговування конвеєра належать до категорії середньої важкості (Па). Па — 150–200 ккал/год;. Оптимальні параметри мікроклімату для цієї категорії наведено в таблиці 6.2.

Таблиця 6.2 — Оптимальні параметри мікроклімату (категорія робіт Па)

Параметр	Теплий період	Холодний період
Температура повітря, °C	22–24	21–23
Відносна вологість, %	40–60	40–60
Швидкість руху повітря, м/с	до 0,2	до 0,1

Фактичні умови роботи (температура від –15 до +30 °C, вологість 60–95 %) суттєво відхиляються від оптимальних, оскільки ділянка експлуатується у будь-яку пору року. Я рекомендую обмежити тривалість безперервної роботи при температурі нижче –15 °C з організацією перерв на обігрів, передбачити перерви для відпочинку при температурі вище +28 °C та забезпечити персонал вологостійким утепленням спецодягом. Після

впровадження цих заходів вплив несприятливого мікроклімату на працівників знижується до допустимого рівня.

6.5 Пожежна та електрична безпека

Кам'яне вугілля та вугільний пил є горючими: нижня концентраційна межа поширення полум'я вугільного пилу становить близько 35 г/м³, тому дільниця належить до пожежонебезпечної зони. Вимоги пожежної безпеки встановлюють Правила пожежної безпеки в Україні (НАПБ А.01.001-2014) та ДСТУ 8828:2019 «Пожежна безпека. Загальні положення». Електробезпека забезпечується відповідно до ДСТУ Б В.2.5-82:2016 та Правил улаштування електроустановок (ПУЕ); опір захисного заземлення металоконструкцій не повинен перевищувати 4 Ом.

Джерелом небезпеки є приводний електродвигун (3 кВт, 380 В), кабельні лінії та накопичення горючого вугільного пилу на конструкціях конвеєра в умовах підвищеної вологості[16].

Я рекомендую виконати захисне заземлення корпусу електродвигуна, редуктора та рами конвеєра з опором не більше 4 Ом, застосувати пристрої захисного відключення (ПЗВ) та електрообладнання зі ступенем захисту не нижче IP54. Перед технічним обслуговуванням я рекомендую повне знеструмлення з вивішуванням таблички «Не вмикати — працюють люди». Для пожежогасіння я рекомендую встановити порошкові вогнегасники ВП-5 з розрахунку 2 шт. на 100 м траси та ящики з піском, а також регулярно прибирати пилові відкладення. Як засоби індивідуального захисту під час робіт з електрообладнанням я рекомендую діелектричні рукавиці, боти та ізолювальний килимок.

Після впровадження зазначених заходів пожежна та електрична небезпека на дільниці знижується до допустимого рівня.

6.6 Охорона навколишнього середовища

Експлуатація стрічкового конвеєра для транспортування вугілля супроводжується негативним впливом на довкілля, основними видами якого є викиди вугільного пилу в атмосферне повітря, забруднення ґрунту просипаннями вугілля вздовж траси конвеєра та утворення відпрацьованих мастильних матеріалів під час технічного обслуговування.

Загальні вимоги у сфері охорони довкілля встановлює Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища».

Для зниження викидів вугільного пилу в атмосферу я рекомендую використовувати систему місцевої аспірації з рукавними фільтрами та зрошення вугілля, передбачену для захисту робочої зони (п. 6.1); ефективність очищення повітря рукавними фільтрами становить не менше 95 %. Дотримання гранично допустимих викидів забезпечується відповідно до Закону України «Про охорону атмосферного повітря».

Для запобігання забрудненню ґрунту я рекомендую встановити вздовж траси конвеєра збірники просипань вугілля з подальшим поверненням матеріалу у виробничий процес. Відпрацьовані мастильні матеріали я рекомендую збирати в герметичну марковану тару та передавати спеціалізованим підприємствам на утилізацію відповідно до Закону України «Про управління відходами» від 20.06.2022 № 2320-IX.

Я зробив висновок, що впровадження зазначених природоохоронних заходів забезпечує мінімізацію негативного впливу дільниці на атмосферне повітря та ґрунт і відповідає вимогам чинного природоохоронного законодавства.

Висновки до розділу

У розділі проаналізовано умови праці на транспортній дільниці стрічкового конвеєра для транспортування кам'яного вугілля та розглянуто основні небезпечні і шкідливі виробничі фактори. Установлено, що найбільшу небезпеку становить підвищена запиленість повітря вугільним пилом (перевищення ГДК у 20–35 разів) та підвищений рівень шуму (перевищення на 12 дБА); механічні, пожежні та електричні небезпеки, а також несприятливий мікроклімат за відсутності захисних заходів також створюють значний ризик для працівників. Окремо розглянуто заходи з охорони навколишнього середовища.

Для кожного фактора надано рекомендації щодо засобів колективного та індивідуального захисту згідно з чинними нормативними документами (наказ МОЗ України № 1192, ДСН 3.3.6.037-99, ДСН 3.3.6.039-99, ДСН 3.3.6.042-99, ДСТУ EN 953:2014, ДСТУ EN ISO 13857:2021, ДСТУ EN ISO 13850:2016, ДСТУ EN ISO 12100:2016, НАПБ А.01.001-2014, ДСТУ 8828:2019, ДСТУ Б В.2.5-82:2016, Закон України «Про охорону навколишнього природного середовища», Закон України «Про управління відходами»). Я зробив висновок, що впровадження запропонованих технічних та

організаційних заходів забезпечує зниження впливу шкідливих факторів до нормативних значень і створює безпечні умови праці на ділянці.

7 ТЕХНОЛОГІЯ МАШИНОБУДУВАННЯ

7.1 Опис і призначення деталі

Корпус ролика (обичайка) (рис. 7.1) є основною деталлю роlikоопори стрічкового конвеєра. Він призначений для встановлення на вал через підшипникові вузли та забезпечення безпосереднього контакту з конвеєрною стрічкою. Корпус забезпечує підтримку стрічки, рівномірний розподіл навантаження від вугілля та захист підшипникового вузла від зовнішніх впливів.

Деталь працює в умовах інтенсивного абразивного зношування, динамічних навантажень та підвищеної запиленості. Тому до неї висуваються високі вимоги щодо точності геометричних розмірів, співвісності поверхонь, шорсткості зовнішньої циліндричної поверхні та міцності.

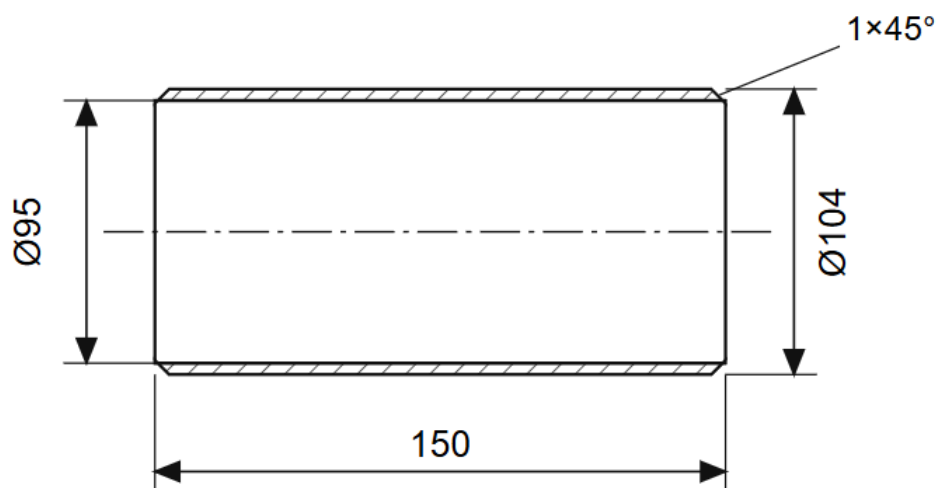


Рисунок 7.1 – Ескіз корпусу ролика (обичайки)

Основні розміри деталі:

Зовнішній діаметр — Ø104 мм

Довжина корпусу — 150 мм

Внутрішній діаметр — під посадку підшипників

Фаски — 1×45°

Матеріал деталі: Сталь 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71 — обрано завдяки високій міцності, зносостійкості та можливості азотування поверхні для роботи в абразивному середовищі вугільного пилу[21].

7.2 Розробка технологічного процесу виготовлення деталі

Розроблений технологічний процес виготовлення корпусу ролика складається переважно з токарних та шліфувальних операцій. Детально описаний у маршрутній карті (МК), операційних картах (ОК).

Заготовкою для виготовлення корпусу обрано сталеву трубу (гарячекатану) за ГОСТ 8732-78 розміром $\varnothing 110 \times 8$ мм, довжиною 170 мм.

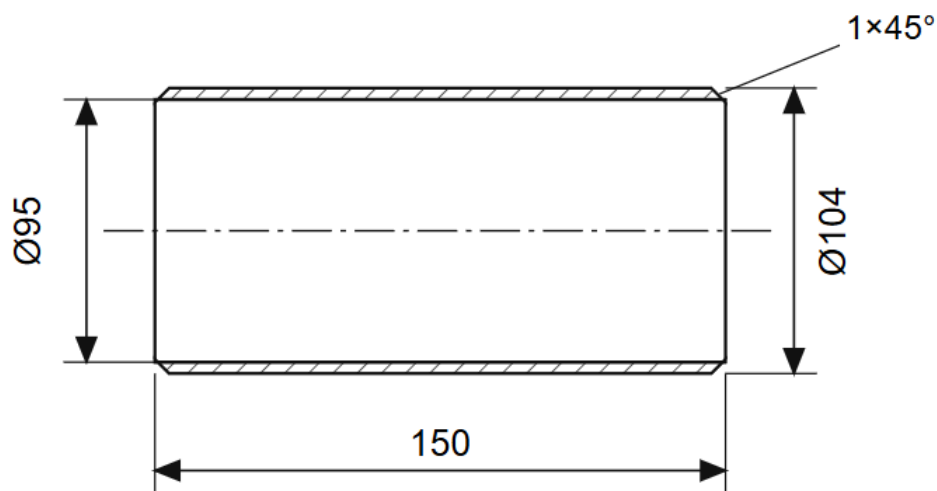


Рисунок 7.2 – Заготовка корпусу ролика

Такий вибір заготовки є найбільш раціональним, оскільки дозволяє суттєво зменшити припуски на обробку, скоротити машинний час та підвищити коефіцієнт використання матеріалу.

Маса заготовки $\approx 3,42$ кг. Маса готової деталі $\approx 1,66$ кг. Коефіцієнт використання матеріалу $\approx 0,78$.

[illegible]

[illegible]

7.3 Вибір пристосування, опис конструкції та принципу дії

Провідною операцією технологічного процесу є токарна операція з ЧПК (операція 010). Для її виконання обрано токарний оброблювальний центр HAAS ST-20, який забезпечує необхідну точність обробки зовнішньої циліндричної поверхні та торців корпусу ролика.

Як технологічне оснащення обрано самоцентруючий трикулачковий патрон з м'якими кулачками та рухомий люнет. Принцип базування: заготовка-труба базується по зовнішньому діаметру в патроні, рухомий люнет підтримує деталь по вже обробленій поверхні, що запобігає прогину тонкостінної заготовки та забезпечує високу точність співвісності зовнішньої і внутрішньої поверхонь. Для обробки внутрішньої поверхні застосовується розточувальний різець.

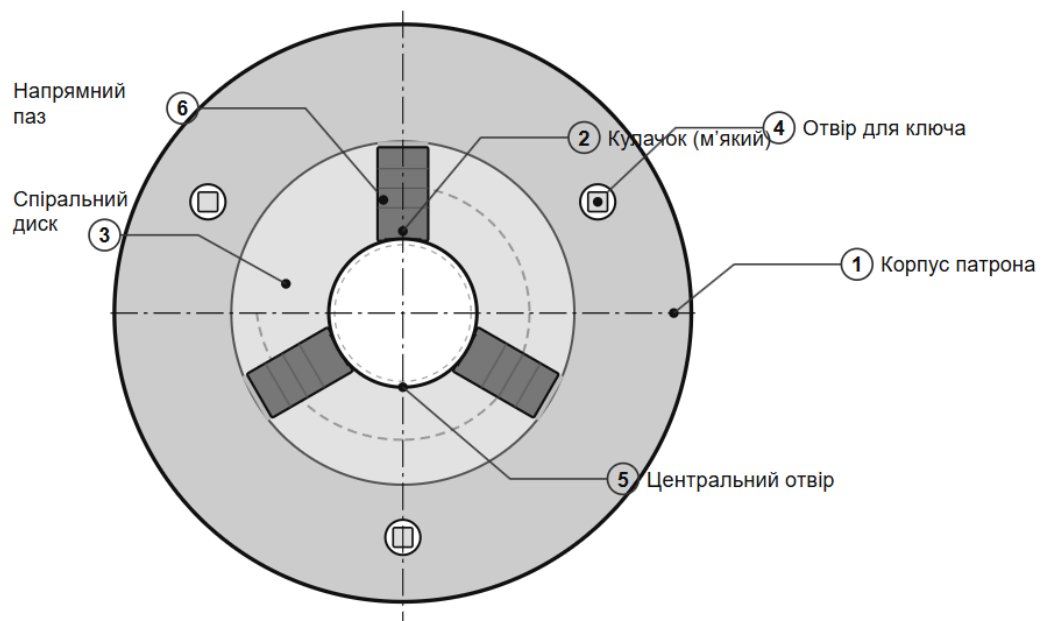


Рис. 7.3 — Трикулачковий самоцентруючий патрон (вигляд з торця)

Різальний інструмент — різці з пластинами твердого сплаву T15K6 (підрізний, прохідний упорний та розточувальний), що відповідає обробці легованої сталі 38X2МЮА.

Режими різання для токарної операції визначено за нормативними даними залежно від оброблюваного матеріалу, інструмента та виду переходу. Швидкість різання визначається за залежністю $v = \pi \cdot D \cdot n / 1000$, частота обертання — $n = 1000 \cdot v / (\pi \cdot D)$, основний (машинний) час — $T_0 = (L + l_{\text{вріз}}) \cdot i / (s \cdot n)$ [24].

Прийняті режими: для чорнового точіння — глибина різання $t = 2,75$ мм, подача $s = 0,4$ мм/об, частота обертання $n = 290$ об/хв, швидкість різання $v \approx 100$ м/хв; для чистового точіння — $t = 0,25$ мм, $s = 0,15$ мм/об, $n = 425$ об/хв, $v \approx 140$ м/хв; для розточування внутрішньої поверхні — $t = 0,5$ мм, $s = 0,2$ мм/об, $n = 300$ об/хв. Сумарний основний час токарної операції становить $\approx 5,0$ хв.

Обробка ведеться у два установи з переустановленням заготовки для обробки другого торця, що забезпечує повну обробку деталі з витримуванням довжини корпусу $L = 150$ мм.

Висновки до розділу

У процесі розробки технологічного процесу виготовлення корпусу ролика (обичайки) Ø104×150 мм зі сталі 38Х2МЮА ГОСТ 4543-71 було виконано наступне:

розглянуто призначення, умови роботи та конструктивні особливості деталі;

обрано раціональний вид заготовки — гарячекатану сталеву трубу Ø110×8 за ГОСТ 8732-78, довжиною 170 мм;

розроблено технологічний маршрут із відрізної (005), токарної з ЧПК (010) та контрольної (015) операцій;

підібрано обладнання з ЧПК — токарний центр HAAS ST-20, оснащення (трикулачковий самоцентруючий патрон, рухомий люнет) та різальний інструмент з твердого сплаву Т15К6;

розраховано основні режими різання; сумарний основний час обробки склав $\approx 5,0$ хв;

оформлено технологічну документацію — МК, ОК та КЕ.

Застосування трубної заготовки дозволило скоротити припуски на обробку та машинний час. Розроблений технологічний процес забезпечує виконання всіх технічних вимог до корпусу ролика немодернізованої роликоопори і може бути впроваджений у виробництві

Загальні Висновки

У дипломному проєкті на тему «Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля з модернізацією роликоопор» розроблено вдосконалену конструкцію стрічкового конвеєра з модернізованими роликовими опорами для застосування у вугільній промисловості. Поставлену мету — підвищення працездатності, надійності та ресурсу роботи роликоопор — досягнуто, а всі визначені завдання виконано в повному обсязі.

На початковому етапі розглянуто призначення та галузь застосування стрічкового конвеєра в технологічній лінії транспортування кам'яного вугілля, наведено його технічну характеристику (продуктивність 60 т/год, довжина траси 54 м, висота підйому 6 м, кут нахилу $6,33^\circ$, швидкість стрічки 1,4 м/с, ширина стрічки 400 мм, потужність електродвигуна 3 кВт) та описано конструкцію й принцип дії машини. Окрему увагу приділено роликоопорі як вузлу, від якого значною мірою залежать ресурс стрічки та енергоспоживання приводної системи.

За результатами літературно-патентного огляду проаналізовано існуючі конструкції роликоопор і варіанти їхнього вдосконалення. Для модернізації обрано технічне рішення за патентом UA 126108 — застосування П-подібних скоб із шарнірним кріпленням осей роликів, що забезпечує перерозподіл ударних навантажень і виключає їх концентрацію у вузлах кріплення.

Для підтвердження працездатності проведено порівняльний розрахунок базової та модернізованої роликоопор методом скінченних елементів у програмному комплексі ANSYS (модуль Static Structural) за умови незмінних матеріалу (сталі 38Х2МЮА, $\sigma_t = 835$ МПа), навантаження та закріплень. Числове моделювання повністю підтвердило ефективність запропонованої модернізації:

максимальні еквівалентні напруження за Мізесом знижено з 24,049 МПа до 3,5 МПа (на 85,4 %);

максимальні сумарні деформації зменшено з 0,0232 мм до 0,0130 мм (на 44 %);

коефіцієнт запасу міцності зріс із 34,7 до 238,6, тобто у 6,9 раза.

Додатково виконано параметричний розрахунок конвеєра з використанням мови програмування C++ у середовищі Visual Studio, що підтвердив правильність аналітичних обчислень.

У розділі охорони праці та навколишнього середовища проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі фактори на ділянці експлуатації конвеєра й розроблено заходи зі зниження ризиків відповідно до чинних нормативних документів: встановлення захисних огорожень рухомих частин, монтаж тросової системи аварійного зупинення, застосування засобів індивідуального захисту, нормалізація параметрів мікроклімату, а також забезпечення пожежної та електричної безпеки з урахуванням горючості вугільного пилу.

У технологічній частині розроблено технологічний процес виготовлення корпусу ролика (обичайки) $\varnothing 104 \times 150$ мм зі сталі 38Х2МЮА. Як заготовку обрано гарячекатану сталеву трубу $\varnothing 110 \times 8$ за ГОСТ 8732-78 завдовжки 170 мм, що забезпечило раціональне використання матеріалу (коефіцієнт використання $\approx 0,78$) та скорочення припусків і машинного часу. Розроблено технологічний маршрут із відрізної, токарної з ЧПК та контрольної операцій, підібрано обладнання з ЧПК (токарний центр HAAS ST-20), технологічне оснащення й різальний інструмент із твердого сплаву T15K6, розраховано режими різання та оформлено технологічну документацію (МК, ОК, КЕ).

Отже, у дипломному проєкті комплексно вирішено задачу модернізації роlikоопори стрічкового конвеєра: запропоноване технічне рішення підтверджене числовими розрахунками, опрацьоване з боку безпеки праці та технологічно забезпечене у виготовленні. Модернізація суттєво підвищує надійність і довговічність вузла, зменшує ймовірність виникнення пластичних деформацій та руйнування, що в цілому покращує ефективність і безпеку транспортування вугілля.

Список використаної літератури

1. <https://ua.patents.su/5-109767-rolikoopora-strichkovogo-konveehra.html> - Патент UA 126108 U, МПК B65G39/02. Національний технічний університет України “Київський політехнічний інститут”, Гузенко Юрій Михайлович, Куєвда Андрій Олександрович.
2. https://www.cemanet.org/wp-content/uploads/2011/09/bb5thed_chapter-61.pdf - Belt Book Fifth Edition. Технічний довідник із стрічкових конвеєрів.
3. <https://repository.kpi.kharkov.ua/items/6b0c6aff-7866-4277-baa2-8b5f25457a1a> - Розрахунок стрічкового конвеєра. Метод. вказівки до курсового проєкту (НТУ “ХПІ”).
4. <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/3a7c6143-f234-425d-91c0-2099b2810a63/content> - Машини для транспортування неперервної дії. Частина 2: Стрічковий конвеєр. Методичні вказівки (БТУ Харків)
5. https://cpsm.kpi.ua/Doc/PAHV_uch.pdf Коваленко І. В., Малиновський В. В. – Основні процеси, машини та апарати хімічних виробництв: Підручник – К.: Інрес : Воля, 2005. – 102 с.
6. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/23915> Карвацький А.Я. – Інжиніринг пакувального обладнання: Текст лекцій для студентів спеціальності «Прикладна механіка», спеціалізації «Машини і технології пакування» / Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2017. – 65 с.
7. <http://biblio.umsf.dp.ua/xmlui/bitstream/handle/> Разгонов С.А., Халипова Н.В., Кузьменко А.І. – Методичні рекомендації до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Спеціалізовані транспортні і навантажувально-розвантажувальні засоби” зі спеціальності “Транспортні системи” 7.010101 / Дніпропетровськ: Університет митної справи та фінансів, 2015. – 44 с.
8. <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/2061> Мікульонок І. О. – Виготовлення, монтаж та експлуатація обладнання хімічних виробництв: підруч. [для студ. вищ. навч. закл.]. – К. : НТУУ «КПІ», 2012. – 419 с.
9. <https://doi.org/10.20535/2617-9741.2.2025.333972> Hurin, R., Gondliakh, O., Sokolskyi, O., Shcherbina, V., & Antonyuk, S. (2025). Influence of carbon nanotubes on the characteristics of polymer melt flow during extrusion of two-layer pipes. *Bulletin of NTUU «Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute», Series «Chemical Engineering, Ecology and Resource Saving», (2), 20–31.*

10. <https://uapatents.com/?s=94391> – Патент України UA 94391. Роликоопора стрічкового конвеєра. МПК B65G 39/00, 2014. – Зіборов К. А., Поволоцька Ю. В., Ванжа Г. К.
11. <https://uapatents.com/?s=113965> – Патент України UA 113965. Роликоопора. МПК B65G 39/00, 2016. – Пронін М. О., Черствий М. П.
12. <https://uapatents.com/?s=108334> – Патент України UA 108334. Роликоопора стрічкового конвеєра. МПК B65G 39/02; F16C 13/00. – Поволоцька Ю. В., Зіборов К. А., Ванжа Г. К.
13. <https://uapatents.com/?s=93593> – Патент України UA 93593. Енергозберігаюча роликоопора стрічкового конвеєра. МПК B65G 39/00, 2014. – Кірія Р. В., Мостовий Б. І., Жигула Т. І. та ін.
14. <https://ua.patents.su/5-109767-rolikoopora-strichkovogo-konveehra.html> – Патент України UA 109767. Роликоопора стрічкового конвеєра. МПК B65G 15/00, 2016. – Горбатенко Ю. П., Гузенко Ю. М.
15. <https://ela.kpi.ua/items/9de330c8-a790-49f7-8b1e-bd91c685cb77> – Бондарєв В. С., Дубінець О. І., Колісник М. П. Підйомно-транспортні машини: розрахунки підйимальних і транспортувальних машин: підручник. – К.: Вища школа, 2009. – 373 с.
16. <https://web.kpi.kharkov.ua/ltn/papers/> – Григоров О. В., Аніщенко Г. О., Петренко Н. О. Металеві конструкції підйомно-транспортних, будівельних, дорожніх, меліоративних машин: навч. посіб. – Х.: НТУ «ХПІ», 2011. – 516 с.
17. <https://www.iso.org/standard/11069.html> – ISO 5048:1989. Continuous mechanical handling equipment – Belt conveyors with carrying idlers – Calculation of operating power and tensile forces. – Geneva: ISO, 1989. – 12 p.
18. <https://docs.cntd.ru/document/gost-22644-77> – ГОСТ 22644-77. Конвеєри стрічкові. Основні параметри та розміри.
19. <https://docs.cntd.ru/document/gost-22645-77> – ГОСТ 22645-77. Конвеєри стрічкові. Роликоопори. Типи та основні розміри.
20. <https://vsegost.com/Catalog/32/32909.shtml> – ГОСТ 22646-77. Конвеєри стрічкові. Ролики. Типи та основні розміри.

21. <https://docs.cntd.ru/document/1200005485> – ГОСТ 4543-71. Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови.
22. <https://ela.kpi.ua/server/api/core/bitstreams/d7a23ed0-86eb-4cfc-af69-5a544e8c4a73/content> – Гейчук В. М., Рудаков К. М. Метод скінченних елементів та оптимізація конструкцій у САПР: навч. посіб. – К.: НТУУ «КПІ», 2016. – 176 с.
23. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7506-6320-0.X5000-0> – Zienkiewicz O. C., Taylor R. L., Zhu J. Z. The Finite Element Method: Its Basis and Fundamentals. – Oxford: Butterworth-Heinemann.
24. https://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/IRVC/Buliga_2019_67.pdf – Буліга Ю. В. Теорія різання. Розрахунок режимів різання: навч. посіб. – Вінниця: ВНТУ, 2019.
25. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=99568 – ДСТУ EN 620:2022. Підйимально-транспортувальне устаткування та системи неперервної дії. Конвеєри стрічкові стаціонарні для сипких матеріалів. Вимоги щодо безпеки (EN 620:2021, IDT).
26. <https://zakon.isu.net.ua/sites/default/files/normdocs/12100-2016.pdf> – ДСТУ EN ISO 12100:2016. Безпечність машин. Загальні принципи проектування. Оцінювання ризиків та зменшення ризиків (EN ISO 12100:2010, IDT).
27. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79366 – ДСТУ EN ISO 14122-3:2018. Безпечність машин. Стаціонарні засоби доступу до машин. Частина 3. Сходи, ступанки та поручні (EN ISO 14122-3:2016, IDT).
28. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=65218 – ДСТУ EN ISO 13850:2016. Безпечність машин. Аварійне зупинення. Принципи проектування (EN ISO 13850:2015, IDT).
29. <https://dnaop.com/html/33606/doc-npaop-100-107-02-vimogi-bezpeki-do-strichok-konvejernih-shahtnih-ta-metodi-viprobuвань-ukr> – НПАОП 10.0-1.07-02. Вимоги безпеки до стрічок конвеєрних шахтних та методи випробувань.
30. https://dnaop.com/html/1642/doc-%D0%94%D0%A1%D0%9D_3.3.6.037-99 – ДСН 3.3.6.037-99. Санітарні норми виробничого шуму, ультразвуку та інфразвуку.
31. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=60541 – НАПБ А.01.001-2014. Правила пожежної безпеки в Україні.

32.https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79885 – ДБН В.2.5-28:2018. Природне і штучне освітлення.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Таблиця розглянутих патентів

№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Мета заявленого технологічного рішення та його використання
1	Роликоопора стрічкового конвеєра	UA 113965 U	Винахід відноситься до підйомно-транспортної техніки і може бути використаний в конструкціях стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — зниження коефіцієнта опору обертанню та збільшення терміну служби роликоопори шляхом застосування повітряного мастила в підшипникових вузлах.
2	Роликовий вузол стрічкового транспортера	UA 118311 U	Винахід відноситься до стрічкових транспортерів для важких умов експлуатації. Мета винаходу — демпфірування динамічних ударів, підвищення зносостійкості ролика та зниження експлуатаційних витрат за рахунок торсіонного вала, гумового чохла та амортизаторів.
3	Ролик стрічкового конвеєра	UA 94220 U	Винахід відноситься до стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — зменшення трудомісткості виготовлення ролика шляхом виконання опорних дисків у вигляді половин торів та фіксації втулок запірними кільцями.
4	Ролик стрічкового конвеєра	UA 113571 U	Винахід відноситься до стрічкових конвеєрів, що працюють в умовах підвищеного пилу та бруду. Мета винаходу — зниження металоємності, підвищення строку служби та покращення захисту підшипників за рахунок неметалевого корпусу та багатоступеневого ущільнення.
5	Роликоопора стрічкового конвеєра	UA 94391 U	Винахід відноситься до жолобчастих роликоопор стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — збільшення ресурсу роликоопори та терміну служби стрічки шляхом використання кульових з'єднань та біконічної форми ролика з прутами.
6	Енергозберігаюча роликоопора стрічкового конвеєра	UA 93593 U	Винахід відноситься до конвеєрів для транспортування крупнокускової гірської маси. Мета винаходу — зниження енергоспоживання та динамічних навантажень

№ п/п	Предмет пошуку	Країна видачі, вид і номер документа	Мета заявленого технологічного рішення та його використання
			за рахунок несиметричного колихаючого коромисла з демпферами.
7	Амортизуюча роликоопора ленточного конвеєра	29576	Винахід відноситься до амортизуючих роликоопор стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — забезпечення нелінійної характеристики амортизації та спрощення виготовлення за рахунок криволінійних опорних шайб та плоских гумових кілець.
8	Роликоопора стрічкового конвеєра	UA 108334 C2	Винахід відноситься до жолобчастих роликоопор стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — збільшення ресурсу роликоопори та терміну служби стрічки шляхом використання кульових з'єднань без осі.
9	Роликоопора стрічкового конвеєра	UA 109767 U	Винахід відноситься до роликоопор стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — підвищення амортизаційної здатності при ударних навантаженнях за рахунок циліндричних пружин згину між осями.
10	Роликоопора стрічкового конвеєра	UA 126108 U	Винахід відноситься до роликоопор стрічкових конвеєрів. Мета винаходу — підвищення надійності роботи шляхом виключення ударної взаємодії роликів з поставом за допомогою жорстких П-подібних скоб.

ДОДАТОК Б

Форм.	Зона	Поз.	Позначення	Найменування	Кіл.	Приміт.
				<u>Документація</u>	2	
A4						
A1			ЛП.21.041115.001-70ТС	Технологічна схема	1	
				Складальні одиниці		
		1		Барабан приводний	1	
		2		Барабан натяжний	1	
		3		Барабан кінцевий	1	
		4		Натяжний пристрій	1	
		5		Завантажувальний пристрій	1	
		6		Завантажувальна воронка	1	
		7		Верхня роликоопора	45	
		8		Нижня роликоопора	20	
		9		Рама конвеєра	1	
				<u>Стандартні вироби</u>		
		10		Електродвигу 4A132S8Y3	1	
		11		Редуктор Ц2У-200	1	
		12		Муфта- МУВП 500	2	
		13		Стрічка	1	55м
		14		Роликоопори по ГОСТ 22645-77	59	

					ЛП.21.0541113.002-70В3		
Зм.	Лист	ПІБ	Підп.	Дата			
Розробн.		ГорбатенкоМ.В					
Керівник		ГондляхО.В					
Консульт							
Н.контр							
Зав.каф		Сокольський.О.Л					

Конвеєр стрічковий для транспортування вугілля			Лит.	Лист	Листів
				1	1
			КПІ ім. Ігоря Сікорського ХПСМ,ЛП-21		

[illegible]

ДОДАТОК В

```

#include <iostream>
#include <cmath>
#include <iomanip>
#include <string>

// Розрахунок параметрів стрічкового конвеєра для транспортування вугілля
// Дипломний проєкт – модернізація роликсопори

const double PI = 3.14159265358979;
const double g = 9.81;          // прискорення вільного падіння, м/с^2

// ----- Допоміжні функції -----
double degToRad(double deg) {
    return deg * PI / 180.0;
}

void printLine() {
    std::cout << "-----\n";
}

double readValue(const std::string& prompt, double defaultVal) {
    std::cout << prompt << " [" << defaultVal << "]: ";
    std::string input;
    std::getline(std::cin, input);
    if (input.empty()) return defaultVal;
    try {
        return std::stod(input);
    }
    catch (...) {
        std::cout << " (невірне значення, використано " << defaultVal << ")\n";
        return defaultVal;
    }
}

// ----- 1. Розрахунок навантаження на ролик -----
double rollerLoad(double B, double h, double angleMove, double L, double rho,
    double& S, double& Suk, double& V) {
    // S – площа поперечного перерізу вантажу
    // (наближено за схемою з диплома)
    S = (B * h) / 2.0 + B * 0.051;          // м^2 (базова площа)
    // додаткова площа при природному укосі вугілля
    Suk = (B * B) / 2.0 * std::tan(degToRad(angleMove)); // м^2
    // об'єм вугілля
    V = (S + Suk) * L;                      // м^3
    // навантаження на один ролик (з трьох)
    double P = (V * rho * g) / 3.0;         // Н
    return P;
}

// ----- 2. Діаметр приводного барабана -----
double drumDiameter(double kPrime, double kSecond, int i) {
    return kPrime * kSecond * i;           // мм
}

// перевірка барабана за середнім тиском
double drumPressure(double F0, double Db_m, double Bm, double alphaDeg) {
    // p = 360 * F0 / (Db * B * alpha) (alpha у градусах за схемою диплома)
    return (360.0 * F0) / (Db_m * Bm * alphaDeg); // Па
}

// ----- 3. Кінематичний розрахунок -----
double drumRPM(double V, double Db_m) {
    return (60.0 * V) / (PI * Db_m);       // об/хв
}

```

```

double gearRatio(double nMotor, double nDrum) {
    return nMotor / nDrum;
}

double drivePower(double F0, double V, double eta) {
    return (F0 * V) / (1000.0 * eta); // кВт
}

double torque(double kz, double F0, double Db_m) {
    return kz * F0 * Db_m / 2.0; // Н*м
}

// ----- 4. Перевірка міцності стрічки -----
double minLayers(double Smax, double sigma, double B_mm) {
    return Smax / (sigma * B_mm); // безрозмірне
}

int main() {
    std::cout << std::fixed << std::setprecision(3);
    std::cout << "=====\n";
    std::cout << " РОЗРАХУНОК СТІЧКОВОГО КОНВЕЄРА (ролікоопора, транспорт вугілля)\n";
    std::cout << " Натисніть Enter, щоб прийняти значення за замовчуванням.\n";
    std::cout << "=====\n\n";

    // --- Вхідні дані ---
    std::cout << ">>> Вхідні дані для навантаження на ролик:\n";
    double B = readValue("Ширина стрічки B, м", 0.4);
    double h = readValue("Висота шару вантажу h, м", 0.182);
    double aMov = readValue("Кут природного укусу в русі, град", 12.0);
    double L = readValue("Довжина ділянки L, м", 1.5);
    double rho = readValue("Щільність вугілля rho, кг/м^3", 1500.0);

    std::cout << "\n>>> Вхідні дані для барабана та приводу:\n";
    double kP = readValue("Коефіцієнт міцності стрічки k'", 125.0);
    double kS = readValue("Коефіцієнт призначення барабана k'", 1.0);
    int iLay = (int)readValue("Число прокладок у стрічці i", 2);
    double F0 = readValue("Тягове зусилля F0, Н", 1715.0);
    double alpha = readValue("Кут обхвату стрічкою барабана, град", 180.0);
    double Vbelt = readValue("Швидкість стрічки V, м/с", 1.5);
    double nMot = readValue("Частота обертання двигуна n, об/хв", 750.0);
    double eta = readValue("ККД механізму приводу", 0.83);
    double kz = readValue("Коефіцієнт запасу kz", 1.15);

    std::cout << "\n>>> Вхідні дані для перевірки стрічки:\n";
    double Smax = readValue("Максимальне напруження Smax, Н", 2993.0);
    double sigma = readValue("Допустиме напруження прокладки, Н/мм", 5.5);

    // --- Розрахунки ---
    double S, Suk, V;
    double P = rollerLoad(B, h, aMov, L, rho, S, Suk, V);

    double Db_mm = drumDiameter(kP, kS, iLay);
    double Db_m = Db_mm / 1000.0;
    double pSr = drumPressure(F0, Db_m, B, alpha);
    double pAllow = 20000.0; // Па

    double nDrum = drumRPM(Vbelt, Db_m);
    double iGear = gearRatio(nMot, nDrum);
    double N = drivePower(F0, Vbelt, eta);
    double Mkr = torque(kz, F0, Db_m);

    double iMin = minLayers(Smax, sigma, B * 1000.0);

    // --- Вивід результатів ---
    std::cout << "\n";
}

```

```

printLine();
std::cout << "РЕЗУЛЬТАТИ РОЗРАХУНКУ\n";
printLine();

std::cout << "\n[1] Навантаження на ролик:\n";
std::cout << "    Площа перерізу вантажу S    = " << S << " м^2\n";
std::cout << "    Дод. площа при укосі Suk    = " << Suk << " м^2\n";
std::cout << "    Об'єм вугілля V    = " << V << " м^3\n";
std::cout << "    Навантаження на ролик P    = " << P << " Н\n";

std::cout << "\n[2] Приводний барабан:\n";
std::cout << "    Діаметр барабана Db    = " << Db_mm << " мм\n";
std::cout << "    Середній тиск стрічки p_ср = " << pSr << " Па\n";
std::cout << "    Умова міцності (p_ср < " << pAllow << " Па): "
    << (pSr < pAllow ? "ВИКОНУЄТЬСЯ" : "НЕ ВИКОНУЄТЬСЯ") << "\n";

std::cout << "\n[3] Кінематика приводу:\n";
std::cout << "    Частота барабана nб    = " << nDrum << " об/хв\n";
std::cout << "    Передатне число i    = " << iGear << "\n";
std::cout << "    Потужність на валу N    = " << N << " кВт\n";
std::cout << "    Крутний момент Mкр    = " << Mkr << " Н*м\n";

std::cout << "\n[4] Перевірка міцності стрічки:\n";
std::cout << "    Мін. кількість прокладок i = " << iMin << "\n";
std::cout << "    Прийнято прокладок i = " << iLay << "\n";
std::cout << "    Умова (i_min <= i): "
    << (iMin <= iLay ? "ВИКОНУЄТЬСЯ - стрічка підходить"
        : "НЕ ВИКОНУЄТЬСЯ - потрібно більше прокладок") << "\n";

printLine();
std::cout << "Розрахунок завершено.\n";

return 0;
}

```

ДОДАТОК Г

Підвищення надійності роботи роlikоопори стрічкового конвеєра

Горбатенко М.В., Шеремет Я.В., Гондлях О.В., д.т.н., професор
Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського», м. Київ

Анотація. У даній роботі розглядається вплив модернізації роlikоопори стрічкового конвеєра для транспортування вугілля на зміну напружено-деформованого стану конструкції. Метою роботи є підвищення надійності та довговічності роlikоопори за рахунок впровадження захисних П-подібних скоб. Проведено порівняльні розрахунки на міцність модернізованої та немодернізованої конструкцій у програмному комплексі ANSYS, а також розроблено їх 3D-моделі у системі SolidWorks

Ключові слова: роlikоопора, стрічковий конвеєр, вугілля, П-подібна скоба, надійність, метод скінченних елементів, ANSYS, SolidWorks

Вступ. Роlikоопори стрічкових конвеєрів, що працюють у важких умовах, часто зазнають ударних навантажень, що призводить до зіткнення роликів із рамою поставу. Існуючі конструкції не забезпечують достатньої надійності при транспортуванні матеріалів із великими включеннями.

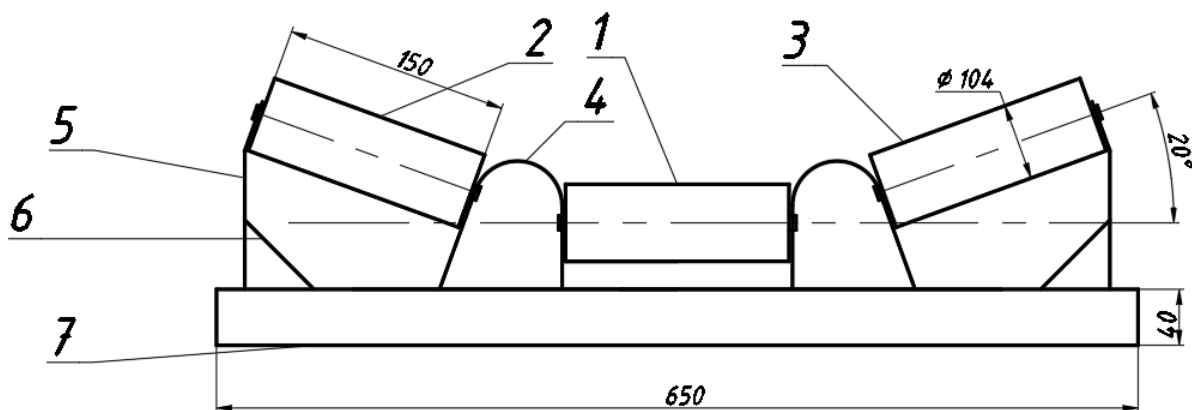


Рисунок 1 – Роlikоопора: 1 – середня вісь; 2, 3 – бокові осі, 4 – з'єднання; 5 – кронштейна-стіжка; 6 – кронштейн гнучий; 7 – стійка

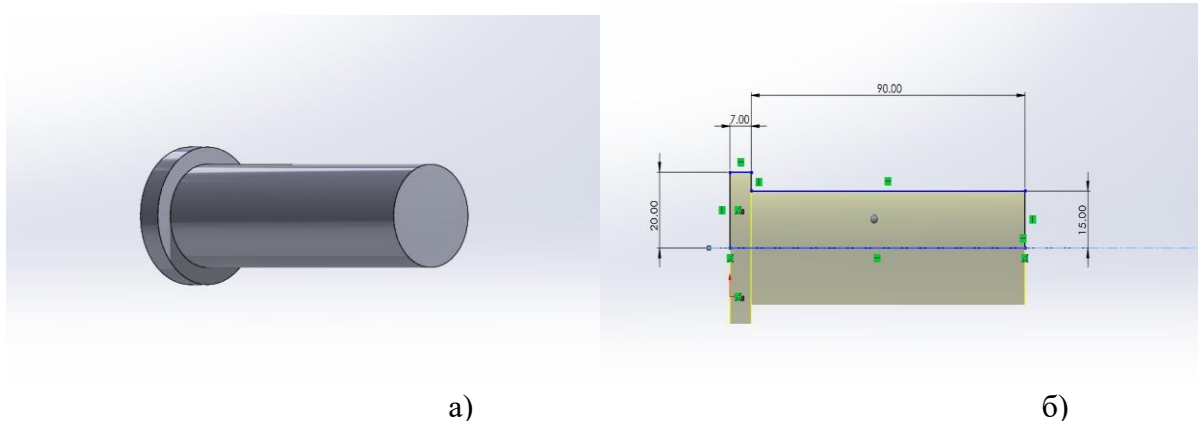


Рисунок 2 – Шарнір: а) - 3D модель у SolidWorks; б) - схема з розмірами (загальна довжина — 90 мм, діаметр осі — 15 мм, діаметр буртика — 20 мм, довжина буртика — 7 мм)

Основна частина. Представлений немодернізований варіант конструкції не забезпечує достатньої експлуатаційної надійності через те, що осі роликів розташовані безпосередньо над металевою рамою поставу без будь-якого захисного бар'єра.. Постійна ударна взаємодія за принципом «метал по металу» створює надлишкові напруження, що суттєво знижує довговічність обладнання та потребує регулярних витрат на ремонт.

Для вирішення цих проблем пропонується модернізація роlikоопори згідно з патентом UA 126108.

Модернізація конструкції. Модернізована роlikоопора містить середню 1 та дві бокові 2, 3 осі з вільно встановленими роliками 4, 5. Основним конструктивним вдосконаленням є з'єднання кінців осей жорсткими П-подібними скобами 11, 12, 13. При виникненні ударних навантажень саме скоби взаємодіють із поставом 10, що повністю виключає контакт роликів із металоконструкцією. Це забезпечує кращу адаптацію до навантаження та вирівнювання стрічки 6.

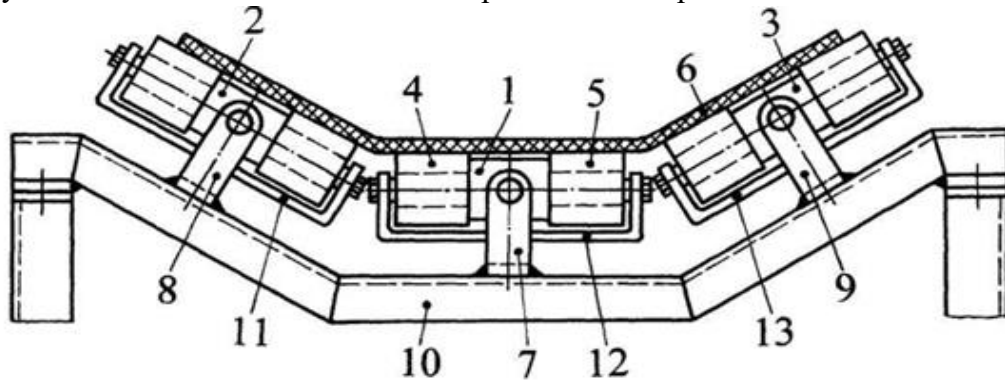


Рисунок 3 – Роlikоопора стрічкового конвеєра:

1 – середня вісь; 2, 3 – бокові осі; 4, 5 – роliки; 6 – стрічка; 7, 8, 9 – стійки; 10 – постав; 11, 12, 13 – П-подібні скоби

Розрахункова схема з умовами навантаження. Для оцінки міцності роlikоопори та обґрунтування ефективності модернізації виконано числовий розрахунок методом скінченних елементів у середовищі ANSYS Workbench (модуль Static Structural). Розрахункова схема з накладеними умовами закріплення (Fixed Support) та прикладеними силами наведена на рис. 4.

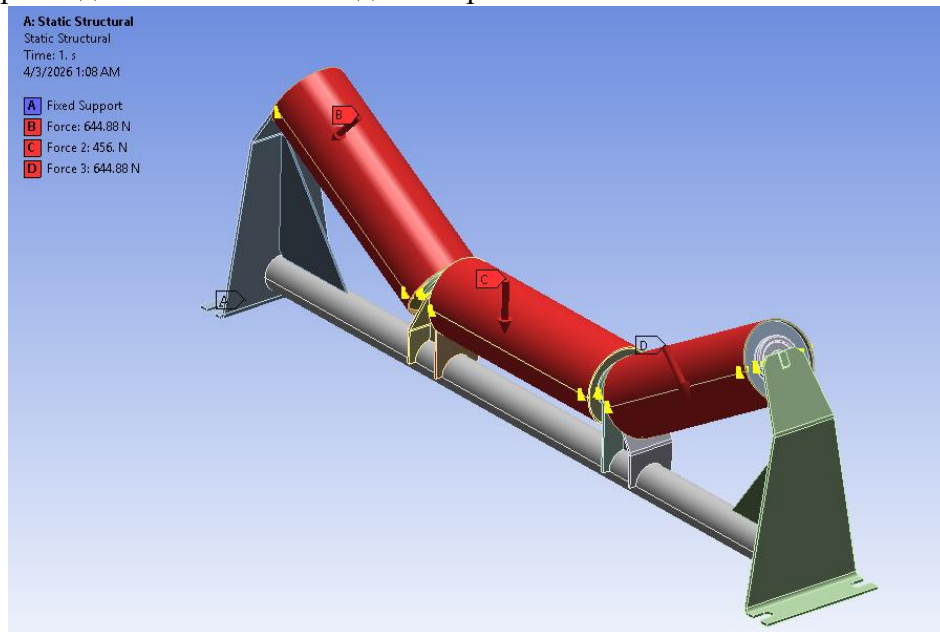


Рисунок 4 – Розрахункова схема роlikоопори з умовами навантаження в ANSYS

Умови закріплення (Fixed Support, позначка А на рис. 4): роlikоопора жорстко зафіксована за нижніми поверхнями кронштейнів-стійок (підшви, якими вона приварюється до поставу конвеєра). У цих зонах усі шість ступенів свободи (три переміщення та три повороти) дорівнюють нулю.

Прикладені сили: вертикально вниз (у напрямку дії сили тяжіння) до робочих поверхонь трьох роликів прикладено погонне навантаження, що відтворює тиск стрічки з вугіллям. Сумарне навантаження на роlikоопору становить 1745,76 Н і розподіляється між роliками наступним чином: на центральний (горизонтальний) ролик — Force C = 456,0 Н, на кожен з двох бічних роликів — Force D = 644,88 Н.

Значення сил отримані з параметричного розрахунку об'єму та маси вугілля, що припадає на одну роликкоопору при ширині стрічки 400 мм та продуктивності 70 т/год.

Матеріал конструкції: сталь 38Х2МЮА з характеристиками — модуль пружності $E = 2,12 \cdot 10^5$ МПа, коефіцієнт Пуассона $\nu = 0,3$, межа текучості $\sigma_t = 835$ МПа. Скінченно-елементна сітка побудована з тетраедричних елементів зі згущенням у зонах концентрації напружень — переходах кронштейн-траверса та зонах кріплення П-подібних скоб.

Розрахункова схема є ідентичною як для базової, так і для модернізованої конструкції — відрізняється лише геометрія моделі (наявність П-подібних скоб). Це дозволяє провести коректне порівняння двох варіантів роликкоопор за однакових експлуатаційних умов.

Результати розрахунків немодернізованої роликкоопори.

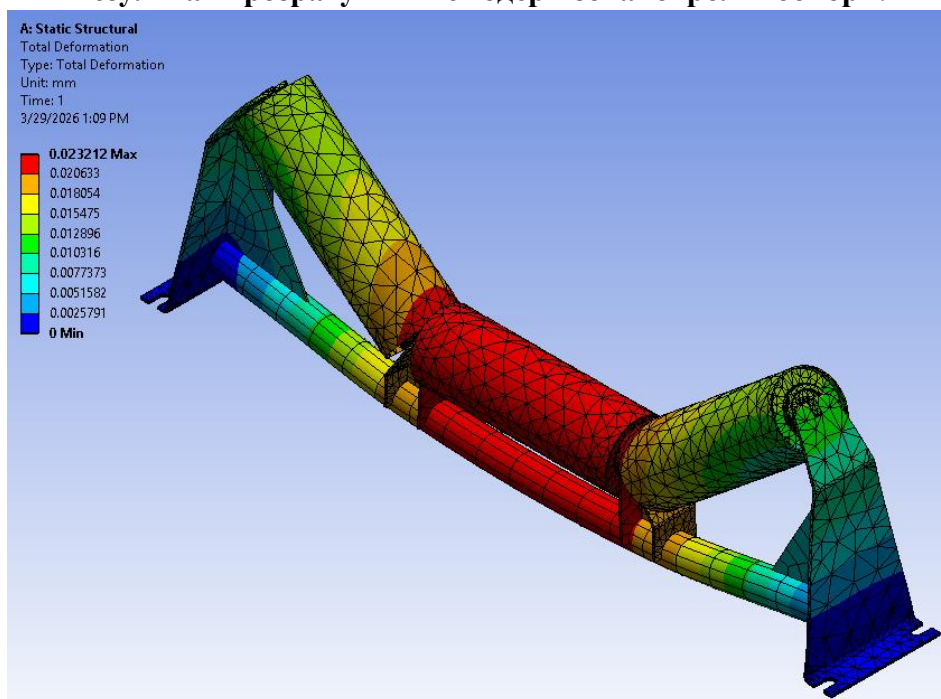


Рисунок 5 – Розподіл загальних переміщень немодернізованої роликкоопори, мм

Максимальна сумарна деформація немодернізованої роликкоопори склала 0,0232 мм. Найбільші переміщення спостерігаються на середньому ролику, що пояснюється концентрацією основного навантаження в центральній зоні конструкції.

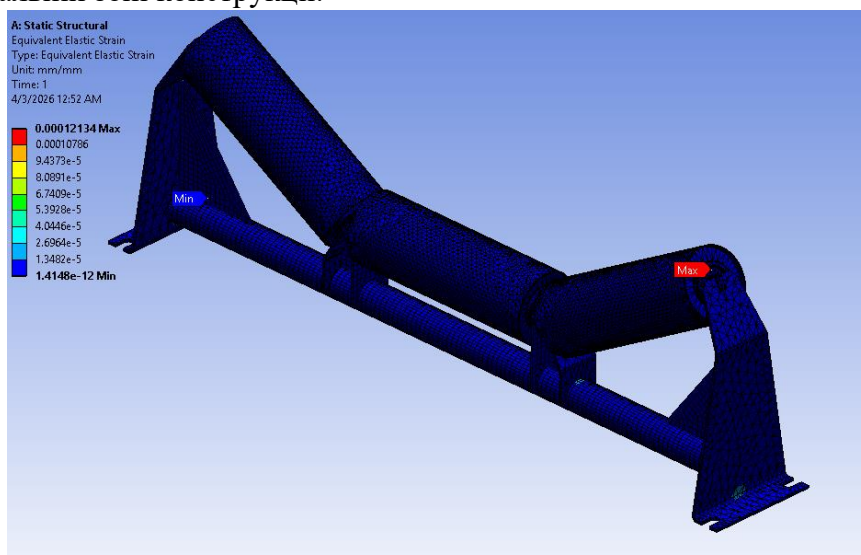


Рисунок 6 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом немодернізованої роликкоопори, МПа

Максимальні еквівалентні напруження за Мізесом склали $\sigma = 24,049$ МПа та зосереджені у місцях кріплення кронштейнів-стійок до траверси. Мінімальні напруження спостерігаються на основній частині траверси та бічних поверхнях роликів.

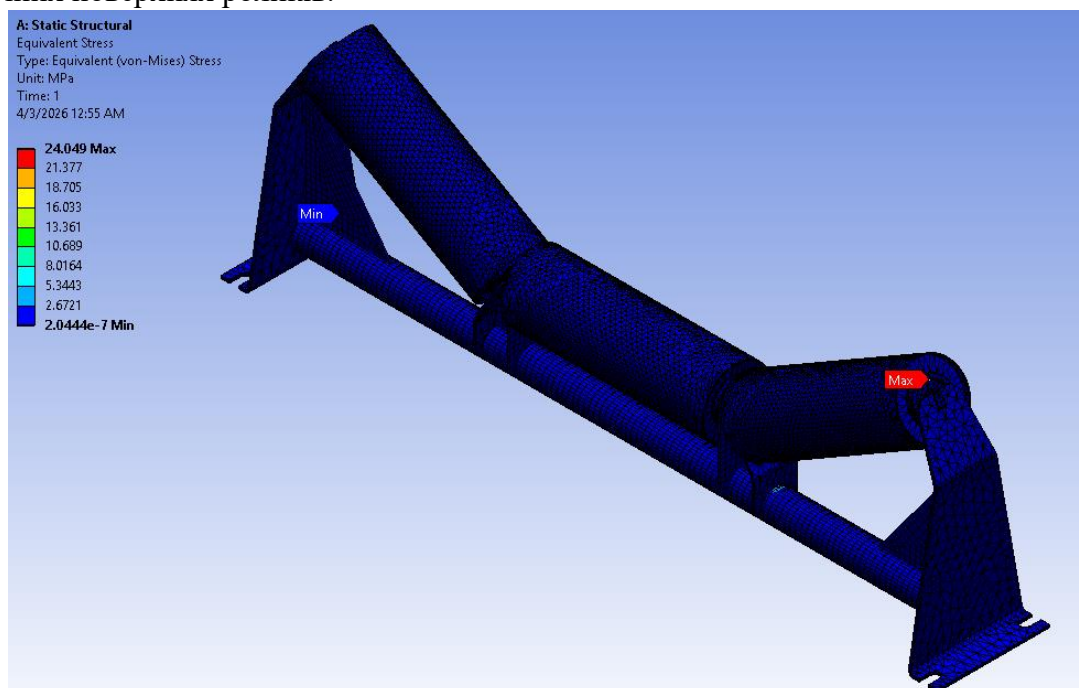


Рисунок 7 – Розподіл еквівалентних пружних деформацій немодернізованої ролюкоопори, мм/мм

Значення еквівалентних деформацій знаходяться в межах пружної зони роботи матеріалу, що свідчить про достатню жорсткість конструкції. Після зняття навантаження ролюкоопора повертається до початкової форми без залишкових пластичних деформацій.

Деформації знаходяться в межах пружної зони матеріалу — після зняття навантаження конструкція повертається до початкової форми без залишкових деформацій. Коефіцієнт запасу міцності $n = 34,7$ значно перевищує допустимий, проте нерівномірний розподіл напружень вказує на концентратори у критичних вузлах.

Результати розрахунків модернізованої роликоопори.

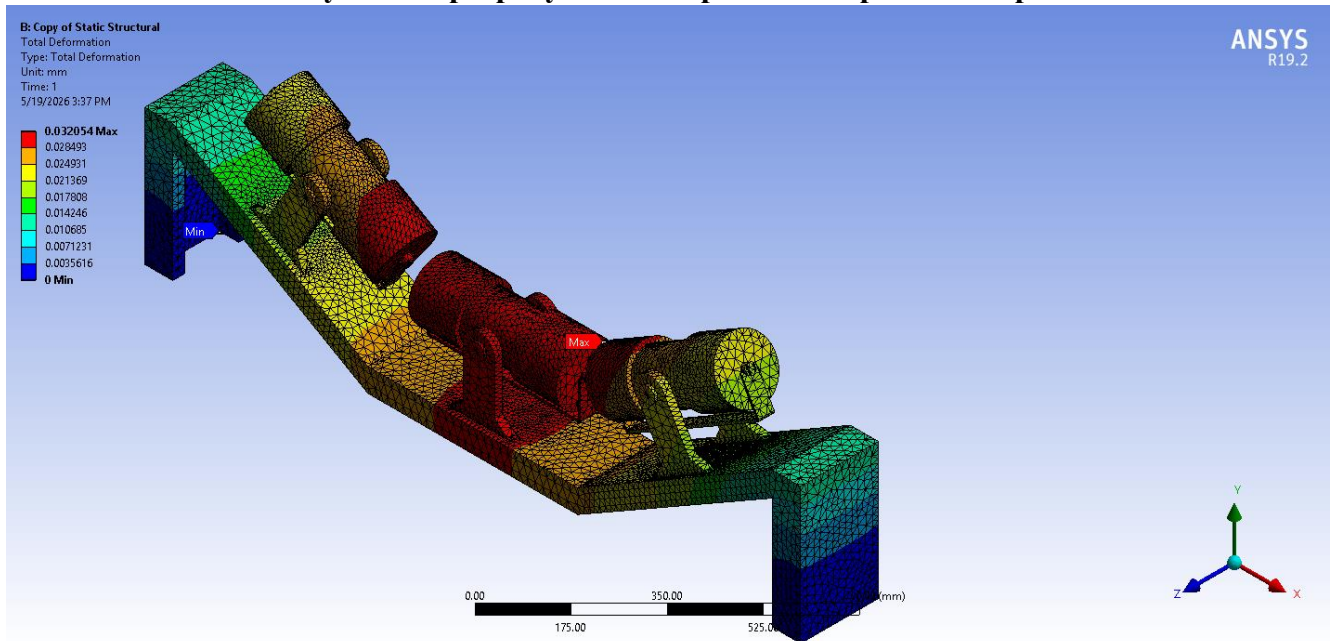


Рисунок 8 – Розподіл загальних переміщень модернізованої роликоопори, мм

Максимальна сумарна деформація модернізованої роликоопори склала 0,0130 мм. Завдяки введенню П-подібних скоб, що жорстко з'єднують кронштейни-стійки зверху, навантаження розподіляється більш рівномірно, що зменшує локальні деформації конструкції.

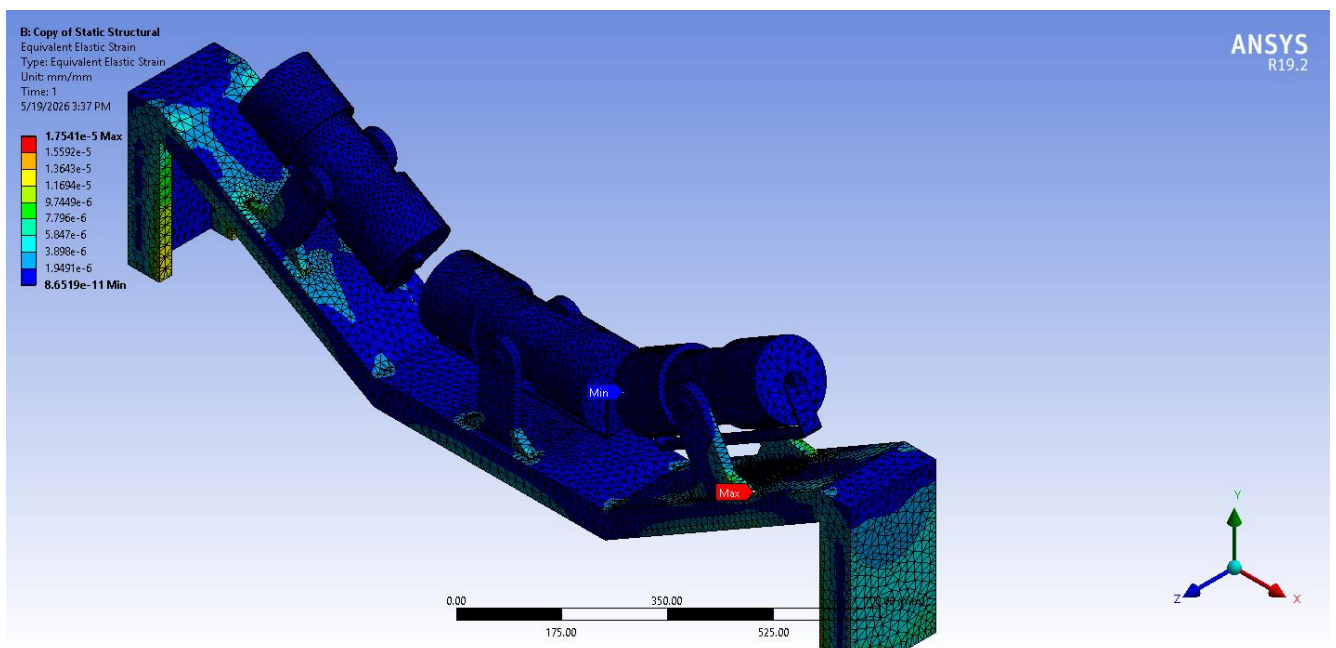


Рисунок 9 – Розподіл еквівалентних пружних деформацій модернізованої роликоопори, мм/мм

Деформації модернізованої конструкції залишаються в межах пружної зони матеріалу. Рівномірне поле деформацій підтверджує ефективнішу передачу навантаження через нові конструктивні елементи — П-подібні скоби.

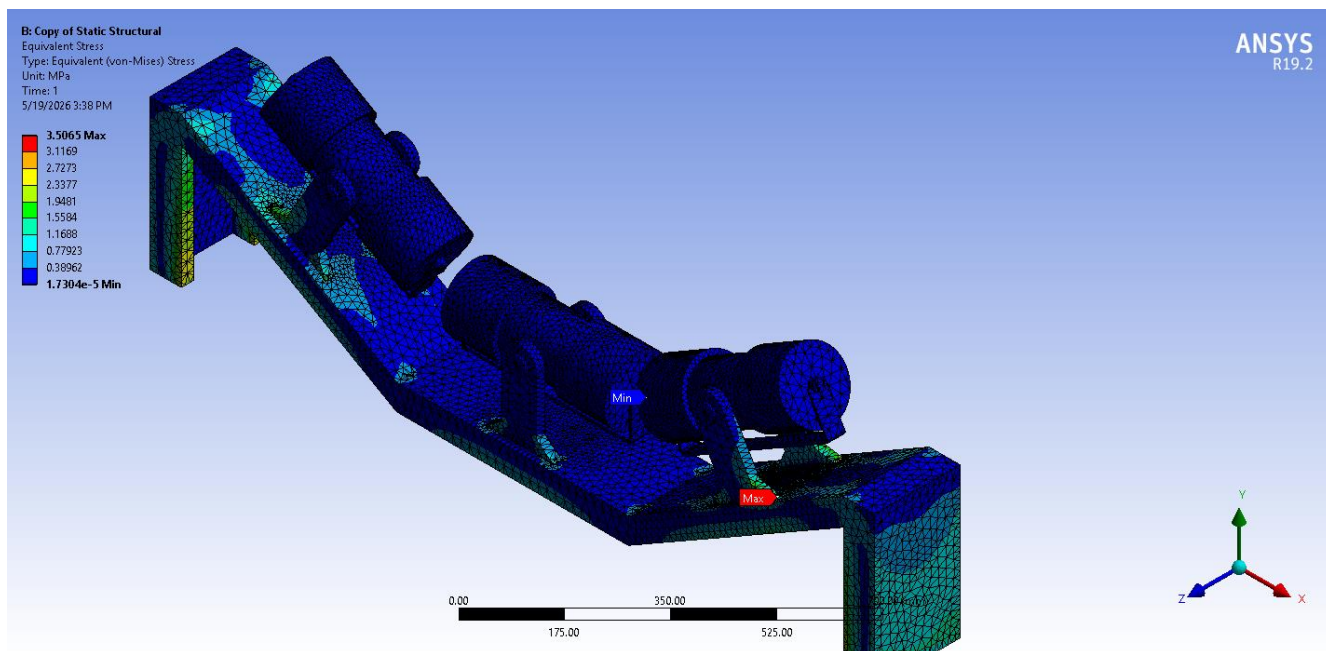


Рисунок 10 – Розподіл еквівалентних напружень за Мізесом модернізованої роликоопори, МПа

Максимальні еквівалентні напруження модернізованої конструкції склали $\sigma = 3,5$ МПа — зниження на 85,4% порівняно з базовою. Це пояснюється тим, що П-подібні скоби перерозподіляють ударні навантаження, виключаючи їх концентрацію у вузлах кріплення.

Максимальні напруження $\sigma = 3,5$ МПа — зниження на 85,4% порівняно з базовою. П-подібні скоби перерозподіляють ударні навантаження. Коефіцієнт запасу міцності зріс у 6,9 рази (з 34,7 до 238,6), що свідчить про суттєве підвищення надійності модернізованого вузла.

Висновки. Запропонована модернізація дозволяє підвищити надійність роботи конвеєра шляхом усунення ударної взаємодії роликів із поставом. Це сприяє збільшенню терміну експлуатації обладнання при роботі зі складними вантажами.

Перелік посилань

1. Роликоопора стрічкового конвеєра : пат. 126108 U Україна / Ю. М. Гузенко, А. О. Куєвда ; № у 2017 12162 ; заявл. 11.12.2017 ; опубл. 11.06.2018, Бюл. № 11. 4 с заяв. 2017-06-07; публ. 2017-12-11.

2. О. Л. Сокольський, О. Є. Колосов. Пакувальне обладнання. Практикум: навч. посіб. для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050502 «Інженерна механіка», програмою професійного спрямування «Машини і технологія пакування»; спеціальністю 131 «Прикладна механіка», спеціалізацією «Інжиніринг, комп'ютерне моделювання та проектування обладнання пакування». Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2018. 15 с.