

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет «Транспортна інженерія»
(назва факультету)

Кафедра «Прикладна механіка та матеріалознавство»
(повна назва кафедри)

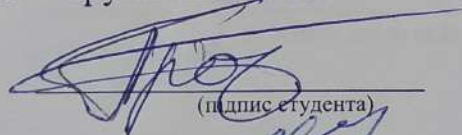
Пояснювальна записка
до кваліфікаційної роботи
на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»
(ступінь вищої освіти)

на тему: Двоканатна підвісна вантажна дорога з кільцевим рухом. Комплексний проект. Імітаційне моделювання динаміки приводу зі шківом змінного моменту інерції

за освітньою програмою Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини обладнання

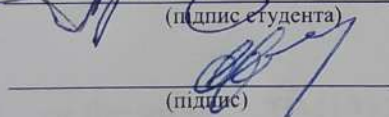
зі спеціальності: 133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва спеціальності)

Виконав: студент групи ПМ 19130


(підпис студента)

/Єгор ГРОЗА /
(Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник:


(підпис)

/ Олексій КУРОП'ЯТНИК /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Нормоконтролер:

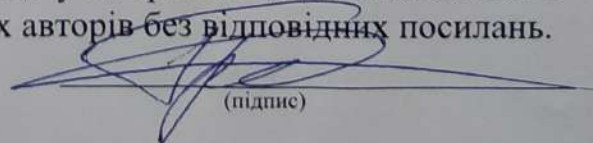

(підпис)

/ Олександр ПОСМІТЮХА /
(посада, Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Консультанти:

Засвідчую, що у цій роботі немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студент


(підпис)

Дніпро – 2022 рік

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

(faculty)

Department of Applied Mechanics and Materials Science

(department)

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic:

Two-run suspended freight track with ring movement. complex project. simulation modeling of dynamics of drive with pulley of variable moment of inertia

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road, reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

(speciality and its code)

Done by the student of the group: ПМ19130 / Yehor HROZA

(name, surname)



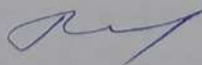
Scientific Supervisor:



/ Oleksii KUROIPIATNYK /

(position, name, surname)

Normative controller:



/ Oleksandr POSMITIUKHA /

(position, name, surname)

Ministry of Education and Science of Ukraine
Ukrainian State University of Science and Technologies

Faculty of Transport Engineering

(faculty)

Department of Applied Mechanics and Materials Science

(department)

Explanatory Note
to Bachelor's Thesis

on the topic: **TWO-RUN SUSPENDED FREIGHT TRACK WITH RING
MOVEMENT. COMPLEX PROJECT. SIMULATION MODELING OF
DYNAMICS OF DRIVE WITH PULLEY OF VARIABLE MOMENT OF INERTIA**

according to educational curriculum «Lifting and transport, construction, road,
reclamation machines and equipment»

in the Speciality: 133 Industrial Engineering

(speciality and its code)

Done by the student of the group: ПІМ19130 / Yehor HROZA /
(name, surname)

Scientific Supervisor: / Oleksii KUROIPIATNYK /
(position, name, surname)

Normative controller : / Oleksandr POSMITIUKHA /
(position, name, surname)

Міністерство освіти і науки України
Український державний університет науки і технологій

Факультет: Транспортна інженерія

Кафедра: Прикладна механіка та матеріалознавство

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Освітня програма: Підйомно-транспортні, будівельні, дорожні, меліоративні машини і обладнання

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

_____ **Сергій РАКША**
(підпис) (Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

Дата _____

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу

на здобуття ступеня вищої освіти «бакалавр»

(ступінь вищої освіти)

студенту Грозі Єгору Сергійовичу

(Прізвище, Ім'я По батькові)

1. Тема роботи: **Двоканатна підвісна вантажна дорога з кільцевим рухом. комплексний проект. імітаційне моделювання динаміки приводу зі шківом змінного моменту інерції**

Керівник роботи: Куроп'ятник Олексій Сергійович, к. т. н., доцент

(Прізвище, Ім'я, По батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом від

" 10 " 11 2021р. № 16

2. Строк подання студентом роботи:

20. _06_. 2022 р.

3. Вихідні дані до роботи:

Матеріал – руда, Насипна маса вантажу $\gamma = 18,64 \text{ кН/м}^3 = 2,2 \text{ т/м}^3$, Річна продуктивність $M = 900$ тис. т/рік, Кількість робочих днів за рік $n_c = 270$, Кількість годин роботи за добу $n_r = 16$, Початкові та кінцеві пункти – 4-11.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно опрацювати):

4.1 Аналітична частина: огляд і аналіз існуючих конструкцій канатних доріг

4.2 Основна частина: проектний розрахунок канатної дороги

4.3 Науково-дослідна частина: . Імітаційне моделювання динаміки зі шківом змінного моменту інерції. Аналіз результатів досліджень

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень):

Загальний вигляд станцій канатної дороги, Профіль канатної дороги, Шків змінного моменту інерції, Привід зі шківом змінного моменту інерції 3D, Результати досліджень

6. Консультанти розділів роботи:

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Завдання видав: (підпис консультанта, дата)	Завдання прийняв: (підпис студента, дата)

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Огляд і аналіз існуючих конструкцій канатних доріг	06.03.2022	
2	Проектний розрахунок канатної дроги	24.04.2022	
3	Імітаційне моделювання динаміки зі шківом змінного моменту інерції	10.05.2022	
4	Аналіз результатів досліджень	20.05.200	
5	Підготовка графічної частини роботи	10.06.2022	
6	Подання кваліфікаційної роботи до кафедри	20.06.2022	
7	Захист кваліфікаційної роботи на засіданні Екзаменаційної комісії	21.06.2022	

Студент

_____ (підпис)

Єгор ГРОЗА

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Олексій КУРОП'ЯТНИК

_____ (Ім'я ПРІЗВИЩЕ)

РЕФЕРАТ

Кількість томів: 1

В записці всього 55 сторінок

Найменування роботи: Двоканатна підвісна вантажна дорога з кільцевим рухом. комплексний проект. імітаційне моделювання динаміки приводу зі шківом змінного моменту інерції.

Ілюстрації: схем 7; рисунків 5;
графіків 6;
таблиць 3.

Ключові слова: канатна дорога, шків, інерція, привід, розрахунок, дослідження, сила, потужність, власна частота, станції, моделювання, модель.

Текст реферату:

Метою кваліфікаційної роботи є виконати проектний розрахунок вантажної канатної дороги з кільцевим рухом; встановити діапазон зміни моменту інерції шківа під час перехідних процесів у роботі приводу канатної дороги.

Для досягнення поставленої мети у кваліфікаційній роботі вирішений ряд завдань, основними з яких є наступні: виконаний огляд і аналіз відомих існуючих конструкцій канатних доріг, та виконаний аналіз відомих патентних рішень; виконаний проектний розрахунок приводу зі шківом змінного моменту інерції; виконаний імітаційне моделювання приводу зі шківом змінного моменту інерції за допомогою програми Solidworks із застосування додатку SW Motion.; отримані графіки моменту інерції та власної частоти; зроблені висновки за результатами виконання роботи; виконаний ряд графічних матеріалів, , що ілюструють дану роботу, а також підготовлена відповідна презентація

ЗМІСТ

ВСТУП	8
1. ВИХІДНІ ДАНІ	12
2. ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КАНАТНИХ ДОРІГ	13
3. ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК ПРИВОДУ КАНАТНОЇ ДОРОГИ	27
3.1 Розрахунок пропускної здатності	27
3.2 Розрахунок та вибір канатів	28
3.2.1 Вантажна гілка	29
3.2.2 Порожня гілка	30
3.3 Розрахунок контрвантажів та довжини натяжних діляниць	31
3.4 Побудова поздовжнього профілю канатної дороги	32
3.5 Аналітичний розрахунок профілю канатної дороги	34
3.6 Станції та лінійні споруди	40
3.6.1 Завантажувальні станції	40
3.6.2 Розвантажувальна станція	40
3.6.3 Лінійна станція	41
3.6.4 Захисні пристрої	42
4 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ ЗІ ШКІВОМ ЗМІННОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ	43
4.1 Опис шківа змінного моменту інерції	43

					ДІТ. 480000. 419. КРПЗ					
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	Пояснювальна записка			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
Розроб.		Гроза Є.С.						6	56	
Перевір.		Куроп'ятник								
Реценз.										
Н. Контр.		Посмітюха						УДУНТ, гр. ПМ19130		
Затверд.		Ракша								

4.2	Опис імітаційної моделі	46
4.3	Визначення моменту інерції шківа	49
5.	АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ	50
5.1	Аналіз зміни моменту інерції	50
5.2	Аналіз впливу змінності моменту інерції шківа на його власну частоту	51
	ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ	54
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ	55

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						7
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

Підвісні канатні дороги це вид транспорту в якому вантаж транспортується у вагонетках по каната на значні відстані.

Канатні дороги поділяються на два види одноканатні і двоканатні.

Одноканатні дороги мають один тяговий канат до якого прикріплюються вагонетки в свою чергу вагонетки висять на підвісних шляхах зазвичай це рейкові шляхи. Таким чином вагонетки на станціях переміщуються по рейкам, що дозволяє на станції виконати розгалужені шляхи а на самій канатній дорозі вони переміщуються на тяговому канаті.

Двоканатні дороги уявляють собою тяговий та несучий канати. По несучому канату переміщуються вагонетки а за допомогою тягового канату відбувається їх рух.

В обох цих видах можна реалізувати як кільцевий рух так і маятниковий рух. Кільцевий це такий рух при якому вагонетки переміщуються по колу в свою чергу маятниковий рух, при якому дорога має на кожній лінії по одній(декілька) вагонетці, що здійснює реверсивний рух уперед і назад по одній лінії між кінцевими пунктами дороги.[1]

У кожної механічної системи є цілий спектр власних частот. Це певні значення власних частот (частот вільних коливань), за яких система може увійти в резонанс у разі, коли частота зміни зовнішнього навантаження буде близькою до однієї з власних частот системи. В межах даної роботи механічною системою є привід канатної дороги. Дослідження показали, що під час розгону привід долає декілька резонансних зон за власними частотами [2]. Зважаючи на те, що виникнення явища резонансу для приводів є небезпечним і вкрай небажаним, у даній роботі пропонується змінити конструкцію шківів. Змінений шків буде відрізнятися від типового тим, що під час розгону та сповільнення приводу його

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

момент інерції буде змінюватися. Такий шків будемо називати шківом змінного моменту інерції.

Змінити момент інерції шківа можливо декількома способами:

- за допомогою інерційних дисків, які вводяться в зачеплення зі шківом послідовно [3];
- шляхом використання додаткових вантажів на важелях, які відхиляються від вертикальної осі обертання системи під дією відцентрових сил під час розгону [4];
- за рахунок зміни радіуса інерції шляхом зміни вручну кута нахилу радіальних штанг, до кінців яких прикріплено вантажі [5];
- за рахунок зміни фізико-механічних властивостей феромагнітної рідини, у якій перебуває порожнистий диск з магнітом'якого матеріалу, під дією змінного магнітного поля [6];
- інші способи [7, 8].

Такі способи мають ряд недоліків:

- суттєве збільшення маси та габаритів шківа;
- необхідність використання індивідуальних джерел енергії;
- складність виготовлення.

Дещо простіший та більш ефективний спосіб зміни моменту інерції реалізовано у конструкції шківа, схему та принцип дії якого захищено патентом на корисну модель [9]. Відповідно до цього патенту, шків змінного моменту інерції складається з базової конструкції, напрямних, уздовж яких переміщуються вантажі, які з'єднано з маточиною шківа за допомогою пружних блоків. Його принцип дії (реалізація зміни моменту інерції) полягає в наступному: під час розгону приводу вантажі під дією сил інерції рухаються від маточини до ободу, за рахунок чого підвищується радіус інерції, а отже, й момент інерції шківа.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

Попередній вплив зміни моменту інерції шківів на його власну частоту можна оцінити за формулою

$$\omega_0 = \sqrt{\frac{C}{J}}, \quad (1.1)$$

де ω_0 – власна частота механічної системи – приводу; C – приведена жорсткість системи; J – приведений момент інерції системи.

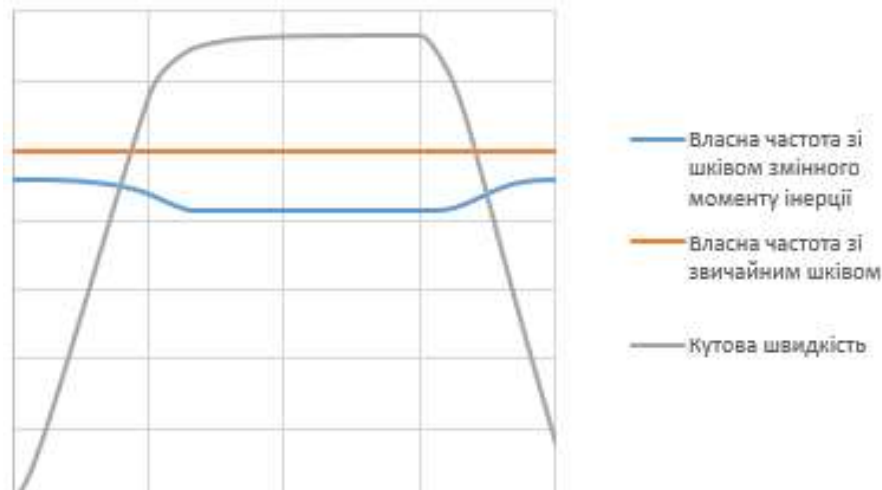


Рис. 1.1 - Очікуваний результат впливу змінності моменту інерції шківів на його власну частоту

Очікуваний результат впливу змінності моменту інерції шківів на власну частоту системи представлено на рис. 1.1. Як можна бачити, під час розгону (збільшення частоти обертання шківів) привід долає резонансну зону: крива зміни частоти обертання шківів перетинає криву зміни власної частоти приводу. При цьому використання шківів змінного моменту інерції дозволяє долати резонансну зону раніше та швидше.

Метою даної роботи є визначення впливу пружних та інерційних параметрів на момент інерції приводу канатної дороги. Для досягнення поставленої мети було розв'язано такі задачі:

1. Огляд і аналіз існуючих конструкцій канатних доріг.
2. Проектний розрахунок вантажної канатної дороги з кільцевим рухом.

3. Імітаційне моделювання динаміки приводу зі шківом змінного моменту інерції

В якості апарату для проведення досліджень використано імітаційне моделювання, що полягає у відтворенні процесу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» в системі автоматизованого моделювання та проектування Solidworks із застосування додатку SW Motion.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						11
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1 ВИХІДНІ ДАНІ

Матеріал –руда,

Насипна маса вантажу $\gamma = 18,64 \text{ кН/м}^3 = 2,2 \text{ т/м}^3$

Річна продуктивність $M - 900 \text{ тис. т/рік}$

Кількість робочих днів за рік $n_c - 270$

Кількість годин роботи за добу $n_r - 16$

Початкові та кінцеві пункти – 4-11

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2.ОГЛЯД І АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ КОНСТРУКЦІЙ КАНАТНИХ ДОРОГ

Підвісні канатні дороги є спеціальним видом транспорту, при якому вантажі транспортуються в вагонетках по канатах на значні відстані. Такого типу дороги дозволяють перекривати значні прольоти (500 м і більше) і долають великі ухили (до 45%), що ставить їх в умови, майже незалежні від рельєфу місцевості[10].

Вони дозволяють також транспортувати вантажі по найкоротшій трасі в гірських районах, через водні перешкоди, залізничні колії, автомобільні дороги та інші перешкоди.

Канатні дороги не вимагають спорудження мостів, виконання земляних робіт, їх робота не залежить від снігопаду. Вони дають можливість автоматизувати навантажувальні і розвантажувальні операції, що в багатьох випадках виключає перевантаження, зазвичай супутню рейковому або без рельсовому транспорту.

У будівництві широкого поширення набули двоканатні підвісні дороги; вони можуть мати велику протяжність з прольотами між опорами до 1000 м. Продуктивність однієї нитки такої дороги зазвичай становить до 250 т /год[10].

У плані канатна дорога зазвичай становить пряму лінію, що сполучає кінцеві станції. При необхідності повороту траси дороги застосовуються кутові станції. На кутових станціях встановлюються .приводні пристрої, завдяки наявності яких канатна дорога розбивається на

Основними частинами вагонетки є ходовий візок, підвіска, кузов і затискний апарат (замок).

Від перекидання кузов утримується важелем. Вісь обертання кузова зміщена щодо його середньої осі, внаслідок чого при набіганні на аншлаг (упор в вузлах розвантажування) важіль відкидається і кузов перекидається.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

У чотириколісних вагонетках кожна візок шарнірно закріплена на рамі і має можливість само встановлюється, чим досягається рівномірний розподіл навантаження на всі колеса.

В якості несучих канатів застосовують спіральні канати одинарної завивки відкритого, закритого або напівзакритого типів. Ці канати складаються з товстих дротів товщиною 3 -6 мм , мають гладку і щільну поверхню і добре протидіють поперечному стиску[10].

В якості тягових застосовуються канати паралельного плетіння з одним сердечником зазвичай з шести пасмами по 7 або 19 дротів товщиною 1-2 мм.

Інтервал часу надходження вагонеток становить в середньому 30-50 сек. і залежить від способу завантаження і обгону вагонеток. Відстань між вагонетками в середньому 50-150 м. [10].. Після закінчення часу, рівного інтервалу між вагонетками на лінії, спеціальні контакти дистанціометра замикають ланцюг і передають сигнал для включення відкочувального пристрою.

В процесі експлуатації канатних підвісних доріг систематично ведеться належна документація, в якій відображаються робота дороги і її основні показники.

Підвісні канатні дороги на відмінку від наземних доріг характеризуються підвісного канатного або рейкового шляху, по якому відбувається рух вагонеток.

Найбільш характерними ознаками для класифікації підвісних доріг є вид тяги; він в основному впливає на конструкцію підвісної дороги і визначає тип рухомого складу, тягові органи, приводи, а також в більшості випадків й тип підвісного шляху. Відповідно роду тяги всі підвісні канатні дороги можна розділити на дві основні групи.

Підвісні дороги з централізованою (канатною) тягою [1]– так звані підвісні канатні дороги в яких всі вагонетки на лінії з'єднання з безкінечним тяговим канатом, маючим стаціонарний привід. На проміжних і кінцевих станціях вагонетки можуть від'єднуватись від тягового канату і рухатись вручну, самокатом

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

або за допомогою механічних пристроїв по підвісним рейковим шляхам; шляху за допомогою стрілок; хрестовин та інших перевідних пристроїв можуть мати будь-які розгалуження.

Канатна тяга не потребує зчеплення ходових колес з шляхом тому дозволяє мати канатний шлях з крутим ухилом й досить великими прольотами між опорами.

Довжина канатної дороги не обмежена, при чому дороги великої довжини складаються з ряду послідовно розташованих привідних ділянок з проміжними станціями.

Підвісні дороги з децентралізованою тягою [1]- в яких є самохідні вагонетки або ж групи вагонеток рухаються за допомогою локомотивів. Особливою властивістю цієї групи доріг є також горизонтальний або з невеликим ухилом підвісний шлях, в основному рейковий (по умові зчеплення привідних коліс), а також можливості забезпечувати самохідні вагонетки підйомними механізмами. Ці дороги виконуються з електричною а рідше з тепловою тягою; зустрічаються.

Підвісні канатні дороги поділяються на два види: двоканатні і одноканатні.

В двоканатних дорогах [1] (рис 2.1) є два види канатів: несучі канати, по яким катаються ходові колеса вагонеток, тяговий канат за допомогою якого відбувається рух вагонеток.

Якщо відмовитися від пристрою зчіпних приладів при автоматичному навантаженні на ходу, то вагонетка може бути здійснена у вигляді рухомого ковша наглухо скріпленого з тяговим катом. Канатна дорога в цьому випадку перетворюється на канатно-ковшовий конвеєр з двома паралельними несучими канатами, які можуть утворити вертикально замкнутий шлях, що допускає включення горизонтальних рейкових кривих.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

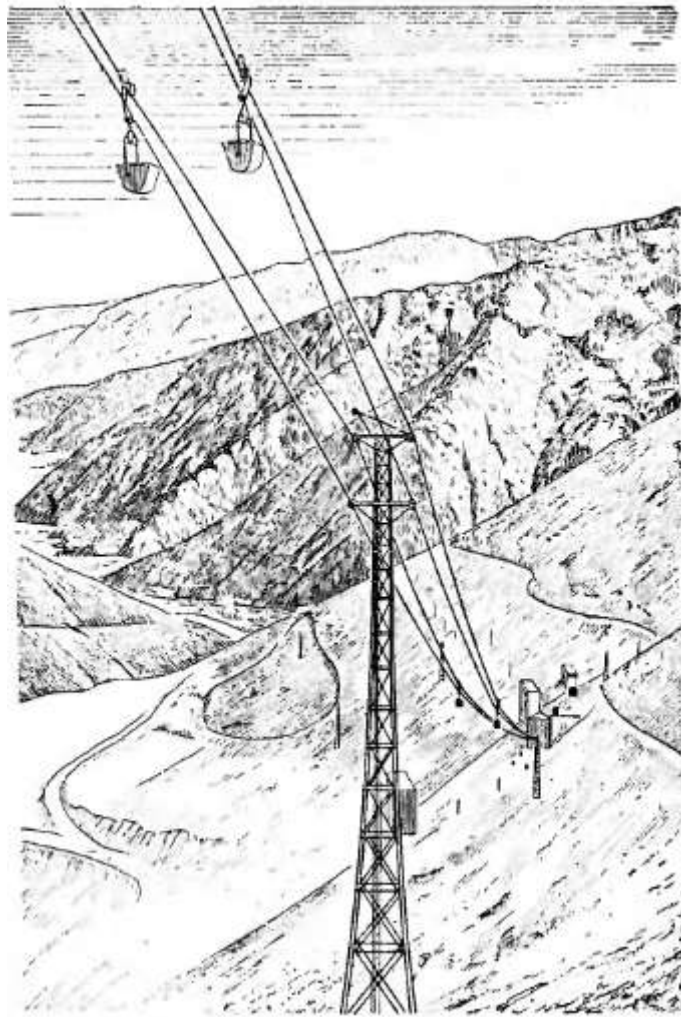


Рис 2.1 - Двоканатна дорога

Одноканатні підвісні дороги[1] (рис. 2.2) мають лише один канат — тяговий, до якого на станціях прикріплюються вагонетки та переносяться останніми між кінцевими пунктами. Таким чином, в одноканатній дорозі вагонетки на станціях переміщуються по підвісним рейковим шляхам на ходових колесах, а на лінії дороги висять на тяговому канаті, що рухається, являючи собою перехідну ступінь від підвісних доріг до канатного транспортера.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

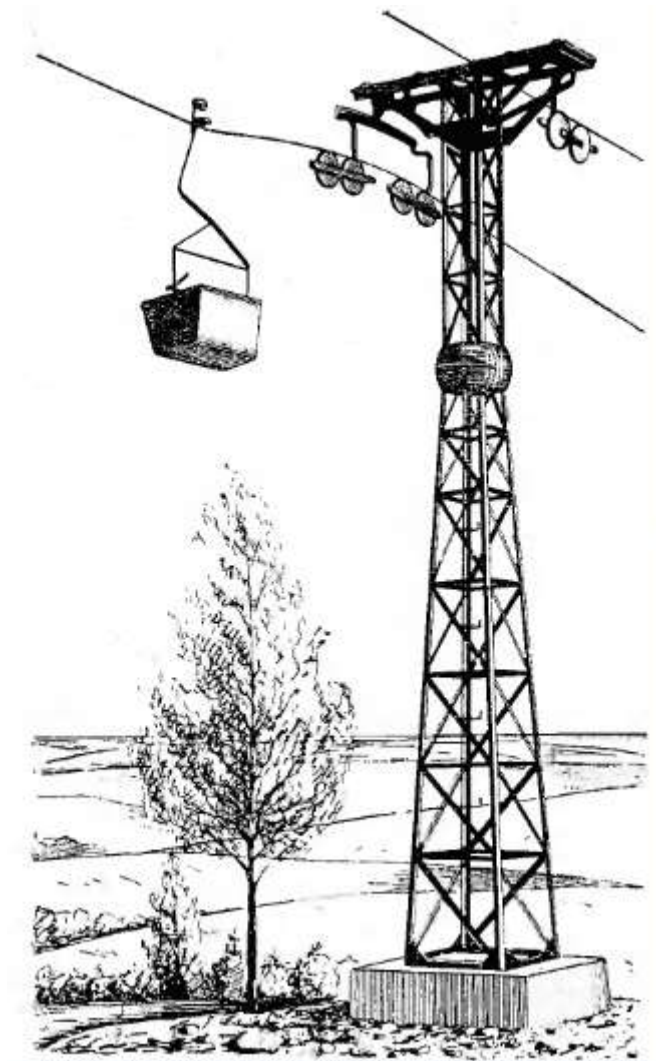


Рис 2.2 - Одноканатна дорога

Як двоканатні, так і одноканатні дороги можуть бути виконані із замкнутим кільцевим рухом вагонеток, які по одній лінії дороги транспортують вантаж, а по іншій лінії повертаються порожніми, або ж із маятниковим рухом, при якому дорога має на кожній лінії по одній вагонетці, що здійснює реверсивний рух уперед і назад по одній лінії між кінцевими пунктами дороги. Маятникове рух застосовується у дорогах невеликої довжини при цьому глухе кріплення вагонетки до тягового каната дозволяє не обмежувати її вантажопідйомність і значно підвищити швидкість руху.

Крім доріг стаціонарного типу існують переносні підвіси. ні канатні дороги, що часто використовуються в будівництві та сільському господарстві. Вони

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

виповнюються як по двуканатній, так і по одноканатній системам і є дороги-полегшеного типу, конструкція яких повністю підпорядкована вимогам швидкого монтажу та зручності перевезення.

Канатні дороги служать для вантажного руху та пасажирських перевезень; існують також вантажно-пасажирські дороги. Пасажирські канатні дороги (рис. 2.3) виконуються дво- та одноканатними, маятниковим та кільцевим рухом вагонів.



Рис 2.3 - Пасажирська канатна дорога

Канатні дороги в багатьох випадках успішно конкурують з автотранспортом і залізницями, маючи в порівнянні з ними наступні переваги[1].

1. Канатна дорога не залежить від профілю місцевості та дозволяє уникнути спорудження мостів м естакад та значних земляних робіт. Можливо вести її найкоротшою трасою, яка за важких умов місцевості (особливо в гірських умовах) може бути в кілька разів коротше відповідної залізничної або автомобільної колії.

2. Робота канатної дороги залежить від атмосферних умов; дороги не схильні до снігових заметів і можуть працювати в самих суворих кліматичних умовах, наприклад у районах вічних снігів та на гірських перевалах з відмітками понад 4500 м над рівнем моря. Вони чуткі, проте, до дії поперечних вітрів, що викликають

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

відхилення вагонеток, і розраховуються нормально на роботу при тиску вітру до 20 кгс/см²[1].

3. Канатна дорога не тільки здійснює перевалку вантажів між двома певними пунктами, але й дозволяє одночасно піднімати вантаж на будь-яку висоту, розподіляючи його в кінцевих та проміжних пунктах за складами, бункерами або безпосередньо за місцями споживання. Навантажувальні та розвантажувальні станції можуть бути розташовані на будь-якій висоті (як під землею, так і над землею), найбільш зручною для безпосереднього навантаження та розвантаження вагонеток, які при сипких вантажах можуть відбуватися автоматично. Тим самим у багатьох випадках виключається необхідність у спеціальних перевантажувальних пристроях, які повинні супроводжувати наземну рейкову або безрейкову транспорту.

4. Канатна дорога, особливо з підвісним рейковим шляхом, є надзвичайно гнучкою в плані і вимагає для кривих значно меншої площі, ніж залізниця. Це особливо важливо при транспорт вантажів на заводському майданчику. До того ж, можливість розвантажити наземні шляхи сполучення дозволяє часто значно спростити рейково-заводську сітку і маневрову роботу на ній і створити більш компактне розташування виробничих цехів.

Пасажирські підвісні канатні дороги (ППКД) - канатні дороги, службовці для перевезення пасажирів у рухомому складі, що переміщається по несучому канату або за допомогою несуче-тягового каната. За типом руху ППКД поділяються на кільцеві, маятникові та пульсуючі. Кільцеві дороги забезпечують рух рухомого складу з постійною швидкістю, одному напрямку - по або проти годинникової стрілки, із застосуванням фіксованих або відчеплених затискачів рухомого складу. Маятникові дороги забезпечують зворотно-поступальний рух рухомого складу з його зупинкою на кінцевих станціях для посадки/висадки пасажирів. Пульсуючі дороги забезпечують кільцевий рух рухомого складу постійною швидкістю на лінії та з уповільненням її на кінцевих станціях для посадки/висадки пасажирів. При

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		19

цьому використовується рухомий склад фіксованим затискачем. Буксирувальні канатні дороги (БКД) – канатні дороги, призначені для переміщення пасажирів по ґрунту чи іншій поверхні у вигляді тягового каната. Наземні канатні дороги (НКД, фунікулери) — канатна дорога, призначена для переміщення пасажирів вагонах по рейковій колії/естакаді тяговим канатом. Траси канатних доріг проектують, зважаючи на техніко-економічний аналіз, який спирається на обґрунтованість та оптимальність вибору дороги. При будівництві пасажирських канатних доріг чимало важливим фактором є перспектива розвитку прилеглої території в цілому.

Канатні дороги мають цілу низку переваг перед існуючими видами транспорту, а саме[1]:

- мінімальний вплив на довкілля, оскільки викид шкідливих речовин відсутні (на рівні тролейбуса), а по шуму під час руху – на рівні електромобіля;

- відносні енерговитрати на переміщення (50 км/год) будуть у 5 – 10 разів нижчими, ніж у сучасного автомобіля;

- для прокладання магістралі потрібно не більше 0,1 га землі на один кілометр траси з інфраструктурою;

- не потрібно спорудження насипів, виїмок, будівництва тунелів, потужних естакад, шляхопроводів та віадуків, що порушують ландшафт та нестійких до впливу стихійних лих (землетруси, повені, зсуви та ін);

- собівартість перевезення знаходиться на рівні сучасних приміських електропоїздів;

- вартість будівництва траси з інфраструктурою дешевшою за сучасні залізниці та автомобільні дороги, цьому ресурсомісткість транспортної системи (потреба в будівельних матеріалах та конструкціях, обсяг земляних робіт, витрата чорних та кольорових металів тощо) буде мінімальною;

- кабіни забезпечать комфорт для пасажирів на рівні сучасного автобуса;

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						20
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

– транспортна система забезпечить безпеку рухи на рівні авіапасажирських перевезень; – пропускна спроможність однієї траси до 7 тис. пас./год.

Таким чином, перераховані вище аргументи свідчать про те, що канатний транспорт є достатньо перспективним і може бути основним видом транспорту для перевезення людей наприклад на гірськолижних курортах та туристичних комплексах. Крім того, канатні дороги можна використовувати, коли економічно не доцільно використання мостів та тунелів. Характерною особливістю одноканатних вантажних підвісних доріг є те, що функції несучого та тягового елемента виконує несучетяговий канат, замкнутий у кільце (рис 2.4). Завантажені вагонетки одноканатних вантажних підвісних доріг переміщуються жорстким рейковому шляху до виходу зі станції, де вони підключаються до тягового каната та переміщуються по несучому канату вантажної гілки до розвантажувальної станції Б (рис 2.4). Вагонетки здійснюють кільцевий рух, але на лінії між станціями А і Б вони не спираються на гнучкий підвісний шлях, а підвішені до безперервно рухається несуче-тяговому канату і переміщуються разом з ними [11].

При вході на станцію вагонетки автоматично відключаються від каната та пересуваються по жорстких рейкових коліях, спираючись ходовими колесами, при сході з рейкової колії вагонетки автоматично зчіплюються з затискним канатом апаратом. Несуче-тяговий канат рухається фрикційним приводом. з канатоведучим шківом.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						21
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

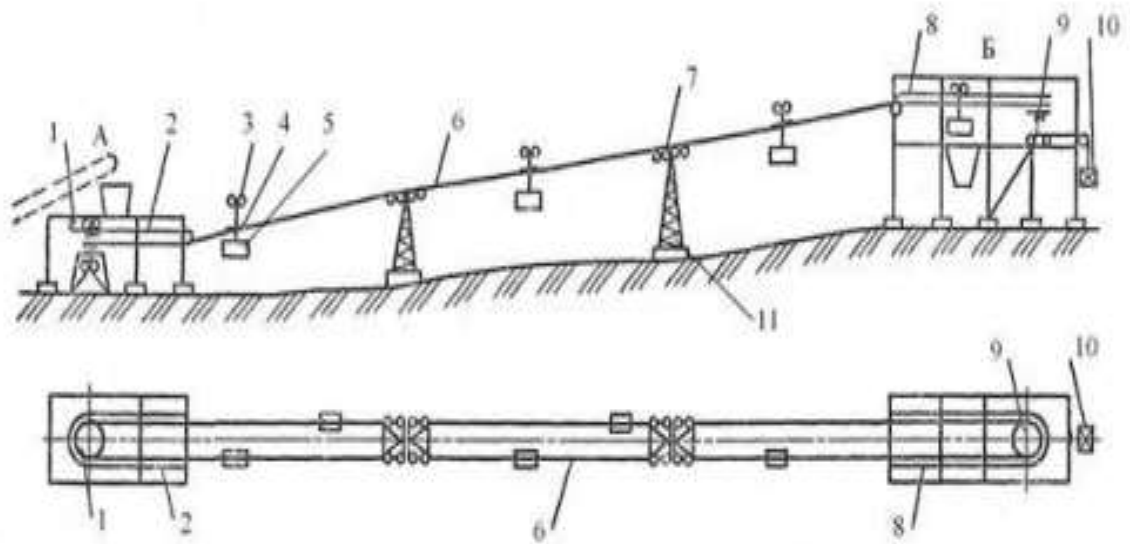


Рис 2.4 - Одноканатна підвісна канатна дорога з кільцевим рухом

1 – фрикційний привід; 2, 8 – рейкові колії; 3 – ходові колеса; 4 – затискний апарат; 5 – вагонетки; 6 – канат; 7 – балансірні роликові батареї; 9 – кінцевий шків; 10 - вантаж натяжного пристрою; 11 – опори

Характерною особливістю двоканатних вантажних підвісних доріг кільцевим рухом є наявність гнучких підвісних шляхів – несучих канатів, якими здійснює кільцевий рух рухомий склад (вагонетки), що переміщується між станціями тяговим канатом, замкненим в кільце (рис 2.5)[11].

На вантажній станції А вагонетки за допомогою вимикача звільняють від тягового каната і завантажують із бункера. Тут вагонетки знову переходять на жорсткий рейковий шлях, що з'єднує несучі канати вантажний та холостий гілок, що розвантажуються в бункер, обходять оборотний шків тягового каната, підключаються до нього і по несучому канату холостої гілки повертаються в пункт А. Кінці несучих канатів закріплені на станції А, а на станції Б натягнуті вантажами.

У одноколінійної двоканатної підвісної дороги (рис. 2.6) маятникове (реверсивний) рух по несучому канаті здійснює тільки одна вагонетка, несучий

канат прикріплений до якоря і натягнутий контрвантажем. Тяговий канат (як на дорогах з кільцевим рухом) відводиться на одній зі станцій до приводу, а на інший натягується контрвантажем.

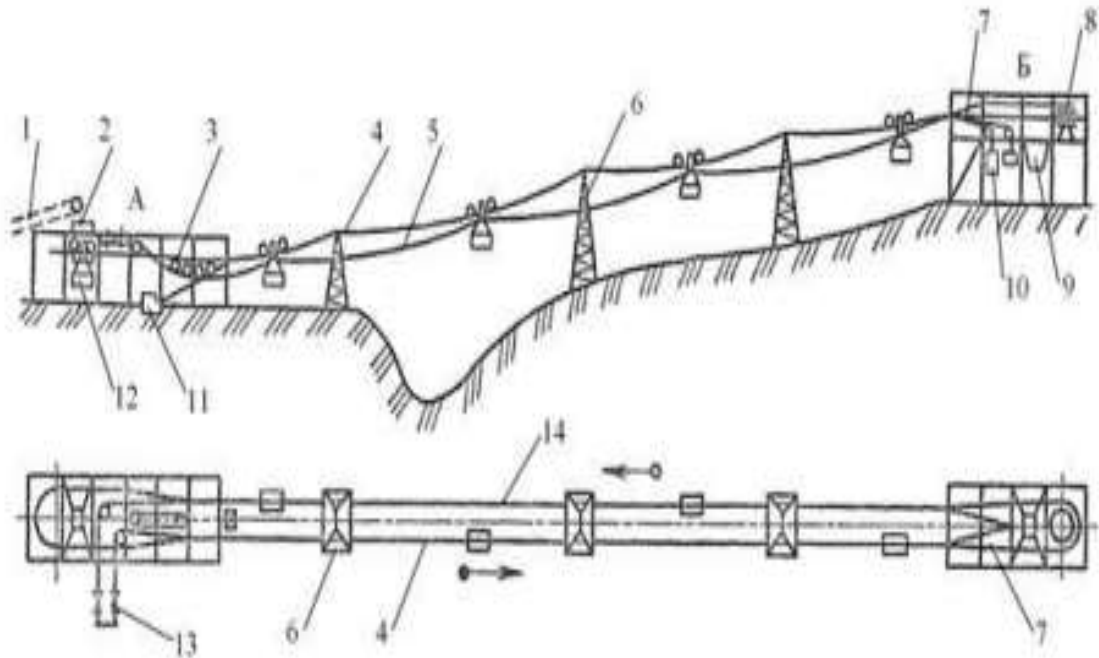


Рис. 2.5 - Двоканатна вантажна підвісна дорога з кільцевим рухом

1 – завантажувальний конвеєр; 2, 9 – бункер; 3, 7 – рейковий шлях; 4, 14 – несучі канати; 5 – тяговий канат; 6 – опори; 8 – оборотний шків; 10 – вантажі натяжного устрою; 11 – закріплювальні якорі; 12 – вагонетки; 13 – фрикційний привід.

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

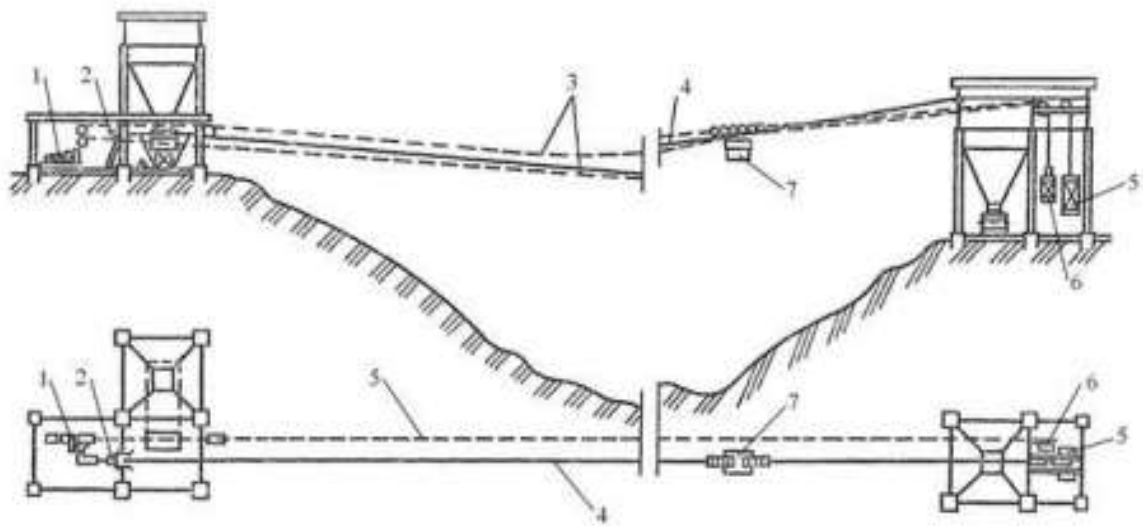


Рис. 2.6 - Двоканатна підвісна дорога з маятниковим рухом

1 – фрикційний привід; 2 – якір; 3, 5 – тяговий канат; 4 – несучий канат; 6 – контрвантаж; 7 – вагонетка.

Найбільше поширення вантажні підвісні канатні дороги (ДПКД) отримали в гірських, перетнутих, важкодоступних місцевостях, де вони забезпечують перевезення по найкоротшій відстані та з найменшими витратами. Вантажні підвісні канатні дороги є одним із видів промислового транспорту для перевезення сипких корисних копалин. До основних факторів, що визначають перевагу ДПКД у порівнянні з іншими видами транспорту (автомобільним, конвеєрним, залізничним, пневмоконтейнерним), можна віднести:

- значне скорочення дальності перевезення, оскільки траси найкоротшим шляхом між кінцевими пунктами з допустимим ухилом 45° [11];
- безперебійна робота незалежно від погодних умов (за винятком дуже сильного вітру);
- порівняно низький обсяг одноразових капітальних вкладень та експлуатаційних витрат, необхідних для будівництва та експлуатації

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		24

ДПКД;

- скорочення відводів земельних угідь та запобігання вирубці

великих масивів лісу;

- Стимулювання розвитку високогірних районів;

- Виключення забруднення навколишнього середовища;

- Зниження шуму від роботи машин.

Експлуатаційна довговічність ДПКД обчислюється тридцятьма роками та більше. Слід зазначити, що останнім часом ДПКД стають у певних умовах досить серйозним конкурентом автомобільного транспорту.

Крім традиційних транспортних канатних систем нетрадиційні їх види, такі як повітряні канатно-монтажні транспортні Системи, а також струнні транспортні системи.

Аеростатні канатно-монтажні транспортні системи призначені для транспортування до 7.5 млн. т на рік вантажів зі швидкістю до 300 км/год[11].

Принцип дії пасажирських підвісних канатних доріг аналогічний принцип дії вантажних підвісних канатних доріг. Принципова відмінність пасажирських канатних доріг від вантажних полягає в конструкції рухомого складу та підвищених вимог до безпеки.

За конструкцією рухомого складу пасажирські підвісні канатні дороги: Крісельні (зазвичай одноканатні кільцеві) – посадка висаджування пасажирів відбувається на ходу.

Кабінні канатні використовуються як транспортні магістралі. подолання водних перешкод та гірських ущелин.

З урахуванням вимог чинних Правил безпеки швидкість руху канатних доріг з невідчепленими кабінами з кільцевим пульсуючим рухом груп 2-6-місних кабін не

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						25
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

повинна перевищувати 4 м/с; посадка та висадка пасажирів на станціях здійснюється при зупиненому рухому складі чи швидкості 0,2–0,5 м/с[11].

Кабіни кріпляться до каната за допомогою спеціальних затискачів, що відчіплюються, не потребують технічного обслуговування. При вході гондоли на станцію її затискач відчіплюється від тягово-несучого каната, і вона переходить на станційний підвісний конвеєр, при цьому швидкість кабіни зменшується до 0,3 м/с, її двері автоматично відчиняються і пасажери виходять, потім гондола продовжує свій рух на станційному конвеєрі на інший бік станції, пасажери заходять у кабіну, двері автоматично зачиняються, гондола розганяється конвеєром до швидкості каната, затискач захоплює канат і гондола виходить зі станції.[11]

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3 ПРОЕКТНИЙ РОЗРАХУНОК КАНАТНОЇ ДОРОГИ

3.1 Розрахунок пропускної здатності

Визначаю годинну продуктивність :

$$Q = \frac{k \cdot M}{n_c \cdot n_r} = \frac{1,1 \cdot 900000}{270 \cdot 16} = 229,2 \text{ т/год}, \quad (3.1)$$

де k - коефіцієнт нерівномірності надходження вантажу при двозмінній роботі,
 $k=1,1$ [1, додаток 2],

M – кількість вантажу, яка транспортується за рік, $M = 900000$ т,

n_c - кількість робочих днів ВПКД за рік, $n_c = 270$ днів/рік,

n_r - кількість годин роботи ВПКД за добу, $n_r = 16$ год/добу.

Визначаю кількість вагонеток, що випускаються зі станції :

$$n = \frac{Q}{p_{гр}} = \frac{229,2}{1,43} = 160,3, \quad (3.2)$$

де Q – годинна продуктивність, $Q=229,2$ т/год,

$p_{гр}$ – маса вантажу в вагонетці,

$$p_{гр} = \gamma \cdot \vartheta \leq p_{гр}^{розр} = 2,2 \cdot 0,65 = 1,43 \leq 1,7 \text{ т}$$

де γ - насипна маса вантажу, $\gamma = 2,2$ т/м³,

ϑ - ємність кузову, $\vartheta = 0,65$ м³ [12, додаток 3]

Для транспортування приймаю вагонетки з 4-колісним балансирним візком та глухими перекидним кузовом ємністю $\vartheta = 0,65$ м³, масою $P_v = 510$ кг та корисною вантажопідйомністю $p_{гр}^{розр} = 1700$ кг.

Приймаю кількість вагонеток $n=161$ шт.

Визначаю інтервал часу між вагонетками :

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\tau = \frac{3600}{n} = \frac{3600}{161} = 22.4 \approx 22 \text{ с}, \quad (3.3)$$

де n - кількість вагонеток, $n=161$ шт.

Швидкість руху вагонеток приймаю з урахуванням максимально допустимих $v_B = 2 \text{ м/с}$ [10, додаток 2].

Визначаю відстань між вагонетками:

$$\lambda = \tau \cdot v_B = 22 \cdot 2 = 44 \text{ м}, \quad (3.4)$$

де τ - інтервал часу між вагонетками, $\tau = 22 \text{ с}$,

v_B - швидкість руху вагонеток, $v_B = 2 \text{ м/с}$.

Визначаю парк вагонеток :

$$z_B = \frac{2,5 \cdot L}{\lambda} = \frac{2,5 \cdot 1,8 \cdot 10^3}{44} = 102,3 \text{ шт}, \quad (3.5)$$

де L – довжина ВПКД, $L = 1,8 \text{ км}$,

λ - відстань між вагонетками, $\lambda = 44 \text{ м}$.

Приймаю $z_B = 103$ шт.

3.2 Розрахунок та вибір канатів

За весь час роботи на канати діє ряд несприятливих умов :

- а) абразивне зношування;
- б) контактні напруження;
- в) напруження від згину;
- г) корозія.

Для максимального зменшення впливу цих факторів та продовження строку служби канатів, приймаю несучі канати закритої конструкції з зовнішнім рядом фасонних з-подібних дротів. Для з'єднання канатів слугують лінійні муфти з гвинтовою стяжкою.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.2.1 Вантажна гілка

Вибираю канат для вантажної гілки, виходячи з умови максимального натягу :

$$45 \leq \frac{T'}{R'} \leq 0,045\sqrt{N'}, \quad (3.6)$$

де T' - натяг несучого канату вантажної гілки, яке дорівнює вазі контрвантажу,

R' - тиск колеса на канат,

N' - кількість проходів колеса по канату за рік.

Визначаю тиск колеса на канат :

$$R' = \frac{(P_B + P_{Гр} + \lambda \cdot q_T)g}{i} = \frac{(510 + 1430 + 44 \cdot 1,5) \cdot 9,81}{4} = 4919,7 \text{ Н}, \quad (3.7)$$

де P_B – маса вагонетки, $P_B = 510$ кг,

$P_{Гр}$ - маса вантажу в вагонетці, $P_{Гр} = 1430$ кг,

λ - відстань між вагонетками, $\lambda = 44$ м,

q_T - погонна маса одного метру тягового канату, $q_T = 1,5$ кг,

i – кількість коліс візка, $i = 4$.

Визначаю кількість проходів колеса по канату за рік:

$$N' = i \cdot n_r \cdot n_c \cdot n = 4 \cdot 16 \cdot 161 \cdot 270 = 2782080, \quad (3.8)$$

де i - кількість коліс візка, $i = 4$,

n_r - кількість годин роботи за добу, $n_r = 16$ год.,

n_c - кількість робочих днів за рік, $n_c = 161$,

n - кількість вагонеток, $n = 161$.

Тоді :

$$T' \leq 0,045 \cdot R' \sqrt{N'} \leq 0,045 \cdot 4919,7 \cdot \sqrt{2782080} = 369263,1 \text{ Н}$$

$$\frac{T'}{R'} = \frac{369263,1}{4919,7} = 75,1 \geq 45$$

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						29
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Умова виконана.

Визначаю максимальний натяг з урахуванням перевантажень:

$$T'_{max} = 1,25 \cdot T' = 1,25 \cdot 369263,1 = 461578,9 \text{ Н}, \quad (3.9)$$

Визначаю розрахунковий натяг з 3-кратним запасом міцності:

$$T'_{роз} = 3T'_{max} = 3 \cdot 461578,9 = 1384,7 \text{ кН}, \quad (3.10)$$

Приймаю канат закритої конструкції з одним шаром z-подібних та одним шаром клиновидних дротів ГОСТ 7675-73, діаметром канату $d_H=42,5$ мм, масою одного погонного метра $q'_H = 118,7$ Н/м при $\sigma'_B=1275$ МПа, $T'_{роз} = 1422450$ Н [1, додаток 4].

3.2.2 Порожня гілка

Несучий канат порожнякового напрямку меншим діаметром ніж несучого вантажного вибирається по тій же умові :

$$T'' \leq 0,045 \cdot R'' \sqrt{N''} \quad \text{при} \quad \frac{T''}{R''} \geq 45$$

Визначаю тиск колеса на канат

$$R'' = \frac{(P_B + \lambda \cdot q_T)g}{i} = \frac{(510 + 44 \cdot 1,5) \cdot 9,81}{4} = 1412,6 \text{ Н}, \quad (3.11)$$

Визначаю кількість проходів колеса по канату за рік:

$$\sqrt{N''} = \sqrt{N'} = \sqrt{2782080} = 1668, \quad (3.12)$$

Визначаю натяг несучого канату порожньої гілки:

$$T'' \leq 0,045 \cdot R'' \cdot N'' \leq 0,045 \cdot 1412,6 \cdot 1668 = 106029,8 \text{ Н}, \quad (3.13)$$

$$\frac{T''}{R''} = \frac{106029,8}{1412,6} = 75,06 \geq 45$$

Умова виконана.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначаю максимальний натяг з урахуванням перевантажень:

$$T''_{max} = 1,25 \cdot T'' = 1,25 \cdot 106029,8 = 132537,3 \text{ Н}, \quad (3.14)$$

Визначаю розрахунковий натяг з 3-кратним запасом міцності:

$$T''_{роз} = 3T''_{max} = 3 \cdot 132537,3 = 397,6 \text{ кН}, \quad (3.15)$$

Приймаю канат закритої конструкції з одним шаром z-подібних ГОСТ 3090-73, діаметром канату $d_n=30,5$ мм, масою одного погонного метра $q'_n = 49,05$ Н/м при $\sigma'_B=980,1$ МПа, $T''_{роз} = 584676$ Н [12, додаток 4].

3.3 Розрахунок контрвантажів та довжини натяжних дільниць

Визначаю вагу контрвантажів для натягу несучих вантажних канатів :

$$\sigma = \frac{T_{роз}}{1,25 \cdot k}, \quad (3.16)$$

де $T_{роз}$ – розривне зусилля вантажної та порожньої гілки канату,

k – запас міцності, $k=3$.

Тоді для вантажного напрямку :

$$Q' = \frac{1422450}{3,75} = 379320 \text{ Н}$$

Для порожнього напрямку:

$$q'_n = \frac{584676}{3,75} = 155913,6 \text{ Н}$$

Визначаю максимальну довжину натяжної дільниці :

$$L_{нат} \leq \frac{0,24 \cdot G_n}{\mu \cdot q'_{пр}}, \quad (3.17)$$

де μ - коефіцієнт тертя канату об башмаки, $\mu = 0,16$,

$q'_{пр}$ - приведенне навантаження (погона) вантажної (порожньої) гілки.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Тоді для вантажного напрямку :

$$q'_{\text{пр}} = q'_H + q_T + \frac{(P_B + P_{\text{гр}}) \cdot g}{\lambda} = 118,7 + 14,7 + \frac{(510 + 1430) \cdot 9,81}{44} = 565,9 \text{ Н/м}, \quad (3.18)$$

$$L'_{\text{нат}} \leq \frac{0,24 \cdot 379320}{0,16 \cdot 565,9} = 1005,4 \text{ м}$$

Для порожнякового напрямку:

$$q''_{\text{пр}} = q''_H + q_T + \frac{P_B \cdot g}{\lambda} = 49,05 + 14,7 + \frac{510 \cdot 9,81}{44} = 177,5 \text{ Н/м} \quad , \quad (3.19)$$

$$L''_{\text{нат}} \leq \frac{0,24 \cdot 155913,6}{0,16 \cdot 177,5} = 1317,6 \text{ м}$$

Із розрахунків випливає, що дана канатна дорога довжиною $L=1800$ м буде складатися з двох натяжних ділянок як для вантажного, так і для порожнього напрямку, тобто необхідно встановити проміжну лінійну станцію.

3.4 Побудова поздовжнього профілю канатної дороги

Лінія, що сполучає опорні башмаки (вершини опор), називається повздовжнім профілем канатної дороги. До повздовжнього профілю пред'являються вимоги:

1) дотримання габаритів - габарит канатних підвісних доріг застосовуються з урахуванням можливого розгойдування вагонеток, а також з урахуванням можливого випадкового перекидання кузова в прольоті; відстань до землі встановлюється залежно від місця проходження дороги;

2) надійність прилягання несучого каната до опорних башмаків;

3) плавність профілю;

4) рівномірність завантаження приводу – при зрушенні вагонеток слід суворо витримувати інтервали між ними, які не повинні бути рівні або кратні відстані між опорами.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Дана канатна дорога проходить рівнинною місцевістю, з подоланням природної водної перешкоди - озера. Опори встановлюються на відстані 100-150 м з метою рівномірного розподілу навантажень на них за винятком опор, сусідніх із ВС та РС, тут прольоти 50-60 м. Вантажна станція розташована в кам'яному кар'єрі на висоті 150 м. Розвантажувальна станція розташована на висоті 155 м. При розрахунках натяжних ділянок встановлено, що необхідно встановити лінійну станцію. Встановимо якірно-натяжну станцію висотою $H=16$ м з натягом ділянки ЯНС-РС та закорюванням канату ділянки ЯНС-ВС. Встановлюємо ЯНС на відстані 1010 м від ВС. На своєму шляху канатна дорога перетинає дві шосейні дороги з асфальтовим покриттям, над якими встановлені мости.

Для найбільш небезпечних прольотів здійснимо перевірку провисів несучого каната f .

Відстань від несучого каната до землі на середині прольоту має задовольняти умову :

$$C=f+h_v+h_g, \quad (3.20)$$

де h_v – висота візка, $h_v = 2,7$ м,

h_g – вільний габарит (відстань від низу кузова вагонетки до землі), $h_g = 2,5$ м [10, додаток 7],

f – провис несучого каната, $f = \frac{q'_{пр} \cdot l^2}{8 \cdot Q'}$,

де $q'_{пр}$ - приведенне навантаження (погона) вантажної гілки, $q'_{пр} = 565.9$ Н/м

l – проліт,

Q' - вага контравнтажу вантажної гілки, $Q' = 379320$ Н

Для прольоту 1-2:

$$f = \frac{565,9 \cdot 183^2}{8 \cdot 379320} = 6,2 \text{ м,}$$

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						33
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$C=6,2+2,7+2,5=11,4 \text{ м} < 15 \text{ м}$$

Для прольоту 3-4:

$$f = \frac{565,9 \cdot 320^2}{8 \cdot 379320} = 19,1 \text{ м},$$

$$C=19,1+2,7+2,5=24,3 \text{ м} < 31 \text{ м}$$

Для прольоту 6-7:

$$f = \frac{565,9 \cdot 167^2}{8 \cdot 379320} = 5,2 \text{ м}$$

$$C=5,2+2,7+2,5=10,4 \text{ м} < 18 \text{ м}$$

3.5 Аналітичний розрахунок профілю канатної дороги

В результаті аналітичного розрахунку профіля перевіряється та визначаються:

- а) надійність прилягання несучого каната до башмаків;
- б) довжини башмаків на опорах та їх тип;
- в) навантаження на опори.

Визначальний фактор для цих величин – кут перегину канату вантажної гілки.

Визначаю кут перегину канату :

$$\alpha = \delta + \alpha_1 + \alpha_2, \quad (3.21)$$

де δ - кут перегину хорд (див. рис 3.), $\text{tg } \delta = \left(\pm \frac{h_{\text{л}}}{l_{\text{л}}} \right) - \left(\pm \frac{h_{\text{пр}}}{l_{\text{пр}}} \right)$

де $h_{\text{л}}, h_{\text{пр}}$ - перевищення зліва та справа,

$l_{\text{л}}, l_{\text{пр}}$ – прольоти зліва та справа,

α_1 - складова α , яка залежить від власної ваги несучого канату, $\text{tg } \alpha_1 = \frac{q_{\text{н}}}{2G'_{\text{н}}} (l_{\text{л}} + l_{\text{пр}})$,

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

де q_H - погонна вага несучого канату, $q_H = 118,7 \text{ Н/м}$,

α_2 - кут перегину несучого канату під дією навантаження (вантажу та вагонеток), $\text{tg} \alpha_2 = \frac{q_1}{2G_H} (l_l + l_{пр})$,

де q_1 - навантаження на один метр вантажної гілки, $q_1 = \frac{P_B + P_{гр}}{\lambda} = \frac{(510 + 1430) \cdot 9,81}{44} = 432,5 \text{ Н/м}$

$$\text{tg} \alpha = \text{tg} \alpha_{пор} + \text{tg} \alpha_2$$

де $\alpha_{пор}$ - кут перегину несучого канату при порожнім стані,

$$\alpha_{пор} = \delta + \alpha_1$$

Навантаження на опору визначається як:

$$R = G'_H \cdot \alpha, \quad (3.22)$$

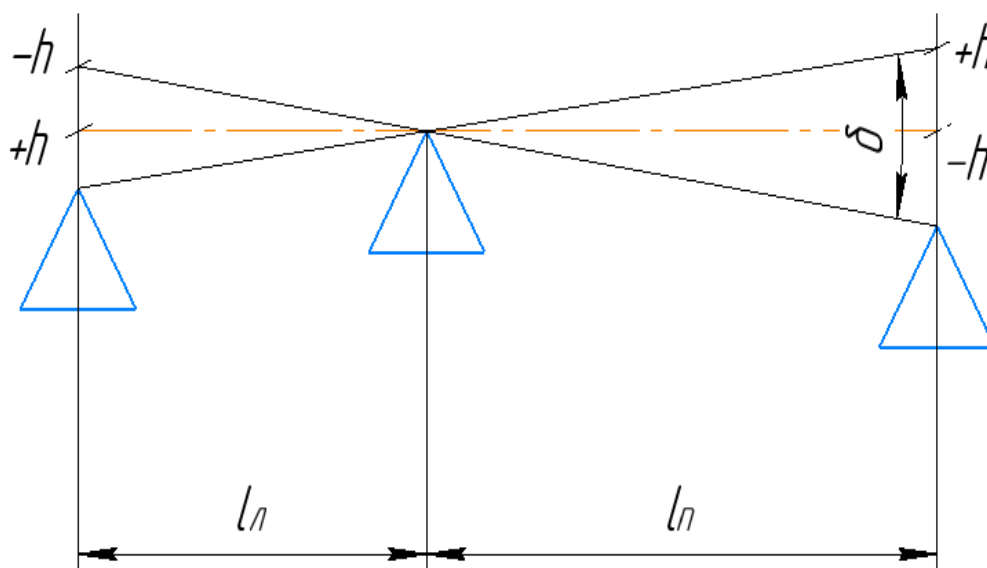


Рис. 3.1 – Розрахункова схема визначення кутів хорд

Опора 1 :

$l_l = 50 \text{ м}$, $l_{пр} = 183 \text{ м}$, $h_l = 1,8 \text{ м}$, $h_{пр} = 2,2 \text{ м}$

$$\text{tg} \delta = \frac{1,8}{50} - \frac{2,2}{183} = 0,024$$

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (50 + 183) = 0,036,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (50 + 183) = 0,127,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = 0,024 + 0,036 = 0,06,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,06 + 0,127 = 0,187,$$

$$R = 379320 \cdot 0,187 = 70932,8 \text{ Н}$$

Опора 2 :

$$l_л = 183 \text{ м}, \quad l_{\text{пр}} = 137 \text{ м}, \quad h_л = 2,2 \text{ м}, \quad h_{\text{пр}} = 1 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{2,2}{183} - \frac{1}{137} = 0,0047$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (183 + 137) = 0,05,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (183 + 137) = 0,182,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = 0,0047 + 0,05 = 0,055,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,055 + 0,182 = 0,237,$$

$$R = 379320 \cdot 0,237 = 89898,8 \text{ Н}$$

Опора 3 :

$$l_{2-3} = 137 \text{ м}, \quad l_{3-4} = 320 \text{ м}, \quad h_{2-3} = 1 \text{ м}, \quad h_{3-4} = 0 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{1}{137} - \frac{0}{320} = 0,0073$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (137 + 320) = 0,072,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (137 + 320) = 0,261,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = 0,0073 + 0,072 = 0,079,$$

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,079 + 0,261 = 0,34,$$

$$R = 379320 \cdot 0,34 = 128968,8 \text{ Н}$$

Опора 4 :

$$l_{3-4} = 320 \text{ м}, \quad l_{4-5} = 160 \text{ м}, \quad h_{3-4} = 0 \text{ м}, \quad h_{4-5} = 3 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{0}{320} - \left(-\frac{3}{160} \right) = 0,00188$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (320 + 160) = 0,075,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (320 + 160) = 0,274,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = 0,00188 + 0,075 = 0,077,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,077 + 0,274 = 0,351,$$

$$R = 379320 \cdot 0,351 = 133141,3 \text{ Н}$$

Опора 5 :

$$l_{4-5} = 160 \text{ м}, \quad l_{5-6} = 120 \text{ м}, \quad h_{4-5} = 3 \text{ м}, \quad h_{5-6} = 1 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg} \delta = -\frac{3}{160} - \left(-\frac{1}{120} \right) = -0,01$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (160 + 120) = 0,044,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (160 + 120) = 0,159,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = -0,01 + 0,044 = 0,034,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,034 + 0,159 = 0,193,$$

$$R = 379320 \cdot 0,193 = 73208,76 \text{ Н}$$

Опора 6 :

$$l_{ст-6} = 110 \text{ м}, \quad l_{6-7} = 167 \text{ м}, \quad h_{ст-6} = 3 \text{ м}, \quad h_{6-7} = 4,2 \text{ м}$$

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{3}{110} - \frac{4,2}{167} = 0,0021$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (110 + 167) = 0,043,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (110 + 167) = 0,158,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = 0,0021 + 0,043 = 0,045,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,045 + 0,158 = 0,203,$$

$$R = 379320 \cdot 0,203 = 77001,96 \text{ Н}$$

Опора 7 :

$$l_{6-7} = 167 \text{ м}, \quad l_{7-8} = 119 \text{ м}, \quad h_{6-7} = 4,2 \text{ м}, \quad h_{7-8} = 8 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{4,2}{167} - \frac{8}{119} = -0,042$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (167 + 119) = 0,0447,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (167 + 119) = 0,163,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_{\text{пор}} = -0,042 + 0,0447 = 0,0027,$$

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,0027 + 0,163 = 0,1657,$$

$$R = 379320 \cdot 0,1657 = 62844,8 \text{ Н}$$

Опора 8 :

$$l_{7-8} = 119 \text{ м}, \quad l_{8-9} = 115 \text{ м}, \quad h_{7-8} = 3 \text{ м}, \quad h_{8-9} = 2,1 \text{ м}$$

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{3}{119} - \frac{2,1}{115} = 0,0069$$

$$\operatorname{tg} \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (119 + 115) = 0,037,$$

$$\operatorname{tg} \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (119 + 115) = 0,133,$$

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$tg \alpha_{\text{пор}} = 0,0069 + 0,037 = 0,044,$$

$$tg \alpha = 0,044 + 0,133 = 0,177,$$

$$R = 379320 \cdot 0,177 = 67139,6 \text{ Н}$$

Опора 9 :

$$18-9 = 115 \text{ м}, \quad 19-10=140 \text{ м}, \quad h_{8-9}= 2,1 \text{ м}, \quad h_{9-10}=1,2 \text{ м}$$

$$tg \delta = \frac{2,1}{115} - \frac{1,2}{140} = 0,0097$$

$$tg \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (115 + 140) = 0,039,$$

$$tg \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (115 + 140) = 0,145,$$

$$tg \alpha_{\text{пор}} = 0,0097 + 0,039 = 0,0487,$$

$$tg \alpha = 0,0487 + 0,145 = 0,194,$$

$$R = 379320 \cdot 0,194 = 73588,1 \text{ Н}$$

Опора 10 :

$$19-10 = 140 \text{ м}, \quad 110\text{-ст}=60 \text{ м}, \quad h_{9-10}= 1,2 \text{ м}, \quad h_{10\text{-ст}}=0,5 \text{ м}$$

$$tg \delta = \frac{1,2}{140} - \frac{0,5}{60} = 0,00024$$

$$tg \alpha_1 = \frac{118,7}{2 \cdot 379320} (140 + 60) = 0,031,$$

$$tg \alpha_2 = \frac{432,5}{2 \cdot 379320} (140 + 60) = 0,114,$$

$$tg \alpha_{\text{пор}} = 0,00024 + 0,031 = 0,03124,$$

$$tg \alpha = 0,03124 + 0,114 = 0,14524,$$

$$R = 379320 \cdot 0,14524 = 55092,4 \text{ Н}$$

Кути перегину канату при прольотах :

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

а) 2-3 та 3-4

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,34$$

б) 3-4 та 4-5

$$\operatorname{tg} \alpha = 0,351$$

вийшло більше рекомендованих (0,3) [12, с.12], оскільки між цими опорами великий прольот. На опорі №4 у зв'язку з великим навантаженням установлюємо секційний башмак типу – довгий, довжиною 1100-1250 мм [12, додаток 8].

3.6 Станції та лінійні споруди

3.6.1 Завантажувальні станції

ЗС обладнуються бункерами або воронками із затворами, живильниками або дозаторами. Легкосипучі вантажі подаються в вагонетки за допомогою дозаторів із затворними пристроями, важкосипучі - за допомогою живильників, обладнаних автоматичним пристроєм, який відмірює кількість вантажу, що дорівнює ємності вагонетки. На дорогах великої продуктивності влаштовують завантаження на двох і більше паралельних шляхах. У межах станції вагонетка рухається жорсткою рейкою. Несучий канат на даній станції натягується за допомогою натяжного пристрою. На ЗС, крім того, розташований натяжний пристрій тягового каната тому вагонетки вимикачем відключаються від тягового каната і по станції їх рухає ланцюговий конвеєр, його привід, батареї роликів, по яких ланцюг обходить кути поворотів. Перед вантажними бункерами влаштована "спіраль" для відновлення кузова вагонеток. "Хворі" вагонетки можуть відводитися до ремонтного приміщення. Після завантаження вагонетки вмикачем під'єднуються до тягового каната і йдуть зі станції.

3.6.2 Розвантажувальна станція

РС має пристрій для заякорювання несучого каната, вимикач вагонеток від тягового каната. На цій станції встановлено привід тягового каната.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Вагонетки рухаються жорсткою рейкою за допомогою ланцюгового конвеєра, який спрямовується батареями роликів.

Вагонетки перекидають кузови в бункери, рухаються до виходу, вмикачем приєднуються до тягового каната і йдуть зі станції.

3.6.3 Лінійна станція

Проміжна лінійна станція є якірно-натяжною. На ній зякорюється несучий канат, що йде до ЗС, і натягується канат, що йде до РС.

Несучі канати направляються блоками. Стійки запобігають розгойдуванню контрвантажу. Лінійна станція представляє собою дві опори, між якими влаштовані приміщення. На опорах передбачені сходи для монтажників, пристрої для підйому із землі несучого каната та укладання на башмак вагонетки.

На опорах передбачені пристрої для спрямування тягового каната та попередження його провисання. Лінійна станція також може бути подвійною якірною.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.6.4 Захисні пристрої

Захисні пристрої обладнуються в місцях, де вагонетки, що рухаються, проходять нижче певної межі, де перетинають шосейні дороги. При проході над будовами також влаштовують сітки.

Дана ВКПД двічі перетинає шосейну дорогу. У першому випадку влаштовано міст, однією опорою якого є опора №2 канатної дороги. Ширина мосту $V_m = 3 + 2,5 = 5,5$ м.

У другому випадку влаштовано запобіжну сітку, яка з одного боку прикріплюється до опори канатної дороги №7. Ширина сітки

$$V_c = 3 + 4 = 7 \text{ м.}$$

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						42
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4. ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІКИ ПРИВОДУ ЗІ ШКІВОМ ЗМІННОГО МОМЕНТУ ІНЕРЦІЇ

4.1 Опис шківів змінного моменту інерції

Змінений шків буде відрізнятися від типового тим, що під час розгону та сповільнення приводу його момент інерції буде змінюватися. Такий шків будемо називати шківом змінного моменту інерції.

Змінити момент інерції шківів можливо декількома способами:

– за допомогою інерційних дисків, які вводяться в зачеплення зі шківом послідовно [3];

– шляхом використання додаткових вантажів на важелях, які відхиляються від вертикальної осі обертання системи під дією відцентрових сил під час розгону [4];

– за рахунок зміни радіуса інерції шляхом зміни в ручну кута нахилу радіальних штанг, до кінців яких прикріплено вантажі [5];

– за рахунок зміни фізико-механічних властивостей феромагнітної рідини, у якій перебуває порожнистий диск з магнітом'якого матеріалу, під дією змінного магнітного поля [6];

– інші способи [7,8].

Такі способи мають ряд недоліків:

– суттєве збільшення маси та габаритів шківів;

– необхідність використання індивідуальних джерел енергії;

– складність виготовлення.

Дещо простіший та більш ефективний спосіб зміни моменту інерції реалізовано у конструкції шківів, схему та принцип дії якого захищено патентом на корисну модель [9]. Відповідно до цього патенту, шків змінного моменту інерції складається з базової конструкції, напрямних, уздовж яких переміщуються вантажі, які з'єднано з маточиною шківів за допомогою пружних блоків. Його принцип дії (реалізація зміни моменту інерції) полягає в наступному: під час

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

розгону приводу вантажі під дією сил інерції рухаються від маточини до ободу, за рахунок чого підвищується радіус інерції, а отже, й момент інерції шківів.

Попередній вплив зміни моменту інерції шківів на його власну частоту можна оцінити за формулою (1.1)

де ω_0 – власна частота механічної системи – приводу; C – приведена жорсткість системи; J – приведений момент інерції системи.

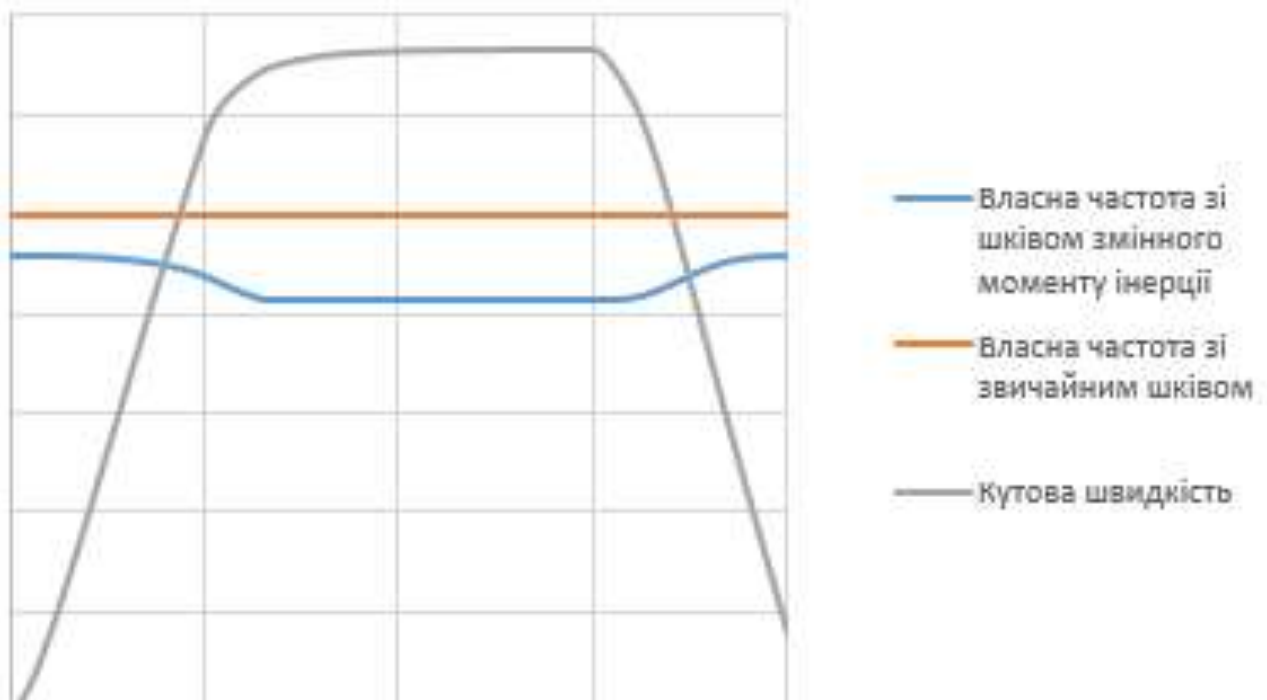
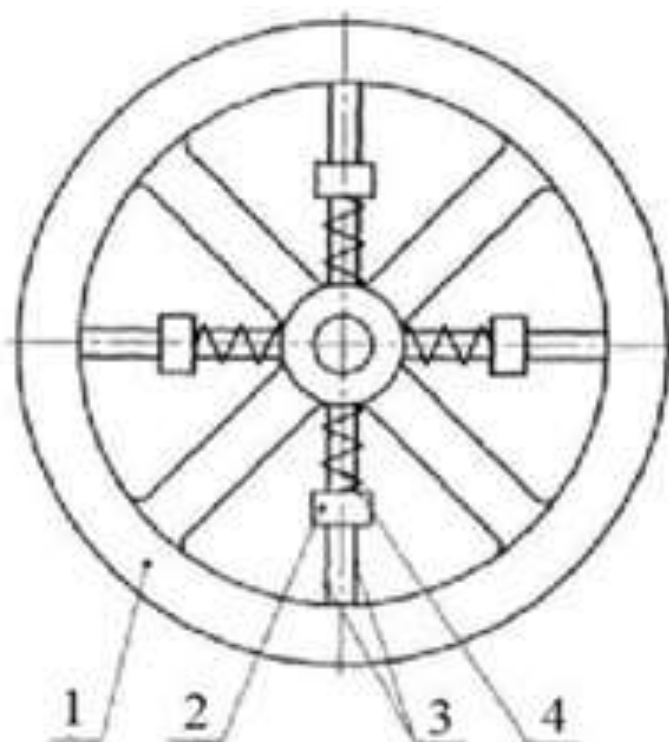


Рис. 4.1- Вплив змінності моменту інерції шківів на його власну частоту

Очікуваний результат впливу змінності моменту інерції шківів на власну частоту системи представлено на (рис. 4.1). Як можна бачити, під час розгону (збільшення частоти обертання шківів) привід долає резонансну зону: крива зміни частоти обертання шківів перетинає криву зміни власної частоти приводу. При цьому використання шківів змінного моменту інерції дозволяє долати резонансну зону раніше та швидше.

В якості апарату для проведення досліджень будемо використовувати імітаційне моделювання, що полягає у відтворенні процесу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» в системі автоматизованого моделювання та проектування Solidworks із застосування додатку SW Motion.

Під час розробки 3D-моделі шківа змінного моменту інерції будемо орієнтуватися на його схему (рис.4.1).



- 1 - шків 2 - вантаж
3 - напрямні
4 - пружинний блок

Рис. 4.2 - Схема шківа змінного моменту інерції

Таблица 4.1

Параметри шківа

Маса вантажу, кг	Жорсткість пружини, Н/мм	Коефіцієнт дисипації, Н/(мм/с)	Діаметр шківа, м
200	0,8	0,4	3

Відповідно до вказаних даних після конструктивного опрацювання було розроблено модель шківа звичайної конструкції та дві моделі шківа змінного моменту інерції; їх представлено на (рис. 4.3).

Шків звичайної
конструкції



Шків змінного
моменту інерції

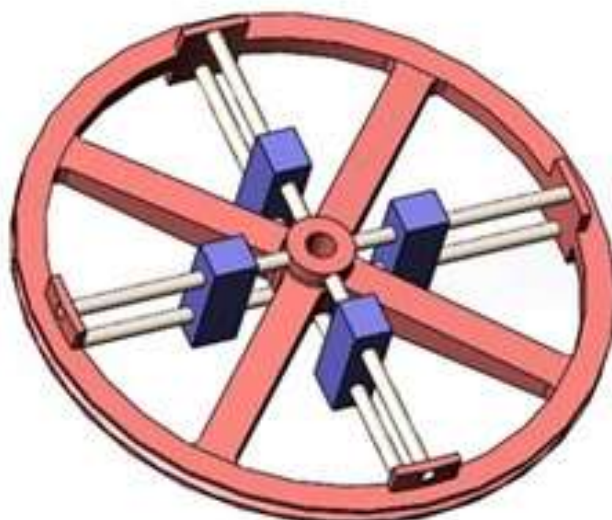


Рис. 4.3 - Конструкції шківів

4.2 Опис імітаційної моделі

3D-модель приводу буде складатися з електродвигуна, втулочно-пальцевої муфти, редуктора, відкритої конічної зубчатої передачі, зубчатої муфти, шківа змінного моменту інерції разом з його валом, а також з підшипникових опор цього валу та рами[13].

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

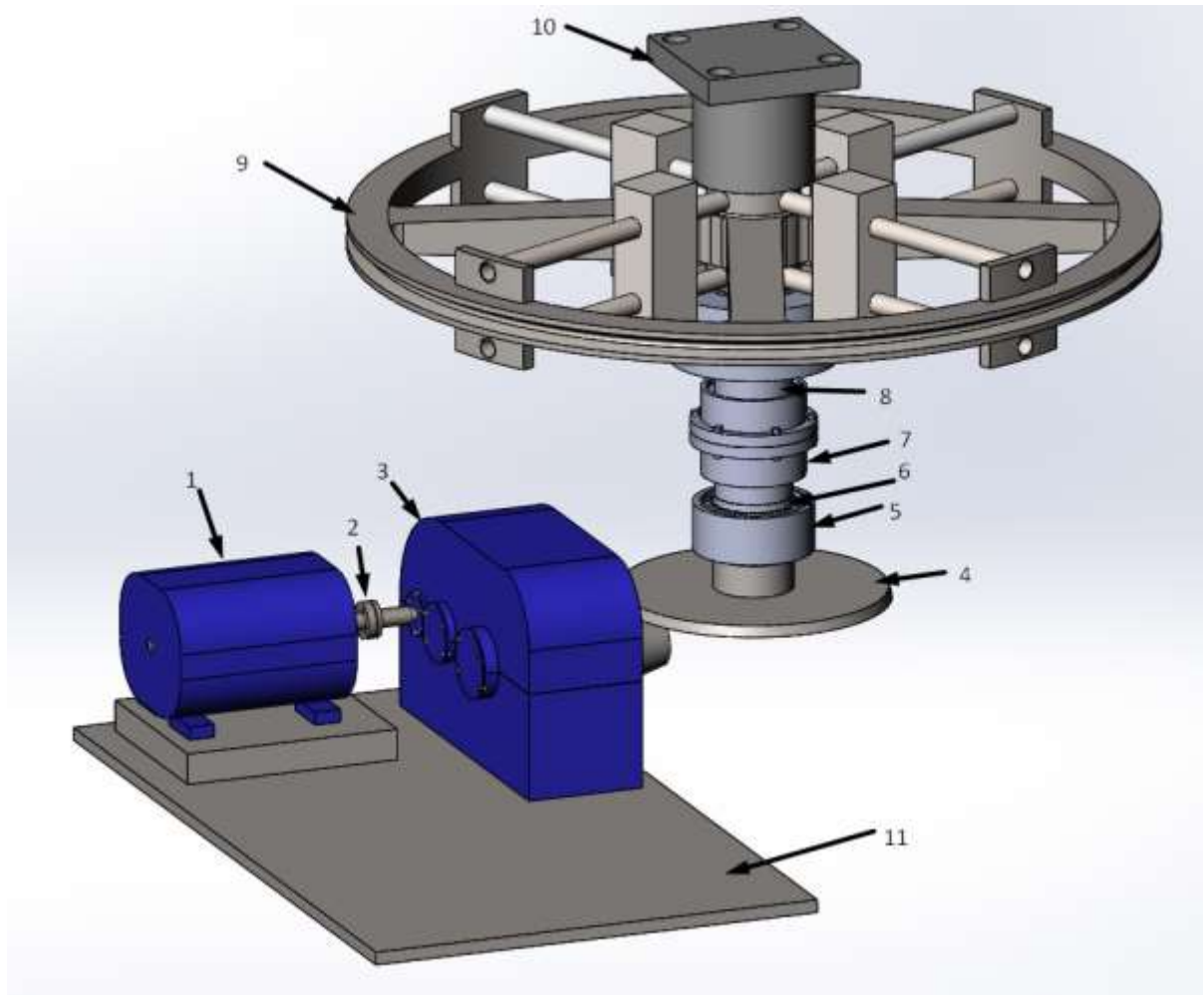


Рис 4.4. – Загальний вид 3D-моделі приводу

1 – електродвигун; 2 – муфта пружна втулично-пальцева; 3 – редуктор; 4 – відкрита зубчата конічна передача; 5 – підшипниковий вузол відкритої зубчатої конічної передачі; 6 – вал зубчатого конічного колеса; 7 – зубчата муфта; 8 – вал шківа змінного моменту інерції; 9 – шків змінного моменту інерції; 10 – верхня опора шківа змінного моменту інерції; 11 – рама

Для 3D-моделей шківа приводу канатної дороги в зборі було розроблено імітаційну модель у середовищі Solidworks Motion, яка дозволяє моделювати кінематику шківа впродовж періоду «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення».

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

На рис. 4.5 подано дерево моделювання кінематики шківів. Функція «лінійна пружина» – це імітація пружини, яка повертає вантаж до маточини під час сповільнення шківів. За допомогою такого підходу було виконано спрощення розрахункової моделі з одночасним забезпеченням можливості врахування пружних властивостей системи без використання додаткових модулів програми Solidworks (таких як SW Simulation).

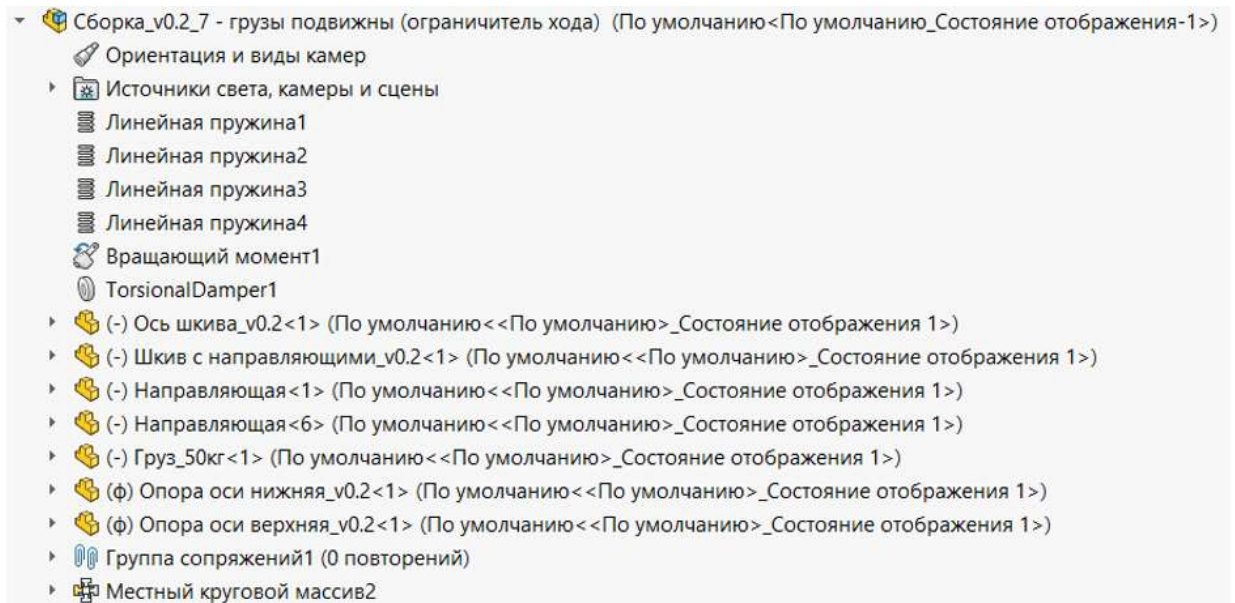


Рис. 4.5 - Дерево моделювання кінематики шківів

Поєднання функцій «крутний момент» та «демпфер» використано з метою більш точного налаштування зміни частоти обертання шківів з урахуванням обертального моменту, що є прямопропорційним до кутового переміщення шківів; при цьому коефіцієнтом пропорційності виступає коефіцієнт дисипації – один із параметрів функції «демпфер».

4.3 Визначення моменту інерції шківів

Визначення моменту інерції привода в окремий момент часу здійснювалося за формулою

$$J = \frac{2E_k}{\omega^2} \quad (4.1)$$

де E_k – сумарна кінетична енергія системи; ω – кутова швидкість обертання привода.

Величини E_k та ω було отримано на основі показників датчиків, розташованих на елементах 3D-моделі:

- датчик сумарної кінетичної енергії;
- датчик кутової швидкості обертання.

Реєстрація зміни відповідних величин здійснювалася впродовж 27 секунд, характер їх зміни показано на рис. 4.6.

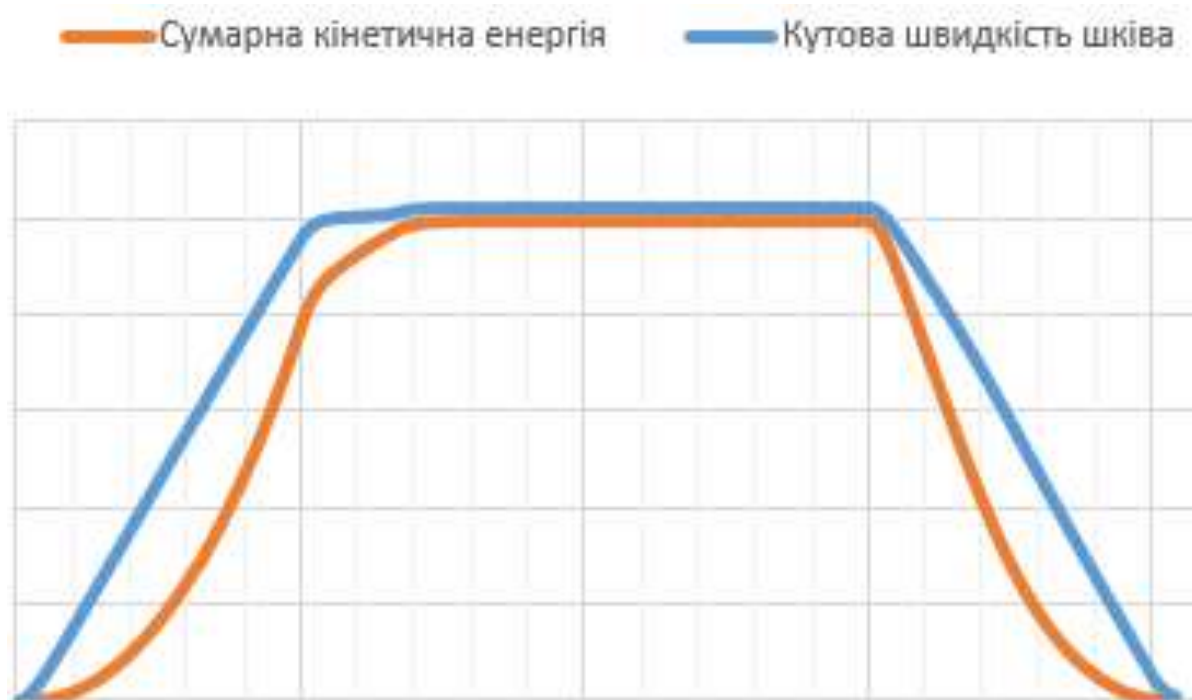


Рис. 4.6 - Характер зміни кутової швидкості та кінетичної енергії у часі приводу

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

5. АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ

5.1 Аналіз зміни моменту інерції

За формулою (4.1) на основі результатів імітаційного моделювання було отримано графіки, що відображають зміну моменту інерції приводу у часі при реалізації процесу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» (рис.5.1.).

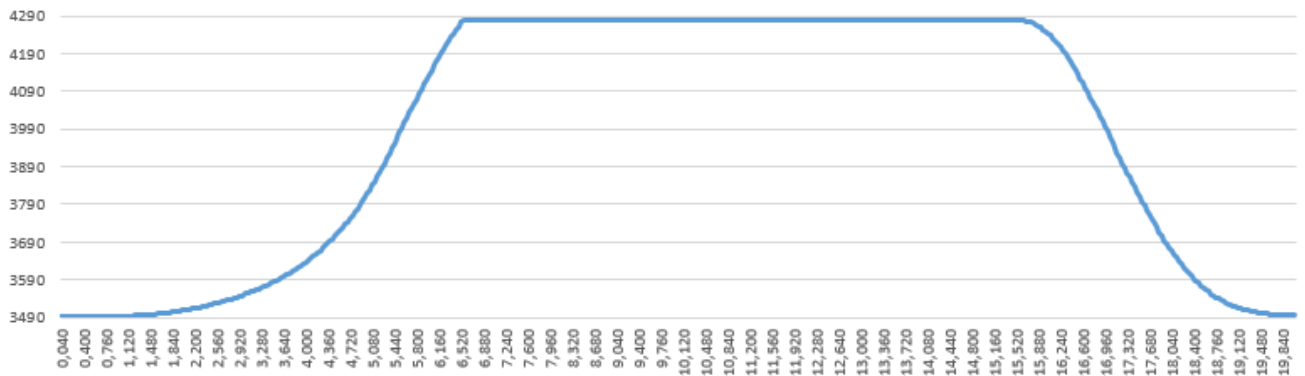


Рис.- 5.1 – Момент інерції приводу

Для спрощення аналізу деякі з отриманих результатів зводимо в табл. 5.1.

Таблиця 5.1

Результати моделювання (момент інерції)

Маса вантажу	Момент інерції кг· м ²		
	max	min	max-min
200	4280	3492	788

У табл. 5.1 представлено мінімальні та максимальні значення моменту інерції шківів, а також їх різниця.

5.2 Аналіз впливу змінності моменту інерції шківів на його власну частоту

Для визначення власної частоти шківів скористаємося спрощеною схемою (рис. 5.2.), відповідно до якої

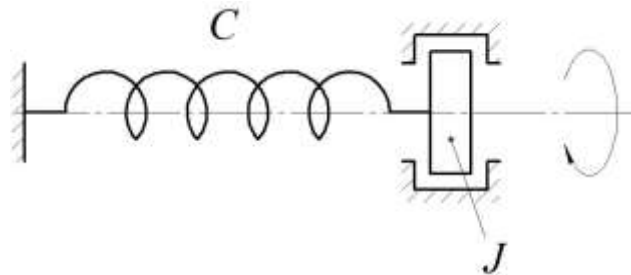


Рис. 5.2 - Схема для визначення власної частоти шківів

На основі формули (1.1) з урахуванням залежностей зміни моменту інерції приводу в часі було отримано криву, що відображає зміну власної частоти приводу впродовж циклу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» (рис.5.3).

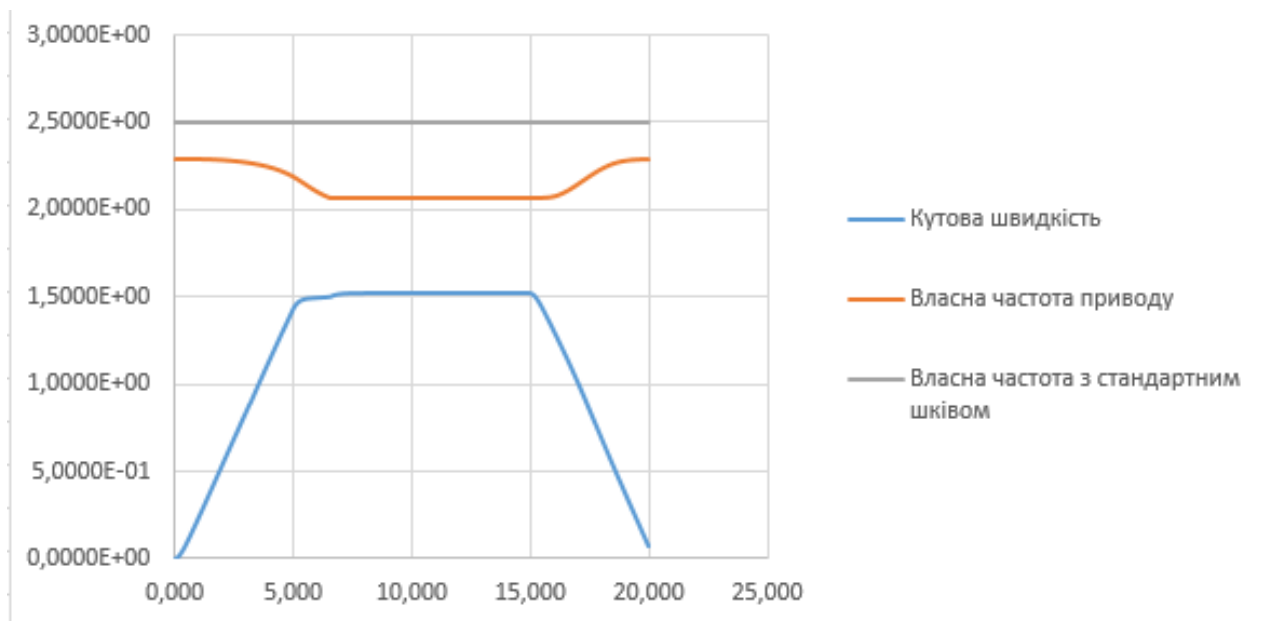


Рис. 5.3 – Власна частота приводу

У зв'язку з тим, що даний привід має низьку розрахункову кутову швидкість не настає момент резонансу, тому я її підвищив і отримав криву, що відображає зміну власної частоти приводу впродовж циклу «розгін – рух з усталеною швидкістю – сповільнення» (рис.5.4).

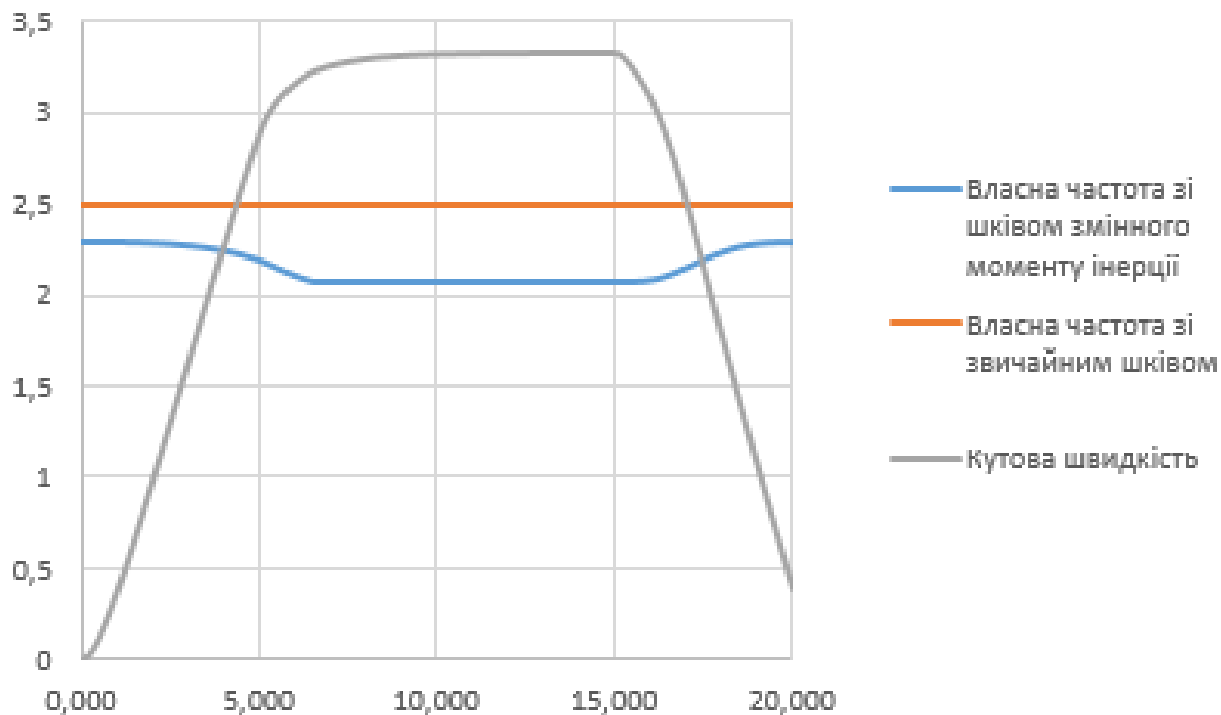


Рис. 5.4 – Власна частота приводу з підвищеною кутовою швидкістю

Для спрощення аналізу деякі з отриманих результатів зводимо в табл.5.2

Таблиця 5.2

Результати моделювання (власна частота)

Власна частота зі шківом змінного моменту інерції	2,07
Власна частота зі звичайним шківом	2,5

Як видно з таблиці 5.2 власна частота приводу зі шківом змінного моменту інерції менша за частоту зі приводу зі звичайним шківом а отже резонансна зона настає раніше і проходиться легше. Отримані результати є дійсними для швидкості обертання шківа $3,33 \text{ с}^{-1}$, що відповідає швидкості руху вагонів на рівні 5 м/с . Такі значення є допустимими для сучасних канатних доріг відповідно до Правил будови та безпечної експлуатації [14].

Під час проведення імітаційних досліджень було також розглянуто конструкцію за наявності обмежувача ходу вантажів, який призначено для зупинки руху вантажів на певній відстані біля ободу шківів. Застосування такого конструктивного елемента є виправданим у разі, коли жорсткість пружин є малою, що призводить теоретично – до віддалення вантажів за межі ободу, а практично – до удару вантажів по ободу під час розгону приводу. Доцільність застосування обмежувачів також виправдана й тим, що при цьому інтенсивність проходження резонансної зони підвищується, а резонансна частота знижується

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ОСНОВНІ РЕЗУЛЬТАТИ ТА ВИСНОВКИ

В ході виконання кваліфікаційної роботи був виконаний проектний розрахунок канатної дороги в ході якого я вирахував годинну продуктивність котра дорівнює $Q = 229,2$ т/год. Підібрав канати для вантажної гілки і порожньої гілки(вантажна: канат закритої конструкції з одним шаром z-подібних та одним шаром клиновидних дротів ГОСТ 7675-73, діаметром канату $d_n=42,5$ мм; Порожня: канат закритої конструкції з одним шаром z-подібних ГОСТ 3090-73, діаметром канату $d_n=30,5$ мм.), розрахував вагу контрвагів (вантажна: $Q= 379320$ Н; порожня: $q'_n = 155913,6$ Н.) та довжини натяжних діляниць (вантажна: $L'_{нат} = 1005,4$ м; порожня: $L''_{нат} = 1317,6$ м.). Спроектував та розрахував повздовжній профіль канатної дороги.

В розділі імітаційне моделювання динаміки приводу зі шківом змінного моменту інерції описав будову приводу та шківа змінного моменту інерції.

В розділі аналіз результатів досліджень отримав графік моменту інерції встановив діапазон зміни моменту інерції котрий дорівнює $J_{J_{max}-J_{min}} = 788$ кг · м² та власної частоти шківа котра дорівнює $\omega_0 = 2,07$

Також виконав імітаційне моделювання приводу канатної дороги з шківом змінного моменту інерції в Solidworks і побудував за його допомогою графіки моменту інерції та власної частоти із застосування додатку SW Motion.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ ІНФОРМАЦІЇ

1. Дукельский А. И. Подвесные канатные дороги и кабельные краны. Москва – Ленинград: Машиностроение, 1966. 484 с.
2. Ракша С. В., Горячев Ю. К., Куроп'ятник О. С. Застосування частотних діаграм для вивчення динаміки приводів підвісних канатних доріг. Підъемно-транспортная техника. 2014. № 3 (43). С. 38–53.
3. Привод машины : пат. 2016292 Россия : F16H 25/00. № 4933587/28 ; заявл. 06.03.1991 ; опубл. 15.07.1994.
4. Способ увеличения гироскопического момента и устройство для его осуществления : пат. 2009106963 Россия : F16H 33/00. № 2009106963/11 ; заявл. 27.02.2009 ; опубл. 10.09.2010. Бюл. № 25. 2 с.
5. Способ преобразования направления и величины угловой скорости вращения и реверсивная электромеханическая передача : пат. 2451321 Россия : F16H33/04. № 2009115402/07 ; заявл. 27.04.2009 ; опубл. 20.05.2012. Бюл. № 14. 6 с.
6. Маховик переменного момента инерции : пат. 2435084 Россия : F16F 15/31. № 2010125545/11 ; заявл. 21.06.2010 ; опубл. 27.11.2011. Бюл. № 33. 6 с.
7. Маховик : пат. 59946 Україна : F16F 15/30. № u201012559 ; заявл. 25.10.2010 ; опубл. 10.06.2021. Бюл. № 11. 2 с.
8. Маховик : пат. 42107 Україна : F16F 15/30. № u200900044 ; заявл. 05.01.2009 ; опубл. 25.06.2009. Бюл. № 12. 3 с.

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
						55
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Привід зі шківом змінного моменту інерції : пат. 100668 Україна : F16F 15/31. № u201412899; заявл. 02.12.2014 ; опубл. 10.08.2015. Бюл. № 15. 5 с.
10. Довідни по будівельній техніці – режим доступу: <https://budtehnika.pp.ua>.
11. Учбові Матеріали для студентів і школярів України – режим доступу: <http://um.co.ua/14/14-6/14-66241.html>.
12. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Двоканатна підвісна вантажна дорога з кільцевим рухом» - Дніпро : ДІТ, 1984. – 36 с.
13. Алямовский А. А. Solidworks Simulation. Как решать практические задачи. СПб: БХВ-Петербург, 2012. – 448 с.
14. Информационно-правовая система нормативно правовых актов Республики Казахстан – режим доступу: <https://adilet.zan.kz/rus/docs/V2100024572>

					УДУНТ.480000.419.КРПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56