

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**НАВЧАЛЬНО- НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ ТА  
ЕНЕРГОМЕНЕДЖМЕНТУ**

**КАФЕДРА АВТОМАТИЗАЦІЇ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНИХ ТА  
МЕХАТРОННИХ КОМПЛЕКСІВ**

«На правах рукопису»

«До захисту допущено»

УДК 62-83:621.867.2

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Сергій БОЙЧЕНКО

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація  
на здобуття ступеня магістра**

**зі спеціальності 141 - «Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка» («Інжиніринг інтелектуальних електротехнічних та  
мехатронних комплексів»)**

**на тему: «Оптимальне керування електроприводом конвеєрної установки  
змінної довжини»**

Виконав:

студент II курсу, групи ГА-31мп

Колесніков Михайло Юрійович \_\_\_\_\_

Керівник:

Доц., к.т.н.

Торопов Антон Валерійович \_\_\_\_\_

Консультант

з розділу «Стартап-проект»

Шевчук Наталія Анатоліївна \_\_\_\_\_

Рецензент:

К.т.н. доцент кафедри електропостачання  
\_\_\_\_\_

Нормоконтроль:

К.т.н. доцент

Кулаковський Леонід Ярославович \_\_\_\_\_

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

Студент \_\_\_\_\_

Київ – 2024 року

**Національний технічний університет України**  
**«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»**  
**Навчально – науковий інститут енергозбереження та**  
**енергоменеджменту**

**Кафедра автоматизації електротехнічних та мехатронних комплексів**  
Рівень вищої освіти – другий (магістерський)  
Спеціальність – 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка  
Освітньо-професійна програма «Інжиніринг інтелектуальних  
електротехнічних та мехатронних комплексів»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри АЕМК

\_\_\_\_\_ Сергій БОЙЧЕНКО

(підпис)

(ініціали, прізвище)

“ \_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

**Колеснікову Михайлу Юрійовичу**

1. Тема дисертації «Оптимальне керування електроприводом конвеєрної установки змінної довжини»,

науковий керівник дисертації Торопов Антон Валерійович, к.т.н., доцент,

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

затверджені наказом по університету від «\_\_\_» \_\_ 2024 р. № \_\_\_\_\_

2. Термін подання студентом дисертації «\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

3. Об'єкт дослідження – електромеханічна система безперервного транспортування сипких вантажів.

4. Предмет дослідження – оптимальна система керування електроприводом конвеєра змінної довжини.

Перелік завдань, які потрібно розробити: а) використання стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування в комплекті із створенням нових машин; б) дослідження робочого процесу навантаження стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра; б) Синтез лінеризованої системи автоматичного керування конвеєром; г) Імітаційне моделювання.

6. Орієнтовний перелік графічного матеріалу: презентація 15-20 слайдів – наочні матеріали за результатами дослідження

7. Орієнтовний перелік публікацій: Виступ в конференції із публікуванням результатів дисертаційної роботи.

8. Консультант розділів дисертації

Розділ	ПІБ викладача	Підпис	
«Стартап проект»	Шевчук Н.А.	Завдання видав	Завдання прийняв

9. Дата видачі завдання: «\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

#### Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Вибір і затвердження теми досліджень.		
2.	Оцінка та аналіз використання стрічкових конвеєрів		
3.	Теоретичні дослідження робочого процесу навантаження стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра		
4.	Синтез системи автоматичного керування навантаженням конвеєра		
5.	Дослідження системи методом імітаційного		

	моделювання		
6.	Розробка стартап проєкту		
7.	Оформлення реферату та презентації, рецензування		
8.	Подання магістерської дисертації до екзаменаційної комісії. Захист		

Студент

\_\_\_\_\_ Михайло КОЛЕШНИКОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_ Антон ТОРОПОВ  
(підпис) (ім'я, прізвище)

## Анотація

Магістерська дисертація на тему «Оптимальне керування електроприводом конвеєрної установки змінної довжини»: 96 сторінок, 4 розділи, таблиць, рисунків, 39 джерел.

Дисертація присвячена розробці і дослідженні оптимального керування системою транспортування сипких вантажів змінної довжини. Сучасна тенденція розвитку світового машинобудування характеризується постійним підвищенням технічного рівня новостворюваних машин й устаткування, що забезпечує їхню конкурентоспроможність в умовах зростаючих вимог ринку. В значній мірі це відноситься до підйомно-транспортної техніки, яка широко використовується в різних галузях народного господарства.

Було проведено теоретичні дослідження залежності визначення швидкості стрічки вантажної і порожньої гілок під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом. Визначено швидкості і прискорення пересувної станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом, визначено динамічне збільшення натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом, визначено збільшення натягнення стрічки на кінцевій станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

Крім того, у роботі розроблено алгоритм оптимального управління електроприводом конвеєра та визначено параметри системи керування технологічним процесом. Проведено дослідження режимів роботи стрічкових конвеєрів із використанням LQR-регулятора.

Ключові слова: : конвеєр, змінна довжина транспортування, статичне і динамічне натягнення, працюючий привод, розрахунок, техніко-економічне обґрунтування. керування електроприводом

## **Анотація**

Master's thesis on the topic "Optimal control of the conveyor variable length settings": 96 pages, 4 sections, tables, figures, 39 sources.

The dissertation is devoted to the development and research of optimal control of the system for transporting bulk cargoes of variable length. The current trend in the development of world mechanical engineering is characterized by a constant increase in the technical level of newly created machines and equipment, which ensures their competitiveness in the conditions of growing market requirements. Economy.

Theoretical studies of the dependence of determining the speed of the belt of the loading and empty branches during the change in the length of transportation of the conveyor with a working drive were carried out. The speeds and acceleration of the mobile station during the change in the length of transportation of the conveyor with the operating drive are determined, the dynamic increase in the belt tension during the change in the length of transportation of the conveyor with the operating drive is determined, the increase in the belt tension on the final drive is determined. stations when changing the length of conveyor transportation with a working drive

In addition, an algorithm for optimal control of the conveyor electric drive has been developed and the parameters of the process control system have been determined. A study of the operating modes of belt conveyors using an LQR regulator has been carried out.

**Keywords:** conveyor, variable length of transportation, static and dynamic tension, working drive, calculation, feasibility study. Electric drive control

## ЗМІСТ

Вступ.....	8
Розділ 1 Оцінка та аналіз використання стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування в комплекті із створенням нових машин.....	11
1.1. Конструктивні особливості системи автоматичного регулювання натягнень стрічки на телескопічному пристрої конвеєра	12
1.2. Аналіз технологічної схеми робочого процесу кар'єрного екскаватора по традиційній схемі із використанням стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється.....	19
1.3. Аналіз технологічної схеми робочого процесу роторного екскаватора поперечного копання з традиційною конструктивною схемою і обладнаного стрічковим конвеєром, що працює при змінній довжині транспортування.....	21
1.4. Аналіз технологічної схеми робочого процесу при проведенні тунелів по традиційній схемі із використанням стрічкового конвеєра, що працює при змінній довжині транспортування.....	24
Розділ 2 Теоретичні дослідження робочого процесу навантаження стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра.....	27
2.1. Теоретичні залежності визначення швидкості стрічки вантажної і порожньої гілок під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом.....	28
2.2. Визначення швидкості і прискорення пересувної станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом.....	29

2.3. Визначення динамічного збільшення натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом.....	41
2.4. Визначення збільшення натягнення стрічки на кінцевій станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом.....	46
2.5 Розрахунок стрічкового конвеєра працюючого при довжині, що змінюється.....	46
Розділ 3 Синтез і аналіз режимів роботи розрахованої конвеєрної установки із оптимальною системою керування.....	67
3.1. Синтез оптимальної системи керування навантаженням конвеєра методом Беллмана - Ляпунова.....	67
3.2. Дослідження системи стабілізації навантаження конвеєра методом цифрового моделювання .....	70
Розділ 4 Розробка стартап- проекту.....	76
Висновки.....	91
Література.....	92

## ВСТУП

**Актуальність теми.** Сучасна тенденція розвитку світового машинобудування характеризується постійним підвищенням технічного рівня новостворюваних машин й устаткування, що забезпечує їхню конкурентоспроможність в умовах зростаючих вимог ринку. В значній мірі це відноситься до підйомно-транспортної техніки, яка широко використовується в різних галузях народного господарства.

У великому класі підйомно-транспортної техніки чільне місце займають стрічкові конвеєри, розвиток конструкцій яких має іти по шляху підвищення продуктивності, зменшення енергоємності, забезпечення крутопохилого транспортування вантажу.

Одним із таких конструктивних рішень є використання стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування.

Його застосування дозволяє підвищити продуктивність праці і зменшити енергоємність транспортування, при потоковій технології виконання робіт:

- за рахунок виключення непродуктивних робочих операцій, пов'язаних із переносом кінцевої станції конвеєра;
- завдяки можливості подовження або скорочення довжини конвеєра під час його роботи;
- завдяки виключення з традиційної технологічної схеми, а саме з транспортного ланцюжка перевантажувальних пристроїв.

Поєднання переваг стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування та звичайного стрічкового конвеєра сприятиме підвищенню продуктивності й зниженню енергоємності транспортування в поточкових технологіях.

Однак широке впровадження та практичне застосування стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування обмежується відсутністю

уніфікованої методики розрахунку, яка базувалася б на принципах теорії оптимального проектування стрічкових конвеєрів.

**Метою роботи** розробка оптимального керування електроприводом конвеєрної установки змінної довжини, що гарантує забезпечення режимів роботи трубчастої стрічки зі змінною довжиною транспортування.

Для досягнення мети поставлено такі завдання дослідження:

1. Визначити вплив параметрів механізму зміни довжини транспортування стрічкового конвеєра та характеристик самого конвеєра на швидкість і прискорення рухомої станції, а також на порожню та завантажену гілку конвеєра.

2. Дослідити, як параметри механізму зміни довжини транспортування та характеристики конвеєра впливають на зростання динамічного навантаження стрічки під час подовження конвеєра.

3. Розрахувати натяг стрічки під час подовження конвеєра за умови працюючого приводу.

4. Здійснити імітаційне моделювання стрічкового конвеєру.

**Об'єкт дослідження** – електромеханічна система безперервного транспортування сипких вантажів із змінною довжиною стрічки.

**Предметом дослідження** процедура синтезу оптимальної системи керування електроприводом конвеєра змінної довжини.

**Методи дослідження:** для побудови системи керування електроприводом використовувався метод послідовної корекції, для дослідження характеристик системи використовувався метод цифрового моделювання.

**Наукова новизна одержаних результатів:** Набула подальшого розвитку процедура побудови оптимальних регуляторів завантаження конвеєрних установок при зміні довжини стрічки.

**Практичне значення одержаних результатів:**

- за рахунок скорочення технологічних операцій підвищити машинний час робочого обладнання;

- досягти мінімальних витрат енергії на одиницю об'єму матеріалу, що розробляється і транспортується.

#### **Публікації за темою дисертації:**

1. Колесніков М.Ю. Особливості проектування стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування/Колесніков М.Ю, Торопов А.В.// Збірник матеріалів конференції VII науково-технічної конференції магістрантів імені професора Василя Миколайовича Винославського 20-22 листопада 2024. – Київ: КПІ ім.І.Сікорського – 2024 – с.110-111.

2. Колесніков М.Ю. Оптимальне керування електроприводом конвеєрної установки змінної довжини/Колесніков М.Ю.//Збірник матеріалів XVI науково-технічної конференції «Енергетика. Екологія. Людина» від 14-15 травня 2024 – Київ: КПІ ім.І.Сікорського – 2024 – с.72-73.

#### **Апробація результатів дисертації:**

Матеріали наукового дослідження доповідались на XVI науково-технічній конференції «Енергетика. Екологія. Людина», що відбулася у КПІ ім. І. Сікорського 14-15 травня 2024 року, а також на VII науково-технічній конференції магістрантів імені професора Василя Миколайовича Винославського, що відбулася у КПІ ім. І. Сікорського 20-22 листопада 2024 року.

## РОЗДІЛ 1

### ОЦІНКА ТА АНАЛІЗ ВИКОРИСТАННЯ СТРІЧКОВИХ КОНВЕЄРІВ ЗІ ЗМІННОЮ ДОВЖИНОЮ ТРАНСПОРТУВАННЯ В КОМПЛЕКТІ ІЗ СТВОРЕННЯМ НОВИХ МАШИН

Одним з напрямів підвищення техніко-економічних показників транспортуючих, землерийних і будівельних машин є використання стрічкових конвеєрів, що працюють з довжиною транспортування, що змінюється.

Перша згадка про стрічковий конвеєр з довжиною транспортування, що змінюється, була опублікована в 1992 році в роботах [1;2], у якій розглядалося його використання при проведенні гірничих виробіток на шахті ім. О. Ф. Засядько виробничого об'єднання "Донецьквугілля" (рис.1.1).

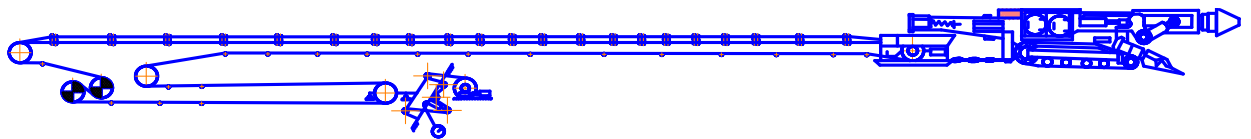
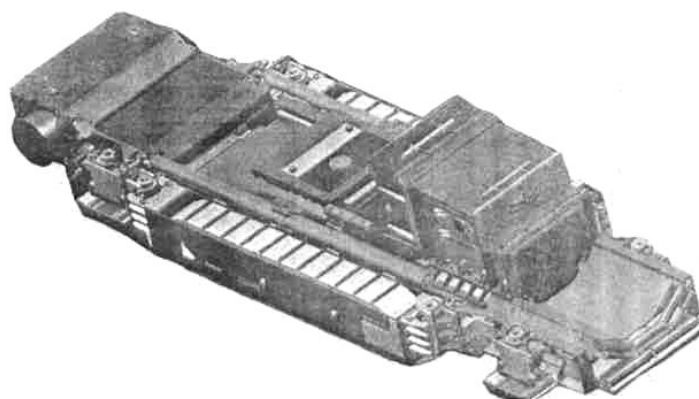


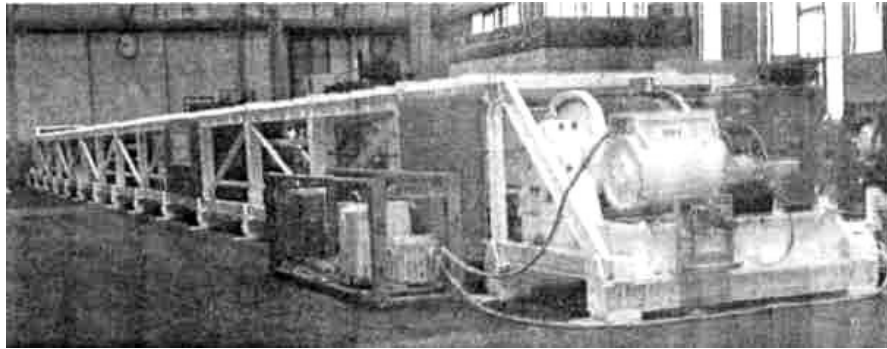
Рисунок 1.1 - Схеми роботи прохідницького комбайна і стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування на шахті ім. О. Ф. Засядько

У 2002 році в роботі [3] були приведені результати застосування стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється, на шахті "Проспер Ханиель" в Німеччині (рис.1.2, рис.1.3).



## Рисунок 1.2 - Гусенична машина з натяжним барабаном стрічкового конвеєра

В роботі вказувалось на необхідність виконання досліджень перехідних процесів, режимів і параметрів роботи конвеєра.



## Рисунок 1.3 - Восьмишаровий стрічконокопичувач з лебідкою і пристроєм управління

Стрічковий конвеєр з довжиною транспортування, що змінюється, дозволяв підвищити продуктивність праці за рахунок скорочення технологічних операцій, пов'язаних з подовженням або скороченням довжини конвеєра під час його роботи, виключити число перевантажувальних пристроїв [4-9].

### **1.1 Конструктивні особливості системи автоматичного регулювання натягнень стрічки на телескопічному пристрої конвеєра**

Як уже згадувалося, однією з конструктивних особливостей проєктованого стрічкового конвеєра є натяжний пристрій із системою автоматичного контролю натягу стрічки (рис. 1.4).

Контроль натягу здійснюється за допомогою гідродатчика, який передає дані на електроконтактний манометр. Манометр, у свою чергу, керує пусковою апаратурою лебідки натяжного пристрою.

Перед початком ведення робіт, під час ремонтної зміни виконуються налагоджувальні роботи. На електроконтактному манометрі телескопічного пристрою виставляються задані межі включення натяжного пристрою, що забезпечують натяг стрічки, при якому виключається пробуксовка на приводному барабані, а запас міцності знаходиться в допустимих межах.

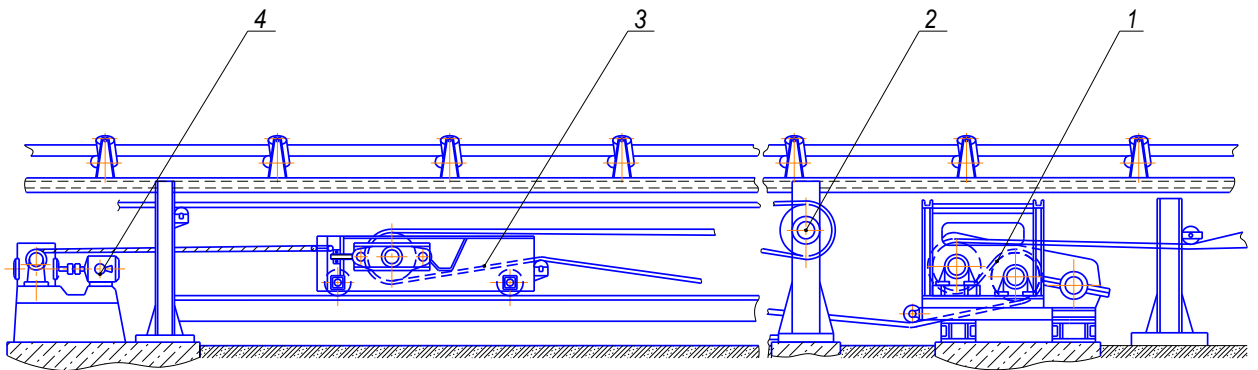


Рисунок 1.4 - Привід із натяжним телескопічним пристроєм: 1 – привід стрічкового конвеєра; 2 – нерухомий барабан телескопічного пристрою; 3 – рухлива каретка телескопа; 4 – натяжна лебідка телескопічного пристрою

Перед початком ведення робіт, під час ремонтної зміни виконуються налагоджувальні роботи. На електроконтактному манометрі телескопічного пристрою виставляються задані межі включення натяжного пристрою, що забезпечують натяг стрічки, при якому виключається пробуксовка на приводному барабані, а запас міцності знаходиться в допустимих межах.

Конструкція системи автоматичного регулювання повинна бути безпечною та безаварійною, забезпечувати як ручний так і автоматичний режим регулювання натягу стрічки, тому було поставлено завдання сконструювати електричну схему, що відповідає цим умовам.

На рисунку 2.5 представлена принципова схема включення лебідки телескопічного пристрою стрічкового конвеєра, що працює при довжині, що змінюється.

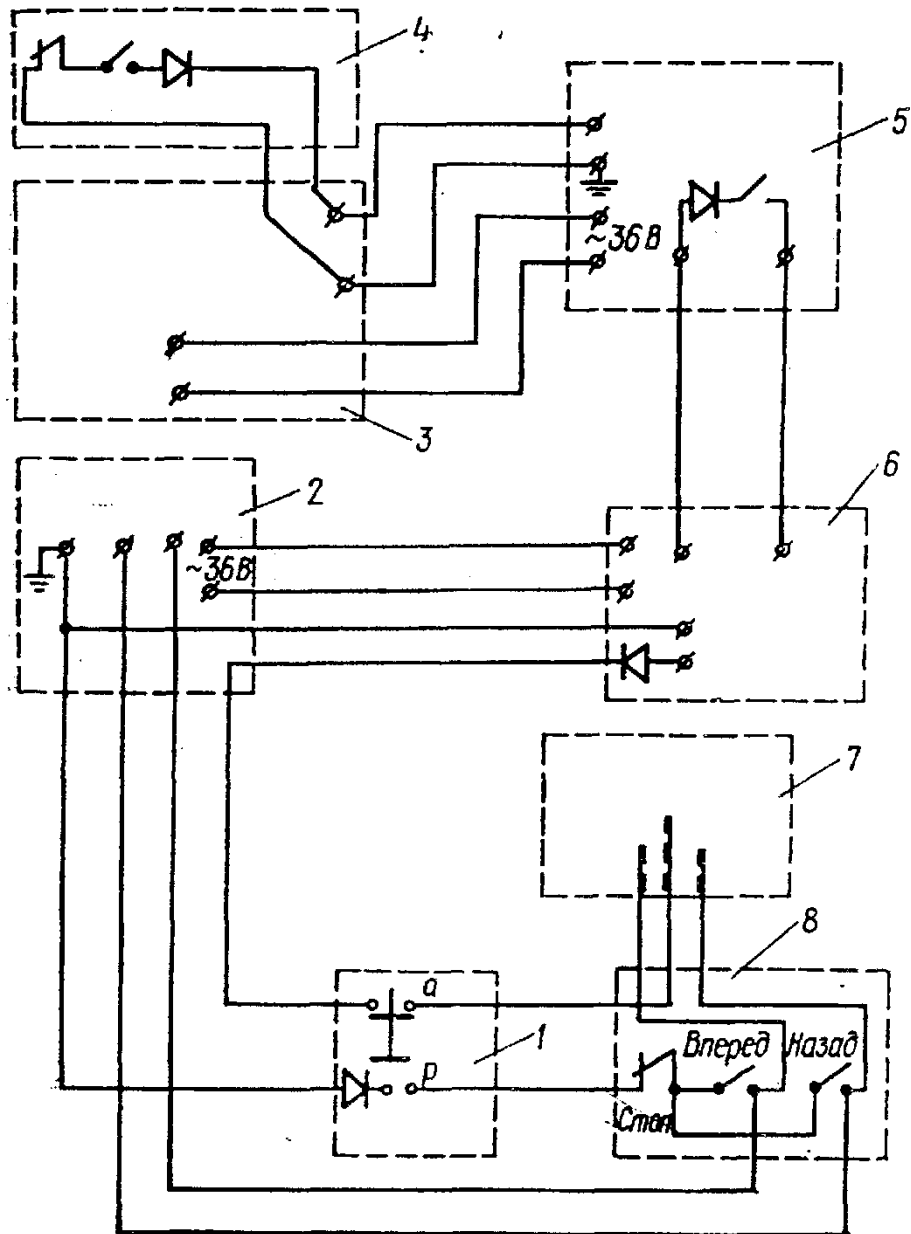


Рисунок 1.5 – Принципова електрична схема включення лебідки натяжного пристрою: 1 – кнопка КУВ-93; 2 – пускач ПМВІР-41; 3 – блок керування апаратурою АУК-1м; 4- кнопка КУВ-92; 5 – пускач ПВІ-125; 6- реле часу РВІ-300; 7 – манометр ВЕ-16 рб; 8 – кнопка КУВ-93.

Схема передбачає два режими роботи: автоматичний і ручний. Перемикання між ними здійснюється за допомогою кнопки управління 1.

У ремонтному режимі кнопка 1 встановлюється на відповідний режим, після чого лебідка натяжного пристрою активується кнопкою 8 (пускова апаратура ПМВІР-41 лебідки натяжного пристрою).

В автоматичному режимі кнопка 1 перемикається на автоматичний режим, і пускова апаратура натяжного пристрою активується електроконтактним манометром. Для запуску приводу конвеєра використовується кнопка 4 або блок управління апаратури АУК-1м, які вмикають пускову апаратуру 5.

Після активації пускової апаратури 5 відбувається замикання її блок-контактів, що запускають апаратуру реле часу РВІ-300 6. Через певний проміжок часу, за рахунок роботи реле часу, замикається загальний дистанційний ланцюг пускача лебідки. Реле часу РВІ-300 введено до електричної схеми системи автоматичного регулювання стрічки для запобігання помилковому спрацьовуванню пускової апаратури лебідки під час тимчасового ослаблення та натягу стрічки на етапі запуску конвеєра.

У автоматичному режимі включення пускової апаратури лебідки після спрацьовування реле часу 6 здійснюється електроконтактним манометром 7, який налаштований на певний натяг стрічки, залежний від сигналів гідродатчика.

Для запобігання аварій у разі пориву стрічки в електричну схему включено апаратуру АУК-1м, яка вимикає пускову апаратуру конвеєра 5 і тим самим деактивує реле часу 6. Це призводить до розмикання дистанційного ланцюга пускової апаратури лебідки 2.

Контроль цілісності стрічки забезпечується датчиком швидкості, який входить до складу апаратури АУК-1м.

Технічні характеристики апаратів електричної схеми включення лебідки натяжного пристрою наведено у таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики

№ п/п	Технічна характеристика	Параметр
1	Кнопковий пост КУВ-93 Номінальна напруга, В Номінальний струм, А Габаритні розміри, мм Маса, кг	18 5 150×90×150 0,4
2	Пускач ПМВІР-41 Номінальна напруга, В Частота струму, Hz Сила номінального струму тривалого режиму, А Напруга іскробезпечних ланцюгів управління, В Габаритні розміри, мм Маса, кг	380-660 50 41 18 100×1100×800 180
3	Блок керування апаратури АУК-1м Номінальна напруга живлення, Споживана потужність не більше, Ва Швидкість руху стрічки, що контролювана датчиком швидкості, м/с Контрольована величина зниження швидкості стрічки, %, трохи більше Габаритні розміри блоку управління, мм, не більше Маса блоку керування, кг	36 40 1,0-3,5 25 640×410×415 60

Продовження таблиці 1.1 – Технічні характеристики

№ п/п	Технічна характеристика	Параметр
4	Кнопковий пост КУВ-92	
	Номінальна напруга, В	18
	Номінальний струм, А	5
	Габаритні розміри, мм	90×90×150
5	Пускач ПВІ-125	
	Номінальна напруга, В	380-660
	Частота струму, Hz	50
	Сила номінального струму тривалого режиму, А	125
	Напруга іскробезпечних ланцюгів управління,	18
	Габаритні розміри, мм	700×700×775
	Маса, кг	180
6	Реле часу РВІ-300	
	Номінальна напруга живлення, В	36,127, 220, 380
	Частота струму, Hz	50
	Споживана потужність не більше, Ва	30
	Регульована витримка часу, с:	
	- діапазон	0,5-3
	- діапазон	3-30
	- діапазон	30-300
	Габаритні розміри, мм	500×450×420
	Маса, кг, не більше	56
7	Електроконтактний манометр ВЕ-16РБ	
	Номінальна напруга дистанційних ланцюгів, В	18
	Номінальний струм, А	5
	Габаритні розміри, мм	200×200×200
	Маса, кг	15

На рисунку 1.6 наведено гідродатчик, що контролює натяг стрічки

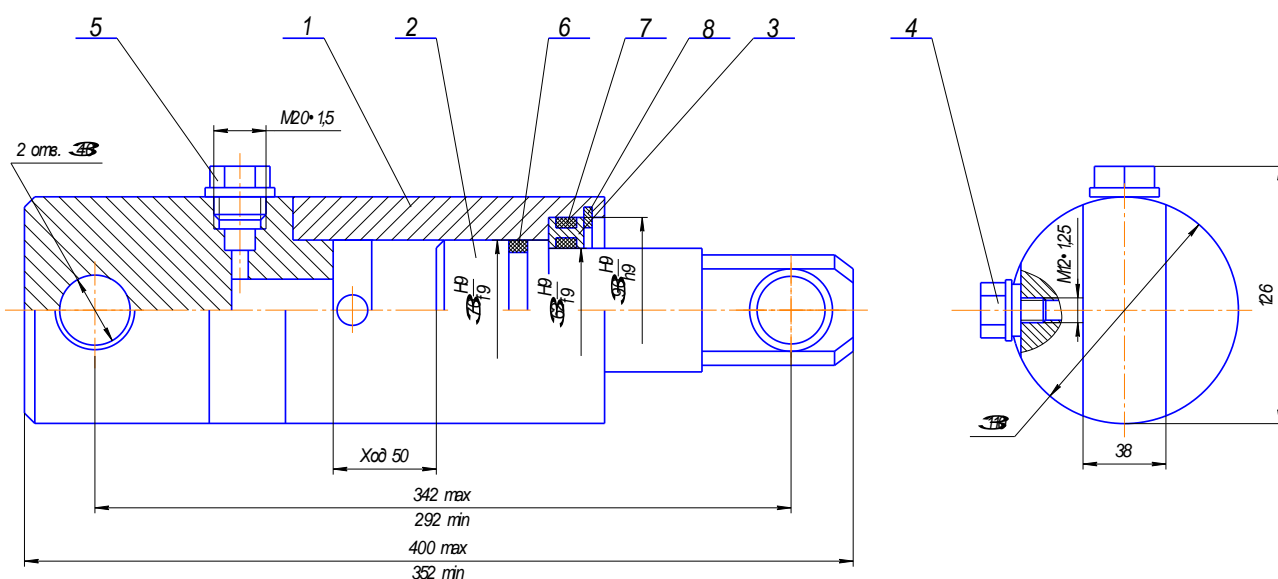


Рисунок 1.6. Гідродатчик: 1 - корпус; 2 – шток; 3 – гранбуksа; 4, 5 – пробка; 6 -кільце 062-070-46-2-0 ГОСТ 9833-73; 7 - кільце 082-090-46-2-0 ГОСТ 9833-73; 8 – кільце

Досвід роботи отриманий при експлуатації стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється показав життєздатність представленої системи автоматичного регулювання натягу стрічки яка не вимагає додаткових розрахунків на стійкість і якість регулювання.

Тим часом при проектуванні стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування виникли такі питання:

- як впливатиме процес зміни довжини транспортування на навантаженість (натяг) стрічки, яка впливає на гідродатчик (рис.2.3);
- при якому режимі роботи приводу конвеєра (зупиненому чи працюючому) краще змінювати довжину транспортування.

## **1.2 Аналіз технологічної схеми робочого процесу кар'єрного екскаватора по традиційній схемі із використанням стрічкового конвеєра з довжиною транспортування, що змінюється**

Використання конвеєрного транспорту на кар'єрах, де розробляються скельні породи, нині цілком залежить від застосування установок механічного дроблення.

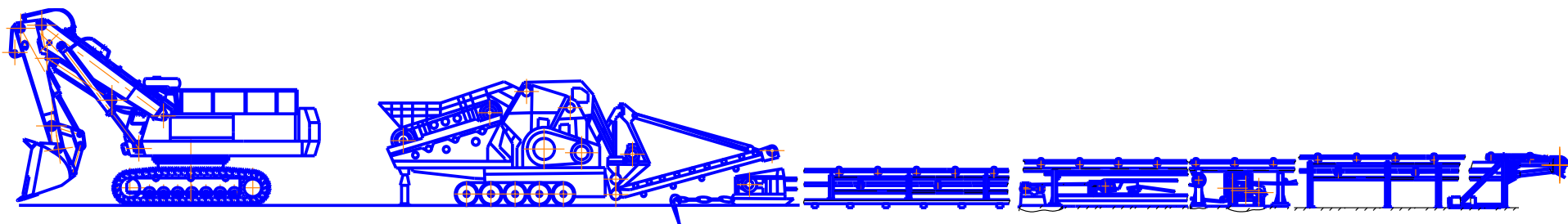
Самохідні подрібнювальні агрегати забезпечують впровадження циклічно-поточної технології на кар'єрах в найбільш закінченому виді, оскільки увесь кар'єрний транспорт при їх застосуванні представлений стрічковими конвеєрами [10-12].

На рисунку 1.7 наведена традиційна технологічна схема роботи кар'єрного екскаватора, самохідної подрібнювальної установки і жолобчастого стрічкового конвеєра і нетрадиційна із застосуванням трубчастого стрічкового конвеєра, що працює при довжині, що змінюється, де ходовий пристрій самохідної подрібнювальної установки є базою для кінцевої станції конвеєра [9].

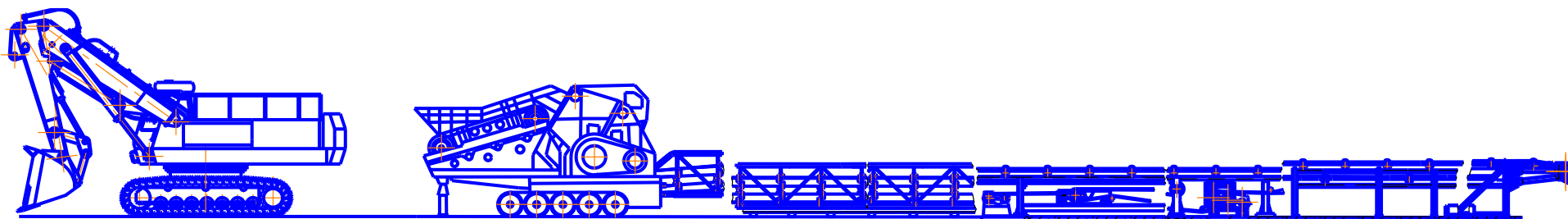
Аналізуючи схеми *a* і *б* (рис. 1.7), не важко помітити, що при подовженні конвеєра за схемою *a* виникає необхідність зупинки роботи забою, пов'язаною з розкріплюванням кінцевій станції, її перетягуванням і закріпленням.

При використанні стрічкового конвеєра, що працює при довжині, що змінюється, подовжувати і скорочувати довжину транспортування конвеєра можна під час роботи.

Слід зазначити, що в технологічному ланцюжку "забій - робочий орган - транспортний засіб" (рис. 1.7, *б*) відсутній перевантажувач, що знаходиться між самохідною подрібнювальною установкою і стрічковим конвеєром (рис. 1.7, *a*).



a)



б)

26

Рисунок 1.7 - Технологічна схема робочого процесу кар'єрного екскаватора, подрібнювальної самохідної установки і стрічкового конвеєра: а - традиційна схема роботи кар'єрного екскаватора, подрібнювальної самохідної установки і стрічкового конвеєра: б - нетрадиційна схема роботи кар'єрного екскаватора, подрібнювальної самохідної установки, ходовий пристрій якої є базою для кінцевої станції стрічкового конвеєра, що працює при довжині, що змінюється

Час, зекономлений на монтажних-демонтажних операціях базової кінцевої станції завдяки використанню нової техніки, можна розглядати як скорочення кількості монтажних-демонтажних змін протягом місяця. Це, своєю чергою, дозволяє збільшити машинний час роботи одноковшового екскаватора.

### **1.3 Аналіз технологічної схеми робочого процесу роторного екскаватора поперечного копання з традиційною конструктивною схемою і обладнаного стрічковим конвеєром, що працює при змінній довжині транспортування**

Нині відомі роторні екскаватори поперечного копання з висувною і не висувною стрілою [13-15].

Однією з експлуатаційних зручностей роторного екскаватора з висувною стрілою є можливість розробки забою стружкою рівної товщини по колу забою з постійною швидкістю повороту (рис.1.8).

На рисунку 1.9 приведені конструктивно-технологічні схеми відомого роторного екскаватора з висувною стрілою (рис. 1.9, б) і пропонованого – з телескопічною стрілою (рис. 1.9, а).

Застосування стрічкового конвеєра, що працює при змінній довжині транспортування дозволяє вирішити створити екскаватор поперечного копання з телескопічною стрілою, який по своїх експлуатаційних можливостях здатний підмінити роторний екскаватор з висувною стрілою. Розробка забою стружкою рівної товщини з постійною швидкістю повороту роторним екскаватором з телескопічною стрілою дозволяє добитися мінімальних витрат енергії на одиницю об'єму матеріалу, що розробляється, [16-20].

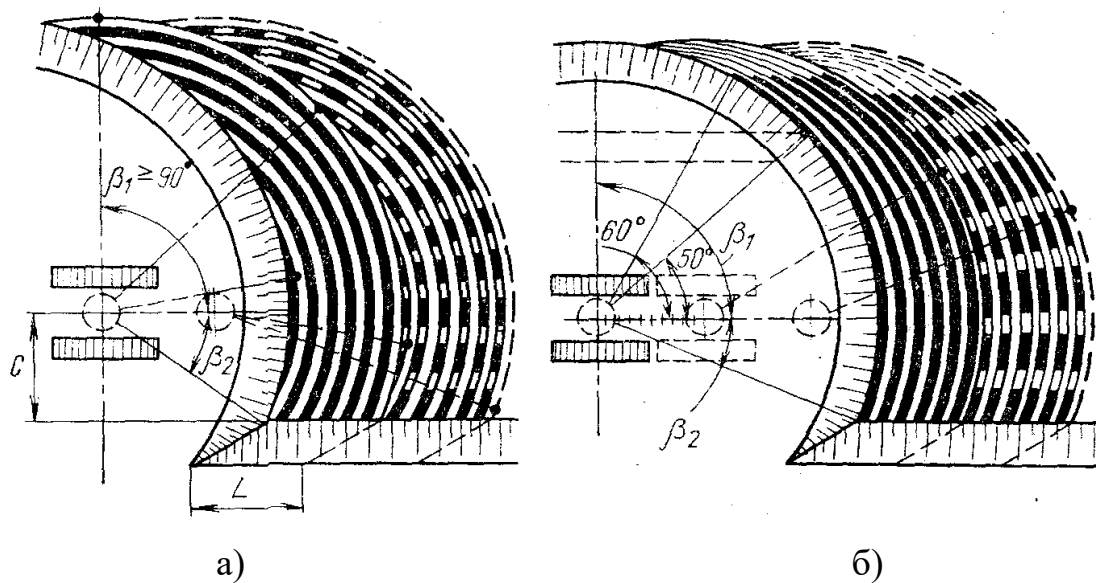


Рисунок 1.8 - Горизонтальний переріз повного блоку, що розробляється при максимальному використанні робочих розмірів екскаватора:

а) - з висувною стрілою; б) - з не висувною стрілою

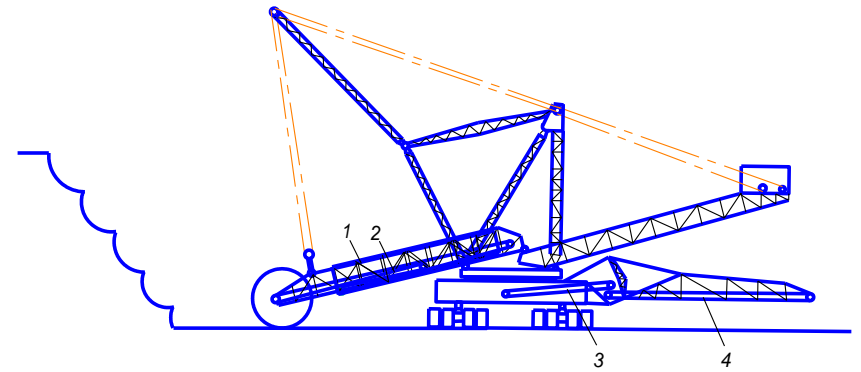
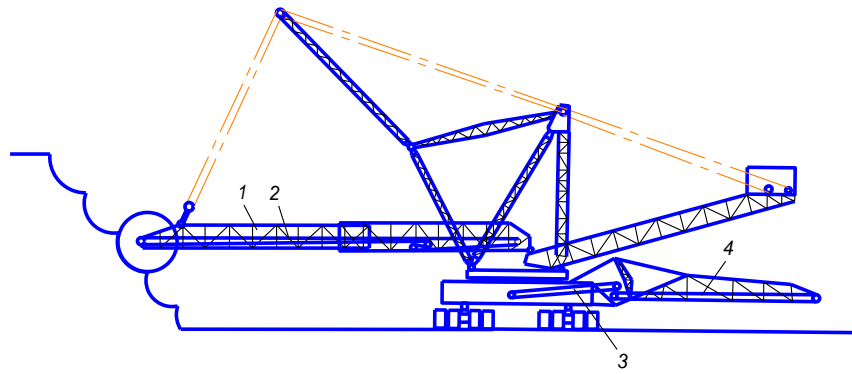
У першому випадку (рис. 1.9, а) радіус захоплення екскаватора змінюється за рахунок телескопічності стріли 1 і стрічкового конвеєра 2, що працює при довжині, що змінюється.

Стрічковий конвеєр 2 перенавантажує корисну копалину на проміжний конвеєр 3 і далі - на конвеєр розвантажувальної консолі 4.

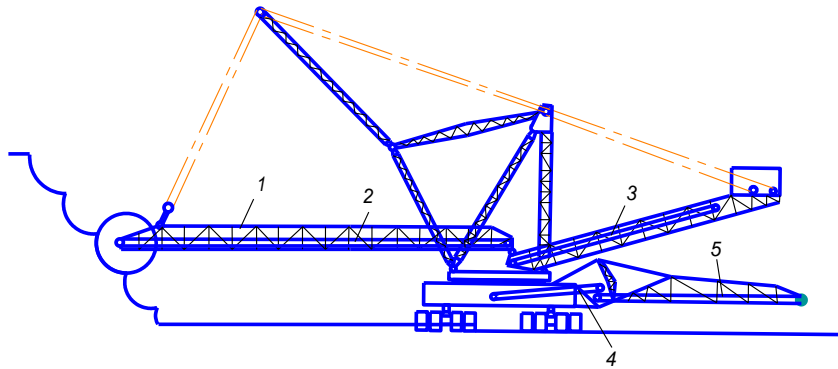
У другому випадку (рис. 1.9,б) - за рахунок втягування стріли 1 з конвеєром 2, що перенавантажує корисну копалину на конвеєр консолі противаги 3 і далі - на проміжний конвеєр 4 і конвеєр розвантажувальної консолі 5.

Екскаватор на рисунку 1.9,а вигідно відрізняється від екскаватора на рисунку 1.8,б відсутністю конвеєра консолі противаги. Крім того, роторний екскаватор з телескопічною стрілою стійкіший, ніж роторний екскаватор з висувною стрілою того ж класу [19].

Визначимо ефективність застосування роторного екскаватора поперечного копання з телескопічною стрілою, обладнаного стрічковим конвеєром с довжиною транспортування, що змінюється.



а)



б)

Рисунок 1.9 - Конструктивно-технологічні схеми роботи роторного екскаватора поперечного копання:

а - роторний екскаватор з телескопічною стрілою; б - роторний екскаватор з висувною стрілою

Встановлено, що втрати робочого часу роторного екскаватора з висувною стрілою при переході до розробки нового блоку складають 3-5 %, с невисувною стрілою при переході від підступу до підступу - 6-8 % [19].

Екскаватор з висувною стрілою доцільно застосовувати при селективній розробці пропластків або в умовах пересування його по відносно слабким ґрунтам.

Роторний екскаватор з телескопічною стрілою по технологічній ефективності застосування аналогічний роторному екскаватору з висувною стрілою, маючи при цьому на один стрічковий конвеєр менше [19].

#### **1.4 Аналіз технологічної схеми робочого процесу при проведенні тунелів по традиційній схемі із використанням стрічкового конвеєра, що працює при змінній довжині транспортування**

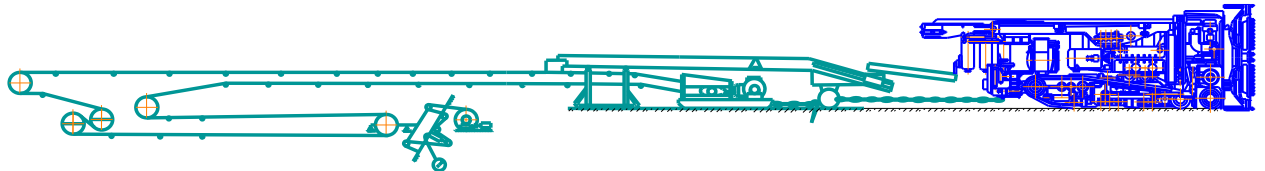
На рисунку 1.10 приведені технологічні схеми транспортного ланцюжка при традиційному наборі транспортуючих пристроїв в забоях з комбайновим і буро-вибуховим способом проведення тунелю і нетрадиційному за допомогою нової землерийної машини обладнаною стрічковим конвеєром, що працює при довжині, що змінюється [8;21;22].

Як видно зі схем завдяки установки пересувної станції на прохідницькому комбайні (рис. 1.19,б) (комбайновий спосіб проведення тунелю) і на гусеничний ходовий механізм (рис. 1.10,г) (буро-вибуховим спосіб проведення тунелю) стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування збільшується машинний час робочого обладнання за відсутності монтажно-демонтажних робіт кінцевої станції при подовженні традиційного стрічкового конвеєра [23].

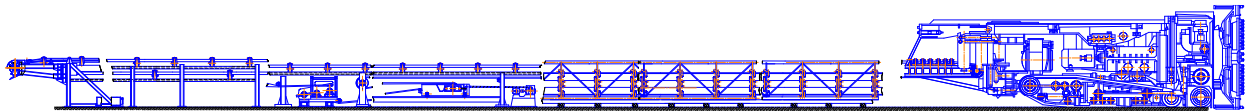
Довжина модернізованого конвеєра може змінюватися безперервно разом з просуванням землерийної машини під час її роботи. Це дозволяє забезпечити потокову технологію проведення тунелю, понизити трудомісткість за рахунок виключення перевантажувальних пристроїв,

скоротити монтажні-демонтажні операції по нарощуванню конвеєра підвищивши тим самим швидкість проведення тунелю.

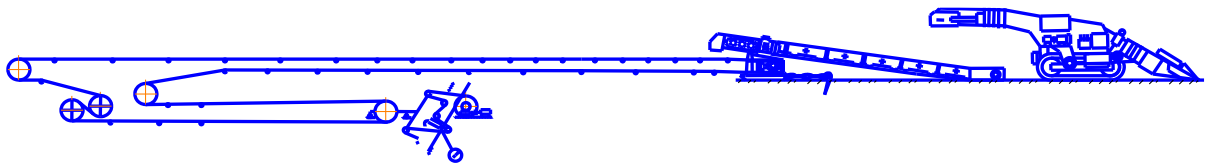
Необхідно відзначити, що довжина конвеєра може змінюватися як у бік збільшення, так і у бік зменшення довжини транспортування за короткий проміжок часу до 50 м, що дуже важливо у випадках підтоплення забою тунелю.



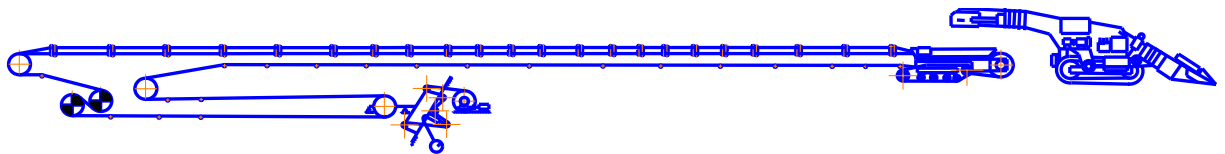
а)



б)



в)



г)

Рисунок 1.10 - Схеми роботи землерийних машин при проведенні тунелю:

- а) - при проведенні тунелю комбайновим способом з використанням традиційного стрічкового конвеєра;
- б) - при проведенні тунелю з використанням подовжуючого стрічкового конвеєра пересувна станція якого встановлена на комбайні;
- в) - при проведенні тунелю буро-вибуховим способом з використанням традиційного стрічкового конвеєра;
- г) - при проведенні тунелю буро-вибуховим способом з використанням подовжуючого стрічкового конвеєра пересувна станція якого встановлена на гусеничному ходовому механізмі

## РОЗДІЛ 2

### ТЕОРЕТИЧНІ ДОСЛІДЖЕННЯ РОБОЧОГО ПРОЦЕСУ НАВАНТАЖЕННЯ СТРІЧКИ ПІД ЧАС ЗМІНИ ДОВЖИНИ ТРАНСПОРТУВАННЯ КОНВЕЄРА

Збільшення натягнення в стрічці завжди пов'язане з хвилею пружної деформації, що виникає в ній. Виникаюча хвиля пружної деформації може бути динамічною і квазістатичною [24]. Динамічна хвиля пов'язана з розгоном або уповільненням руху стрічки, квазістатична хвиля на конвеєрі пов'язана із зміною статичних сил опору руху стрічки під час подовження або скорочення довжини транспортування конвеєра.

У роботі [8] приведені теоретичні дослідження виникаючого статичного стрибка натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом.

Відомо, що під час зміни швидкості руху стрічки (її розгону) виникає динамічний стрибок натягнення.

Динамічну навантаженість стрічки можна визначити, знаючи закон зміни динамічної швидкості поширення пружної деформації і швидкості стрічки під час перехідного процесу [25; 26].

В результаті досліджень апріорної інформації експериментальних і теоретичних досліджень [27-35] встановлено, що під час подовження конвеєра на барабані пересувної станції відбувається наростання навантаженості стрічки за рахунок збільшення статичного і динамічного натягнення стрічки.

Визначимо залежності, що визначають процес навантаженості стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра.

При визначенні залежностей приймемо допущення, що стрічка є ізотропно-пружним тілом.

При виконанні теоретичних досліджень приймемо припущення, що діаметр поперечного перетину стрічки впливає тільки на питомий коефіцієнт опору руху стрічки. В роботах вказується, що виконання орієнтовного

тягового розрахунку методом обходу по контуру слід виконувати з залученням загального коефіцієнта опору руху що дорівнює 0,04.

## 2.1. Теоретичні залежності визначення швидкості стрічки вантажної і порожньої гілок під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

Швидкість руху стрічки працюючого конвеєра (рис.1) значно більше швидкості переміщення прохідницького комбайна.

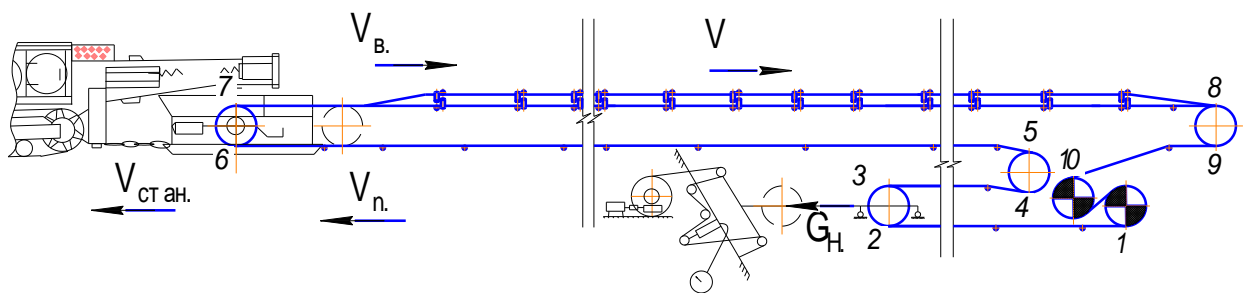


Рисунок 2.1 - Схема конвеєра , що змінює довжину, з працюючим приводом

Зрозуміло, що вектор швидкості руху пересувної станції і вектор швидкості руху стрічки створюваний приводом працюючого конвеєра колінеарні.

Звідси швидкість руху стрічки працюючого конвеєра:

- на вантажній гілці конвеєра

$$V_B = V - V_{\text{стан.}}, \text{ м/с}; \quad (2.1)$$

- на порожній гілці конвеєра

$$V_{\text{п}} = V + V_{\text{стан.}}, \text{ м/с}. \quad (2.2)$$

де  $V$  - швидкість руху стрічки, що створюється приводом конвеєра,  $\text{м/с}$ ;  $V_{\text{стан.}}$  - швидкість руху пересувної станції працюючого конвеєра під час зміни довжини транспортування,  $\text{м/с}$ .

## 2.2. Визначення швидкості і прискорення пересувної станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

При визначенні швидкості і прискорення пересувної станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом скористаємося диференціальною формою теореми про зміну кінетичної енергії системи (рівняння (2.1)).

Повна похідна кінетичної енергії за часом дорівнює сумі потужностей усіх зовнішніх  $N^e$  і внутрішніх  $N^i$  сил, прикладених до системи:

$$\frac{dT}{dt} = N^e + N^i, \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{с}. \quad (2.3)$$

Похідна від роботи за часом дорівнює потужності прикладеної сили. Сума робіт внутрішніх сил, а отже, і потужностей внутрішніх сил приймаємо рівною нулю  $N^i = 0$ .

Зміну кінетичної енергії механічної системи подовження стрічкового конвеєра визначимо по залежності

$$T = T_{\text{прох.ком.}} + T_{\text{ход.ред.}} + T_{\text{ел.дв.}} + T_{\text{кон.}}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.4)$$

де  $T_{\text{прох.ком.}}$  - зміна кінетичної енергії прохідницького комбайна,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $T_{\text{ход.ред.}}$  - зміна кінетичної енергії редуктора ходового механізму прохідницького комбайна,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $T_{\text{ел.дв.}}$  - зміна кінетичної енергії електродвигуна ходового механізму прохідницького комбайна,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ ;  $T_{\text{кон.}}$  - зміна кінетичної енергії елементів конвеєра, що переміщуються,  $\text{Н}\cdot\text{м}$ .

З рівнянь (2.3) і (2.4) зрозуміло, що при розрахунку зміни елементів кінетичної енергії конвеєра з працюючим приводом в усіх випадках слід підставляти швидкість пересувної станції  $V_{\text{стан.}}$

Зміна кінетичної енергії конвеєра з працюючим приводом в час зміни довжини транспортування рівна:

$$T_{кон.} = T_{в.} + T_{п.} + T_{вин.бар.} + T_{пр.кон.} + T_{рух.бар.} + T_{нерух.бар.} + T_{бар.стан.} + T_{рух.кар.} + T_{стан.}, H \cdot м \quad (2.5)$$

де  $T_{в.}$ ,  $T_{п.}$ ,  $T_{вин.бар.}$ ,  $T_{пр.кон.}$ ,  $T_{рух.бар.}$ ,  $T_{нерух.бар.}$ ,  $T_{бар.стан.}$ ,  $T_{рух.кар.}$ ,  $T_{стан.}$  - зміни кінетичної енергії порожньої гілки, рухливої і нерухомої барабанів телескопічного пристрою, барабана пересувної станції, рухливої каретки телескопічного пристрою, пересувній станції конвеєра з працюючим приводом відповідно,  $H \cdot м$ .

Зміна кінетичної енергії вантажної гілки конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{в} = \frac{V_{стан.}^2 \cdot \Omega_B l_{(7-8)}}{2g}, H \cdot м \quad (2.6)$$

де  $V_{стан.}$  - швидкість переміщення пересувної станції працюючого конвеєра,  $м/с$ ;  $l_{(7-8)}$  - відстань від барабана пересувної станції до виносного барабана,  $м$ ;  $\Omega_B$  - питомий статичний опір руху навантаженої гілки,  $H/м$

$$\Omega_B = g \left[ (q_B + q_c + q'_p) \omega' \cdot \cos \beta \pm (q_B + q_c) \sin \beta \right], H/м$$

де  $g$  - прискорення вільного падіння,  $м/с^2$ ;  $q_{ван.}$  - погонна маса вантажу,  $кг/м$ ;  $q'_p$  - погонна маса верхніх роликів опор,  $кг/м$ ;  $q_c$  - погонна маса стрічки,  $кг$ ;  $\omega'$  - коефіцієнт питомого опору руху стрічки;  $\beta$  - кут установки конвеєра,  $град$ ;

Зміна кінетичної енергії порожньої гілки конвеєра з працюючим приводом:

$$T_n = \frac{\Omega'_\Pi l_{(9-10)} V_{стан.}^2}{2g} + \frac{\Omega_\Pi l_{(1-2)} V_{стан.}^2}{2g} + \frac{\Omega''_\Pi l_{(3-4)} V_{стан.}^2}{2g} + \frac{\Omega_\Pi l_{(5-6)} V_{стан.}^2}{2g}, \text{ Н}\cdot\text{м}$$

$\Omega_\Pi$  - питомий статичний опір руху порожньої гілки,  $\text{Н}/\text{м}$ ;  $l_{(9-10)}$  - відстань від виносного барабана до приводного барабана,  $\text{м}$ ;  $l_{(1-2)}$  - відстань від приводного барабана до рухомого барабана телескопічного пристрою,  $\text{м}$ ;  $l_{(3-4)}$  - відстань від рухомого барабана телескопічного пристрою до нерухомого барабана телескопічного пристрою,  $\text{м}$ ;  $l_{(5-6)}$  - відстань від нерухомого барабана телескопічного пристрою до барабана пересувної станції,  $\text{м}$ .

$$\Omega_\Pi = g \left[ (q_c + q_p'') \omega' \cdot \cos\beta \pm q_c \sin\beta \right], \text{ Н}/\text{м}$$

де  $q_p''$  - погонна маса нижніх роликів опор,  $\text{кг}$ .

$l_{(3-6)}$  - відстань від барабана пересувної станції до барабана натягача,  $\text{м}$

Прийнявши припущення, що значення  $\Omega_n = \Omega'_n = \Omega''_n$ , отримаємо

$$T_n = \frac{\Omega_\Pi V_{стан.}^2 (l_{(9-2)} + l_{(3-6)})}{2g}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.7)$$

де  $l_{(9-2)}$  - відстань від виносного барабана до рухомого барабана телескопічного пристрою,  $\text{м}$ ;  $l_{(3-6)}$  - відстань від барабана пересувної станції до барабана натягача (рухомого барабана телескопічного пристрою),  $\text{м}$ ;

Зміна кінетичної енергії виносного барабана конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{вин.бар.} = \frac{V_{стан.}^2 m_{бар.}}{4}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.8)$$

де  $m_{бар.}$  - маса барабана,  $\text{кг}$ .

Як правило, барабани прохідницьких конвеєрів по масі і розмірам однакові.

Зміна кінетичної енергії приводу конвеєра з працюючим приводом, до складу якого увійшли приводні барабани, редуктор і електродвигун:

$$T_{пр.кон.} = \frac{m_{пр.пр.кон.} V_{стан.}^2}{2}, \text{ Н}\cdot\text{М} \quad (2.9)$$

де  $m_{пр.пр.кон.} = k(GD)_p^2 i_p^2 / (gD_{бар.}^2)$  - приведена маса приводу конвеєра, кг;  $k$  - коефіцієнт, що враховує інерцію редуктора приводу конвеєра, рівний 1,2-1,3;  $GD$  - крутний момент ротора двигуна,  $\text{Н}^2\cdot\text{М}^2$ ;  $i_p$  - передавальне число редуктора приводу конвеєра;  $D_{бар.}$  - діаметр приводного барабана.

Зміна кінетичної енергії барабана рухливої каретки телескопічного пристрою конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{рух.бар.} = \frac{(V_{стан.} - V_{стан.})^2 m_{бар.}}{4} = 0, \text{ Н}\cdot\text{М} \quad (2.10)$$

Зміна кінетичної енергії рухливої каретки телескопічного пристрою конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{рух.кар.} = \frac{m_H V_{стан.}^2}{2g}, \text{ Н}\cdot\text{М} \quad (2.11)$$

де  $m_H = G_H / g$ , кг;  $m_H$  - маса рухливої каретки телескопічного пристрою, що ототожнюється із зусиллям натягача, кг.

Зміна кінетичної енергії нерухомого барабана телескопічного пристрою конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{нерух.бар.} = \frac{V_{стан.}^2 m_{бар.}}{4}, \text{ Н}\cdot\text{М} \quad (2.12)$$

Зміна кінетичної енергії барабана пересувної станції конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{\text{бар.стан.}} = \frac{(V_{\text{стан.}} - V_{\text{стан.}})^2 m_{\text{бар.}}}{4} = 0, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.13)$$

Зміна кінетичної енергії пересувної станції конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{\text{стан.}} = \frac{m_{\text{стан.}} V_{\text{стан.}}^2}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.14)$$

де  $m_{\text{стан.}}$  - маса пересувної станції, кг.

Підставивши рівняння (2.6) - (2.14) в (2.5), отримаємо

$$T_{\text{кон.}} = \frac{V_{\text{стан.}}^2}{2} \left[ \left( \Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{\Gamma} l_{(9-6)} + G_H \right) / g + m_{\text{пр.пр.кон.}} + m_{\text{бар.}} + m_{\text{стан.}} \right], \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.15)$$

Зміна кінетичної енергії прохідницького комбайну при зміні довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{\text{прох.ком.}} = \frac{m_{\text{прох.ком.}} V_{\text{стан.}}^2}{2}, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.16)$$

де  $m_{\text{прох.ком.}} = m_{\text{комб.}} (f_{\text{рух.}} \cdot \cos \beta \pm \sin \beta)$  - маса прохідницького комбайну, що переміщається по тунелю, кг;  $m_{\text{комб.}}$  - маса прохідницького комбайну, кг;  $f_{\text{рух.}}$  - коефіцієнт опору руху (для гусеничних рушіїв  $f_{\text{рух.}} = 0,1-0,2$ ).

Зміну кінетичної енергії редуктора ходового механізму прохідницького комбайну під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом визначимо по відомим залежностям.

Для простоти розрахунку припустимо, що редуктор двоступінчастий.

$$T_{1\text{кол.ред.}} = \frac{1}{2} J_{1\text{кол.ред.}} \omega_{\text{ход.ел.дв.}}^2, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad J_{1\text{кол.ред.}} = \frac{1}{2} m_{1\text{кол.ред.}} R_{1\text{кол.ред.}}^2, \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$T_{1\text{кол.ред.}} = \frac{1}{4} m_{1\text{кол.ред.}} R_{1\text{кол.ред.}}^2 \omega_{1\text{кол.}}^2, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad \omega_{\text{ход.ел.дв.}} = \omega_{1\text{кол.ред.}}, \text{ 1/с};$$

$$T_{2\text{кол.ред.}} = \frac{1}{2} J_{2\text{кол.ред.}} \omega_{2\text{кол.ред.}}^2, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad J_{2\text{кол.ред.}} = \frac{1}{2} m_{2\text{кол.ред.}} R_{2\text{кол.ред.}}^2, \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$\omega_{2\text{кол.ред.}} = \frac{R_{1\text{кол.ред.}}}{R_{2\text{кол.ред.}}} \omega_{\text{ход.ел.дв.}} = i_{\text{ход.ред.}} \omega_{\text{ход.ел.дв.}}, \text{ 1/об};$$

$$T_{2\text{кол.ред.}} = \frac{1}{4} m_{2\text{кол.ред.}} R_{2\text{кол.ред.}}^2 i_{\text{ход.ред.}}^2 \omega_{\text{ход.ел.дв.}}^2, \text{ Н}\cdot\text{м}; \quad T_{\text{ход.ред.}} = T_{1\text{кол.ред.}} + T_{2\text{кол.ред.}}, \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Після перетворень отримаємо наступну залежність:

$$T_{\text{ход.ред.}} = \frac{\omega_{\text{ход.ел.дв.}}^2 R_{1\text{кол.ред.}}^2}{4} \left( m_{1\text{кол.ред.}} + \frac{m_{2\text{кол.ред.}}}{i_{\text{ход.ред.}}} \right), \text{ Н}\cdot\text{м}, \quad (2.17)$$

де  $\omega_{\text{ход.ел.дв.}}$ ,  $\omega_{1\text{кол.ред.}}$ ,  $\omega_{2\text{кол.ред.}}$  - частота обертання, відповідно, ходового електродвигуна, першого і другого зубчастих коліс редуктора, 1/об;  $T_{1\text{кол.ред.}}$ ,  $T_{2\text{кол.ред.}}$  - зміна кінетичної енергії, відповідно, першого і другого зубчастих коліс редуктора, Н·м;  $J_{1\text{кол.ред.}}$ ,  $J_{2\text{кол.ред.}}$  - момент інерції, відповідно, першого і другого зубчастих коліс редуктора, кг·м<sup>2</sup>;  $m_{1\text{кол.ред.}}$ ,  $m_{2\text{кол.ред.}}$  - маса, відповідно, першого і другого зубчастих коліс редуктора, кг;  $R_{1\text{кол.ред.}}$ ,  $R_{2\text{кол.ред.}}$  - радіус, відповідно, першого і другого зубчастих коліс редуктора, м;  $i_{\text{ход.ред.}}$  - передавальне число ходового редуктора.

Зміна кінетичної енергії електродвигуна ходового механізму прохідницького комбайну при зміні довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом:

$$T_{ход.ел.дв.} = \frac{1}{2} J_{р.ход.ел.дв.} \omega_{ход.ел.дв.}^2, \text{ Н}\cdot\text{м}; J_{ход.ел.дв.} = \frac{1}{2} m_{р.ход.ел.дв.} R_{р.ход.ел.дв.}^2, \text{ кг}\cdot\text{м}^2;$$

$$T_{ход.ел.дв.} = \frac{1}{4} m_{р.ел.дв.} R_{р.ел.дв.}^2 \omega_{ход.ел.дв.}^2, \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.18)$$

де  $J_{ход.ел.дв.}$  - момент інерції ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайну,  $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;  $m_{р.ход.ел.дв.}$  - маса ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайну,  $\text{кг}$ ;  $R_{р.ход.ел.дв.}$  - радіус ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайну,  $\text{м}$ .

Підставимо рівняння (2.15) - (2.18) в (2.4) і визначимо зміну кінетичної енергії механічної системи механізму зміни довжини транспортування стрічкового конвеєра з працюючим приводом під час зміни довжини транспортування:

$$T_{пр.} = \frac{V_{стан.пр.}^2}{2} \left[ \frac{4(J_{р.ел.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.})}{R_{зир.ход.ред.}^2 i_{ход.ред.}^2} + m_{прох.ком.} + m_H + m_{стан.} + \right. \\ \left. + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + \frac{\Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)}}{g} \right], \text{ Н}\cdot\text{м} \quad (2.19)$$

Перейдемо до обчислення потужностей.

Сума потужностей усіх зовнішніх сил  $N_{пр.}^e$  дорівнює:

$$N_{пр.}^e = N_{ел.дв.} + N_{опор.}, \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{с}; \quad (2.20)$$

$$N_{опор.} = (N_{прох.ком.} + N_{кон.}) \cos 180^0, \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{с}. \quad (2.21)$$

З урахуванням рівняння (2.15) потужність сил опорів при русі елементів конвеєра з працюючим приводом

$$N_{кон.} = V_{стан.} \left[ \Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)} + G_H + g (m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{стан.}) \right], \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{с}. \quad (2.22)$$

Потужність сил опорів при переміщенні прохідницького комбайну пов'язаного з пересувною станцією працюючого конвеєра, що змінює довжину транспортування

$$N_{прох.ком.} = m_{прох.ком.} g V_{стан.}, \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{с}. \quad (2.23)$$

Підставивши рівняння (2.20) і (2.21) в (2.19), отримаємо:

$$N_{опор.} = -V_{стан.} \left[ \Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)} + G_H + g (m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{стан.}) \right], \quad (2.24)$$

Н·м/с.

Потужність сил ходового асинхронного електродвигуна прохідницького комбайну  $N_{ел.дв.}$  визначається по формулі

$$N_{ел.дв.} = M_{ход.эл.дв.} \omega_{ход.эл.дв.} = (M_p - \beta_{ел.дв.} \omega_{ход.эл.дв.}) \omega_{ход.эл.дв.}, \text{ Н}\cdot\text{м}/\text{с} \quad (2.25)$$

де  $M_p$  - пусковий момент ходового електродвигуна, Н·м;  
 $\beta_{ел.дв.} = (M_1 - M_2) / (\omega_1 - \omega_2)$  - коефіцієнт, що характеризує нахил механічної характеристики двигуна ходового механізму прохідницького комбайна, Н·м·с (рис. 2.2).

Визначимо потужність сил ходового асинхронного електродвигуна прохідницького комбайну пов'язаного з пересувною станцією працюючого конвеєра, через швидкість пересувної станції.

$$V_{стан.} = V_{гус.} / 2 = \omega_{2кол.ред.} D_{зир.} / 4 = R_{зир.} i_{ход.ред.} \omega_{ход.ел.дв.} / 2, \text{ м/с} \quad (2.26)$$

де  $R_{зир.}$  - радіус тракової приводної зірочки ходового редуктора прохідницького комбайну, м;  $V_{гус.}$  - швидкість гусениці комбайна (рис. 2.3).

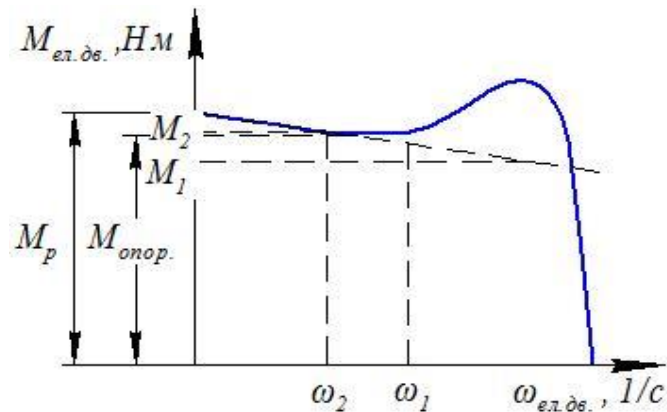


Рисунок 2.2 - Моментно - частотна характеристика електродвигуна

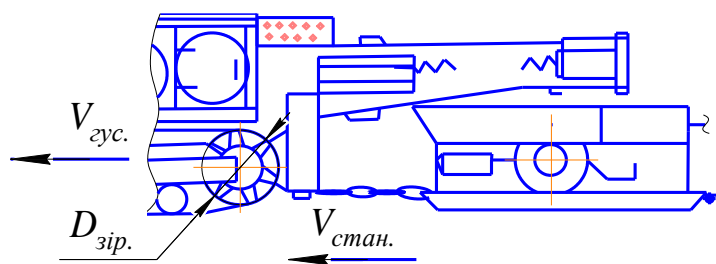


Рисунок 2.3 - Схема до розрахунку швидкості пересувної станції

Підставивши рівняння (2.26) в рівняння (2.25) отримаємо

$$N_{ход.ел.дв.} = \frac{2V_{стан.}}{R_{зир.ход.ред.}} \left( M_p - \frac{2V_{стан.}\beta_{ел.дв.}}{R_{зир.ход.ред.}} \right), H \cdot M/c. \quad (2.27)$$

Звідси

$$N^e = \frac{2V_{стан.}}{R_{зир.ход.ред.}} \left( M_p - \frac{2V_{стан.}\beta_{ел.дв.}}{R_{зир.ход.ред.}} \right) - V_{стан.} \left[ \Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)} + G_H + \right. \\ \left. + g(m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{стан.}) \right], H \cdot M/c. \quad (2.28)$$

Продиференціювавши по  $t$  рівняння (2.19) і підставивши разом з рівнянням (2.28) в рівняння (2.3) отримаємо

$$V_{стан.} \frac{dV_{стан.}}{dt} \left[ \frac{4(J_{р.ел.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.})}{R_{зир.ход.ред.}^2 i^2} + m_{прох.ком.} + m_H + m_{стан.} + \right. \\ \left. + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + \frac{\Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)}}{g} \right] = V_{стан.} \left[ \frac{2}{R_{зир.ход.ред.}} \left( M_p - \frac{2V_{стан.}\beta_{ел.дв.}}{R_{зир.ход.ред.}} \right) - \right. \\ \left. - \Omega_B l_{(7-8)} - \Omega_{II} l_{(9-6)} - G_H - g(m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{стан.}) \right], H \cdot M/c; \\ \frac{dV_{стан.}}{dt} \left[ \frac{4(J_{р.ел.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.})}{R_{зир.ход.ред.}^2 i^2} + m_{прох.ком.} + m_H + m_{стан.} + \right. \\ \left. + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + \frac{\Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)}}{g} \right] = \frac{2}{R_{зир.ход.ред.}} \left( M_p - \frac{2V_{стан.}\beta_{ел.дв.}}{R_{зир.ход.ред.}} \right) - \\ - \Omega_B l_{(7-8)} - \Omega_{II} l_{(9-6)} - G_H - g(m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{стан.}), H; \quad (2.29)$$

$$\Im \frac{dV_{стан.}}{dt} = M_p - \Im - \Re V_{стан.}, H \cdot M; \quad (2.30)$$

$$\mathfrak{R} = \frac{2\beta_{ел.дв.}}{R_{зир.ход.ред.}}, H/c; \quad (2.31)$$

$$\mathfrak{S} = \frac{2(J_{р.ел.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.})}{R_{зир.ход.ред.}} + \frac{R_{зир.ход.ред.}}{2} (m_{прох.ком.} + m_H + m_{стан.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + \Omega_B l_{(7-8)} / g + \Omega_{II} l_{(9-6)} / g), кг \cdot м; \quad (2.32)$$

$$\mathfrak{N} = \frac{R_{зир.ход.ред.}}{2} [\Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)} + g(m_H + m_{прох.ком.} + m_{пр.пр.кон.} + m_{бар.} + m_{стан.})], \quad H \cdot м \quad (2.33)$$

Визначимо закон зміни швидкості пересувної станції конвеєра з працюючим приводом, вирішивши рівняння (2.30). Для цього розділимо змінні:

$$\frac{\mathfrak{S} \cdot dV_{стан.}}{M_p - \mathfrak{N} - \mathfrak{R}V_{стан.}} = dt, \quad H \cdot м \quad (2.34)$$

і проінтегруємо обидві частини рівняння:

$$-\frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{R}} \ln |M_p - \mathfrak{N} - \mathfrak{R}V_{стан.}| = t + C, \quad c. \quad (2.35)$$

На початку зрушення ходового двигуна прохідницького комбайну при  $t=0$ ,  $V_{стан.пр.} = 0$ . Підставимо цю умову в рівняння (2.35):

$$C = -\frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{R}} \ln(M_p - \mathfrak{N}), \quad c. \quad (2.36)$$

Підставимо рівняння (2.36) в (2.35) :

$$-\frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{R}} \ln(M_p - \mathfrak{N} - \mathfrak{R}V_{стан.}) = t - \frac{\mathfrak{S}}{\mathfrak{R}} \ln(M_p - \mathfrak{N}), \text{ с.} \quad (2.37)$$

Групуючи члени з логарифмами, отримаємо:

$$\ln \frac{M_p - \mathfrak{N} - \mathfrak{R}V_{стан.}}{M_p - \mathfrak{N}} = -\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{S}} t, \text{ с.} \quad (2.38)$$

Після потенціювання рівняння (2.38) і перетворень маємо:

$$1 - \frac{\mathfrak{R}}{M_p - \mathfrak{N}} V_{стан.} = \exp\left(-\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{S}} t\right), \text{ кг/мс}^2; \quad (2.39)$$

$$V_{стан.} = \frac{M_p - \mathfrak{N}_{np.}}{\mathfrak{R}} \left(1 - e^{-\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{S}_{np.}} t}\right), \text{ м/с.} \quad (2.40)$$

Продиференціювавши по  $t$  рівняння (2.40), визначимо прискорення пересувної станції при працюючому конвеєрі:

$$j_{стан.} = \frac{dV_{стан.}}{dt} = \frac{M_p - \mathfrak{N}}{\mathfrak{R}} \exp\left(-\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{S}} t\right), \text{ м/с}^2. \quad (2.41)$$

### 2.3. Визначення динамічного збільшення натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

Згідно із законом Ньютона, динамічне зусилля для розгону відрізка стрічки завдовжки  $dx$

$$\partial S_{\text{дин.}} = \partial m_c \cdot j_c = \rho \cdot dx \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}, H \quad (2.42)$$

де  $u(x,t)$  - зміщення у момент часу  $t$  перерізу стрічки, до якого докладено зусилля, що фактично є абсолютним подовженням,  $m$ ;  $\rho$ - сумарна погонна маса рухомої гілки стрічки,  $кг/м$  (для завантаженої гілки  $\rho_{в.г.} = q_c + q_B$ . для порожньої гілки  $\rho_{п.г.} = q_c$ );  $q_c$  - погонна маса стрічки,  $кг/м$ ;  $q_B$ - погонна маса вантажу,  $кг/м$ .

Аналогічне рівняння для визначення динамічного натягнення в стрічці при нестационарному її руху наведено в роботі [29].

Помітимо, що динамічна швидкість поширення пружних деформацій в стрічці  $a_{\text{дин.}} = \partial x / \partial t$ , а швидкість зміщення перерізу стрічки під час зміни довжини транспортування без урахування швидкості стрічки, що створюється приводом конвеєра,  $V_{\text{зміщ.с.}} = \partial u / \partial t$ .

Зрозуміло, що під час зміни довжини транспортування для працюючого конвеєра ця швидкість відповідає швидкості зміни довжини  $V_{\text{стан.}}$ .

Оскільки натягнення в точці 6 практично дорівнює натягненню в точці 7, зміна динамічної навантаженості стрічки на барабані пересувної станції доцільно розглядати для порожньої гілки.

Звідси

$$S_{\text{дин.}} = a_{\text{дин.}} \cdot q_c \cdot V_{\text{стан.}}, H. \quad (2.43)$$

Визначимо динамічну швидкість поширення хвилі пружної деформації в стрічці під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом (рис.2.4).

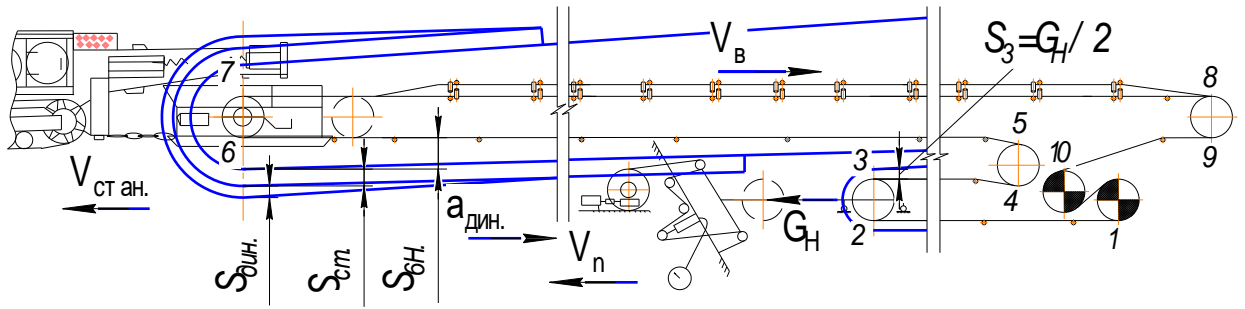


Рисунок 2.4 - Розрахункова схема виникаючих натягнень в стрічці під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

Фронт динамічної хвилі пружної деформації під час зміни довжини транспортування проходить за час шлях

$$x = a_{\text{дин.}} \cdot t, \text{ м} \quad (2.44)$$

На фронті хвилі розтягування статичне натягнення в стрічці перед початком руху пересувної станції

$$S_a = (S_{6H} - c \cdot x), \text{ Н}; \quad (2.45)$$

$$c = \frac{S_{6H} - S_3}{l_{(3-6)}}, \text{ Н/м} \quad (2.46)$$

$$S_{6H} = \Omega_{II} l_{(3-6)} + G_H, \text{ Н}; \quad (2.47)$$

де  $S_{6H}$  - початкове статичне натягнення стрічки в точці 6 працюючого конвеєра,  $\text{Н}$ ;  $c$  - градієнт статичного натягнення стрічки перед початком руху пересувної станції працюючого конвеєра,  $\text{Н/м}$ ;

$S_3 = G_H / 2$  - статичне натягнення стрічки в точці 3,  $\text{Н}$ ;  $l_{(3-6)}$  - відстань між пересувною станцією і натягачем,  $\text{м}$ .

Після прикладення сили, що переміщує пересувну станцію натягнення стрічки в точці 6 працюючого конвеєра буде дорівнювати

$$S_6 = S_a + S_{ст.} + S_{дин.}, H, \quad (2.48)$$

де  $S_{ст.}$  - збільшення статичного натягнення в стрічці під час зміни довжини транспортування працюючого конвеєра,  $H$ ;  $S_{дин.}$  - динамічне натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування працюючого конвеєра,  $H$ .

Гradient статичного натягнення стрічки під час зміни довжини працюючого конвеєра:

$$z = \frac{S'_6 - S_3}{l_{(3-6)}}, H/m, \quad (2.49)$$

де  $S'_6 = S_{6H} + S_{ст.}$  - статичне натягнення стрічки в точці 6 під час зміни довжини працюючого конвеєра,  $H$ .

Підставивши значення величин в (2.48), отримаємо:

$$S_6 = [S_{6H} + x(z - c)] + V_{стан.} \cdot q_c \cdot a_{дин.}, H. \quad (2.50)$$

Подовження стрічки  $du$  на відрізку  $dx$  після початку руху пересувної станції

$$\partial u = j_c \cdot (\partial t)^2, m \quad (2.51)$$

де  $j_c = j_{стан.} = \frac{\partial^2 u}{\partial t^2}$  - прискорення руху стрічки під час переміщення пересувної станції,  $m/c^2$ .

Відносне подовження стрічки в точці 6

$$\varepsilon_6 = \frac{\partial u}{\partial x}. \quad (2.52)$$

Підставивши (2.52) в (2.51) і проінтегрувавши по  $t$ , маємо:

$$\varepsilon_6 = \frac{j_{стан.} t}{a_{дин.}}; \quad (2.53)$$

$$S_6 = S_{6H} + \Delta S, H \quad (2.54)$$

де  $\Delta S = \sigma_{6пр.} B i_{прокл.}$  - приріст натягнення стрічки в точці 6, що виникає при переміщенні кінцевої станції, Н;  $B_c$  - ширина стрічки, м;  $i_{прокл.}$  - число прокладок.

Гумовотросову стрічку можна вважати ізотропно-пружним тілом. Доволі часто при розрахунках з гумовотканинною стрічкою припускають, що тягово-несучий орган є ізотропно-пружним тілом. З урахуванням вище зазначеного виникаючий приріст натягнення стрічки в точці 6

$$\Delta S = \sigma_6 B_c i_{прокл.} = E_{0дин.} \varepsilon_6, H \quad (2.55)$$

де  $E_{0дин.} = E_{дин.} B_c i_{прокл.}$  - динамічний модуль пружності стрічки, Н;  $\sigma_{6пр.}$  - напруження на метр ширини стрічки в точці 6, Н/м.

Підставивши рівняння (2.50), (2.55) і (2.53) в (2.54) і вважаючи, що в момент часу  $t$  динамічна хвиля пружної деформації пройшла відстань  $x = a_{дин.} t$ , а швидкість зміщення перерізу стрічки в точці 6  $V_6 = j_{стан.} t$ , маємо:

$$S_{6H} + a_{дин.} (z - c) t + j_{стан.} q_c \cdot a_{дин.} \cdot t = S_{6H} + E_{0дин.} \frac{j_{стан.} \cdot t}{a_{дин.}}, H;$$

$$a_{дин.}(z - c) + j_{стан.}q_c \cdot a_{дин.} = E_{0дин.} \frac{j_{стан.}}{a_{дин.}}, H. \quad (2.56)$$

Після перетворень рівняння (2.56) отримаємо залежність динамічної швидкості поширення хвилі пружної деформації на порожній гілці працюючого конвеєра:

$$a_{дин.} = \sqrt{\frac{E_{0дин.}}{q_c + \frac{(z - c)}{j_{стан.}}}}, м/с. \quad (2.57)$$

Підставивши рівняння (2.46) і (2.49) в (2.57), отримаємо:

$$a_{дин.} = \sqrt{\frac{E_{0дин.}}{q_c + \frac{S_{ст.} / l_{(3-6)}}{j_{стан.}}}}, м/с. \quad (2.58)$$

Підставивши рівняння (2.58) в (2.43), отримаємо динамічне збільшення натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом:

$$S_{дин.} = q_c \cdot V_{стан.} \sqrt{E_{0дин.} \cdot j_{стан.} / \left( q_c \cdot j_{стан.} + S_{ст.} / l_{(3-6)} \right)}, H. \quad (2.59)$$

#### **2.4. Визначення збільшення натягнення стрічки на кінцевій станції під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом**

Визначення величини зміни натягу стрічки на барабані пересувної станції під час зміни довжини транспортування

$$S_6 = S_{6H.} + S_{ст.} + S_{дин.}, H. \quad (2.60)$$

В розділі 2 наведено розрахунок виникаючих стрибків динамічного натягнення стрічки в подовжуючому, працюючому конвеєрі, що розповсюджуються від барабана пересувної станції. Для розрахунку повного натягнення стрічки збільшення статичного стрічки  $S_{ст.}$  візьмемо з роботи [8].

$$S_{ст.} = \left( R + \sqrt{R^2 + \Pi} \right) / \left[ 4V_{\Pi} (V_B - V_{стан.}) \right], H; \quad (2.61)$$

$$R = V_{стан.} \left[ 2V_{\Pi} \left( \Omega_{\Pi} l_{(3-6)} + m_H \cdot g / 2 \right) + V_{стан.} \Omega_B \cdot l_{(3-6)} \right], H \cdot m^2 / c^2;$$

$$\Pi = 8V_{стан.}^2 \cdot V_{\Pi} \cdot \Omega_B \cdot (V_B - V_{стан.}) \left( \Omega_{\Pi} \cdot l_{(3-6)}^2 + m_H \cdot l_{(3-6)} \right), H^2 m^4 / c^4.$$

## 2.5 Розрахунок стрічкового конвеєра працюючого при довжині, що змінюється

Для проектування такого конвеєра, необхідно мати розрахунок натягнень стрічки конвеєрі. Існує достатня кількість методик загального розрахунку натягнень стрічки конвеєра. Розглянемо на прикладі одну із них.

### Вихідні дані для розрахунку

В якості вихідних даних приймемо параметри найбільш часто застосовуваного конвеєра 1ЛТ-80

- Швидкість руху стрічки  $V=2$  м/с;
- потужність приводу  $N = 45$  кВт;
- відстань між роликami верхньої та нижньої гілки стрічки відповідно  $l'_p = 1,4$  м,  $l''_p = 2,8$  м.;
- маса обертових частин роликoопор верхньої та нижньої гілок стрічки приведена до одного метра довжини стрічки  $q'_p = 10,5$  кг/м,  $q''_p = 5,25$  кг/м;
- тип стрічки 2Ш800 – 4 – ТК100 – 4,5 – 2 – С ГОСТ20-76;
- маса одного погонного метра стрічки  $q_c = 8,84$  кг/м;
- розривне зусилля стрічки  $p_p=320$  кН;



Тяговий розрахунок конвеєра та обґрунтування розрахункових навантажень

### 1. Розрахунок за продуктивністю

Відповідно до методики розрахунку ГОСТ12.14.130-79 стрічкового конвеєра, розрахункова хвилинна приймальна здатність визначається за формулою:

$$Q_H = 60 \cdot F \cdot V$$

де  $F = 0,069 \text{ м}^2$  - максимальна площа поперечного перерізу потоку вантажу на стрічці шириною 800 мм;

$V = 2 \text{ м/с}$  – швидкість руху стрічки.

Звідси

$$Q_H = 60 \cdot 0,069 \cdot 2 = 8,2 \text{ м}^3 / \text{мин}$$

Фактична max продуктивність у тоннах за годину визначається за формулою

$$Q_{\text{max}} = Q_H \cdot 60 \cdot \gamma$$

де  $Q_H = 8,2 \text{ м}^3 / \text{мин}$  - розрахункова хвилинна прийомна здатність.

$\gamma = 0,85 \text{ т} / \text{м}^3$  - розрахункова насипна маса вантажу визначається як відношення щільності вантажу в масиві до його щільності в розпушеному (розробленому) стані.

$$Q_{\text{max}} = 8,2 \cdot 60 \cdot 0,85 = 420 \text{ т/ч}$$

### 2. Визначення погонної маси вантажу.

Маса вантажу, наведена до 1м довжини стрічки, визначається за формулою:

$$q_B = \frac{Q_i}{3.6V}$$

Результати обчислень для діапазону продуктивностей 40%...100% запишемо у вигляді таблиці

Таблиця 2.1.

Результати обчислень

$Q_i$ , т/год при $V = 2 м / с$	170	210	250	295	335	380	420
$q_B$ , кг / м	23,3	29,2	35,0	40,8	46,7	52,5	58,3

### Визначення опорів руху стрічки

Питомий опір руху холостої верхньої гілки стрічки

$$\Omega_B^X = g \left[ (q_c + q_p') \omega' \cdot \cos \beta \pm q_c \sin \beta \right]$$

плюс при  $\beta > 0$ ; мінус при  $\beta < 0$

Питомий опір руху нижньої гілки стрічки

$$\Omega_{II} = g \left[ (q_c + q_p'') \omega' \cdot \cos \beta \pm q_c \sin \beta \right]$$

$$\Omega_{X.X.} = \Omega_B^X + \Omega_{II}$$

Результати обчислень зведемо до таблиці 2.2.

Таблиця 2.2. Питомий опір руху стрічки при холостому ході конвеєра.

$\beta, \text{град}$	$\Omega_B^x, \text{H / м}$	$\Omega_{II}, \text{H / м}$	$\Omega_{x.x.}, \text{H / м}$
-3	5,01	12,68	17,69
-2	6,73	10,97	17,7
-1	8,45	9,26	17,71
0	10,17	7,54	17,71
1	11,89	5,83	17,71
2	13,6	4,11	17,7
3	15,31	2,38	17,69
4	17,01	0,66	17,67
5	18,71	-1,06	17,65
6	20,4	-2,78	17,62

Питомі опори руху верхньої гілки від вантажу визначаються за такою формулою:

$$\Omega^B = g (q_B \cdot \omega' \cos \beta \pm q_B \sin \beta)$$

Результати обчислень зведено до таблиці 2.3.

Сумарний питомий опір руху стрічки визначається за формулою

$$\Omega_{сум} = \Omega_{x.x.} + \Omega_B$$

Результати обчислень зведемо до таблиць 2.4., 2.5.

Таблиця 2.3. Питомі опори руху верхньої гілки від вантажу

$\beta$ град	Продуктивність при $V = 2 м / с$ $Q$ , т/год						
	170	210	250	295	335	380	420
-3	-0,56	-0,7	-0,84	-0,98	-1,12	-1,26	-1,4
-2	3,52	4,4	5,27	6,15	7,03	7,91	8,79
-1	7,59	9,49	11,39	13,29	15,19	17,08	18,98
0	11,67	14,58	17,5	20,42	23,33	26,25	29,17
1	15,74	19,67	23,61	27,54	31,47	35,41	39,34
2	19,8	24,75	29,7	34,65	39,61	44,56	49,51
3	23,86	29,83	35,79	41,76	47,72	53,69	59,66
4	27,91	34,89	41,87	48,85	55,83	62,81	69,79
5	31,96	39,95	47,94	55,93	63,92	71,91	79,9
6	35,99	44,99	53,99	61,99	71,99	80,98	89,98

Таблиця 2.4. Сумарний питомий опір руху стрічки завантаженого конвеєра

$\beta$ град	Продуктивність при $V = 2 м / с$ $Q$ , т/ч						
	170	210	250	295	335	380	420
-3	-0,56	-0,7	-0,84	-0,98	-1,12	-1,26	-1,4
-2	3,52	4,4	5,27	6,15	7,03	7,91	8,79
-1	7,59	9,49	11,39	13,29	15,19	17,08	18,98
0	11,67	14,58	17,5	20,42	23,33	26,25	29,17
1	15,74	19,67	23,61	27,54	31,47	35,41	39,34
2	19,8	24,75	29,7	34,65	39,61	44,56	49,51
3	23,86	29,83	35,79	41,76	47,72	53,69	59,66
4	27,91	34,89	41,87	48,85	55,83	62,81	69,79

5	31,96	39,95	47,94	55,93	63,92	71,91	79,9
6	35,99	44,99	53,99	69,99	71,99	80,98	89,98

### 3. Визначення мінімального натягу стрічки

Мінімальний натяг стрічки з умови відсудження пробуксовки на приводних барабанах визначається за формулою

$$S_{CB} = \frac{K_T \cdot W_0^{DB}}{e^{\mu\alpha} - 1}$$

де:  $W_0^{DB} = \frac{1,2 \cdot 1000 \cdot N_{СУМ} \cdot \eta}{K_H \cdot V} H$  - тягове зусилля приводу;

де:  $K_H = 1,2$  - коефіцієнт запасу встановленої потужності

$\eta = 0,71$  - к.к.д.

$K_T = 1,2 - 1,4$  - коефіцієнт запасу сил тертя

Мінімальний натяг стрічки за умовою допустимого провисання на завантаженій гілці

$$S_{ПРОВ}^6 = 8 \cdot g \cdot (q_c + q_B^{\max}) \cdot l'_p$$

Мінімальний натяг стрічки за умовою допустимого провисання на холостий гілці

$$S_{ПРОВ}^X = 8 \cdot g \cdot q_c \cdot l''_p$$

Під час розрахунку величина  $q_e^{\max}$  відповідає максимальній продуктивності

Для стійкої роботи стрічки під час руху, згідно з рекомендаціями, величину  $S_{ПРОВ}^X$  приймають  $S_{\min} = 5$  кН

Результати обчислень  $W_0^{DB}, S_{CB}, S_{ПРОВ}^B, S_{ПРОВ}^X$  зведемо до таблиці

Таблиця 2.5. Результати обчислень  $W_0^{ДВ}$ ,  $S_{СБ}$ ,  $S_{ПРОВ}^B$ ,  $S_{ПРОВ}^X$

$W_0^{ДВ}$ , Н	15938
$S_1 = S_{СБ}$ , Н	6370
$S_{ПРОВ}^B$ , Н	7650
$S_{ПРОВ}^X = S_{\min}$ , Н	5000

#### 4. Визначення довжини конвеєра

Довжина встановлення конвеєра приймається меншою з наступних умов:

- 1) використання настановної потужності приводу завантаженого конвеєра

$$l_B = \frac{W_0}{\Omega_{СVM}}$$

- 2) Використання повної міцності стрічки для  $\beta = -3^0 \dots 6^0$

$$l_1 = \frac{S_{\max} - S_1}{\Omega_{СVM}}$$

де:  $S_1$  - приймається більшою з величин  $S_{СБ}$ ,  $S_{\min}$

$$l_2 = \frac{S_{\max} - S_{ПРОВ}^B}{\Omega_B^X + \Omega^B}$$

Розрахунок допустимої довжини конвеєра з урахуванням обмеження до  $l_{\max} = 500$  м зведемо до таблиці

Таблиця 2.6. Розрахунок довжини конвеєра для різної продуктивності

$\beta$	Продуктивність, $Q$ т/ч						
	170	210	250	295	335	380	420
-3	500	500	500	500	500	500	500
-2	500	500	500	500	500	500	500
-1	500	500	500	500	494	467	443
0	500	500	462	426	396	370	347
1	416	435	393	359	331	306	285
2	433	483	343	310	287	261	242
3	391	342	304	273	249	228	210
4	357	309	273	244	221	202	186
5	328	282	248	221	199	182	167
6	303	260	227	202	181	163	151

### 5. Визначення натягу в характерних точках

Натяг у характерних точках визначаємо за формулами:

у точці 1 натяг стрічки дорівнює:

$$S_1 = S_{CB}$$

натяг у інших точках стрічки визначаємо методом обходу по контуру

$$S_2 = S_1 + \Omega_{II} \cdot l_{1-2}^{\max}$$

Вважатимемо, що зміна натягу на обвідних барабанах незначна, тому можна їм знехтувати. Зміна натягу між натяжним барабаном і обвідним в точках 2 і 4 незначно, тому їм можна знехтувати.

$$S_6 = S_3(l + l_{1-2}^{\max})\Omega_{II}$$

$$S_6 = S_7$$

При роботі конвеєра без вантажу

$$S_8 = S_7 + \Omega_B^X l_B$$

під час роботи конвеєра з вантажем

$$S_8 = S_7 + \Omega_B \cdot l_B$$

Величина  $S_{CB}^{\min}$  для кутів нахилу  $-3^0 \dots +6^0$  для завантаженого конвеєра визначається за формулою:

$$S_{CB}^{\min} = S_1^B = \frac{\Omega_{CYM} \cdot l}{e^{\mu\alpha} - 1}$$

Для холостого ходу конвеєра величина визначається за умови рівності пружного подовження стрічки при холостому ході та при завантаженні конвеєра за формулою

$$S_1^B + 2(S_1^B + \Omega_{II}L) + S_1^B + \Omega_{II}L + \Omega_B^X L + \Omega_B L = S_1^X + 2(S_1^X + \Omega_{II}L) + S_1^X + \Omega_{II}L + \Omega_B^X L$$

$$S_1^X = S_1^B + \frac{1}{4} \cdot \Omega_B \cdot L$$

Розрахунок натягу в характерних точках завантаженого та при холостому ході конвеєра коли  $Q = 420$  т/год. зведемо до таблиці 2.7., 2.8.

Таблиця 2.7. Натяг у характерних точках завантаженого конвеєра при  $Q = 420$ 

т/год

$\beta$	$S_1^B(S_{CB})$	$S_2$	$S_4$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_{10}(S_{HB})$
-3	2715	3666	3666	4091	4091	12236	12236
-2	4416	5239	5239	5664	5664	18914	18914
-1	5417	6112	6112	6480	6480	22734	22734
0	5422	5988	5988	6260	6260	22527	22527
1	5420	5857	5857	6067	6067	22329	22329
2	5422	5730	5730	5897	5897	22162	22162
3	5415	5594	5594	5729	5729	21973	21973
4	5423	5473	5473	5584	5584	21852	21852
5	5430	5351	5351	5443	5443	21732	21732
6	5416	5208	5208	5284	5284	21532	21532

Таблиця 2.8. Натяг у характерних точках при холостому ході конвеєра  $Q = 420$ 

т/год

$\beta$	$S_1^X$	$S_2$	$S_4$	$S_6$	$S_7$	$S_8$	$S_{10}(S_{HB})$
-3	2540	3431	3431	3916	3916	6421	6421
-2	5515	6339	6339	6763	6763	10128	10128
-1	7519	8214	8214	8582	8582	12325	12325
0	7952	8518	8518	8790	8790	12319	12319
1	8223	8660	8660	8870	8870	12259	12259
2	8417	8725	8725	8892	8892	12183	12183
3	8547	8726	8726	8861	8861	12076	12076
4	8668	8718	8718	8829	8829	11993	11993
5	8766	8687	8687	8779	8779	11904	11904
6	8813	8605	8605	8681	8681	11761	11761

6. Обґрунтування розрахункових навантажень та побудова діаграми навантаження

Максимальні розрахункові навантаження для перевірки елементів конвеєра на міцність визначається за такими умовами:

1. Потужність двигуна використовується повністю;
2. Тяговий фактор гранично можливий, тому що при подальшому його збільшенні відбувається пробуксування стрічки на приводних барабанах, тобто при

$$\mu = 0,2, \quad \alpha = 460^0, \quad e^{\mu\alpha} = e^{\frac{0,2 \cdot 460}{180}}$$

3. Припущення, що натяг на гілки під час пуску змінюється від  $S_1^X$  до  $S_1^B$  і приймається рівним більшому значенню  $S_1^B$  з таблиці 3.7.

Таким чином максимально можливе зусилля на гілки, що набігає, при пуску конвеєра без пробуксовки може бути рівним:

$$S_{HI.ПУСК} = S_{CB.} \cdot e^{\mu\alpha}$$

$$S_{HI.ПУСК.} = 5430 \cdot 5 = 27150 \text{ Н}$$

тобто зусилля натягу в стрічці при пуску в порівнянні з зусиллям при русі, що встановився, може бути збільшено в

$$K_{ПУСК} = \frac{S_{НБ.ПУСК.}}{S_{НБ.}}$$

$$K_{ПУСК} = \frac{27150}{21732} = 1,25 \text{ рази,}$$

де:  $S_{НБ.} = S_{10}^B = 21732 \text{ Н}$ ,  $S_{СБ} = S_1^B = 5430 \text{ Н}$  - максимальне зусилля на гілках конвеєра, що набігає і збігає (таблиця 3.7.)

Величина тягового зусилля і крутний момент, що передається валом приводного барабана, виходячи з умови відсутності пробуксовки на приводних барабанах при цьому збільшується в

$$K_{КР} = \frac{W_{\max}}{W_{РАБ}} = \frac{21720}{16302} = 1,33 \text{ рази,}$$

де:  $W_{\max} = S_{НБ.ПУСК} - S_{СБ} = 27150 - 5430 = 21720 \text{ Н}$

$$W_{РАБ} = S_{10}^B - S_1^B = 21732 - 5430 = 16302 \text{ Н}$$

Виходячи з можливого максимального навантаження для розрахунків валів і осей барабана будуть рівні:

- на виносному барабані однієї гілки стрічки  $S_{НБ.ПУСК} = 27150 \text{ Н}$ ;
- на натяжному барабані однієї гілки стрічки  $S_{НАТ.Б-Н.} = S_4^X = 8726 \text{ Н}$  (табл.3.8.)
- на кінцевому барабані в одній гілки стрічки  $S_{КОНЦ.} = K_{ПУСК} \cdot S_7^B = 1,25 \cdot 6480 = 8100 \text{ Н}$ ,

де:  $S_7^B = 6480 \text{ Н}$  (табл. 3.7. при  $\beta = -1^\circ$ ,  $Q = 420 \text{ т/год}$ ) – зусилля в гілки стрічки на кінцевому барабані при русі, що встановився на приводному барабані.

Найгірший випадок навантаження валу приводного барабана крутним моментом, коли весь крутний момент передається одним барабаном тобто

$$M_{КР. \max} = W_{\max} \cdot \frac{D_B}{2}$$

$$M_{КР / \max} = 21720 \cdot \frac{0,4}{2} = 4344 \text{ Н}\cdot\text{м,}$$

де:  $D_B = 0,4 \text{ м}$  - діаметр приводного барабана.

## Неврівноважене зусилля ланцюгової муфти

$$Q_{\text{ПУСК}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{M_{\text{КР. max}}}{d_M} \cdot z$$

$$Q_{\text{ПУСК}} = \frac{1}{3} \cdot \frac{4344}{0,19628} \cdot 2 = 14754 \text{ Н,}$$

де:  $d_M = 0,19628 \text{ м}$  - діаметр муфти (розміри муфти, що реально працює);

$z = 2$  - число ланцюгових муфт на двобарабанному приводі

Для розрахунку осей та валів барабанів на витривалість та довговічність підшипників прийнята діаграма навантажень для найбільш навантаженого барабана.

У діаграмі навантажень:

$m_1 = 1$  – режим пуску;

$m_2 = \frac{1}{K_{\text{ПУСК}}} = \frac{1}{1,25} = 0,8$  – режим перехідного процесу від пуску до руху.

$m_3$  - режим руху, що встановився

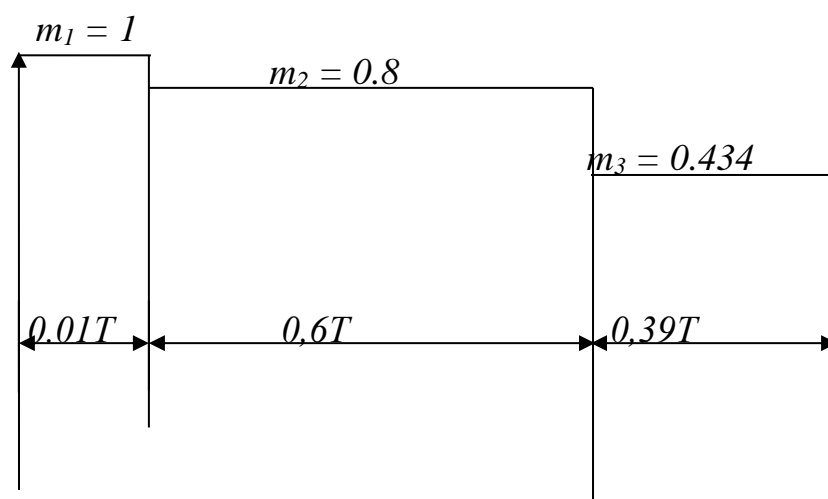


Рисунок 2.6. Діаграма навантажень

де:  $S_{10}^X = 12325 H$  - найбільше зусилля при встановленому русі, при холостому ході. (Табл.3.8.)

$S_{10}^B = 22734 H$  – найбільше зусилля при русі навантаженого конвеєра, що встановився (табл.2.7.)

## 7. Розрахунок швидкості та прискорення пересувної станції

Швидкість руху стрічки працюючого конвеєра:

- на вантажній гілці конвеєра

$$V_B = V - V_{стан.}, \text{ м/с};$$

- на порожній гілці конвеєра

$$V_{II} = V + V_{стан.}, \text{ м/с}.$$

Зміна швидкості пересувної станції конвеєра з працюючим приводом

$$V_{стан.} = \frac{M_p - \mathfrak{N}}{\mathfrak{R}} \exp\left(1 - \frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{T}} t\right), \text{ м/с}.$$

Прискорення пересувної станції при працюючому конвеєрі:

$$j_{стан.} = \frac{M_p - \mathfrak{N}}{\mathfrak{R}} \exp\left(-\frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{T}} t\right), \text{ м/с}^2.$$

$$\mathfrak{R} = \frac{2\beta_{ел.дв.}}{R_{зир.} i_{ход.ред.}}, \text{ Н/с};$$

$$\mathfrak{T} = \frac{2(J_{р.ел.дв.} + J_{1.кол.ред.} + J_{2.кол.ред.} i_{ход.ред.})}{R_{зир.} i_{ход.ред.}} + \frac{R_{зир.} i_{ход.ред.}}{2} (m_{прох.ком.} + m_H +$$

$$+m_{\text{стан.}} + m_{\text{пр.пр.кон.}} + m_{\text{бар.}} + \Omega_B l_{(7-8)} / g + \Omega_{II} l_{(9-6)} / g), \text{ кг}\cdot\text{м};$$

$$N = \frac{R_{\text{зир.}} i_{\text{ход.ред.}}}{2} \left[ \Omega_B l_{(7-8)} + \Omega_{II} l_{(9-6)} + g(m_H + m_{\text{прох.ком.}} + m_{\text{пр.пр.кон.}} + m_{\text{бар.}} + m_{\text{стан.}}) \right],$$

$H\cdot\text{м}$

Таблиця 2.9. Параметри конвеєра по визначенню швидкості і прискорення пересувної станції

№ п/п	Найменування параметрів	Числові значення
1	$R_{\text{зир.}}$ - радіус тракової приводної зірочки ходового редуктора прохідницького комбайну, м;	0,5
2	$\beta_{\text{ел.дв.}}$ - коефіцієнт, що характеризує нахил механічної характеристики двигуна ходового механізму прохідницького комбайна, $H\cdot\text{м}\cdot\text{с}$ ;	2
3	$i_{\text{ход.ред.}} = 0,0064$ передавальне число ходового редуктора;	
4	$J_{\text{р.ел.дв.}}$ - момент інерції ротора ходового електродвигуна прохідницького комбайну, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;	2
5	$J_{1.\text{кол.ред.}}$ - момент інерції першого зубчастого колеса редуктора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;	0,01
6	$J_{2.\text{кол.ред.}}$ - момент інерції другого зубчастого колеса редуктора, $\text{кг}\cdot\text{м}^2$ ;	25
7	$m_{\text{прох.ком.}}$ - маса прохідницького комбайну, що переміщається по тунелю, кг;	3500
8	$m_{\text{пр.пр.кон.}}$ - приведена маса приводу конвеєра, кг;	1250
9	$m_H$ - маса рухливої каретки телескопічного пристрою, що ототожнюється із зусиллям натягача, кг;	150
10	$m_{\text{стан.}}$ - маса пересувної станції, кг;	1000

11	$m_{бар.}$ - маса барабана, кг;	100
12	$\Omega_B$ - питомий статичний опір руху навантаженої гілки, Н/м;	59,66
13	$l_{(7-8)}$ відстань вантажної гілки конвеєра м;	210
14	$\Omega_{II}$ - питомий статичний опір руху порожньої гілки, Н/м;	3,38
15	$l_{(9-6)}$ - відстань порожньої вантажної гілки конвеєра м;	268
16	$S_{6H}$ - початкове статичне натягнення стрічки в точці 6 працюючого конвеєра, Н;	5729
17	$E_{0.дин.}$ - динамічний модуль пружності стрічки, Н;	2600000
18	$q_c$ - маса одного погонного метра стрічки кг/м;	9,84
19	$g$ - прискорення вільного падіння, м/с <sup>2</sup> ;	9,81
20	$M_p$ - пусковий момент ходового електродвигуна, Н·м.	700

$$\mathfrak{R} = \frac{2 \cdot 2}{0,5 \cdot 0,0064} = 1250 \text{ Н/с}$$

$$\mathfrak{S} = \frac{2(2 + 0,01 + 25 \cdot 0,0064)}{0,5 \cdot 0,0064} + \frac{0,5 \cdot 0,0064}{2} (3500 + 150 + 1000 + 1250 + 100 + 59,66 \cdot 210 / 9,81 + 3,38 \cdot 268 / 9,81) = 1418 \text{ кг·м}$$

$$\mathfrak{N} = \frac{0,5 \cdot 0,0064}{2} [59,66 \cdot 210 + 3,38 \cdot 208 + 9,81(150 + 3500 + 1250 + 100 + 1000)] = 621,171 \text{ Н/м}$$

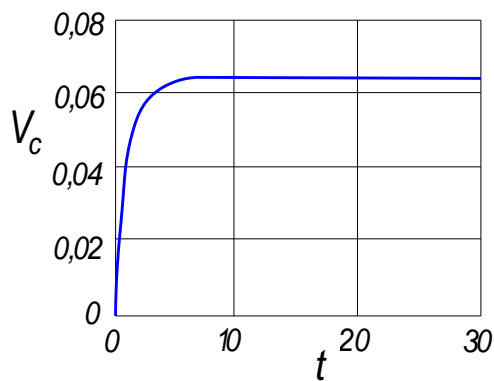
$$V_{стан.} = \frac{M_p - \mathfrak{N}}{\mathfrak{R}} \exp\left(1 - \frac{\mathfrak{R}}{\mathfrak{S}} t\right), \text{ м/с.}$$

$$V_{стан.} = \frac{700 - 621,171}{1250} \exp\left(1 - \frac{1250}{1418}t\right), \text{ м/с.}$$

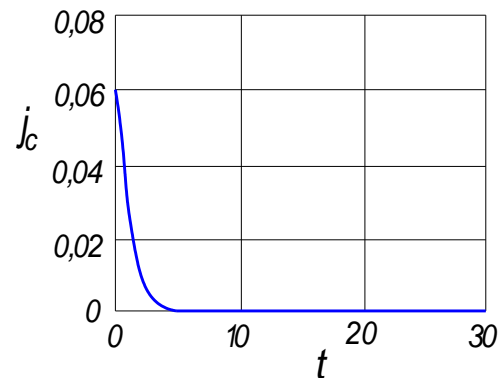
$$V_{стан.} = 0,06306 \exp(1 - 0,1185t), \text{ м/с}$$

$$j_{стан.} = \frac{700 - 621,171}{1250} \exp\left(-\frac{1250}{1418}t\right), \text{ м/с}^2$$

$$j_{стан.} = 0,06306 \cdot \exp(-0,8815t), \text{ м/с}^2$$



а)



б)

Рисунок 2.7. Графіки зміни швидкості а) та прискорення б) пересувної станції

#### 8. Розрахунок натягнення стрічки на кінцевому барабані при переміщенні

Теоретичні дослідження статичного збільшення натягнень в стрічці під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом  $S_{ст.}^{np.}$  приведені в роботі [8] (рис. 3.4), тому обмежимося написанням отриманої раніше залежності.

Відмітною особливістю розрахунку виникаючих статичних натягнень в стрічці під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом являється присутність тільки фази розгону і зміни довжини.

$$S_{ст.} = \left( R + \sqrt{R^2 + \Pi} \right) / \left[ 4V_{\Pi} (V_B - V_{стан.}) \right], H;$$

$$R(t) = V(t)_{стан.} \left[ 3195,3 \cdot V(t)_{\Pi} + 15213,3V(t)_{стан.} \right],$$

$$R = V_{стан.} \left[ 2V_{\Pi} \left( \Omega_{\Pi} l_{(3-6)} + m_H \cdot g / 2 \right) + V_{стан.} \Omega_B \cdot l_{(3-6)} \right], H \cdot M^2 / c^2;$$

$$\Pi = 8V_{стан.}^2 V_{\Pi} \cdot \Omega_B \cdot (V_B - V_{стан.}) \left( \Omega_{\Pi} \cdot l_{(3-6)}^2 + m_H \cdot l_{(3-6)} \right), H^2 M^4 / c^4.$$

$$\Pi = 123154706,16V(t)_{стан.}^2 V(t)_{\Pi} \cdot (V(t)_B - V(t)_{стан.}) H^2 M^4 / c^4.$$

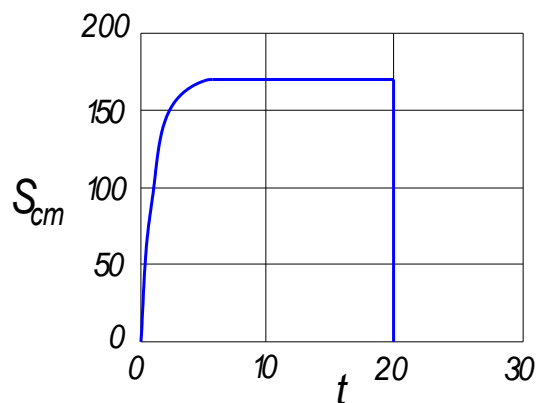


Рисунок 2.8. Графіки зміни статичного збільшення натягнень в стрічці під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

Динамічне збільшення натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом:

$$S_{дин.} = q_c \cdot V_{стан.} \sqrt{E_{0.дин.} \cdot j_{стан.} / \left( q_c \cdot j_{стан.} + S_{ст.} / l_{(3-6)} \right)}, H.$$

$$S_{\text{дин.}} = 9,64 \cdot V(t)_{\text{стан.}} \cdot \sqrt{2600000 \cdot j(t)_{\text{стан.}} / (9,84 \cdot j(t)_{\text{стан.}} + S_{\text{ст.}}(t) / 255)}, H$$

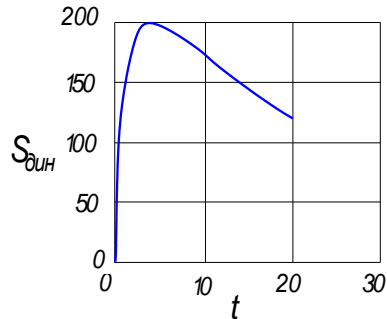
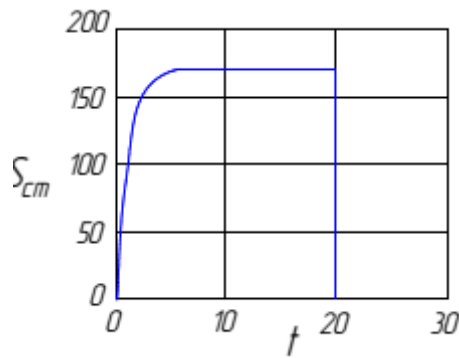


Рисунок 2.9 - Графік динамічного збільшення натягнення стрічки під час зміни довжини транспортування конвеєра з працюючим приводом

Величина зміни натягу стрічки на барабані пересувної станції під час зміни довжини транспортування

$$S_6 = S_{6H.} + S_{\text{ст.}} + S_{\text{дин.}}, H;$$

$$S_6 = 5729 + S(t)_{\text{ст.}} + S(t)_{\text{дин.}}, H.$$



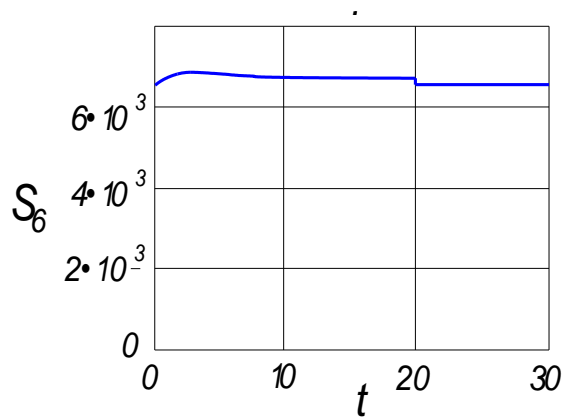


Рисунок 2.10 - Графік зміни натягу стрічки на барабані пересувної станції під час зміни довжини транспортування

При визначених параметрах і структурі системи завантаження вона матиме загальний вигляд, представлений на рисунку 2.11.

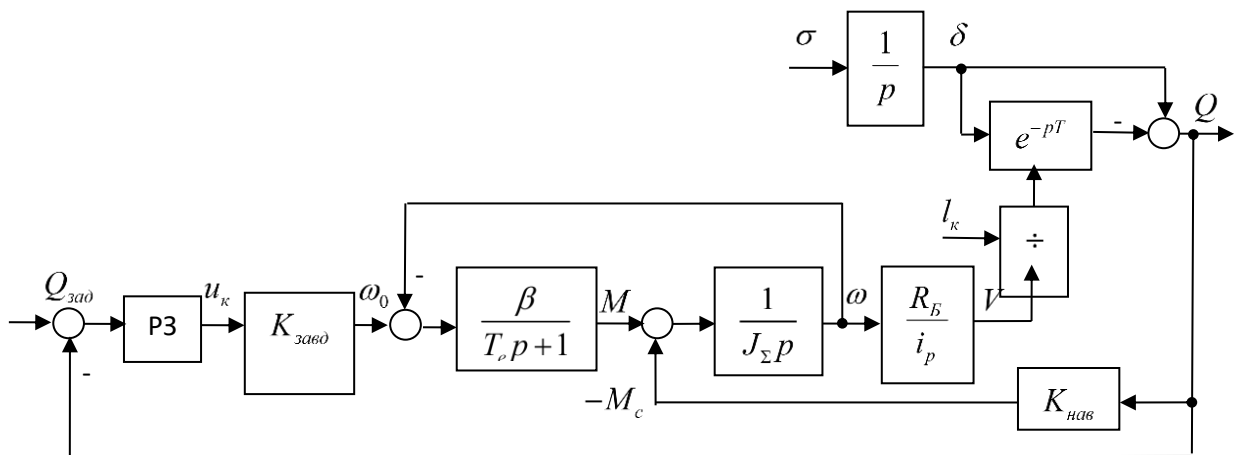


Рисунок 2.11 – Загальна структура системи стабілізації завантаження конвеєра, при змінній довжині стрічки.

Значення  $l_{\kappa}$  є змінною складової, проте не в реальному часі, а є змінним параметром в процесі експлуатації. Відповідно полягає задача розробки регулятора, що забезпечить високу якість перехідного процесу для значень  $l_{\kappa}$ , що знаходяться в певному діапазоні.

# РОЗДІЛ 3

## СИНТЕЗ І АНАЛІЗ РЕЖИМІВ РОБОТИ РОЗРАХОВАНОЇ КОНВЕЄРНОЇ УСТАНОВКИ ІЗ ОПТИМАЛЬНОЮ СИСТЕМОЮ КЕРУВАННЯ

### 3.1 Синтез оптимальної системи керування навантаженням конвеєра методом Беллмана - Ляпунова

Існує велика кількість методів синтезу регуляторів, що забезпечують отримання точного або наближеного рішення задачі оптимізації. Одним із найбільш популярних підходів синтезу для систем із чистим затримуванням є процедура аналітичного конструювання оптимальних регуляторів [6]. Мінімізуючим функціоналом у даному випадку є критерій динамічної точності з урахуванням мінімуму енергетичних затрат на управління.

Такий метод синтезу дає гарні результати, однак, в загальному може застосовуватися лише для лінійних систем, виражаючись у класичну задачу А.М. Лєтова. Тому, для використання вищевказаного підходу необхідно отримати лінеаризовану з достатньою точністю математичну модель об'єкту, а також обрати загальний вигляд мінімізованого функціоналу якості.

Визначимо, що в структурній схемі є суттєва нелінійність, що описується рівнянням типу  $\frac{dQ}{dt} = -\frac{R_{\sigma}}{l_{\kappa} i_p} \omega Q + \sigma$ . Фактично маємо складову,  $a_1 x_1 x_2$ , що містить нелінійність і одночасно змінюваний параметр в незначних межах, а саме до 20%.

Здійснено можемо здійснити «миттєву» лінеаризацію, при цьому  $a_1 x_1 x_2 = a_{11}(x_1, x_2)x_1 + a_{12}(x_1, x_2)x_2$ , де  $a_{11}(x_1, x_2)$ ,  $a_{12}(x_1, x_2)$  - коефіцієнти лінеаризації «у точці». У такому випадку лінеаризована система диференціальних рівнянь, що описує динаміку конвеєра, можна записати:

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= -a_{11}x_1 - a_{12}x_2 + \sigma, \\ \dot{x}_2 &= x_3, \\ \dot{x}_3 &= -a_2x_2 - a_3x_3 + bu,\end{aligned}\tag{3.1}$$

де  $a_{11}$ ,  $a_{12}$  - коефіцієнти лінеаризації «у точці»,  $x_1$  - завантаженість конвеєра;  $x_2$  - швидкість обертання валу двигуна приводного барабану;  $x_3$  - крутний момент двигуна;  $\sigma$  - «миттєве» завантаження, що формується в довільний момент часу.

Мінімізований функціонал якості сформуємо, виходячи із вимоги динамічної точності та мінімуму енергетичних витрат на керування [8]:

$$\min_u \int_0^{\infty} (q_1x_1^2 + q_2x_2^2 + q_3x_3^2 + ru^2) dt,\tag{3.2}$$

де  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $r$  - вагові коефіцієнти, що визначають обмеження на змінні стани та керування, відповідно.

Величина  $u_{opt}^2$  визначає додаткове обмеження на оптимальне керування, що існує в реальних системах регулювання. При незначному впливі на кінцеве рішення, введення цієї складової дозволяє суттєво спростити процедуру розрахунку оптимального регулятора.

Для лінеаризованої системи диференціальних рівнянь та обраного мінімального функціоналу якості рівняння Беллмана слід записати:

$$\begin{aligned}\min_u \max_{\sigma} \left[ q_1x_1^2 + q_2x_2^2 + q_3x_3^2 + ru^2 + \right. \\ \left. + \frac{\partial V}{\partial x_1}(-a_{11}x_1 - a_{12}x_2 + \sigma) + \frac{\partial V}{\partial x_2}x_3 + \frac{\partial V}{\partial x_3}(-a_2x_2 - a_3x_3 + bu) \right] = 0,\end{aligned}\tag{3.3}$$

де  $V$  - функція Белмана.

Здійснимо пошук екстремума функціоналу по керуючому впливу та отримаємо рівняння в такому вигляді:

$$u = -\frac{b}{2r} \frac{\partial V}{\partial x_3}. \quad (3.4)$$

Здійснимо замикання системи шляхом підстановки отриманого виразу шляхом підстановки отриманого виразу у функціональне рівняння Беллмана, та отримаємо модифіковане рівняння Гамільтона – Якоби - Беллмана:

$$\begin{aligned} q_1 x_1^2 + q_2 x_2^2 + q_3 x_3^2 + \frac{\partial V}{\partial x_1} (-a_{11} x_1 - a_{12} x_2) + \frac{\partial V}{\partial x_2} x_3 + \\ + \frac{\partial V}{\partial x_3} (-a_2 x_2 - a_3 x_3) = \frac{b^2}{4c} \left( \frac{\partial V}{\partial x_3} \right)^2. \end{aligned} \quad (3.5)$$

Рішенням такого рівняння буде функція  $V$  у вигляді квадратичної форми від змінних системи у вигляді

$$V = K_{11} x_1^2 + 2K_{12} x_1 x_2 + 2K_{13} x_1 x_3 + K_{22} x_2^2 + 2K_{23} x_2 x_3 + K_{33} x_3^2.$$

Підставимо вирази для певних ввідних у рівнянні Беллмана у замкненій формі, далі розкриваючи скобки та прирівнюючи коефіцієнти при однакових степенях змінних стану. У результаті отримуємо систему рівнянь Ріккати:

$$\begin{cases} q_1 - 2K_{11} a_{11} = 0, \\ q_2 - 2K_{12} a_{12} - 2K_{23} a_2 = 0, \\ q_3 + 2K_{23} - 2K_{33} a_3 = 0, \\ -2K_{13} a_2 - 2K_{11} a_{12} - 2K_{12} a_{11} = 0, \\ -2K_{13} a_{11} + 2K_{12} - 2K_{13} a_3 = 0, \\ -2K_{13} a_{12} - 2K_{33} a_2 - 2K_{23} a_3 + 2K_{22} = 0. \end{cases} \quad (3.6)$$

Рішення арифметичної системи рівнянь можна реалізувати у програмі загальнопромислового логічного контролеру. При певних параметрах системи  $a_2$ ,  $a_3$ , а також обраних вагових коефіцієнтах функціоналу, що мінімізується, процедура розрахунку коефіцієнтів оптимального регулятора буду зведена до перерахунку значень на кожному циклі по лінійній залежності.

Також, в програмі реалізується процедура лінеарізації складової типу «множення». При такому підході, закон оптимального рівнянь можна записати:

$$u = -K_{1u}x_1 - K_{2u}x_2 - K_{3u}x_3, \quad (3.7)$$

де  $K_{1u}$ ,  $K_{2u}$ ,  $K_{3u}$  - коефіцієнти оптимального регулятора для лінеаризованої системи при відповідних ступенях перемінних стану.

Повертаючись до вимірюваних значень координат системи регулювання, даний алгоритм керування перепишеться у вигляді:

$$u = -K_{1u}(Q_{зад} - Q) - K_{2u}(\omega_{зад} - \omega) - K_{3u}(M_{зад} - M), \quad (3.8)$$

де  $M_{зад}$ ,  $\omega_{зад}$  - номінальні величини швидкості обертання двигуна і його крутного моменту.

Закон керування містить лінійні складові, отже не буде формувати накопичення помилки при завантаженні конвеєра. Проте можливість використання цього регулятора потребує додаткового дослідження для вихідної нелінійної системи.

### **3.2 Дослідження системи стабілізації навантаження конвеєра методом цифрового моделювання**

Дослідження динамічних характеристик контуру регулювання загрузки було проведено з допомогою цифрового моделювання з використанням пакету MATLAB. Для порівняння здійснимо аналіз перехідних процесів при використанні типового ПІД – регулятора. Для цього використаємо математичну модель в середовищі Simulink. В загальному вигляді ця модель представлена на рисунку 3.1. Ця модель зібрана за технологією Drag-and-drop, що спрощує процедуру розробки системи керування й аналізу його динамічних характеристик.

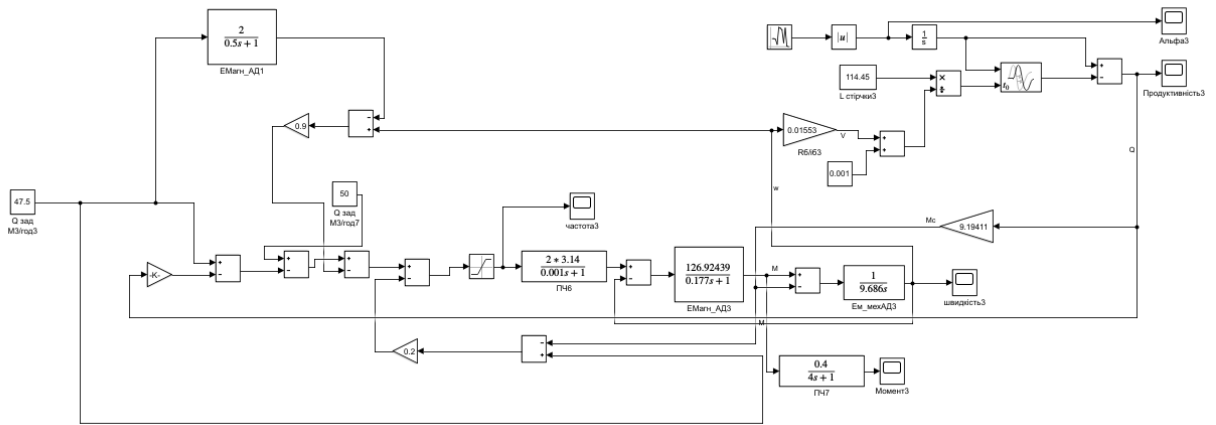


Рисунок 3.1 Математична модель контуру регулювання завантаження з лінійно – квадратичним оптимальним регулятором

Отримуємо графіки перехідних процесів по загрузці стрічки та швидкості конвеєра при використанні ПИД – регулятора та синтезованого оптимального регулятора для різних значень продуктивності і довжини конвеєра.

Графік навантаження конвеєра при номінальній розрахованій продуктивності конвеєра представлений на рисунку 3.2 для випадку використання синтезованого оптимального регулятора.

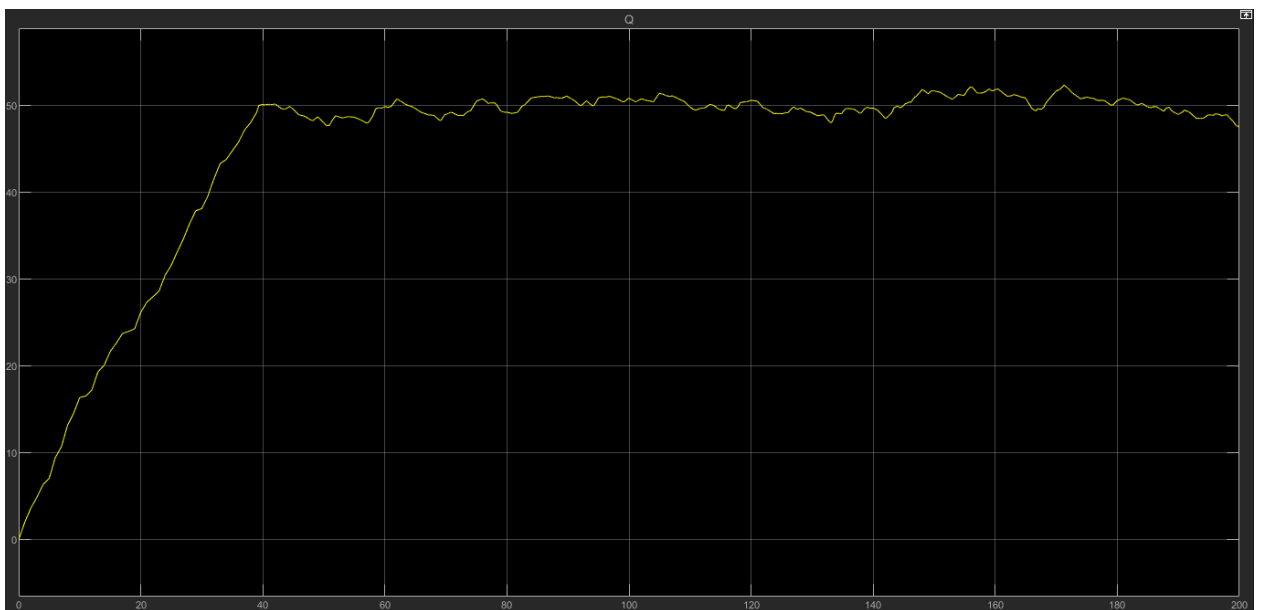


Рисунок 3.2 – Графік перехідного процесу за навантаженням при використанні лінійного оптимального регулятора.

Графік навантаження конвеєра при номінальній розрахованій продуктивності конвеєра представлений на рисунку 3.3 у випадку використання класичного ПД – регулятора.

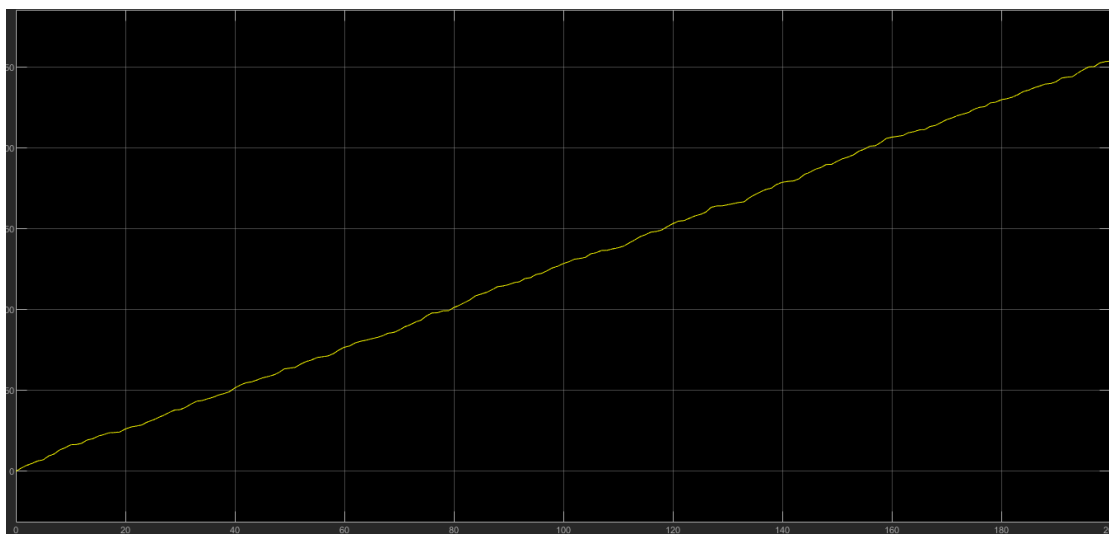


Рисунок. 3.3 – Графік переходного процесу за навантаженням при використанні ПД – регулятора.

Слід відзначити, що використання блоку ПД – регулювання здійснювалось при забезпеченні послідовних налаштувань блоку. Отримання допустимих налаштувань здійснювалось за рахунок бажаного переходного процесу. Такий шлях пошуку коефіцієнтів ПД – регулятора не дає найкращого (оптимального) рішення, проте забезпечує досить високу якість переходного процесу.

Графік переходного процесу за швидкістю обертання двигуна приводного барабана представлений на рисунку 3.4 у випадку використання синтезованого оптимального регулятора.

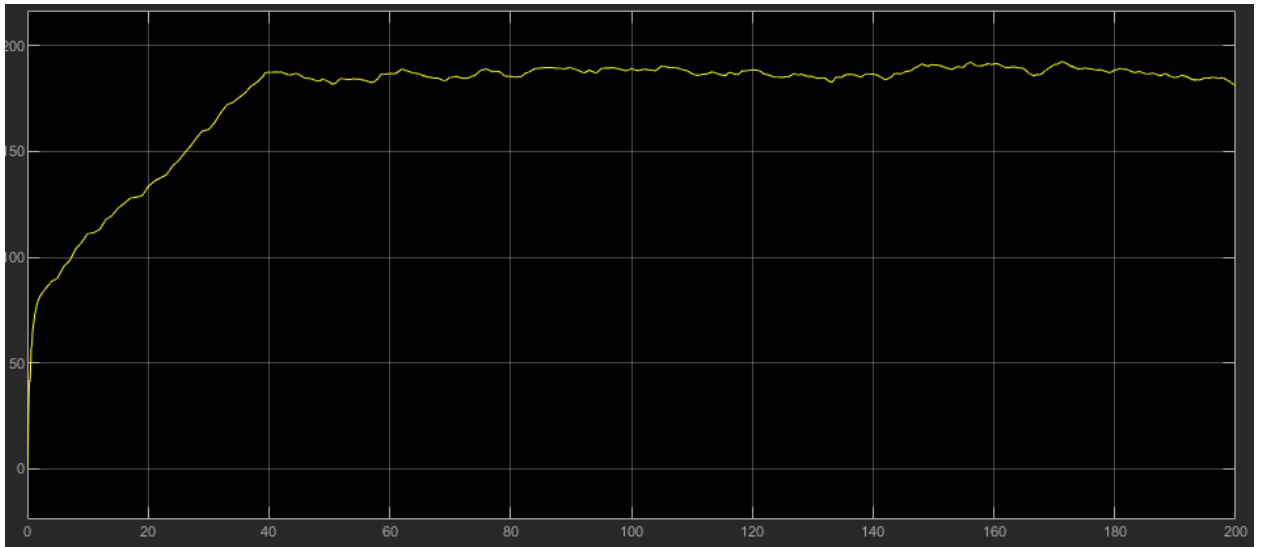


Рисунок 3.4 – Графік перехідного процесу за швидкістю при використанні оптимального регулятора.

Графік перехідного процесу за швидкістю обертання двигуна приводного барабана представлений на рисунку 3.5 у випадку використання класичного ПД – регулятора.

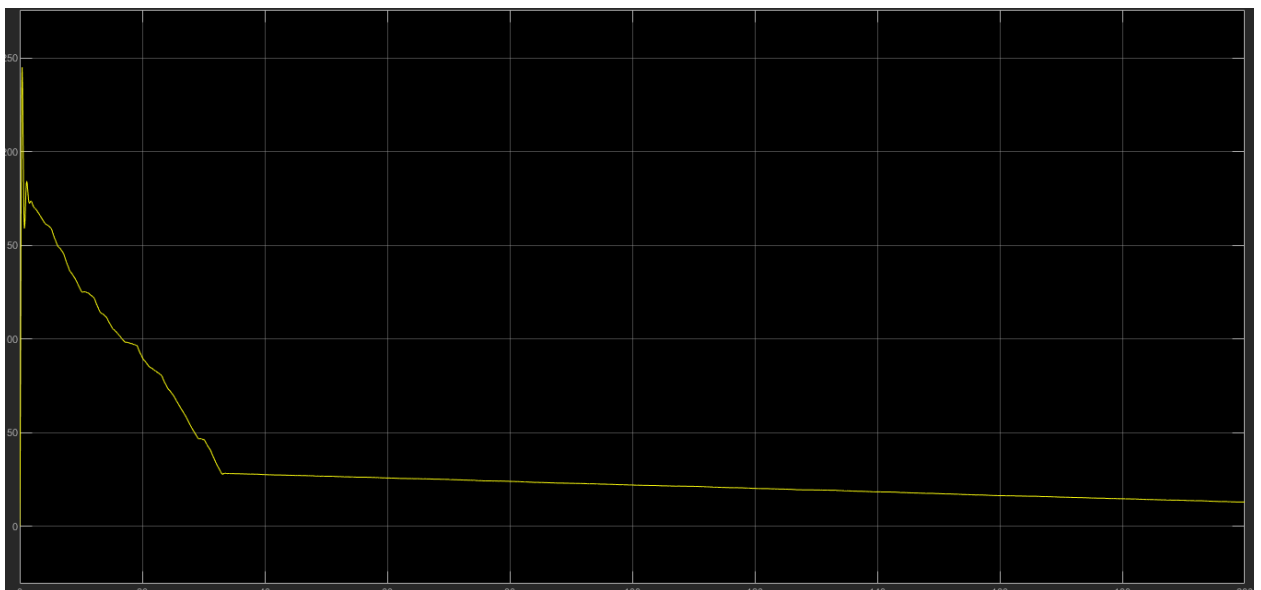


Рисунок 3.5 – Графік перехідного процесу за швидкістю при використанні ПД – регулятора.

Графік перехідного процесу за миттєвою кількістю породи, що надходить на стрічку конвеєра, має вигляд, представлений на рисунку 3.6.

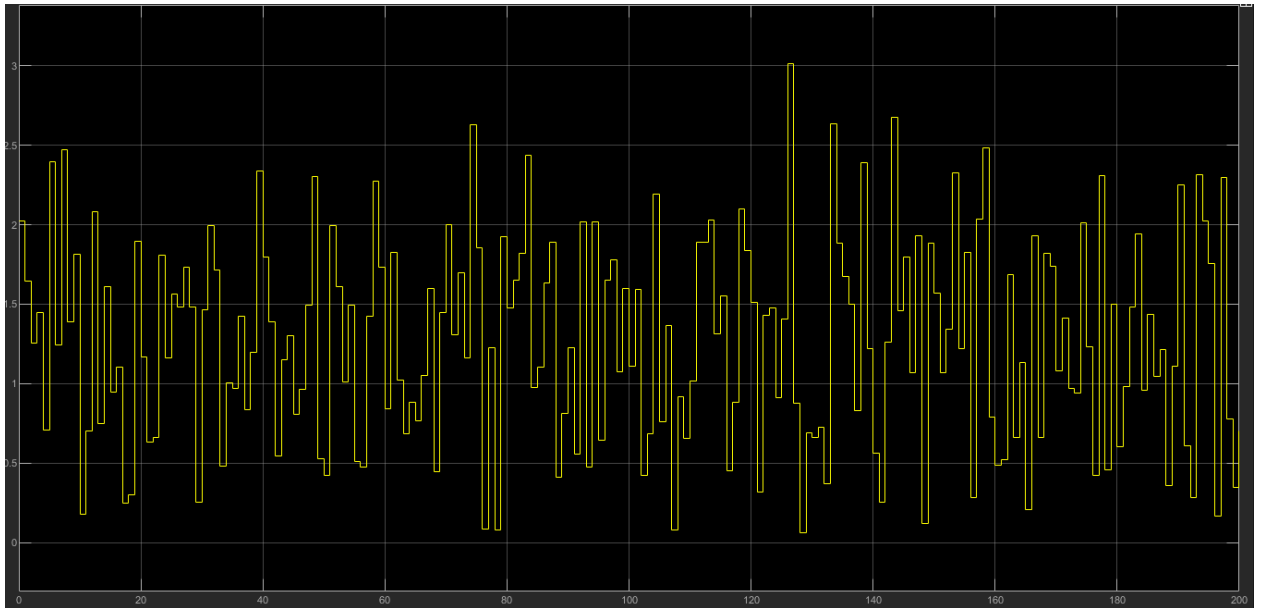


Рисунок 3.6. Графік перехідного процесу за миттєвою кількістю породи, що надходить на стрічку.

Графік перехідного процесу за навантаженням при використанні 80% довжини стрічки представлений на рисунку 3.7.

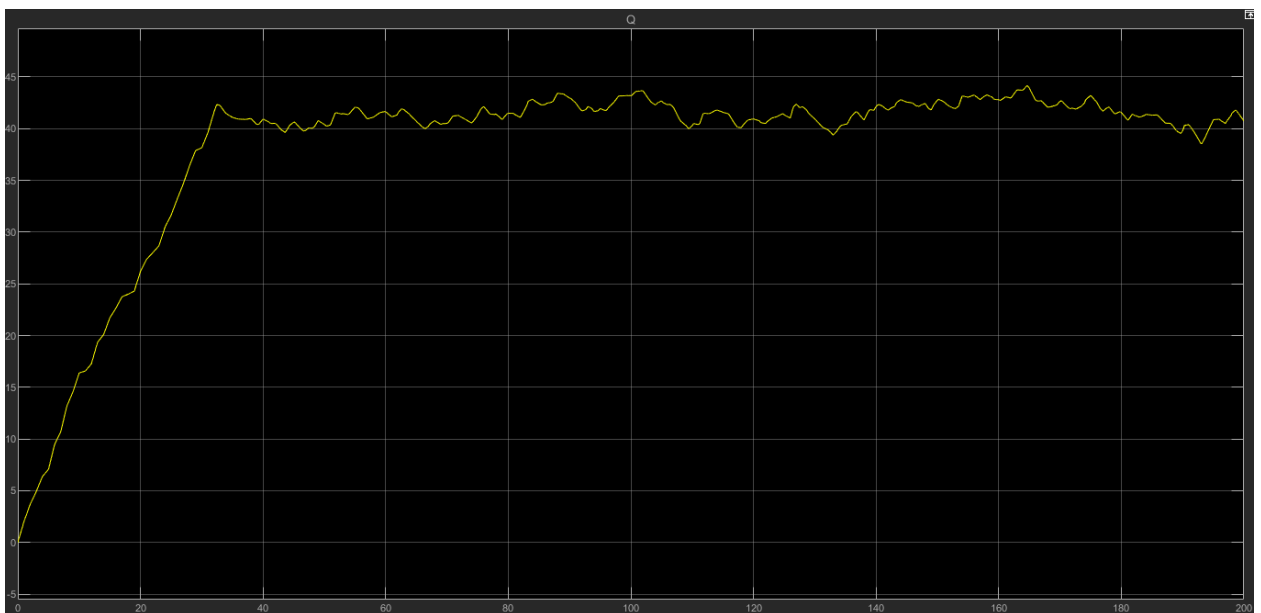


Рисунок 3.7 Графік навантаження конвеєра при 80% довжини стрічки

Графік перехідного процесу за швидкістю при 80% довжини стрічки представлений на рисунку 3.8.

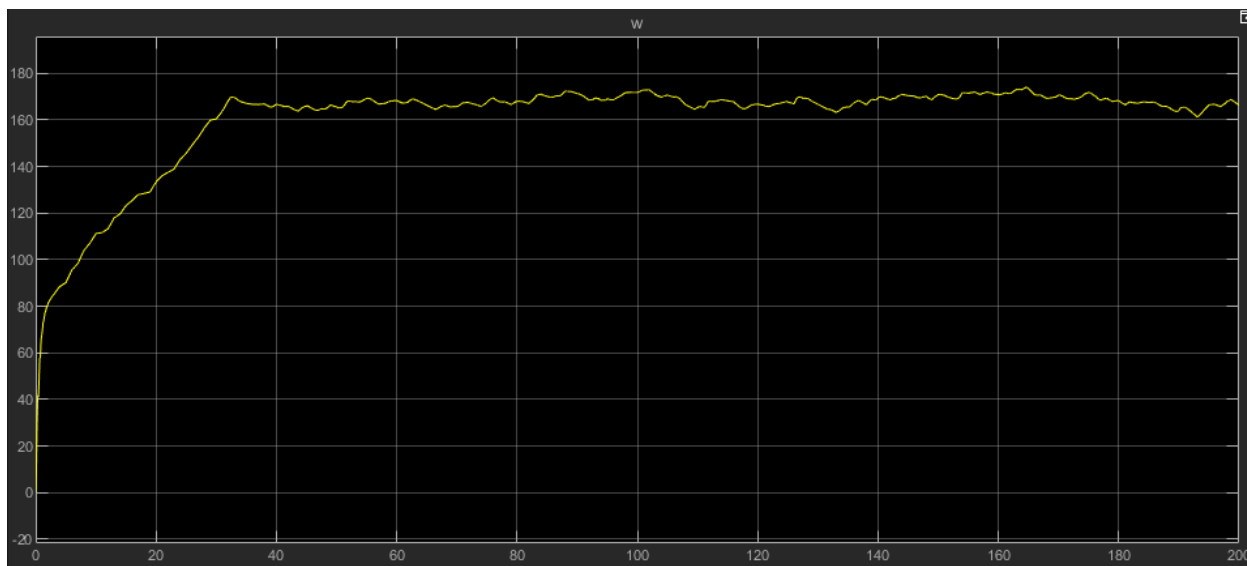


Рисунок 3.8 Графік перехідного процесу за швидкістю при 80% довжині стрічки.

## 4 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

Розділ «Розробка стартап-проекту» має на меті встановити перспективність проекту, оцінити його успішність та переваги перед іншими видами використання стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування, розробка механізму управління та супроводу певних проектних рішень на етапі реалізації [38].

Сьогодні, стартапи пов'язують не тільки з областю високих технологій, але і з будь-яким початком бізнесу. Термін "стартап-проект" означає новий бізнес-проект або підприємницьку ініціативу, яка має великий потенціал для швидкого зростання та розвитку.

Ключовими ознаками стартап-проекту є

Інноваційність - нова ідея, технологія або підхід, який відрізняється від існуючих рішень на ринку.

Швидкі темпи розвитку – наявність у проекту потенціалу для швидкого масштабування та розвитку.

Високий ризику банкрутства - новий проект завжди співіснує з високим рівнем невизначеності та ризику.

Гнучкість – нові проекти частіше за інші відкриті для змін, готові до експериментів з метою збільшення конкурентоспроможності.

Кожен стартап – проект під час розвитку зазвичай проходить декілька етапів.

Так, з початку народжується Ідея, як перший етап під час якого народжується концепція стартапу. Зазвичай ідея є результатом намагання пошуку нової концепції для розв'язання певної проблеми.

Наступним етапом є Дослідження під час якого проводиться детальне дослідження, метою якого є окреслення потреб ринку, шляхи впровадження ідеї, ризику невдачі тощо. Мета цього етапу встановити чи є попит на продукт або послугу.

Наступним етапом є розробка бізнес-плану, а саме створення бізнес-плану із обґрунтуванням стратегії, моделі бізнесу, фінансових планів та прогнозів тощо.

На етапі Створення прототипу товару або послуги команда проекту розробляє прототип, товару чи послуги задля його перевірки на прийнятність на ринку та збору відгуків від споживачів.

З метою виявлення слабких місць та внесення виправлень та змін проводиться етап Тестування та збір зворотного зв'язку.

Якщо результати тестування проекту успішні, є потенціал для росту на етапі Масштабування опрацьовується шляхи масштабування бізнесу, залучення інвестицій, розширення ринків.

Наступним етапом є етап Розвитку бізнесу під час якого проект працює над покращенням продуктивності, розвитком та підтримкою свої товарів чи послуг, пошуком нових ринків та збільшенням клієнтської бази.

#### **4.1 Обґрунтування ідеї стартап-проекту.**

Назва інноваційної ідеї: variable transport length

Суть ідеї та новизна: Оптимальне керування стрічковим конвеєром змінної довжини для досягнення максимальної ефективності споживання енергоресурсів і покращення експлуатаційних параметрів установки.

Актуальність і проблематика: сучасні системи керування стрічковими конвеєрами зі змінною довжиною транспортування вирішують питання технологічного характеру – стабілізації натягу стрічки.

Під час експлуатації конвеєрний транспорт стикається з характерною особливістю – значною нерівномірністю у вантажних потоках. Ця особливість обумовлена самою конвеєрною системою, метою якої є переміщення вантажів між об'єктами. Об'єктивні причини (технічні перерви, аварії тощо) обумовлюють зниження потоку вантажу. Як наслідок це призводить до передчасного зносу механізмів, неефективного використання потужності

механізму конвеєра.

Стрічкові конвеєри зі змінною довжиною транспортування застосовуються у різних галузях виробництва. Серед основних галузей слід зупинитися на:

гірничої промисловості, в якій стрічкові конвеєри зі змінною довжиною транспортування застосовуються для транспортування вугілля, руди та інших матеріалів від шахт до місць обробки;

промислому виробництві, де використання стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування є засобом автоматизації процесів переміщення товарів;

сільському господарстві, як засіб переміщення сільськогосподарської продукції, урожаїв, субстратів, кормів та інших матеріалів в процесі виробництва.

Також зазначені конвеєри використовуються у сфері транспортування вантажів, автомобільній промисловості, переробці відходів тощо.

Таке широке застосування стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування у різних секторах промисловості та виробництва свідчить про їх ефективність у переміщенні вантажів та максимальну продуктивність.

Сфера застосування ідеї: гірничо-видобувна промисловість, сільське господарство. В цих галузях слід відмітити нерівномірність потоку навантажених матеріалів та кутів нахилу стрічки. Водночас, в умовах воєнного стану, враховуючи ризик ураження промислових об'єктів під час ворожих обстрілів, до такого роду установок сформувалась нова вимога – максимальна продуктивність, метою якої є скорочення часу транспортування матеріалів.

Результати аналізу актуальності та новизни ідеї стартап-проекту зведені у таблицю 4.1.

Таблиця 4.1 – Актуальність та новизна ідеї

Суть ідеї	Галузь застосування	Вигоди для споживача
Використання стрічкового конвеєра, що працює при довжині, що змінюється	Гірничо-видобувна промисловість	скорочення технологічних операцій пов'язаних з монтажньо-демонтажними роботами
	Підприємства агропромислового комплексу	Досягнення максимальної ефективності споживання електроенергії

#### 4.2 Розгляд конкурентного середовища

Особливістю цього стартап-проекту порівняно з іншими аналогічними є оцінка системи поєднання корисних якостей стрічкового конвеєра зі змінною довжиною транспортування і Iqr регуляторів, що дозволить підвищити продуктивність і зменшити енергоємність транспортування в потокових технологіях. Результати розгляду конкурентного середовища наведені в таблиці 4.2.

Таблиця 4.2- Переваги ідеї проекту

№	Техніко-економічні характеристики ідеї	Стартап проект:	Конкурент 1:	Конкурент 2:
1	Контроль натягнення стрічки на барабані рухомої	Повноцінна реалізація за допомогою Iqr регулятора	Реалізація за допомогою регулятора продуктивності	Стабілізується лише миттєва продуктивність

	каретки телескопу			
2	Швидкість пересування конвеєра	Завдяки реалізації змінної довжини збільшується машинний час прохідницького комбайна і час на кріплення вибою	Традиційна технологія	Традиційна технологія
3	Надійність електромеханічної частини	Внаслідок стабілізації навантаження надійність підвищена	Внаслідок стабілізації навантаження надійність підвищена	Стрибкоподібна зміна швидкості приводу знижує надійність системи в порівнянні з аналогами

Отже відносно конкурентів, інноваційна ідея має кращі показники за 2 з 3 характеристиками.

SWOT-аналіз - це методика оцінки сильних і слабких сторін, можливостей та загроз, пов'язаних з певною ідеєю або бізнес-проектom. Ось приклад SWOT-аналізу для інноваційної інформаційної ідеї та стартапу:

<b>Сильні сторони (Strengths)</b>	<b>Слабкі сторони (Weaknesses):</b>
1. Інноваційність: Використання інтелектуальних новітніх систем і комплексів автоматизації.	1. Фінансові обмеження: Обмежений бюджет на розробку та запуск продукту.
2. Енергоефективність технології –	2. Низький рівень оцінки ринку: недостатня

зменшення питомих витрат електроенергії на транспортування сировини/продукції.	кількість даних про реакцію цільової аудиторії на ідею.
3. Універсальність та гнучкість - зміна довжини стрічки підходить для різних режимів роботи установки, різноманітних потужностей та сфер застосування.	3. Необхідність монтажу нових агрегатів.
<b>Можливості (Opportunities):</b>	<b>Загрози (Threats):</b>
1. Ринкова потреба: Попит на енергоефективні технології при невисокій вартості залишається високим	1. Військовий стан в Україні знижує зацікавленість підприємств в інвестуванні – соціально-політична нестабільність.
2. Глобальний доступ: Можливість розширення на нові ринки через цифрові технології.	2. Конкуренція: Наявність сильних конкурентів з досвідом реалізації і великою рівнем довіри споживачів
3. Дистанційне керування та застосування ШІ для подальшого розвитку технології.	3. Залежність від імпортованого обладнання.
4. Залучення іноземних інвестицій в розвиток інноваційних ідей.	4. Уповільнений темп зростання ринку конвеєрних технологій внаслідок переваги у розвитку телекомунікаційних і соціальних технологій.

### 4.3 Обґрунтування ресурсного забезпечення та вартості проекту

Перед початком реалізації проекту необхідно провести аналіз щодо розміру необхідних вкладень для проведення експериментальних досліджень. Певна частина обладнання після проведення експериментальних досліджень може бути використана або для нових розробок, або реалізована. Перелік та вартість капіталовкладень наведені в табл.4.3

Таблиця 4.3 – Вартість капіталовкладень

Перелік обладнання/послуг	Кількість	Сумарна Вартість, грн	Термін виконання/використання
Ліцензоване програмне забезпечення	2	25000	3 роки
Вартість послуг з розробки алгоритму керування	1	75 000	5 місяців
Засоби діагностування і моніторингу			
Датчик контролю натягнення стрічки	2	14000	3 місяці
Датчик сходу стрічки	1	8700	3 місяці
Датчик контролю завантаження пересипу з одного конвеєра на другий	3	18600	3 місяці
Датчик обриву стрічки	1	16000	3 місяці
Вартість обладнання для початкового експериментального дослідження			
ПЛК	1	16000	2 роки
Асинхронний двигун, . 45 кВт кВт	1	8000	1 рік
гідродатчик	1	10000	1 рік
Комуруюче обладнання та захист	1	4000	2 роки
Сумарно, грн		195300	

#### 4.4 Визначення собівартості продукту діяльності старта-проекту.

Собівартість продукту розраховується за сукупними витратами, пов'язаними з виробництвом одиниці товару або послуги. Для стартапу

собівартість - це сума всіх витрат, які будуть понесені під час створення продукту чи послуги, включаючи матеріали, працю, операційні витрати, витрати на дослідження та розвиток, амортизацію обладнання та інші накладні витрати .

Слід окреслити ключові етапи розрахунку собівартості продукту стартапу.

1. Визначення складових витрат:

- Вартість матеріалів, які йдуть на виробництво продукту.
- Витрати на працю безпосередньо, пов'язані з виробництвом.
- Операційні витрати, амортизація обладнання, витрати на дослідження та розвиток, маркетинг, обслуговування тощо.
- Витрати на адміністрування, оренду приміщень, оплату послуг, тощо.

2. Розподіл витрат на одиницю продукції.

3. Аналіз та оптимізація витрат шляхом використання продуктивних технологій, скорочення накладних витрат, тощо:

Таблиця 4.6 - Прямі матеріальні витрати на виробництво типової технології

Витрати на продукцію в рік	Кількість продукції	Вартість одиниці, грн	Сума, тис .грн
ПЛК для технологічного процесу	5	28 340	141,70
гідродатчик	5	10 000	50,00
Датчик контролю натягнення стрічки на барабані рухомої каретки телескопу	15	8 000	120,00
Блоки живлення, перетворювачі цифрові	40	500	20,00
Комутуюче і захисне обладнання	40	3 460	138,4
Інтерфейс і комунікації	5	9500	47,50
Сума, тисяч грн			517,6

Орієнтовна кількість реалізованої технології	5
--	---

Значною складовою собівартості є розмір витрат на адміністрування (оренду приміщень, обладнання, інші послуги (реклама)).

Таблиця 4.7 – Вартість забезпечення виробничого процесу

Витрати на оренду та платежі	Вартість, грн	Тип	Вартість послуг на рік, тис грн
Оренда автомобіля + паливо	30000	Місяць	360,0
Оренда комп'ютерного обладнання	8000	Місяць	96,0
Оренда офісного приміщення, 40 м <sup>2</sup>	22000	Місяць	264,0
Сплата Комунальні платежів	2400	Місяць	28,8
Участь в конференціях та форумах	8000	місяць	96
Сума, тис. грн в рік			844,8

#### 4.5 Фінансове обґрунтування проекту.

В Україні фонд оплати праці (далі - ФОП) для стартапу складається з різних складових, які включають заробітну плату працівників та соціальні відрахування, підприємства. Основні складові фонду оплати праці включають заробітну плату працівників, податки та обов'язкові внески (ПДФО, ЄСВ), інші компенсаційні виплати (харчування, медичне страхування, проїзд, проживання).

Зазначені витрати мають бути враховані в стартапи спираючись на норми податкового законодавства

ФОП можна розрахувати за наступною формулою:

ФОП = Заробітна плата + Соціальні відрахування + Податки +  
Інші витрати на працю

Таблиця 4.8 - Структура персоналу та ФОП стартапу.

№	Посада	Форма оплати	Заробітна плата (грн.)	
			за місяць	за рік
Адміністративно-технічний персонал				
1	Керівник проекту	ставка	75000	900000
2	Менеджер	ставка	45000	540000
4	Софт-розробник	ставка	40000	480000
4	Хард-розробник	ставка	35000	420000
5	Бухгалтер	пів-ставки	30000	360000
Всього			225000	2700000
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)			49500	594000
ФОП, тис.грн			274,5	3294,0
Виробничий персонал				
1.	Наладчик	відрядна	35000	420000
Соціальні відрахування до Пенсійного фонду (22 %)			7700	92400
ФОП, тис.грн			42,7	512,4

Амортизація – це систематичний розподіл вартості основних засобів по різних періодах протягом стоку його використання (експлуатації). Норма амортизації визначає темп спадку вартості основних засобів протягом їхнього корисного

терміну використання. Норма амортизації може бути розрахована за допомогою різних методів.

До методів розрахунку амортизації слід віднести:

1. Метод прямої лінійної амортизації.

Формула для розрахунку: Амортизація за рік = (Вартість активу – Залишкова вартість)/ Кількість років корисного використання

$$N_a = \frac{100\%}{T_{сл}}, \quad (4.2)$$

де  $N_a$  – норма амортизації;  $T_{сл}$  – термін експлуатації об'єкта основних засобів.

2. Метод прискореної амортизації. Головною ознакою цього методу є більш високий рівень амортизації у перші роки використання активу, а потім менший рівень в подальших роках.

3. Метод подвійного зменшення балансу (DDB): Цей метод передбачає подвійний темп амортизації в порівнянні з прямою лінійною амортизацією. Вартість активу амортизується пропорційно балансовій вартості залишкової вартості активу на початку кожного року.

4. Метод одиниць виробництва: Амортизація визначається на основі кількості вироблених чи використаних одиниць продукції протягом року.

Використаємо прямолінійний метод як найбільш поширений на практиці та простий.

Таблиця 4.9 – Обґрунтування вартості амортизаційних відрахувань основних фондів підприємства

Назва об'єкта основних фондів	Вартість на початок року, грн.	Річна норма амортиз, %	Амортизаційні відрахування в поточному році, грн.		
			I квартал	IV квартал	За рік
Ліцензоване програмне забезпечення для розробки програмного забезпечення	25000	50	3000	3000	12000
Засоби діагностування і моніторингу	57300	25	3581	3581	14325
Вартість обладнання для початкового експериментального дослідження	40490	100	10123	10123	40490
Всього, грн	121790		16704	16704	66815

Розрахунок собівартості та рентабельності проекту.

Складовими витратами, які слід враховувати під час розрахунку собівартості проекту є:

1. Витрати на розробку технології або продукту (витрати на дослідження та розробку, тестування, програмування тощо). Зазвичай такі витрати несе розробник проекту до момент виходу товару на ринок збуту.

2. Витрати на персонал, адміністрування (заробітна плата персоналу, юридична підтримка).

3. Витрати на оренду приміщення, обладнання, закупівлю програмного

забезпечення, інтернету тощо.

#### 4. Витрати на рекламу

Норма річного випуску – 5 одиниць.

Таблиця 4.10 - Обґрунтування собівартості технології, тис. грн.

Статті витрат	Витрати, грн		
	на одиницю	на місяць	на рік
Умовно-змінні витрати	408,50	408,50	2042,48
Умовно-постійні витрати (60%)	11248,8	11248,8	2249,76
Собівартість технології	234,0	234,0	1170,08

#### 4.6 Бізнес модель стартапу та потенційні ризики

Бізнес-модель стартапу, який спрямований на модернізацію стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування, може мати декілька напрямків та стратегій розвитку. Ось деякі можливі аспекти бізнес-моделі:

Оренда або продаж готових систем: Стартап може пропонувати готові модульні системи для стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування, які можна орендувати або придбати для покращення технологічних процесів в різних галузях промисловості.

Таблиця 4.11 Бізнес модель

Ключові партнери	Ключові види діяльності	Цінність пропозиції	Взаємовідносини з клієнтами	Споживачі сегменти
	Ключові ресурси		Канали збуту	
Структура собівартості 1.Витрати разові: 2.Витрати постійні: 3.Витрати змінні:			Потоки надходження доходу	

Сервісне обслуговування та підтримка: Надання послуг підтримки, технічної підтримки та сервісного обслуговування після впровадження нових технологій для стрічкових конвеєрів.

Послуги модернізації та консультації: Бізнес може пропонувати послуги з модернізації та оптимізації існуючих стрічкових конвеєрів. Це включає в себе аудит, розробку та впровадження нових технологій для підвищення продуктивності, зниження витрат енергії, підвищення безпеки та ефективності роботи.

### **Висновки з розділу**

Стартап-проект, спрямований на створення або модернізацію системи керування стрічковим конвеєром зі змінною довжиною транспортування, що підвищує продуктивність процесу, представляє інноваційний підхід у гірничій промисловості, сільському господарстві.

Головною метою проекту є забезпечення високої ефективності використання енергоресурсів та покращенні експлуатаційних параметрів

установки.

Таблиця 4.12 Узагальнюючі техніко-економічні показники

Річний випуск продукції, од.	
Капіталовкладення, тис. грн.	
Собівартість продукції, тис. грн.	
Ціна продукції, тис. грн	
Прибуток, тис. грн.	
Рентабельність, %	
Коефіцієнт економічної ефективності	
Період повернення капіталовкладень, років	

Переваги проекту включають підвищення продуктивності та енергоефективність.

До початку повномасштабного вторгнення до України до переваг проекту можна було віднести рентабельність, однак наразі привернення інвесторів є вкрай складним процесом, а на непідконтрольних територіях взагалі неможливим.

Крім того наразі в Україні проекту можуть загрожувати ще такі ризики, як політична нестабільність, регуляторні ризики (наприклад «історичні» зміни ставок податків з доходів тощо), економічні коливання (зниження попиту на продукцію гірничодобувних підприємств), технологічні ризики (відтік професійних кадрів, що матиме наслідком ускладнення впровадження новітніх технологій).

Отже, проект має значний потенціал для покращення продуктивності та енергоефективності у галузі гірничої промисловості. Проте, для успішної реалізації слід бути готовими до можливих ризиків та необхідності постійної адаптації до змін .

## ВИСНОВКИ

1. Здійснено аналіз та огляд джерел інформації щодо систем безперервного транспортування сипких вантажів, при цьому виявлено, що для керування приводним двигуном доцільно використовувати із зворотним зв'язком за навантаженням.
2. Застосування систем керування завантаження для стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною транспортування дозволяє досягти мінімальних витрат енергії на одиницю об'єму матеріалу, що розробляється і транспортується.
3. Використання лінійного оптимального регулятора допустиме для нелінійної системи із змінною довжиною стрічки конвеєра.
4. Для дослідження синтезованої системи керування здійснено перевірку працездатності електромеханічної системи в середовищі MATLAB Simulink та оцінку якості перехідних процесів при регулюванні навантаження конвеєра.
5. Даний напрям є перспективним, що підтверджується у стартап проекті, де сформульовано інноваційної ідеї, проаналізовано конкурентне середовище, сильні і слабкі сторони, можливості і загрози проекту.

## Література

1. Гаврюков О.В. Вдосконалення технології робіт при використанні стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною. / О.В. Гаврюков. – Вугілля України. –1992 – № 8. – С. 40-46.
2. Понамарьов В.Т. Механізація ручної праці та допоміжних процесів при проведенні підготовчих гірських виробітках. / В.Т. Понамарьов, В.А. Будишевський, О.В. Гаврюков. – Оглядова інформація. – Донецьк: ЦБНТИ Держвуглепром України - 1992. - 25 с.
3. Клаус Аллекотте. Розробка стрічкових конвеєрів змінної довжини. / Клаус Аллекотте, Хайнц Шмидт. - Глюкауф - 2002 - № 1(2). С. 39-43.
4. Будишевський В.А. Стрічковий конвеєр зі змінною довжиною для прохідницьких робіт. / В.А. Будишевський, О.В. Гаврюков. - Вид.ВУЗів. Горний журнал. -1996. - № 1. - С. 80-82.
5. Гаврюков О.В. Особливості застосування стрічкового конвеєра, що працює при змінній довжині. / О.В. Гаврюков. - Вугілля України. -1997, № 6. - С. 38-39.
6. Гаврюков О. В. Резерви підвищення машинного часу комбайна в швидкісних прохідницьких забоях. / О.В. Гаврюков. - Вугілля України. 1998.- № 6.- С. 18.
7. Гаврюков О.В. Скреперний комплекс для швидкісних прохідницьких забоїв. / О.В. Гаврюков. - Вугілля України. 2001. - №5. С. 27-28 .
8. Гаврюков О.В. Теорія и практика використання стрічкових конвеєрів, що працюють при змінній довжині: монографія / О.В. Гаврюков – Макіївка: ДонНАСА, 2007. – 119с.
9. Гаврюков О.В. Робочі процеси із використанням стрічкових конвеєрів зі змінною довжиною. / О.В. Гаврюков, А.В. Третьак. - Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Сб. науч. пр. «Інтенсифікація робочих процесів будівельних та дорожніх машин. Серія: Подійомно - транспортні, будівельні та дорожні машини та обладнання». – Дніпропетровськ: ПГПСА, 2010 – №57. С.127 - 236.

4. Будишевський В.А. Стрічковий конвеєр зі змінною довжиною для прохідницьких робіт. / В.А. Будишевський, О.В. Гаврюков. - Вид.ВУЗів. Горний журнал. -1996. - № 1. - С. 80-82.
5. Гаврюков О.В. Особливості застосування стрічкового конвеєра, що працює при змінній довжині. / О.В. Гаврюков. - Вугілля України. -1997, № 6. - С. 38-39.
6. Гаврюков О. В. Резерви підвищення машинного часу комбайну в швидкісних прохідницьких забоях. / О.В. Гаврюков. - Вугілля України. 1998.- № 6.- С. 18.
7. Гаврюков О.В. Скреперний комплекс для швидкісних прохідницьких забоїв./ А.В . Гаврюков. - Вугілля України. 2001. - №5. С. 27-28 .
8. Гаврюков О.В. Теорія та практика використання стрічкових конвеєрів, що працюють при змінній довжині: монографія / О.В. Гаврюков – Макіївка: ДонНАСА, 2007. – 119с.
9. Гаврюков А.В. Робочі процеси з використанням стрічкового конвеєра, що працює при змінній довжині. / О.В. Гаврюков, А.В. Третяк. - Будівництво, матеріалознавство, машинобудування. Сб. науч. пр. «Інтенсифікація робочих процесів будівельних та дорожніх машин. Серія: Подйомно - транспортні, будівельні та дорожні машини та обладнання». – Дніпропетровськ: ПГПСА, 2010 – №57. С.127 - 236.
10. Бондаренко А.О. Гірничі машини для відкритих гірничих робіт: навчальний посібник / А.О. Бондаренко -. Міністерство освіти і науки України, Національний гірничий університет. – Дніпропетровськ.: НГУ. – 2017. – 123 с.
11. Большаков В.І Дробильно-сортувальні установки. / В.И. Большаков, Н.Г. Малич, В.С. Блохин. - Фундаментальні та прикладні проблеми чорної металургії: Збірник наукових праць. — Дніпропетровськ.: ІЧМ НАН України. — 2007. — Вид. 15. — С. 279-295
12. Домбровский Н.Г. Будівельні машини. / Н.Г. Домбровский, М.І. Гальперін. - (в 2-х ч.) Ч. II. Підручник для студентів вузів, що здобувають освіту за

спеціальністю «Будівельні дорожні машини, та обладнання» - М.: Виш. шк., 1985 - 224 с.

13. Хмара Л.А. Машини для земляних робіт: Навчальний посібник / Л.А. Хмара, С.В. Кравець, В.В. Нічке, Л.В. Назаров, М.П. Скоблюк, В.Г. Нікітін - Під загальною редакцією проф. Хмари Л.А. та проф. Кравця С.В. Рівне – Дніпропетровськ – Харків. 2010. -557 с.
14. Патент на винахід. №88392 МПК E02F 5/16 (2009.01), E02F 9/14, E02F 3/18 E21C 47/00, E21C 49/00 Роторний екскаватор поперечного копання з телескопічною стрілою, / Гаврюков О.В. № а 2008 01569; заявл. 07.02.08., опубл. 12.10.09. Бюл. № 19. (Україна). - 3с.
15. Гаврюков О.В. Роторний екскаватор поперечного копання з телескопічною стрілою./ А.В. Гаврюков. - Прогресивні технології та системи машинобудування: Міжнародний збірник наукових праць. – Донецьк: ДонНТУ – 2006 - № 32. С. 69-74.
16. Гаврюков О.В. Конструкторські дослідження зі створення роторного екскаватора з телескопічною стрілою. / О.В. Гаврюков, О.В. Коваль. - Збірник наукових праць Донбаської національної академії будівництва архітектури. Електронний науково-практичний журнал. Випуск № 1 Краматорськ: – 2015. – С.91-97. [https://donnaba.edu.ua/journal/images/2015-1/2015-1\\_91-97.pdf](https://donnaba.edu.ua/journal/images/2015-1/2015-1_91-97.pdf).
17. Гаврюков О.В. Шляхи підвищення швидкості проведення гірських виробіток. / О.В. Гаврюков. - Вугілля. – 1995. - № 12. С. 11-12.
18. Гаврюков О.В. Застосування стрічкового контейнера, що працює при змінній довжині. / О.В. Гаврюков. - Механізація будівництва. – 2001. - №6. С. 15.
19. Гаврюков О. В. Енергоефективність на конвеєрному транспорті. Зниження енергоємності робочих процесів. / О.В. Гаврюков, А.В. Третяк. - Енергозбереження. – 2012 – № 9 (155) - С. 16-18.
20. Наукові основи підвищення ефективності землерийних та транспортуючих машин у специфічних умовах експлуатації: звіт за держбюджетній

тематиці: МінВУЗа України Д-2-08-09 № держреєстрації 01090003039, -  
Макіївка, 2009. –298 с.

21. Гаврюков О.В. Швидкість пружних деформацій у стрічці контейнера зі змінною довжиною транспортування. / О.В. Гаврюков, О.К. Кралин, В.А. Талалай. - Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія гірничо-електромеханічна. – 2011. – Вип. 21(189). С. 26-35.
22. Гаврюков О.В. Математична модель процесу розповсюдження пружних деформацій у стрічці контейнера зі змінною довжиною транспортування. / О.В. Гаврюков, А.В. Третьак. - Наукові праці ДНТУ. Серія «Гірничо-електромеханічна». – 2014. – Вип. 1(27). С.41 - 77.
23. Гаврюков О.В. Визначення швидкості та прискорення пересувної станції під час заміру довжини транспортування працюючого прохідницького контейнера. / О.В. Гаврюков. - Науковий вісник ДДМА. – Краматорск, 2015.- Вип. №1 (16Е). С. 37 – 43.
24. Гаврюков О.В. Визначення швидкості руху стрічки на верхній і нижній гілці конвеєра при працюючому і зупиненому приводі під час зміни довжини транспортування / О.В. Гаврюков. - Науковий вісник ДДМА. – Краматорск, 2015.– Вип. № 3 (18Е). – С. 60–69.
25. Гаврюков А.В. Стрічкові конвеєри зі змінною довжиною транспортування в будівництві, їх статична напруженість при подовженні. / О.В. Гаврюков. - Нові технології в будівництві. Науково-технічний журнал НДІБВ. – Київ НДІБВ, 2016. - № 31 – С.81-93
26. Гаврюков О. В. Визначення навантаженості стрічки під час нерівноприскореної зміни довжини транспортування конвеєра. / О. В. Гаврюков. - Науковий вісник ДДМА. - Краматорск, 2017. - Вип. № 1 (22Е) - С. 70-80
27. Гаврюков О.В. Розвиток теорії трубчастих стрічкових конвеєрів: монографія / О.В. Гаврюков – Краматорськ: ДонНАБА, 2017. – 279с. – ISBN 978–617–7415–34–2.

28. I.I. Nazarenko, O.V. Gavryukov. Development of the Calculation Methodology for the Belt Load When Changing the Conveyor Transportation Length IOSR Journal of Mechanical and Civil Engineering (IOSR-JMCE) e-ISSN: 2278-1684, p-ISSN: 2320-334X, Volume 16, Issue 3 Ser. II (May. - June. 2019), PP 60-66. [www.iosrjournals.org](http://www.iosrjournals.org).
29. Gavryukov A., Kolesnikov M., Zapryvoda A., Lutsenko V ., Bondarchuk O. determination of the Mechanism for Calculating the T ensions of a Working Conveyor Belt During a change in the T ransportation Length. Eastern-European Journal of Enterprise T echnologies, № 2/7 (128) 2024., P. 56 – 66. DOI: 10.15587/1729-4061.2024.300648
30. Єдині норми виробітку (часу) для шахт Донецького и Львівсько-Волинського вугільних басейнів. – М.: Вид-во Ворошилівська правда, 1980. – 623 с.
31. Торопов, А. В., & Торопова, Л. В. (2018). Квазіоптимальне керування завантаженням конвеєра на основі мінімаксного критерію якості// Науковий журнал «Енергетика: економіка, технології, екологія» -№1, 2018. – с.125-131.