

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

**Факультет(ННІ) \_\_\_\_\_ КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ \_\_\_\_\_**

**УДК 62-58:621.867**

**ПОГОДЖЕНО**

**Декан факультету (Директор ННІ)**

\_\_\_\_\_ конструювання та дизайну \_\_\_\_\_  
(назва факультету (ННІ))

\_\_\_\_\_ Зіновій РУЖИЛО \_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ)

\_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ**

**Завідувач кафедри**

\_\_\_\_\_ конструювання машин і обладнання \_\_\_\_\_  
(назва кафедри)

\_\_\_\_\_ Вячеслав ЛОВЕЙКІН \_\_\_\_\_  
(підпис) (ПІБ)

\_\_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 2024 р.

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

**на тему**

**ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ КОВШОВОГО КОНВЕЄРА**

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 – Галузеве машинобудування \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Освітня програма - Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва  
(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

**Гарант освітньої програми**

\_\_\_\_\_ к.т.н, доцент \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Андрій НОВИЦЬКИЙ \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

**Керівник магістерської кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ д.т.н, професор \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Вячеслав ЛОВЕЙКІН \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

\_\_\_\_\_ к.т.н \_\_\_\_\_  
(науковий ступінь та вчене звання) (підпис)

\_\_\_\_\_ Анастасія ЛЯШКО \_\_\_\_\_  
(ПІБ)

**Виконав**

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ Тимофій РЕШЕТНІК \_\_\_\_\_  
(ПІБ студента)

**КИЇВ – 2024**

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ  
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**

Факультет(НИІ) \_\_\_\_\_ **КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ** \_\_\_\_\_

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри**

конструювання машин і обладнання

д.т.н., професор \_\_\_\_\_ Вячеслав ЛОВЕЙКІН  
(науковий ступінь, (підпис) (ПІБ)  
вчене звання)

–29– грудня 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**

**ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ  
СТУДЕНТУ**

\_\_\_\_\_ **Решетніку Тимофію Олександровичу** \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність \_\_\_\_\_ 133 – Галузеве машинобудування \_\_\_\_\_  
(код і назва)

Освітня програма - Технічний сервіс машин та обладнання сільськогосподарського виробництва

(назва)

Орієнтація освітньої програми \_\_\_\_\_ освітньо-професійна \_\_\_\_\_  
(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи \_\_\_\_\_ **ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ  
КОВШОВОГО КОНВЕЄРА**

затверджена наказом ректора НУБіП України від –29– грудня 2023 р. № 2401 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру \_\_\_\_\_ 2024.11.15 \_\_\_\_\_  
(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи: Технологічна схема застосування  
вовшового конвеєра для транспортування зерна.

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій ковшових конвеєрів
2. Розглянути перспективи удосконалення ковшових конвеєрів
3. Виконати розрахунок ковшового конвеєра
4. Виконати динамічний аналіз руху конвеєра
5. Оптимізувати режим пуску конвеєра
6. Розглянути питання охорони праці при роботі з ковшовим конвеєром
7. Виконати розрахунок економічної ефективності

Дата видачі завдання «29» грудня 2023 р.

**Керівник магістерської  
кваліфікаційної роботи**

\_\_\_\_\_ Вячеслав ЛОВЕЙКІН  
(підпис) (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ Анастасія ЛЯШКО  
(підпис) (прізвище та ініціали)

**Завдання прийняв до виконання**  
(підпис)

\_\_\_\_\_ Тимофій РЕШЕТНІК  
(прізвище та ініціали студента)

## ЗМІСТ

ЗМІСТ .....	3
РЕФЕРАТ .....	5
ВСТУП .....	7
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ.....	9
1.1. Загальні відомості про ковшові конвеєра.....	9
1.2. Основні типи ковшових конвеєрів .....	11
1.2.1. Відцентровий ковшовий конвеєр .....	11
1.2.2. Безперервний ковшовий конвеєр .....	13
1.2.3. Конвеєр позитивного розвантаження .....	13
1.2.4. Двоковшовий конвеєр .....	14
1.3. Аналіз конструкції ковшових конвеєрів.....	15
1.3.1. За типом тягово органу .....	15
1.3.2. Конструкційні матеріали.....	18
1.3.3. Різновиди ківшів на елеваторах .....	20
1.4. Патентний пошук .....	23
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ.....	28
2.1. Морфологічний аналіз.....	28
2.2. Вихідні дані для розрахунку .....	29
2.3. Задача розрахунку .....	29
2.4. Визначення характеристик елеватора і ківшів .....	30
2.5. Визначення лінійної маси рухомих частин елеватора .....	30
2.6. Визначення лінійної маси вантажу .....	31
2.7. Тяговий розрахунок ківшового елеватора.....	31
2.8. Перевірка прийнятої попередньо кількості прокладок стрічки ..	33

2.9.	Розрахунок діаметра привідного барабану .....	34
2.10.	Визначення характеристик приводу .....	35
РОЗДІЛ 3. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ КОВШОВОГО КОНВЕЄРА. .....		38
3.1.	Динамічна модель конвеєра.....	38
3.2.	Математична модель ківшового конвеєра .....	42
3.3.	Результати динамічного аналізу ковшового конвеєра.....	43
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ КОВШОВОГО КОНВЕЄРА .....		50
4.1.	Вибір критерію оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра	50
4.2.	Методика оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра .....	51
4.3.	Результати оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра .....	54
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....		57
РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ.....		60
ВИСНОВОК.....		68
ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ .....		71
ДОДАТКИ.....		73

## РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки, що містить вступ, шість розділів, висновки, список використаних джерел інформації та додатків.

В першому розділі магістерської кваліфікаційної роботи наведені загальні відомості про ковшові конвеєри, представлена їхня класифікація, проведений патентний пошук, а також літературний огляд та аналіз конструкцій ковшових конвеєрів.

В другому розділі роботи розроблено конструкцію та проведено розрахунок елементів конструкції та приводного механізму ковшового конвеєра. Розраховано основні елементи конструкції ковшового елеватора та приводного механізму. Вибрано стандартні елементи конструкції: електродвигун, редуктор, муфти та інших складові приводу.

В третьому розділі проведено динамічний аналіз руху ковшового елеватора. Основу динамічного аналізу склала динамічна модель ковшового елеватора, яка представлена двомасовою дискретною моделлю. На базі динамічної моделі складено математичну модель, яка представлена системою нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Розрахунок такої математичної моделі дозволив визначити кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики ковшового конвеєра. Здійснено аналіз отриманих характеристик, який виявив наявність коливань в елементах конструкції та підвищені динамічні навантаження та енергетичні витрати.

В четвертому розділі проведено оптимізацію режиму пуску конвеєра. Оскільки в елементах конструкції та приводу діють підвищені динамічні навантаження, тому за критерій оптимізації обрано середньоквадратичне значення рушійного моменту приводу. Мінімізація цього критерію дозволила визначити оптимальний режим пуску ковшового конвеєра. Він дозволив, в свою чергу, усунути коливання в елементах конвеєра та зменшити динамічні навантаження і енергетичні витрати.

В розділі охорона праці розроблено заходи з охорони праці при роботі ковшового конвеєра. Розглянуто вимоги до роботи із ковшовими конвеєрами на зернових елеваторах та розроблена інструкція з охорони праці.

Також в бакалаврській кваліфікаційній роботі розраховано економічну доцільність розробки ковшового конвеєра. Виконано розрахунок економічної ефективності від розробки нової конструкції ковшового конвеєра.

**Ключові слова:** ковшовий конвеєр, елеватор, стрічка, ківш, електродвигун.

## ВСТУП

Ковшові елеватори (норії) відносяться до механічного обладнання для вертикального транспортування зерна та продуктів його переробки. Норії застосовують у складі технологічного обладнання із тривалим режимом роботи на елеваторах, зернохранилищах, зерносушильних і зерноочисних комплексах, комбікормових заводах та інших зернопереробних підприємствах. Ковшові елеватори представляють собою транспортне обладнання безперервної дії з гнучким тяговим органом (прогумованою стрічкою), до якого прикріплені ківші.

Перевагами норії є здатність транспортувати зерно та інші сипкі матеріали на значну висоту, відносно невеликі енерговитрати, компактність будови, надійність конструкції, простота роботи та обслуговування, а також невисока вартість обладнання.

По при всі переваги транспортування зернових матеріалів за допомогою норій, при транспортуванні зерна відбувається його висипання з ківшів. При цьому зерновий матеріал попадає у простір між стрічкою та барабаном та відбувається його повторне транспортування. Все це пошкоджує зерно та приводить до втрат.

Тому виникає потреба удосконалення та дослідження конструкції ковшового конвеєра, щоб зменшити втрати зерна.

Мета роботи полягає в розробці та дослідженні нової конструкції ковшового конвеєра для транспортування зерна.

Основними завданнями магістерської кваліфікаційної роботи є:

1. Огляд і систематизація інформації про ковшові конвеєри;
2. Розробка конструкції ковшового конвеєра;
3. Розрахунок конструкції ковшового конвеєра;
4. Проведення динамічного аналізу руху ковшового конвеєра;
5. Оптимізація режиму пуску ковшового конвеєра;
6. Розробка заходів з охорони праці;

7.Розрахунок економічної доцільності розробки нової конструкції ковшового конвеєра.

## РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

### 1.1. Загальні відомості про ковшові конвеєра.

Ковшовий конвеєр — це тип конвеєра, призначений для транспортування сипучих та дрібнокускових матеріалів. Він складається з ряду ковшів, які закріплені на тяговій системі, що може бути або гумовою стрічкою, або ланцюгами.

Цей вид конвеєрів широко застосовується в промисловості для переміщення матеріалів, таких як зерно, цукор, цемент, вугілля, руда та інші сипкі продукти. Ковші виготовляють з різних матеріалів, зокрема сталі, алюмінію, пластику, склофіброцементу та інших.

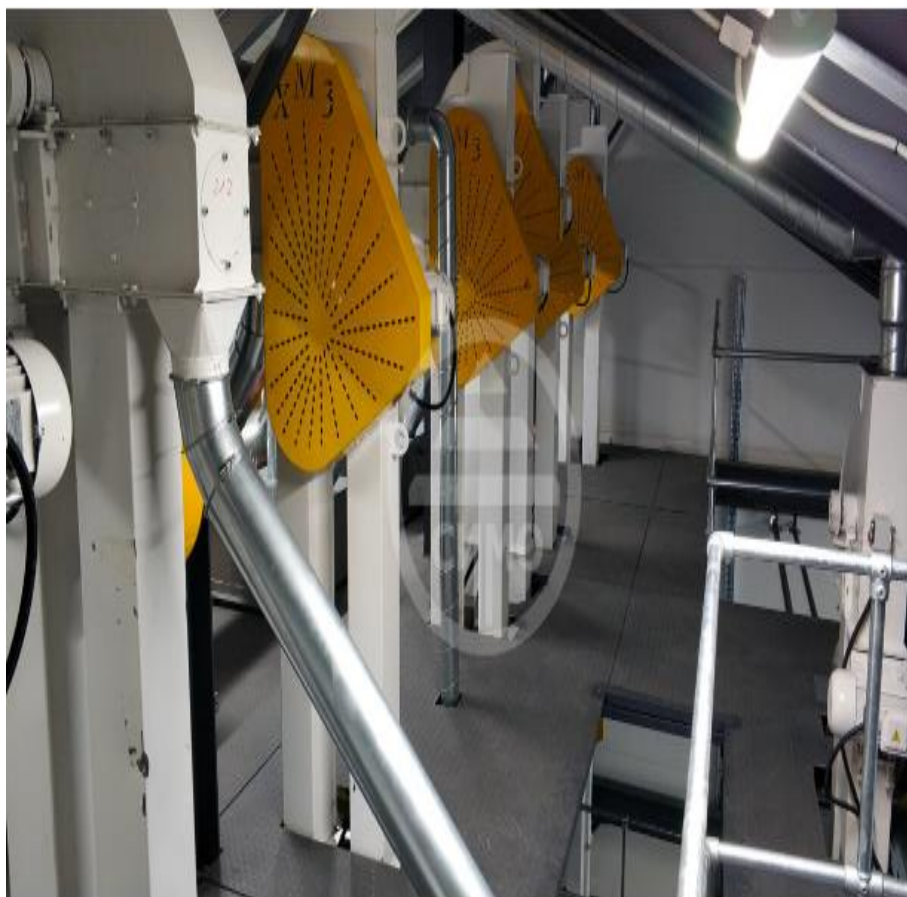


Рисунок 1.1- Пасовий ковшовий конвеєр



Рисунок 1.2- Ланцюговий ковшовий конвеєр

Основна перевага ковшового конвеєра полягає в здатності транспортувати матеріали на велику висоту, що не під силу іншим типам конвеєрів. Крім того, їх можна розміщувати в будь-якій частині заводу або складу, що сприяє більш ефективному використанню площі.

Ковшові конвеєри поділяються на елеватори (норії), які переміщують матеріали вертикально або під великим кутом, і на конвеєри, що транспортують матеріали по горизонтальних або кільцевих шляхах. Елеватори мають перевагу, оскільки вони виконують функцію підйомників, переміщуючи матеріали в безперервному потоці.

Елеватор складається з нескінченного замкнутого тягового елемента, на якому з рівними інтервалами закріплені ковші. Під час горизонтального переміщення ковші залишаються у своєму положенні, що перешкоджає висипанню матеріалів. Тяговими елементами можуть бути стрічки або один чи два ланцюги. Стрічка обгортає приводний і натяжний барабани, які розташовані на крайніх точках елеватора, тоді як ланцюги закріплені на зірочках у тих самих місцях.

Елеватор зазвичай захищений металічним кожухом з оглядовими вікнами, які складаються з окремих секцій. Похилі елеватори іноді бувають без кожуха.

З кожухом з'єднують завантажувальний і розвантажувальний башмаки в місцях загрузки та розгрузки. Привод барабана чи зірочок встановлюють у верхній частині елеватора. Вал нижнього барабану або зірочки обертається в подвижних підшипниках, зв'язаних з гвинтовим нятяжним пристроєм.

Елеватори використовують для транспортування матеріалу на висоту до 50 метрів при продуктивності до  $500\text{м}^3/\text{год}$ . Вони відмінно підходять для заповнення високих сховищ – силосів чи бункерів.

Розрізняють швидкохідні, зі швидкістю тягового органа  $1,25\text{-}2,0\text{ м/с}$ , і тихохідні, зі швидкістю  $0,4\text{-}1,0\text{ м/с}$ , елеватори.

Загрузки швидкохідних норій відбувається при проходженні ковша нижнього(завантажувального) башмака, шляхом зачерпування. В тихохідних відбувається шляхом засипання матеріалу в ковш.

## **1.2. Основні типи ковшових конвеєрів**

### **1.2.1. Відцентровий ковшовий конвеєр**

Відцентрові ковшові конвеєри переміщують сипучий матеріал за допомогою відцентрової сили. Рівномірно розташовані ковші на ланцюгу занурюються в матеріал на вході, а потім викидають його з розвантажувальної горловини, як правило, відразу після верхнього повороту ланцюга, щоб максимізувати відцентрову силу. Ці ковші знаходяться в металевому корпусі, який запобігає потраплянню матеріалу в будь-яке місце.

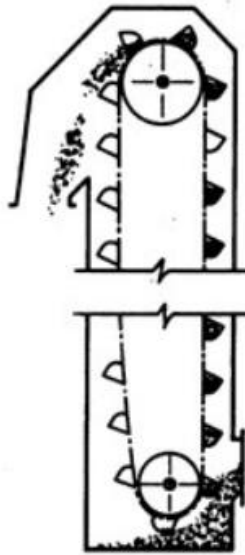


Рисунок 1.3- Відцентровий ковшовий конвеєр

Окрім розвантажувального кінця, де залишки матеріалу просто падають назад і починають процес транспортування знову. Вони можуть працювати як на низьких, так і на високих швидкостях, зі швидкістю до 1.5 м/с і вантажопідйомністю до 2.8 м<sup>3</sup>. Існують також певні відцентрові норії, які рухаються зі значно більшою швидкістю (до 5 м/с), але ці моделі призначені для легших матеріалів. Відцентрові ковшові конвеєри чудово підходять для високошвидкісних застосувань і найкраще працюють з дрібнодисперсними матеріалами, що робить їх привабливим варіантом для зернової, мінеральної, цукрової та хімічної галузей.

### 1.2.2. Безперервний ковшовий конвеєр

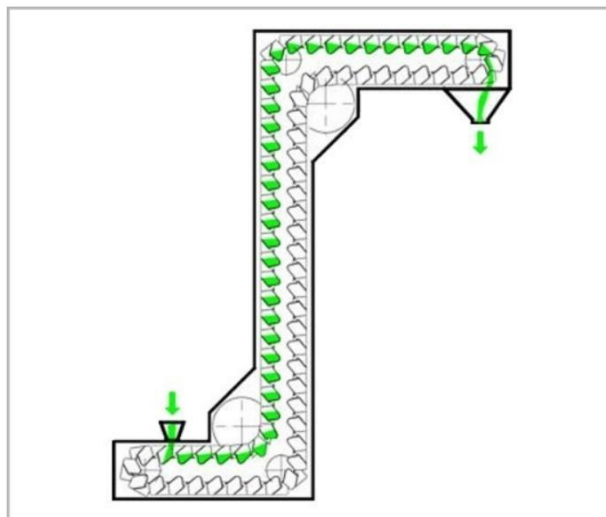


Рисунок 1.4- Безперервний ковшовий конвеєр

Безперервні ковшові конвеєри відрізняються від інших типів ковшових конвеєрів тим, що вони призначені для транспортування крихких або легких матеріалів. Данні конвеєри рухаються зі значно меншою швидкістю (1-1.5 м/с), і між ковшами немає зазору, щоб запобігти розсипанню. Ковші заповнюються окремо через вхідний отвір і розміщуються так, щоб на продукт діяла лише сила тяжіння.

Вони мінімізують пошкодження продукту, запобігаючи аерації, і дозволяють працювати з крихкими або сипучими продуктами. Бувають різних форм і номіналів і можуть мати S-, Z- або C-подібну форму, залежно від потреб. В основному використовуються у виробництві пластмас, гірничодобувній промисловості, важких умовах експлуатації та в інших сферах, де потрібне мінімальне перемішування.

### 1.2.3. Конвеєр позитивного розвантаження

Конвеєри з позитивним вивантаженням - це особливий вид відцентрового конвеєра, де ковші проходять над додатковою зірочкою, яка виштовхує

матеріал з розвантажувального кінця. Вони рухаються з меншою швидкістю (0.4-1.2 м/с), що запобігає надмірному розсипанню та розбиванню матеріалу. Конструкції ковшів цих конвеєрів унікальні для кожного виробника і мають більший розмір, щоб компенсувати низьку швидкість. Широке застосування отримали в таких сферах, як переміщення зернових, горіхів, сухофруктів та інших подібних продуктів, де пріоритетом є збереження цілісності. Вони випускаються в різних варіантах і розмірах і, як правило, коштують дорожче, ніж два попередніх ковшових конвеєра.

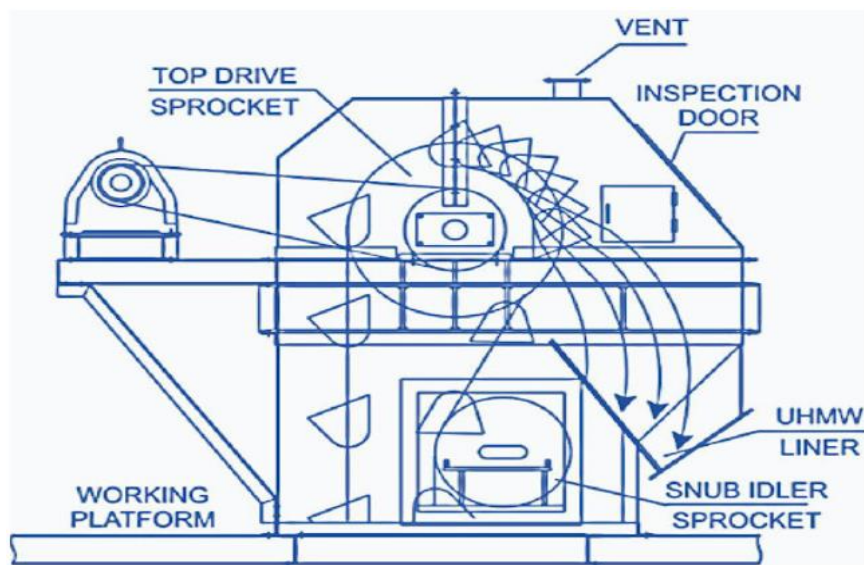


Рисунок 1.5- Конвеєр позитивного розвантаження

#### 1.2.4. Двоковшовий конвеєр

Це елеватори з найбільшою продуктивністю серед інших (2000 м<sup>3</sup>/год і вище). Головною особливістю є великогабаритні ковші об'ємом до 290 літрів, які встановлені в шаховому порядку. Ланцюги механічного типу із штифтом, що розробленні для витримування високих розривних навантажень (до 4000 кН).



Рисунок 1.6- Двоковшовий елеватор

Завдяки безперервним ковшам данні елеватори мають великий діапазон швидкості роботи (від 0.5 до 2.0 м/с). Також широкий завантажувальний жолоб дозволяє ефективніше працювати з матеріалом що транспортується. Додаткова ширина забезпечує більше корисного місця для обслуговування, хоча великий запас надійності компонентів мінімізує поломки.

### **1.3. Аналіз конструкції ковшових конвеєрів**

Існує велика кількість типів конвеєрів які відрізняються між собою масою факторів, а саме: типом тягового органу, матеріалами виконання, розмірами та конфігурацією ковшів, тощо. Далі розглянемо основні їх типи та надамо загальну характеристику кожного окремо.

#### **1.3.1. За типом тягово органу**

Ланцюгові конвеєри мають ланцюги в якості основного тягового механізму, який приводиться в рух за допомогою зірочок. До цих ланцюгів прикріплюються пластини, які формують настил для транспортування

вантажів. Найчастіше виготовляють дволанцюгові моделі

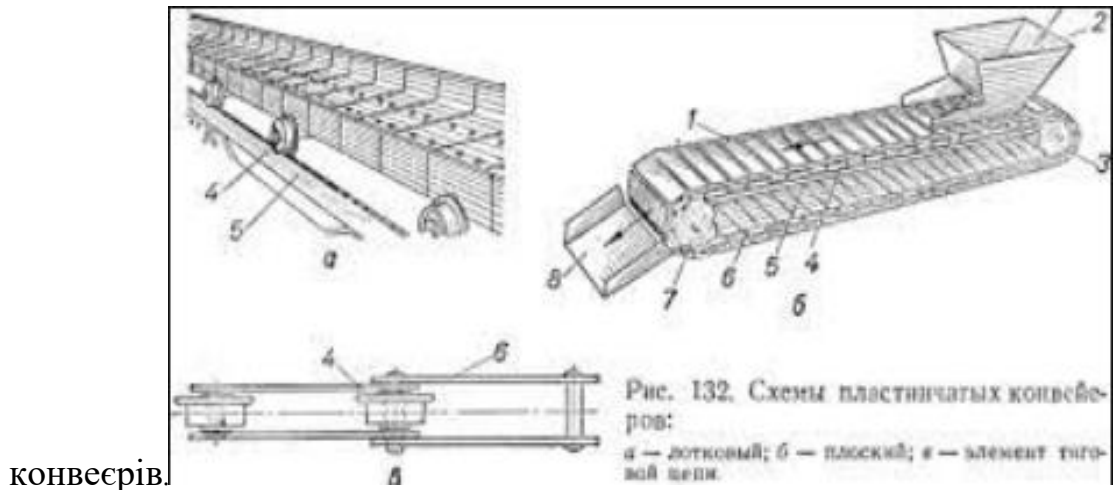


Рисунок 1.7- Ковшовий конвеєр з ланцюговим типом тягового органу

Основні переваги:

Висока міцність та здатність переносити великі навантаження;

Довга експлуатаційна тривалість за рахунок використання міцних ланцюгів та матеріалів;

Можливість роботи в екстремальних умовах.

Недоліки :

Висока вартість та складність установки та обслуговування;

Обмежені можливості варіації швидкості руху.

Стрічкові конвеєри – пристрій безперервної дії з об'єднаним вантажонесучим та тяговим органом у вигляді замкнутої стрічки. Стрічка приводиться у рух силою тертя між нею та приводним барабаном, опирається по всій довжині на стаціонарні роликові опори.



Рисунок 1.8 - Ковшовий конвеєр з стрічковим типом тягового органу

Основні переваги:

Висока швидкість руху конвеєра, що дозволяє ефективно перевозити великі обсяги матеріалу;

Доступність та низька вартість компонентів та установки;

Легкість управління та маневреність.

Недоліки :

Нижча міцність порівняно з цеповими конвеєрами, що обмежує їхню здатність переносити великі навантаження;

Вимога до регулярного обслуговування та заміни стрічки.

Пластинчаті ковшові конвеєри — це тягові механізми, що складаються з нескінченної замкнутої стрічки. Вони мають два паралельні тягові ланцюги (можуть бути й конвеєри з одним ланцюгом), до яких прикріплені поперечні пластини для транспортування тарно-штучних вантажів або лотки для сипучих матеріалів, утворюючи безперервну платформу. Ланцюги проходять через приводні та натяжні зірочки.

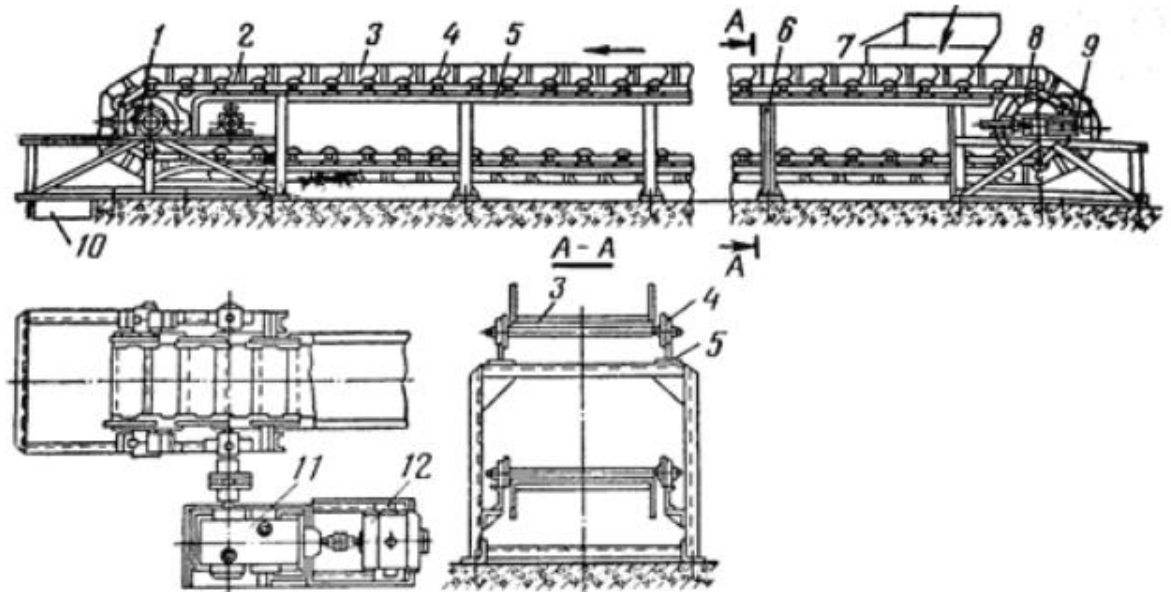


Рисунок 1.9. Пластинчастий ковшовий конвеєр

Основні переваги:

Гнучкість та адаптивність до різних конфігурацій та розмірів завантажувального та вивантажувального обладнання;

Можливість працювати з матеріалами різної форми та розміру.

Недоліки:

Обмежена міцність та здатність переносити великі навантаження;

Вища вартість у порівнянні з іншими типами конвеєрів.

### 1.3.2. Конструкційні матеріали

При підборі матеріалу для конвеєрної стрічки віддають перевагу таким, які зможуть забезпечити достатню міцність, зносостійкість та витривалість. Їх підбирають шляхом змішування різних типів речовин.

Таблиця 1.1.

Таблиця типових матеріалів

Common Name	ASTM Designation D 1418-10	Composition	General Properties
Acrylic	ABR	Acrylate-butadiene	Excellent for high temperature oil and air. Poor water resistance. Poor cold flow resistance.
Brominated Butyl	BIIR	Bromo-isobutene-isoprene	Similar properties as Butyl except that it can be more readily adhered to or used in combination with other polymers.
Butyl	IIR	Isobutene-isoprene	Excellent resistance to heat. Very good resistance to ozone and aging. Good resistance to abrasion.
Chlorinated Butyl	CIIR	Chloro-isobutene-isoprene	Similar properties BIIR.
EPDM	EPDM	Ethylene-propylene-diene terpolymer	Excellent resistance to heat, ozone, and aging. Very good resistance to abrasion.
Ethylene Propylene	EPR	Ethylene-propylene	Same properties as EPDM.
Hydrin*	CO	Polychloromethyl-oxirane	Excellent oil and ozone resistance. Good flame resistance and low permeability to gases. Fair low temperature properties.
Hydrin*	ECO	Ethylene oxide and-chloromethyl-oxirane	Excellent oil and ozone resistance. Fair flame resistance and low permeability to gases. Good low temperature properties.
Hypalon*	CSM	Chloro-sulfonyl-polyethylene	Excellent ozone, weathering, and acid resistance. Good abrasion and heat resistance. Good oil resistance.
Hytrel*	PET	Polyethylene Terephthalate	Thermoplastic with excellent abrasion and cut resistance. Good chemical resistance. Limited temperature range.
Natural Rubber	NR	Rubber, Natural	Excellent resistance to cutting, gouging, and abrasion. Good elasticity and resiliency. Good low temperature flexibility.
Neoprene*	CR	Chloroprene	Good ozone and sun-checking resistance. Good resistance to petroleum-based oils and to abrasion. Also good flame resistance.
Nitrile	NBR	Nitrile-butadiene	Excellent resistance to vegetable, animal and petroleum oils.
Polybutadiene	BR	Butadiene	A general purpose synthetic rubber. Generally used in blends with natural or styrene-butadiene rubber. Provides excellent abrasion resistance and high resiliency. Excellent low temperature flexibility.
Polyisoprene	IR	Isoprene, synthetic	Same properties as natural rubber.
SBR	SBR	Styrene-butadiene	Excellent abrasion resistance and good resistance to cutting, gouging, and tearing.
Silicone	VMQ	Modified polysiloxanes	Excellent high and low temperature resistance. Can be made to give fair oil resistance. Poor physical properties at room temperatures.

По аналогії із конвеєрною стрічкою матеріали для ланцюгів повинні відповідати певним вимогам. Ось приклади даних матеріалів:

Сталь: Сталеві ланцюги є дуже поширеними у конвеєрній техніці. Вони можуть бути виготовлені з різних видів сталі, таких як вуглецева сталь, нержавіюча сталь або легована сталь. Стальні ланцюги мають високу міцність і зносостійкість, а також можуть працювати при високих температурах. Вони використовуються в різних галузях, включаючи важку промисловість і машинобудування.

Нейлон (поліамід): Ланцюги з нейлону мають добру зносостійкість і шумопоглинання. Вони легкі, мають гнучкість і можуть працювати без змащення. Ці ланцюги часто використовуються в харчовій, фармацевтичній та легкій промисловості.

Поліетилен високої щільності (ПВЩ): Ланцюги з ПВЩ мають високу хімічну стійкість, добру зносостійкість і низьку тертя. Вони легкі, гнучкі і мають низький рівень шуму. Ці ланцюги широко використовуються в хімічній промисловості, агропромисловому комплексі та інших галузях.

Поліоксиметилен (ПОМ): Ланцюги з ПОМ мають високу міцність, твердість і зносостійкість. Вони стійкі до хімічних речовин, вологи та температурних змін. Ці ланцюги використовуються в автомобільній та електронній промисловості, а також у машинобудуванні.

### **1.3.3. Різновиди ківшів на елеваторах**

Першочергово ківші розрізняються за формою та матеріалу, із якого вони виконані.

За формою:



Рисунок 1.10- Типи ківшів

Прямокутні, які є найбільш поширеними типами ківшів і використовуються майже в усіх галузях промисловості.

Круглі ковші мають форму круга або півкола. Вони часто використовуються для перевезення вологих матеріалів, таких як цемент, вапно, глина тощо. Кругла форма ківшів допомагає уникнути затримок та застрягання матеріалу.



Рисунок 1.11- Круглий ківш

Пластинчасті ковші складаються з ряду пластин, які з'єднані між собою. Вони використовуються для перевезення матеріалів, які можуть бути проковзними, таких як зерно, пісок, цукор, корми тощо.

За матеріалами поділяються на:

Неметалеві що виконані із різних типів пластику.



## Рисунок 1.12- Неметалевий ківш

Таблиця 1.2.

### *Матеріали ковшів*

Materials	Polyethylene	Nylon	Urethane	FDA Nylon
Color	White	Tan	Green	White
Application	Grain & Food Products	Hot, high impact, abrasive dense products	Heavy abrasion, sticky materials	Hot, high impact, abrasive food grade products
Temperature Ranges	-120°F to +180°F (210°F intermittent)	-60°F to +300°F (350°F intermittent)	-60°F to +180°F (210°F intermittent)	-60°F to +300°F
FDA Approved	Yes	No	Yes	Yes
Comments	Economical, high density polyethylene. FDA approved material for handling food grade products.	Best for high heat applications, with tough impact and abrasion needs.	Most flexible and abrasion resistant. Resists product sticking and sharp cutting particles.	Best for high heat food grade applications, with tough impact and abrasion needs.

Якісно відрізняє від інших: економія при виготовленні; збільшена ємність при меншій вазі; підвищена ефективність, за рахунок меншого накопичення в собі матеріалів.

А також використовують металеві ківші, що в свою чергу поділяються на чавунні та зварні сталеві.

Ковкий чавун являється найбільш зносостійким, вони мають товсті стінки та посилену передню кромку. Покриті спеціальним антикорозійним покриттям та за рахунок матеріалу не потребують постійного обслуговування.



Рисунок 1.13- Ковкий ківш

Зварні – які зазвичай складаються із трьох або двох частин як і попередній варіант мають високі корозійні властивості за рахунок матеріалів таких як нержавіюча сталь та алюміній.



Рисунок 1.14- Зварний ківш

#### **1.4. Патентний пошук**

Стрічковий ковшовий елеватор для транспортування сипучого матеріалу містить приводну нескінченну стрічку (23), яка циркулює через барабани,

розташовані на головці ковшового елеватора та на основі ковшового елеватора, і щонайменше один ряд ківшів (10), кожен з яких є індивідуально закріплений на поясі (23) і має основу (15), задню стінку (11), бічні стінки (13) і передню стінку (12). Кожне з ківшів (10) має меншу ширину в основі (15), ніж у верхніх кінцях бічних стінок (13). Стрічка (23), включаючи зовнішні бічні краї стрічки, повністю закрита ківшами (10), розташованими на ній.

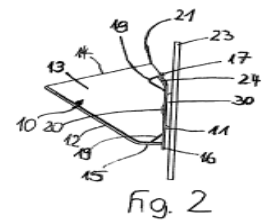
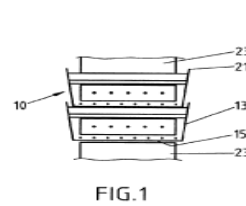
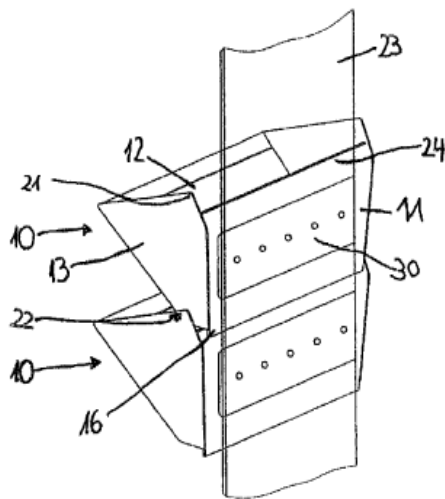


FIG. 1

Fig. 2

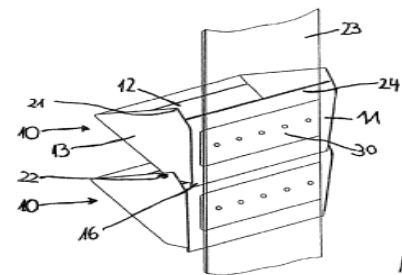


Fig 3

Ри

сунок 1.15- Патент US 9.205,988 B2

CN201334231Y

Корисна модель відноситься до Z-подібного ковшового елеватора для підйому, подачі та розвантаження; корпус машини представлений у формі Z; на верхньому торці корпусу машини розташований отвір для подачі; верхня частина на задній стороні на нижньому кінці корпусу машини забезпечена бункером для матеріалу; нижній кінець бункера для матеріалу забезпечений вібраційним живильником; випуск бункера для матеріалу повідомлений з ковшем елеватора, який розташований на передавальному ланцюзі; верхній нижній кінці стенда відповідно забезпечені ведучим трансмісійним колесом, яке приводиться в рух двигуном подачі; стійка, яка розташована паралельно ведучому трансмісійному колесу, забезпечена пристроєм регулювання натягу регульовального колеса; на поворотному кутку стійки розташовані ведене

колесо і кермо; ведуче колесо трансмісії та ведене колесо приводять у рух ланцюг трансмісії. Z-подібний ковшовий елеватор може автоматично завершувати подачу, підйом і контроль матеріалу, не потребує допомоги людей і має такі переваги, як безпека, санітарія, проста та зручна подача, правильне керування, висока ефективність.

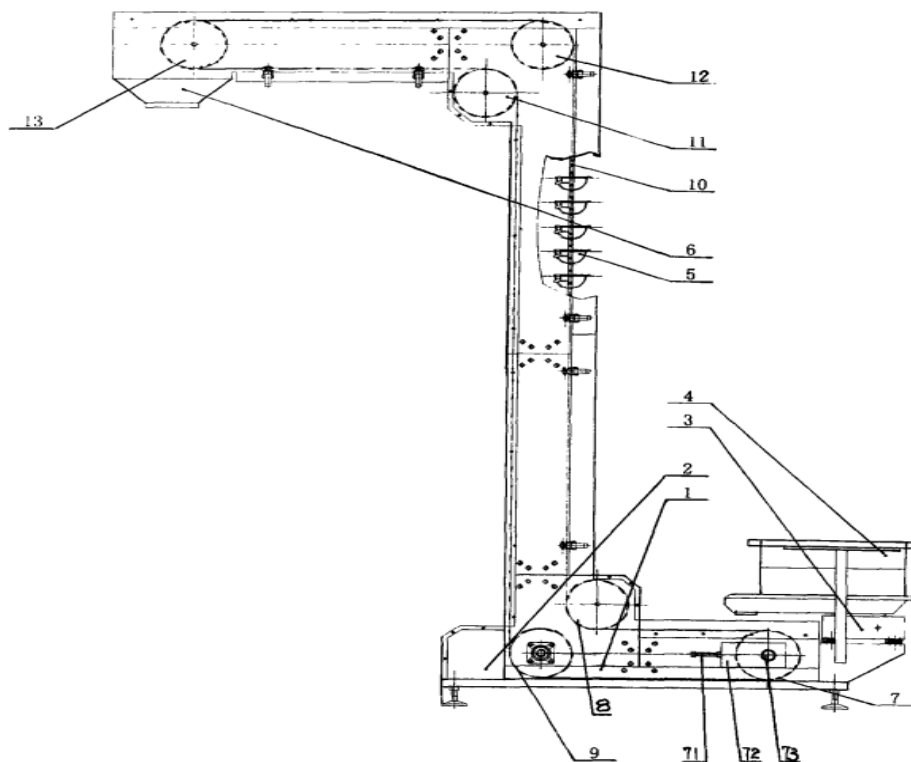


Рисунок 1.16- Патент CN201334231Y

Корисна модель належить до технічної галузі обладнання для підйому матеріалів і розкриває стрічковий ковшовий елеватор із регульованим натягом стрічки, який характеризується тим, що містить раму, на якій розташовані порт подачі та розвантажувальний канал, приводний ролик і ведений ролик розташовані в рамі з можливістю обертання, ведучий ролик і ведений ролик намотані конвеєрною стрічкою, безліч бункерів розташовані на зовнішній стороні конвеєрної стрічки, ковшовий елеватор стрічкового типу також містить

телескопічну штангу яка встановлена в рамі парама, телескопічний стрижень спрямований на конвеєрну стрічку, опорний вал зведений на одному кінці конвеєрної стрічки та впирається у внутрішню сторону конвеєрної стрічки, приводний пристрій також розташований у рама та містить втулку та обертовий вал, втулка нерухомо з'єднана з рамою та ковзає з телескопічною штангою, обертовий вал перпендикулярний до телескопічної штанги, обертова рама встановлена на рамі, один кінець рама проходить через бічну стінку, і ефект ущільнення бічної стінки рами не пошкоджується.

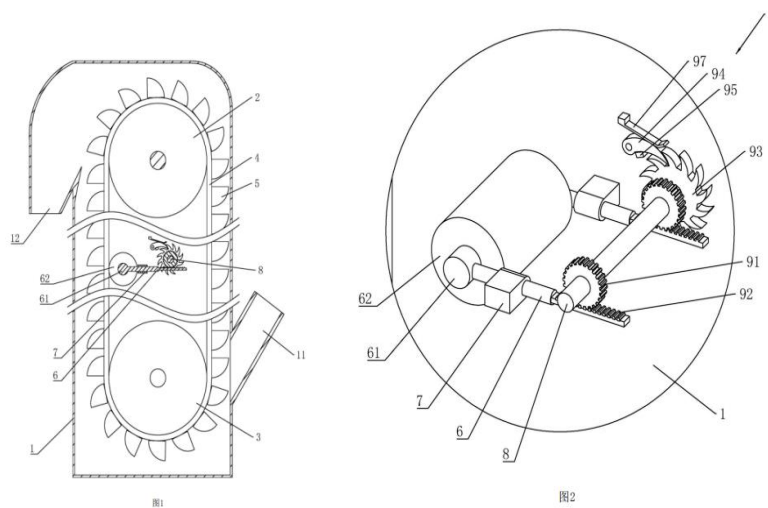


Рисунок 1.17- Патент [CN210028905U](#)

Корисна модель розкриває ковшовий елеватор, який містить ківш, в якому опори трансмісії розташовані симетрично з обох боків ківшів; ланцюгове колесо трансмісії розташоване на нижньому кінці кожної опори трансмісії; ланцюгові колеса трансмісії з'єднані через трансмісійний вал; на верхніх кінцях опор трансмісії відповідно розташовані натяжні колеса; затискні колеса з'єднані з опорним валом через підшипник; ланцюгові колеса трансмісії і натяжні колеса з'єднані з ланцюгами трансмісії оточуючим способом; кожна опора трансмісії забезпечена напрямною рейкою; верхній кінець напрямної рейки проходить до вихідного кінця згинаючи; дві сторони нижньої частини

ківшів відповідно з'єднані з відповідними передавальними ланцюгами; ролики розташовані з двох сторін верхньої частини ківшів; ролики розташовані в напрямній рейці; і трансмісійний вал приводиться в обертання через приводний механізм. Елеватор ковшового типу підходить для умов, коли різниця висот підйому матеріалу є великою, і матеріал важко транспортувати; опори трансмісії узгоджуються з напрямними, матеріал може бути піднятий вертикально або під різними кутами ковшем; вивантажуваний матеріал можна повернути на кінці розвантаження; і структура ковшового елеватора займає менше місця, а ковшовий елеватор зручний в експлуатації.

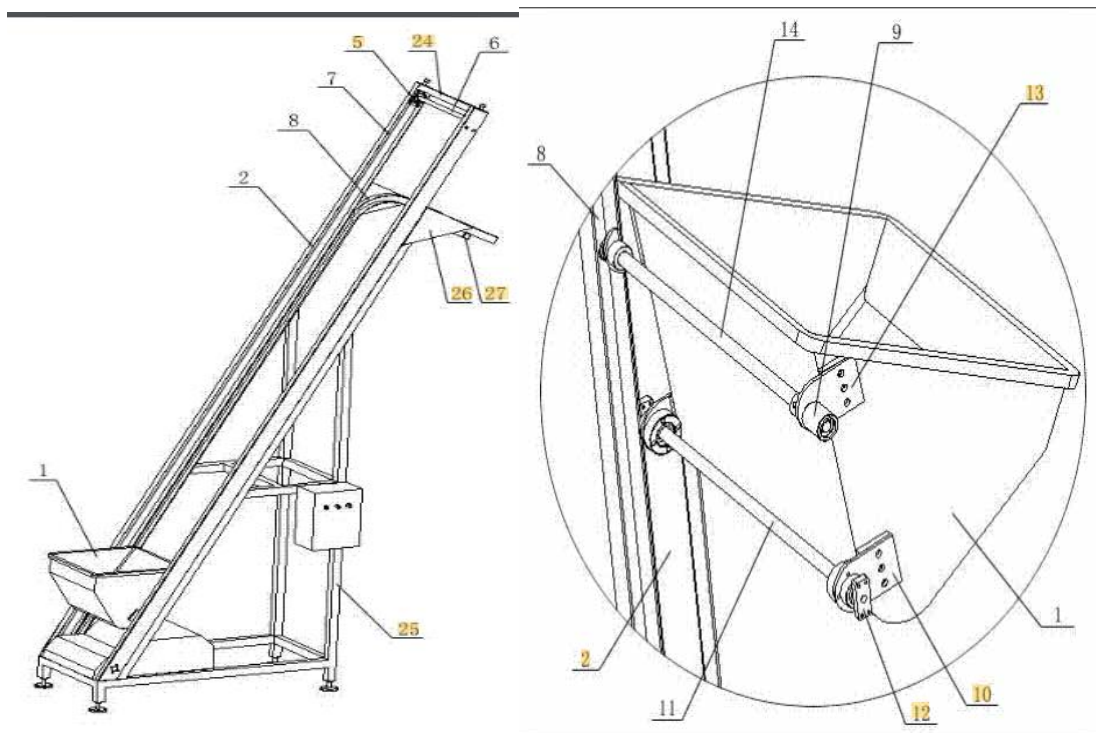


Рисунок 1.18- Патент [CN202967332U](#)

## РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ

### 2.1. Морфологічний аналіз.

Альтернативні варіанти	Функціональні елементи						
	Джерело енергії руху	Захист механізмів від перевантаження	Поглинання енергії руху ланок системи	Передавальний пристрій	Тип тягового органу	Тип ковша	Натяжний механізм
1.	Електродвигун постійного струму	Інвертори частоти	Дискове гальмо	Редуктор	Ланцюг	3 Пластинчатим дном	Роликовий
2.	Електродвигун змінного струму	частотні перетворювачі	Барабанне гальмо	Пасова передача	Стрічка	3 округлим дном	Гідравлічний
3.	Гідравлічний привід	Системи управління з програмованим керуванням	Гідравлічне гальмо	Ланцюгова передача		3 зубчатим дном	Ваговий блок
4.	Пневматичний привід	Механічні або електромагнітні обмежувачі	Пневматичне гальмо			3 гнучким дном	Пневматичний
5.	Гібридний	Системи управління з програмованим керуванням	Електромагнітне гальмо			Ковші з складним дном (додат. виступи, тощо)	Пружини або ролики

Для розробки нової конструкції ківшового конвеєра розроблена морфологічна таблиця можливих варіантів ковшових конвеєрів. Для розробки морфологічної таблиці спочатку визначили функціональні елементи, які необхідні для вертикального транспортування зернових матеріалів. До цих елементів відносяться: 1) джерело енергії руху; 2) захисний пристрій від перевантажень механізмів конвеєра; 3) пристрій для поглинання кінетичної енергії ланок конвеєра; 4) пристрій для зміни частоти обертання вихідного елемента приводного механізму; 5) пристрій для перетворення обертального руху в поступальний рух виконавчого органу; 6) тип тягового органу; 7) тип робочого органу; 8) пристрій для забезпечення натягу тягового органу. Для кожного функціонального елемента запропонована множина технічних рішень, які можуть виконувати вказану функцію. Вибираючи для кожного функціонального елемента один з варіантів технічних рішень, отримують можливий варіант конструкції ковшового конвеєра. Виходячи з наведеної морфологічної таблиці можна отримати 18750 варіантів конструкції ковшового конвеєра для транспортування зерна.

$$N=5*5*5*3*2*5*5=18750.$$

## 2.2. Вихідні дані для розрахунку

Вантаж – зерно, пшениця.

Характеристики вантажу:

1. насипна щільність  $\rho = 0.75 \text{ т/м}^3$ ;
2. група абразивності А (мала абразивність);
3. Продуктивність (табл. Е.1)  $Q = 25 \text{ т/год}$ .
4. Висота підйому  $H = 30 \text{ м}$ .

## 2.3. Задача розрахунку

Розрахувати за вихідними даними потужність приводу вертикального ківшового елеватора для забезпечення підйому вказаного вантажу на задану висоту, а також здійснити розрахунки складових елементів конвеєра.

## 2.4. Визначення характеристик елеватора і ківшів

Для транспортування харчового зерна вибираємо швидкохідний стрічковий елеватор з відцентровим розвантаженням з глибокими ківшами (тип Г) з коефіцієнтом заповнення  $\psi = 0,75$  і швидкістю руху вантажу  $v = 1,6$  м/с.

За наведеною нижче формулою розраховуємо необхідну лінійну ємність ківшів:

$$i_n = \frac{Q}{3,6 * v * \psi * \rho} = \frac{25}{3,6 * 1,6 * 0,75 * 0,75} = 7,71 \text{ л/м}$$

де  $i_n$  – лінійна ємність ківшів, л/м;

$Q$  – продуктивність ківшового елеватора, 25 т/год;

$v$  – швидкість руху вантажу, 1,6 м/с ;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення ківшів, 0,75 ;

$\rho$  – насипна щільність вантажу, 0,75 т/м<sup>3</sup>.

Вибираємо найближче більше значення  $i_n = 8$  л/м і для цього значення для ківшів типу Г  $i_0 = 4,0$  л, крок ківшів  $a = 0,5$  м, а за табл. Е.5 – розміри ківшів для ємності 4,0 л:  $B = 320$  мм;  $L = 175$  мм;  $H = 190$  мм;  $R = 55$  мм.

Для ширини ківшів  $B = 320$  мм вибираємо гумотканинну стрічку шириною 400 мм з чотирма прокладками з тканини БКНЛ-65. Маса 1 м<sup>2</sup> вибраної стрічки складає 8,2 кг. При ширині ківшів  $B_c = 0,4$  м (400 мм) поверхню 1 м<sup>2</sup> ця стрічка буде мати при довжині  $1 / 0,4 = 2,5$  м. Тоді лінійна маса стрічки складе  $q_c = 8,2 / 2,5 = 3,28$  кг/м.

Маса одного з ківшів типу Г ( $B = 320$  мм) дорівнює  $m_k = 4,4$  кг.

## 2.5. Визначення лінійної маси рухомих частин елеватора

Лінійну масу рухомих частин елеватора визначаємо за наступною формулою

$$q_0 = q_c + \frac{k_k * m_k}{a} = 3,28 + \frac{1,14 * 4,4}{0,5} = 13,31 \frac{\text{кг}}{\text{м}}$$

де  $q_0$  – лінійна маса рухомих частин елеватора, кг/м;  
 $q_c$  – лінійна маса стрічки, 3,28 кг/м (розрахована величина);  
 $k_k$  – коефіцієнт, що враховує масу кріпильних деталей,  $k_k \approx 1,14$ ;  
 $m_k$  – маса ківша типу Г, дорівнює 4,4 кг при ширині  $B = 320$  мм;  
 $\alpha$  – крок ківшів, 0,5 м.

## 2.6. Визначення лінійної маси вантажу

Лінійну масу вантажу визначаємо за наступною формулою

$$q_v = \frac{Q}{3,6 * v} = \frac{25}{3,6 * 1,6} = 4,34 \text{ кг/м},$$

де  $q_v$  – лінійна маса вантажу, кг/м;  
 $Q$  – продуктивність елеватора, 25 т/год (вихідні дані);  
 $v$  – швидкість руху вантажу, 1,6 м/с (прийнята величина).

## 2.7. Тяговий розрахунок ківшового елеватора

Розрахунок виконуємо методом обходу за контуром.

Відповідно до розрахункової схеми найменший натяг стрічки слід очікувати в точці 2. Він дорівнює не менше 1000–2000 Н. Приймаємо натяг стрічки в точці 2

$$S_2 = S_{min} = 1500 \text{ Н}.$$

Визначаємо натяг стрічки в точці 3

$$S_3 = K_{2-3} * S_2 + k_{зач} * q_v * g = 1,05 * 1500 + 3 * 4,34 * 9,81 = 1702,7 \text{ Н},$$

де  $S_3$  – натяг стрічки в точці 3, Н;

$K_{2-3}$  – коефіцієнт опору на барабані, 1,05;

$S_2$  – натяг стрічки в точці 2 становить 1500 Н;

$k_{зач}$  – коефіцієнт зачерпування, 3,0 (табл. Е.9);

$q_{\text{в}}$  – лінійна маса вантажу, 4,34 кг/м (розрахована величина);

$g$  – пришвидшення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>. Визначаємо натяг стрічки в точці 4

$$S_4 = S_{\text{max}} = S_3 + (q_{\text{в}} + q_0) * g * H = 1702,7 + (4,34 + 13,31) * 9,81 * 30 = 6897,1 \text{ Н}$$

,

де  $S_4$  – натяг стрічки в точці 4, Н;

$S_3$  – натяг стрічки в точці 3, 1702,7 Н;

$q_{\text{в}}$  – лінійна маса вантажу, 4,34 кг/м;

$q_0$  – лінійна маса рухомих частин елеватора, 13,31 кг/м (розрахована величина);

$g$  – пришвидшення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$H$  – висота підйому елеватора, 30 м.

Визначаємо натяг стрічки в точці 1

$$S_1 = S_{\text{зб}} = S_2 + q_0 * g * H = 1500 + 13,31 * 9,81 * 30 = 5471,1 \text{ Н,}$$

де  $S_1$  – натяг стрічки в точці 1, Н;

$S_2$  – натяг стрічки в точці 2, 1500 Н;

$q_0$  – лінійна маса рухомих частин елеватора, 13,31 кг/м;

$g$  – пришвидшення вільного падіння, 9,81 м/с<sup>2</sup>;

$H$  – висота підйому елеватора, 30 м .

Для стрічкового елеватора для запобігання ковзання стрічки по барабану необхідно, щоб виконувалася наступна умова

$$S_{нб} = S_4 \leq S_1 * \frac{e^{\mu * \alpha}}{k_{зч}},$$

$$6897,1 \leq 5417,1 \cdot 1,25 \Rightarrow 6897,1 \leq 11094 \text{ (умова виконується),}$$

де  $S_4$  – натяг стрічки в точці 4, 6897,1Н;

$S_1$  – натяг стрічки в точці 1, 5417,1 Н;

$e^{\mu * \alpha}$  – коефіцієнт опору при куті обхвату барабану  $\alpha = 180^\circ$  для сталюого барабану і сухої атмосфери, 2,56;

$k_{зч}$  – коефіцієнт запасу зчеплення стрічки з барабаном, є 1,25.

## 2.8. Перевірка прийнятої попередньо кількості прокладок стрічки

Розрахункова кількість прокладок з тканини БКНЛ-65 для гумотканинної стрічки визначається наступним чином

$$i_{п} = \frac{C_{м} * S_{max}}{B_{с} * \sigma_{р} * k_{отв}} = \frac{10 * 5191,8}{400 * 65 * 0,9} = 2,22$$

де,  $C_{м}$  – коефіцієнт запасу міцності, 10;

$S_{max}$  – максимальний натяг стрічки, 5191,8 Н;

$B_{с}$  – ширина стрічки, дорівнює 400 мм ;

$\sigma_{р}$  – міцність тканини стрічки за основою, 65 Н/мм;

$k_{отв}$  – коефіцієнт, що враховує ослаблення стрічки отворами під болти кріплення ківшів 0,9.

Умова міцності виконується. Остаточо приймаємо 4 прокладки в гумотканинній стрічці.

## 2.9. Розрахунок діаметра привідного барабану

Визначаємо діаметр привідного барабану за (7.10) за наступною формулою

$$D_{\text{п}} \geq i * k_1 * k_2 = 4 * 100 * 1,25 = 500 \text{ мм},$$

де  $D_{\text{п}}$  – діаметр привідного барабану, мм;

$i$  – кількість прокладок в гумотканинній стрічці, 4;

$k_1$  – коефіцієнт, що враховує зусилля в місці дії максимального зусилля від натягу стрічки, 100;

$k_2$  – коефіцієнт, що враховує міцність тканинної прокладки, 1,25 для стрічки з міцністю прокладки 65 Н/мм.

Перевірка елеватора за умовою розвантаження.

Оскільки був вибраний швидкохідний стрічковий елеватор з відцентровим розвантаженням, то за наступною формулою будемо мати

$$D_{\text{п}} \leq 0,204 * v^2 = 0,204 * 1,6^2 = 0,522 \text{ м} = 522 \text{ мм},$$

де  $D_{\text{п}}$  – діаметр привідного барабану, мм;

$v$  – швидкість руху вантажу 1,6 м/с.

$$500 \leq 522.$$

Умова виконується, тобто відцентрове розвантажування забезпечується.

Визначення тягового зусилля на привідному барабані

Розраховуємо тягове зусилля на привідному барабані за наступною формулою

$$W_0 = S_4 - S_1 = 5191,8 - 3958,6 = 1233,2 \text{ Н},$$

де  $W_0$  – тягове зусилля на привідному барабані, Н;

$S_4$  – натяг стрічки в точці 4, 5191 Н;

$S_1$  – натяг стрічки в точці 1 3958 Н .

## 2.10. Визначення характеристик приводу

Потужність електродвигуна визначаємо за формулою за наступною залежністю

$$N_{ед} = \frac{k_з * W_0 * v}{\eta_м} = \frac{1,2 * 1233,2 * 1,6}{0,94} = 2518,9 \text{ Вт},$$

де  $N_{ед}$  – потужність двигуна, Вт;

$k_з$  – коефіцієнт запасу, 1,2;

$W_0$  – тягове зусилля на привідному барабані, 1233,2 Н;

$v$  – швидкість руху вантажу, 1,6 м/с;

$\eta_м$  – коефіцієнт корисної дії привідного механізму елеватора, 0,94 .

З літератури вибираємо за потужністю асинхронний електричний двигун з короткозамкненим (до 100 кВт) або фазним ротором, з мінімальною частотою обертання.

Вибираємо асинхронний електричний двигун з короткозамкненим ротором АИР112МВ6:  $N_{ном} = 4,0 \text{ кВт}$ ;  $n_{ед} = 750 \text{ хв}^{-1}$

Визначаємо частоту обертання привідного барабану за наступною формулою

$$n_б = \frac{60 * v}{\pi * D_п} = \frac{60 * 1,6}{3,14 * 0,5} = 61,15 \text{ хв}^{-1},$$

де  $n_б$  – частота обертання привідного барабану, хв-1;

$v$  – швидкість руху вантажу, 1,6 м/с;

$D_п$  – діаметр привідного барабану, дорівнює 0,5 м (розрахована величина). Визначаємо необхідне передаточне число привідної станції за рівнянням

$$U_{\text{пр}} = \frac{n_{\text{ед}}}{n_{\text{б}}} = \frac{750}{61,15} = 12,26,$$

де  $U_{\text{пр}}$  – необхідне передаточне число привдної станції;

$n_{\text{ед}}$  – частота обертання валу електродвигуна,  $750 \text{ хв}^{-1}$ ;

$n_{\text{б}}$  – частота обертання привідного барабану елеватора, дорівнює  $61,15 \text{ хв}^{-1}$ .

За передаточним числом обираємо редуктор типу 1Ц2У або КЦ.

Вибираємо редуктор типу 1Ц2У-160 з передаточним числом  $U_{\text{ред}} = 12,6$ .

Визначаємо швидкість руху вантажу за наступною формулою

$$v_{\text{ф}} = v * \frac{U_{\text{пр}}}{U_{\text{ред}}} = 1,6 * \frac{12,26}{12,6} = 1,55 \text{ м/с},$$

де  $v_{\text{ф}}$  – фактична швидкість руху вантажу, м/с;

$v$  – швидкість руху вантажу,  $1,6 \text{ м/с}$  ;

$U_{\text{пр}}$  – передаточне число привдної станції, дорівнює  $12,26$ ;

$U_{\text{ред}}$  – фактичне передаточне число редуктора,  $12,6$ .

Розраховуємо продуктивність елеватора за наступною формулою

$$Q_{\text{ф}} = 3,6 * i_n * \psi * \rho * v_{\text{ф}} = 3,6 * 8 * 0,75 * 0,75 * 1,55 = 25,11 \text{ т/год},$$

де  $Q_{\text{ф}}$  – фактична продуктивність елеватора, т/год;

$i_n$  – лінійна ємність ківшів,  $8 \text{ л/м}$  ;

$\psi$  – коефіцієнт заповнення ківшів,  $0,75$  ;

$\rho$  – насипна щільність вантажу,  $\epsilon 0,75 \text{ т/м}^3$ ;

$v_{\text{ф}}$  – швидкість руху вантажу,  $1,55 \text{ м/с}$ .

Отримана фактична продуктивність елеватора дещо вища за задану у вихідних даних. Зменшити її можливо шляхом проведення розрахунку при меншій швидкості руху вантажу  $v$ .

## РОЗДІЛ 3. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ РУХУ КОВШОВОГО КОНВЕЄРА

### 3.1. Динамічна модель конвеєра

При пуску та гальмуванні ковшового конвеєра в елементах конструкції, тяговому органі та елементах приводного механізму виникають підвищені динамічні навантаження. Для визначення характеру зміни та максимальних значень динамічних навантажень необхідно провести динамічний аналіз руху ковшового конвеєра при транспортуванні зернових вантажів. В стрічці ковшового конвеєра має місце нерівномірний рух, який викликаний коливаннями вантажу в процесі руху. Наявність нерівномірного руху стрічки з вантажем приводить до виникнення додаткових динамічних навантажень в елементах конструкції та приводі ковшового конвеєра. Динамічні навантаження зменшують надійність елементів конструкції ковшового конвеєра і призводять до його руйнування. Також збільшуються енергетичні витрати, які йдуть на руйнування конструкції ковшового конвеєра.

При динамічних розрахунках ковшового конвеєра переходять від реальної конструкції до динамічної моделі. В динамічній моделі нехтують характеристиками та елементами, які є несуттєвими для динамічного розрахунку ковшового конвеєра. При цьому використовують дискретні динамічні моделі. При побудові таких моделей ковшового конвеєра враховують зосереджені маси, пружність елементів, залежності рушійних та гальмівних сил електродвигунів від частоти обертання приводного двигуна. Побудована динамічна модель ковшового конвеєра є основою для побудови математичної моделі. При побудові динамічної моделі ковшового конвеєра враховується основний рух приводного двигуна, який визначається приводним механізмом та коливні рухи, які виникають через наявність пружних властивостей окремих ланок (стрічки, муфт тощо). При побудові динамічної моделі вважаємо, що всі елементи ковшового конвеєра є абсолютно твердими ланками, окрім тягового органу (стрічки), яка володіє пружними властивостями. Тоді динамічна модель ковшового конвеєра буде мати дві ступені свободи і її можна представити двомасовою динамічною моделлю. Обидві маси динамічної моделі ковшового

конвеєра зведемо до приводного барабану. Оскільки барабан здійснює обертальний рух, то і зведені маси також обертаються. Ці маси моделі з'єднані пружним елементом, жорсткість якого залежить від жорсткості стрічки. На першу масу динамічної моделі діє рушійний момент приводного електродвигуна, зведений до осі повороту барабану, а на другу масу діє зведений до осі того ж барабану момент сил опору переміщенню стрічки з вантажем в ківшах. Зведений момент сил опору залежить від ваги вантажу в ківшах. До першої зведеної маси динамічної моделі входять елементи ротора електродвигуна, передавального механізму та приводний барабани, а до другої зведеної маси входить стрічка з ківшами і вантажем та натяжний барабан. Для прийнятої динамічної моделі ковшового конвеєра необхідно знайти динамічні параметри: зведені моменти інерції першої та другої зведених мас; коефіцієнт жорсткості пружної стрічки; залежність рушійного моменту електродвигуна від частоти обертання ротора, а також залежність зведеного моменту сил опору ковшового конвеєра. Для дослідження динаміки руху ковшового конвеєра двомасова динамічна модель зі зведеними до осі приводного барабану дискретними обертальними масами показана на рис. 3.1.

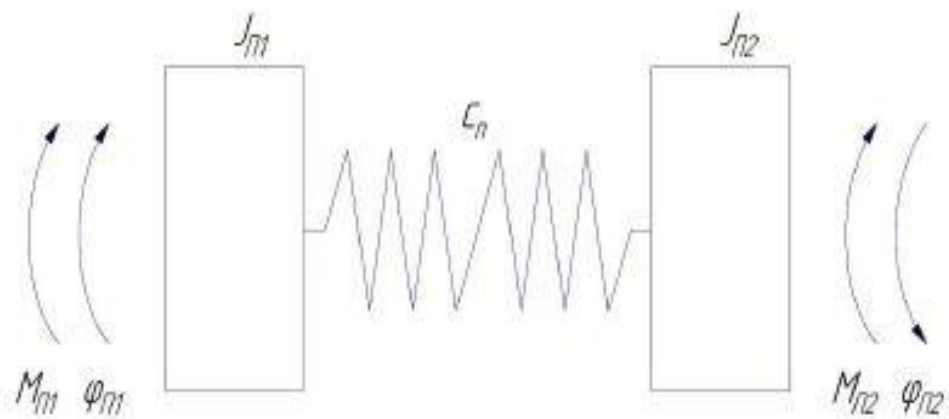


Рисунок 3.1 – Динамічна модель ковшового конвеєра

На рис. 3.1 прийняті такі позначення:  $J_{П1}$  та  $J_{П2}$  - зведені моменти інерції першої та другої частин динамічної моделі;  $C_n$  - коефіцієнт жорсткості пружного елементу, що з'єднує зведені маси ;  $M_{П1}$  та  $M_{П2}$  - зведені рушійні

моменти першої та другої зведених мас динамічної моделі;  $\varphi_{П1}$  - кутова координата повороту першої зведеної маси (приводного барабана);  $\varphi_{П2}$  - кутова координата другої зведеної маси (натяжного барабану).

До першої частини моделі входять електродвигун муфта з гальмівним шківом, редуктор і приводний барабан,. До другої частини моделі входять стрічка з ківшами і вантажем, а також натяжний барабан В представлений динамічній моделі конвеєра необхідно визначити її параметри: зведені моменти інерції, коефіцієнт пружності стрічки, рушійний момент приводного двигуна та момент сил опору, що зведені до другої маси.

Розраховуючи момент інерції першої частини системи механізму  $J_{П1}$ , прирівнюємо кінетичну енергію першої частини реальної системи ( $T_1$ ) до кінетичної енергії моделі  $T_{екв}$  першої частини системи:

$$T_1 = T_{екв}. \quad (3.1)$$

Для визначення приведених моментів інерції  $J_{п1}$  та  $J_{п2}$  знайдемо значення зведених моментів інерції окремих елементів конвеєра.

Визначимо значення зведеного моменту інерції першої маси  $J_{п1}$

$$J_{п1} = (J_0 + J_1 + J_2)U^2 = (0.25 + 0.002 + 0.152) \cdot 3.3^2 = 4,6 \text{ кг} \cdot \text{м}^2, \quad (3.2)$$

де  $U = 3.3$  – передаточне число приводного механізму.

Знайдемо значення зведеного моменту інерції другої маси  $J_{п2}$

$$J_{п2} = (J_4 + J_5 + J_6)U^2 = (0.44 + 0.44 + 18.47) \cdot 3.3^2 = 19,35 \text{ кг} \cdot \text{м}^2 \quad (3.3)$$

Рушійний момент електродвигуна залежить від його кутової швидкості і визначається рівнянням Клосса:

$$M_{дв.} = \frac{2M_{\max} \cdot U \cdot \eta}{\frac{S}{S_{кр.}} + \frac{S_{кр.}}{S}}, \quad (3.4)$$

де  $S$  ,  $S_{кр.}$  - ковзання та критичне ковзання електродвигуна відповідно.

Максимальний момент електродвигуна визначається за такою формулою

$$M_{max} = \lambda \cdot M_H = 2.8 \cdot 273 = 764.4 \text{ н} \cdot \text{кг}.$$

Ковзання та критичне ковзання визначаються за наступними формулами:

$$S = 1 - \frac{g_1 \cdot U}{\omega_H};$$

$$S_{кр} = S_{ном} \cdot (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}),$$

де  $\lambda = 2.8$  - кратність максимального моменту електродвигуна

Номинальне та критичне ковзання приймають такі значення:

$$S_H = 1 - \frac{\omega_H}{\omega_0} = \frac{14.65}{15.7} = 0.06;$$

$$S_{кр} = 0.06 \left( 2.8 + \sqrt{2.8^2 - 1} \right) = 0.32.$$

Зведений момент сил другої маси визначається наступною залежністю

$$M_{п2} = \frac{(F_{н6} - F_{з6}) D^4}{2} = \frac{2202.5 \cdot 0.46^2}{2} = 506.6 \text{ Н} \cdot \text{м}. \quad (3.5)$$

Коефіцієнт жорсткості пружного елемента (стрічки) визначається залежністю

$$C = \frac{M_H}{\Delta\varphi}, \quad (3.6)$$

$$\text{де } \Delta\varphi = 1^\circ$$

$$\Delta\varphi = \frac{3.14 \cdot 1}{180} = 0.017 \text{ рад}$$

де  $\Delta\varphi$  - припустимий кут закручування барабана від розтягу стрічки, рад.

Тоді жорсткість стрічки (пружного елемента) приймає таке значення

$$C_H = \frac{273}{0.017} = 16060.8 \frac{\text{Н} \cdot \text{м}}{\text{рад}},$$

де  $C_H$  - жорсткість пружного елемента.

### 3.2. Математична модель ківшового конвеєра

Математична модель ківшового конвеєра являє собою систему диференціальних рівнянь, яку отримують на базі динамічної моделі. Динамічна модель відображає динамічні процеси роботи ківшового конвеєра, тому на її основі складаємо математичну модель. Для цього використаємо принцип динамічної рівноваги. У принципі Даламбера розглядається динамічна рівновага кожної з мас динамічної моделі з прикладеними до них усіма силами. Тому розчленуємо зведені маси динамічної моделі ківшового конвеєра на дві окремі маси з дією на них усіх активних сил, сил інерції зведених мас та сил реакції зв'язку між зведеними масами (рис.3.2).

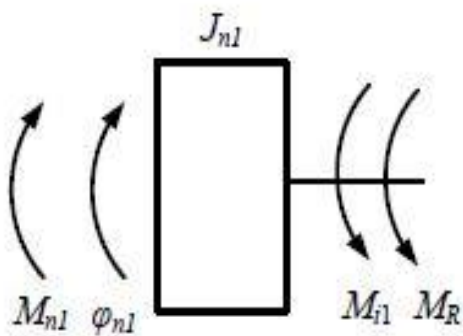


Рисунок 3.2 - Перша маса системи

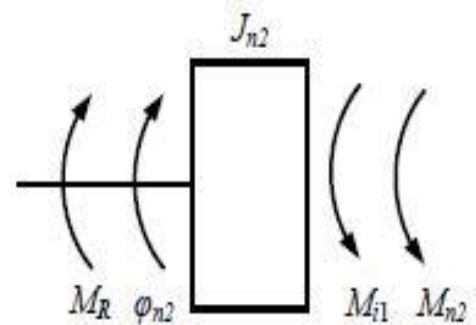


Рисунок 3.3 - Друга маса системи

У відповідності з принципом динамічної рівноваги для кожної зі зведених мас ківшового конвеєра отримуємо систему двох диференціальних рівнянь:

$$J_{n1} \ddot{\varphi}_1 = M_{n1} - c(\varphi_1 - \varphi_2);$$

$$J_{n2} \ddot{\varphi}_2 = c(\varphi_1 - \varphi_2) - M_{n2}, \quad (3.7)$$

де  $J_{n1}, J_{n2}$ - зведені моменти інерції першої та другої мас динамічної моделі ковшового конвеєра;  $M_{n1}, M_{n2}$  – зведені моменти рушійних сил приводу та сил опору переміщенню стрічки динамічної моделі ковшового конвеєра;  $c$  –

зведений коефіцієнт жорсткості пружних елементів (стрічки) конвеєра ;  $\varphi_1, \varphi_2$  - узагальнені координати першої та другої зведених мас динамічної моделі ковшового конвеєра.

Отримана система рівнянь (3.7) є системою двох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, яка описує динаміку руху ковшового конвеєра. Нелінійність системи диференціальних рівнянь викликана нелінійністю рушійного моменту приводу ковшового конвеєра (рис. 3,3).

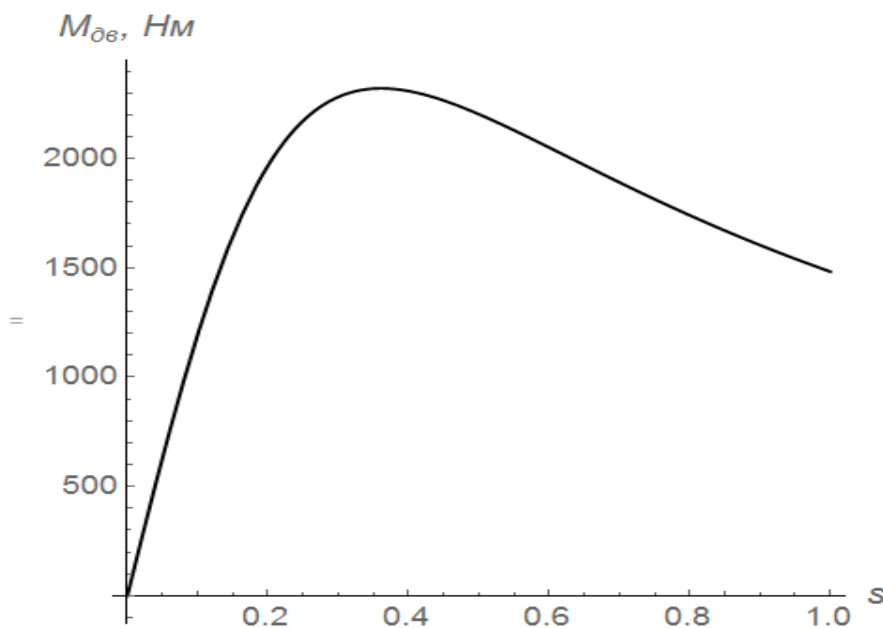


Рисунок 3.4 - Механічна характеристика приводу ковшового конвеєра

Оскільки механічна характеристика приводу ковшового конвеєра є нелінійною, тому систему диференціальних рівнянь (3.7) не вдається розв'язати аналітично. Для розв'язування рівнянь використаємо чисельні методи, які розроблені в програмному середовищі Wolfram Mathematica.

### 3.3. Результати динамічного аналізу ковшового конвеєра

В розділі були виконані розрахунки, необхідні для проведення динамічного аналізу ковшового конвеєра. Отримані вихідні дані, необхідні для розрахунку ковшового конвеєра. Для побудови графіків (рис.4.1-4.12) використовується побудована математична модель, яка описує динаміку руху ковшового конвеєра (рис.3.1) та отримані розраховані дані, які наведені у таблиці 4.1.

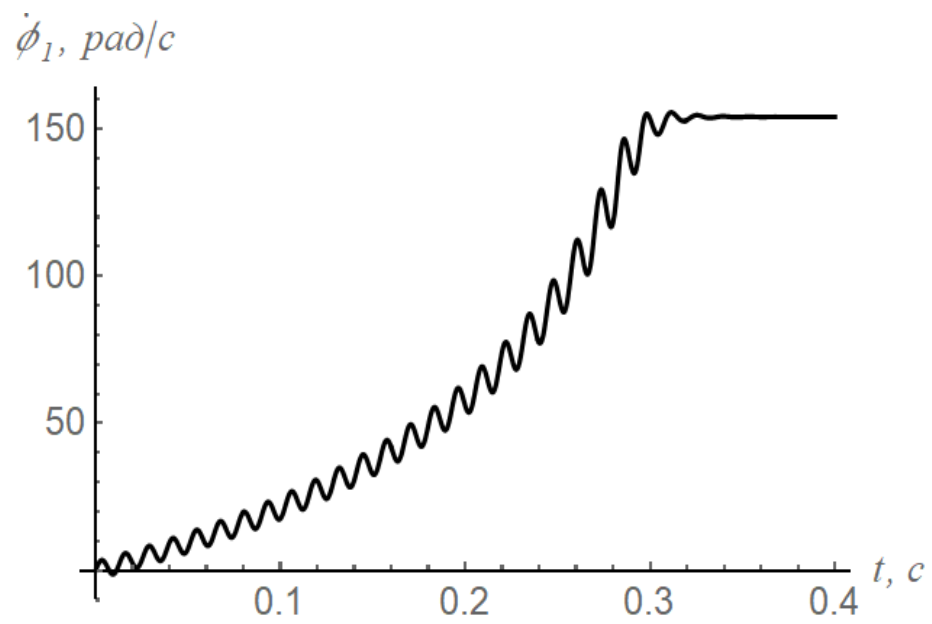


Рисунок 3.5 - Кутова швидкість першої зведеної маси ковшового конвеєра

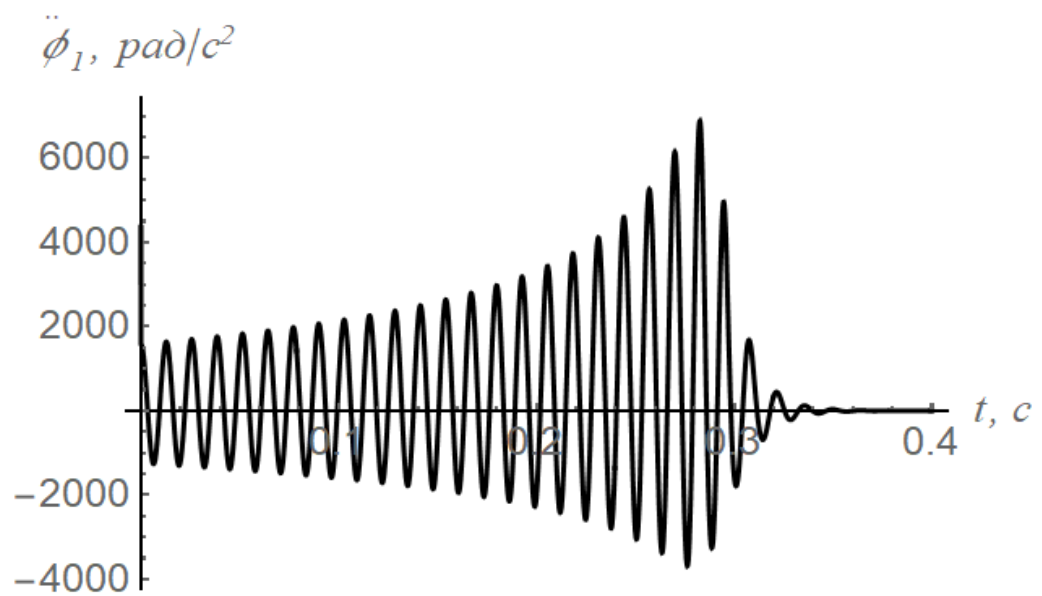


Рисунок 3.6 - Кутове пришвидщення першої зведеної маси

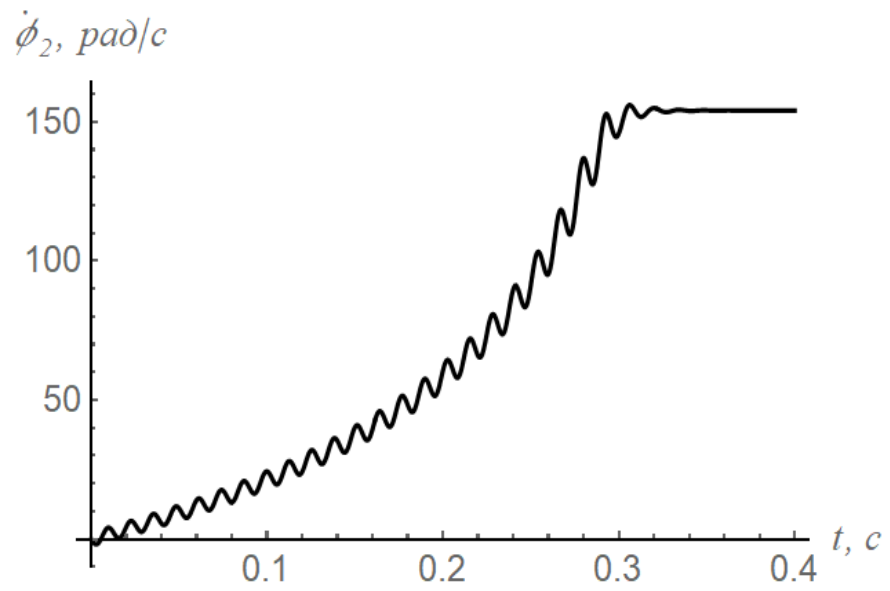


Рисунок 3.7 - Кутова швидкість другої зведеної маси ковшового конвеєра

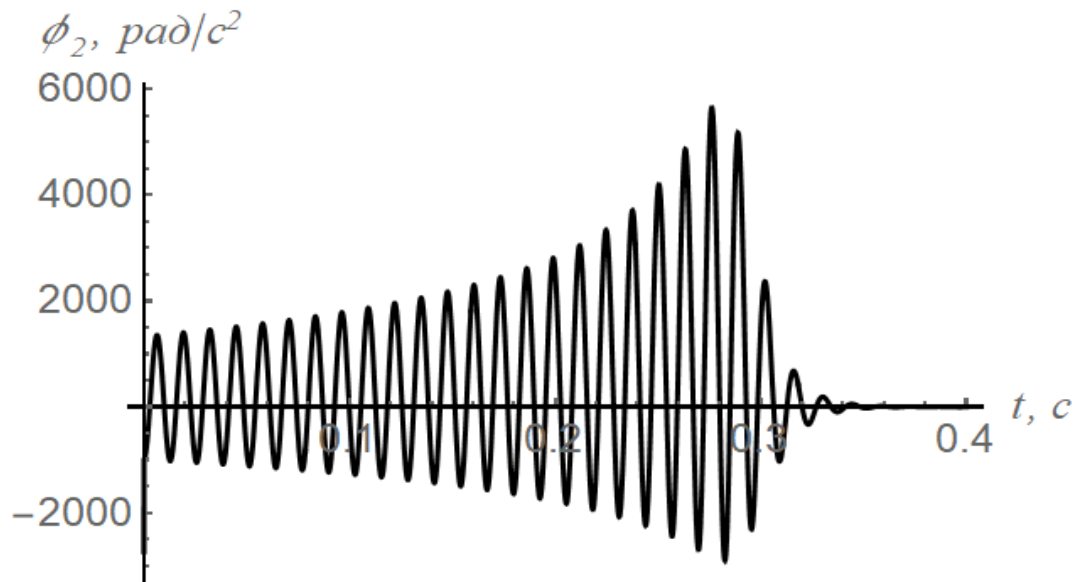


Рисунок 3.8 - Кутове пришвидщення другої зведеної маси ковшового конвеєра

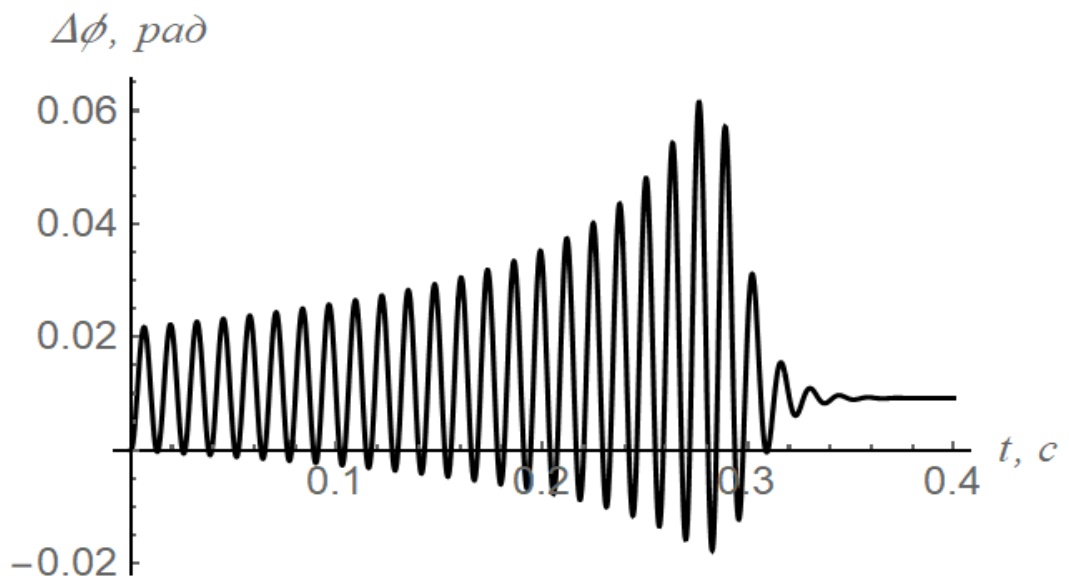


Рисунок 3.9 – Деформація стрічки зведена до приводного барабана

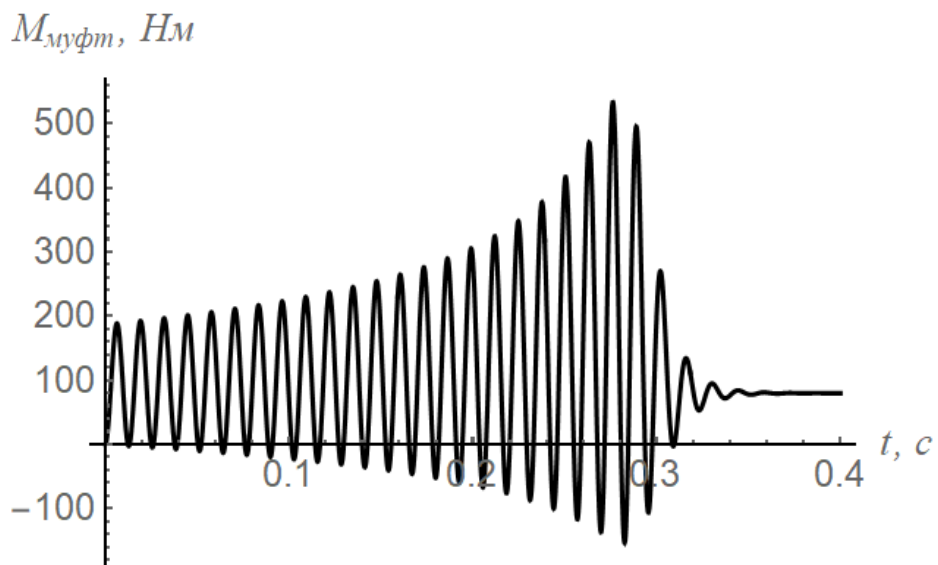


Рисунок 3.10 – Момент в пружному елементі динамічної моделі  
ковшового конвеєра

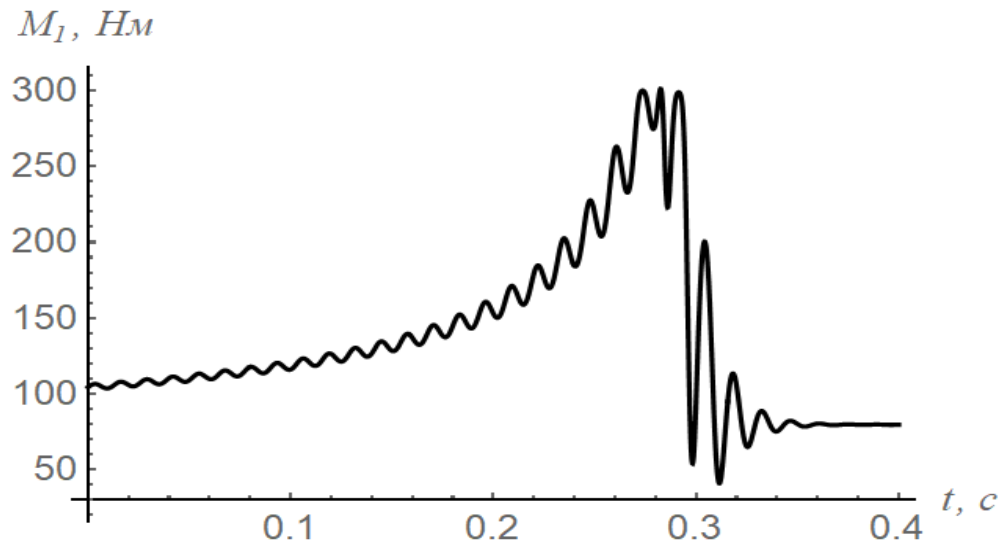


Рисунок 3.11 – Рушійний момент електродвигуна ковшового конвеєра

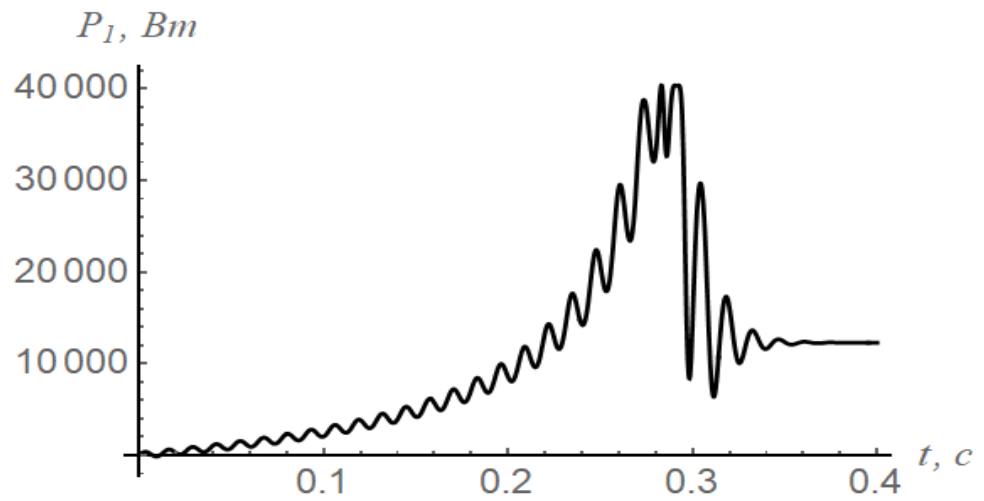


Рисунок 3.12 – Потужність на валу електродвигуна ковшового конвеєра

На основі проведених розрахунків побудовані графіки кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик ковшового конвеєра (рис.3.5 – 3.12), а також визначені їхні максимальні та середні значення (табл.3.1, табл.3.2).

Таблиця 3.1

**МАКСИМАЛЬНІ ЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК**

Величина	Значення
Коефіцієнт динамічності муфти	6,12
Перевантаження двигуна за потужністю	2,69
Максимальна кутова деформація муфти, град	3,51
Перевантаження двигуна за крутним моментом	1,39
Максимальне пришвидшення першої маси динамічної моделі	6882 рад/с <sup>2</sup>
Максимальне пришвидшення другої маси динамічної моделі	5655 рад/с <sup>2</sup>

Проаналізуємо динаміку роботи тягового органу (стрічки) ковшового конвеєра. Як видно із табл. 3.1., її коефіцієнт динамічності складає 6,12. Це означає, що максимальна деформація стрічки на стадії пуску, при коливаннях, в стільки разів більша за деформацію в усталеному режимі її роботи.

Таблиця 3.2

**СЕРЕДНІ ЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК**

Значення середнього крутного моменту у приводному двигуні	162,6 Н*м
Значення середньої потужності двигуна	14 128 Вт
Значення середньої деформації стрічки зведеної до повороту приводного барабана	1,07 град
Значення середнього крутного моменту на валу двигуна	147,2 Н*м
Значення середнього пришвидшення першої зведеної маси	1817 рад/с <sup>2</sup>
Значення середнього пришвидшення другої зведеної маси	1534 рад/с <sup>2</sup>

За результатами моделювання можна зробити висновок, що значення середньої потужності електродвигуна не перевищує номінальної, але максимальна потужність складає 40374 Вт, що перевищує номінальну в 2,69 рази, але ця зміна триває долі секунди.

Перевантаження електродвигуна за крутним моментом становить 1,39, що менше допустимого значення в 2,2. Це значить, що електродвигун працює в нормальному режимі.

Динамічний аналіз ковшового конвеєра проводиться з метою визначення максимальних навантажень на його ланки та характер їх зміни в перехідному процесі пуску. За результатами проведених розрахунків на графіках видні

коливальні процеси, які негативно впливають на надійність конструкції та приводу та конструкції ковшового конвеєра в цілому. Так, наприклад, значення крутних моментів в ланках виходять за рівень, при усталеній роботі ковшового конвеєра в декілька разів. Це необхідно враховувати в процесі проектування конвеєра, і при необхідності повторно розраховувати вузли ковшового конвеєра. Передавальний механізм приводу конвеєра також піддається значним коливанням з перевантаженнями.

Наведений динамічний аналіз ковшового конвеєра може слугувати основою для проведення розрахунків при його проектуванні, а також при впровадженні систем плавного пуску приводних механізмів,

## **РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ КОВШОВОГО КОНВЕЄРА**

### **4.1. Вибір критерію оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра**

З динамічного аналізу ковшового конвеєра при транспортуванні зернових матеріалів встановлено, що в приводному механізмі та тяговому органі (стрічці) виникають значні коливання кінематичних, силових та енергетичних характеристик. Амплітуда цих коливань є досить значною. Максимальні значення динамічних та енергетичних характеристик значно перевищують усталені значення. Виходячи з цього, є необхідність в зменшенні динамічних навантажень в приводному механізмі та тяговому органі ковшового конвеєра. Ці навантаження приводять до передчасного руйнування елементів приводного механізму та тягового органу (стрічки) ковшового конвеєра при транспортуванні зерна.

Зменшити динамічні навантаження в елементах ковшового конвеєра можна шляхом вибору режиму руху приводного механізму. Зменшення динамічних навантажень і усунення коливань в елементах приводу та тягового органу ковшового конвеєра можливе шляхом оптимізації режиму пуску приводного механізму. В тяговому органі ковшового конвеєра виникають найбільші навантаження та коливання ланок зі значною амплітудою саме на ділянці пуску. Коливання приводять до виникнення динамічних навантажень в елементах приводу та стрічки ковшового конвеєра. Динамічні навантаження впливають на втомне руйнування елементів приводу та тягового органу ковшового конвеєра, що знижує надійність та продуктивність його роботи.

Для оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра треба вибрати критерій оптимізації. Так як мають місце значні динамічні навантаження в приводі та стрічці ковшового конвеєра, то критерій повинен враховувати ці навантаження. Динамічні навантаження повинні враховуватись протягом всього пуску ковшового конвеєра, тому за критерій оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра оберемо пружне зусилля в тяговому органі (стрічці) на

всій ділянці пуску. Для оцінки режиму пуску критерій має виражатись конкретним числом у вигляді визначеного інтегралу.

Виходячи з проведеного аналізу, приходимо до висновку, що за критерій оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра доцільно використати середньоквадратичне значення пружного зусилля в стрічці, зведеного до моменту на приводному барабані ковшового конвеєра протягом процесу пуску. Описаний критерій математично буде мати такий вигляд

$$M_{pc} = \left( \frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} M_p^2 dt \right)^{\frac{1}{2}}, \quad (4.1)$$

де  $t$ ,  $t_1$  – час та тривалість пуску ковшового конвеєра;  $M_p$  – момент сили в пружній стрічці ковшового конвеєра зведений до приводного барабану. Так як критерій оптимізації відображає динамічні навантаження, які є небажаними для ковшового конвеєра, то він повинен підлягати мінімізації.

#### 4.2. Методика оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра

Для проведення процесу оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра побудуємо критерій, який необхідно мінімізувати за час пуску ковшового конвеєра. У вираз цього критерію повинен входити зведений момент сили в пружній стрічці ковшового конвеєра, тому визначимо його

$$M_p = c(\varphi_1 - \varphi_2), \quad (4.2)$$

де  $c$  – коефіцієнт жорсткості пружного елемента (стрічки) зведений до осі приводного барабана ковшового конвеєра;  $\varphi_1, \varphi_2$  – кутові координати першої та другої зведених мас динамічної моделі ковшового конвеєра.

З другого рівняння системи рівнянь (3.7) маємо

$$M_p = c(\varphi_1 - \varphi_2) = J_{p2} \ddot{\varphi}_2 + M_{p2}, \quad (4.3)$$

де  $J_{p2}$  – момент інерції другої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра для транспортування зерна;  $M_{p2}$  – зведений момент сил опору при переміщенні стрічки з ковшами та зерновим вантажем.

Знайдемо підінтегральний вираз критерію (4.1) з урахуванням залежності (4.3)

$$f = (J_{p2} \ddot{\varphi}_2 + M_{p2})^2. \quad (4.4)$$

Умовою мінімуму критерію (4.1), з урахуванням виразу (4.4), є рівняння Пуассона

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi_2} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{\varphi}_2} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial \ddot{\varphi}_2} = 0.$$

В результаті підстановки в рівняння Пуассона виразу (4.4) отримаємо умову мінімуму критерію (4.1),

$$2J_{p2}^2 \ddot{\varphi}_2 = 0. \quad (4.5)$$

Умова (4.5) справедлива тільки тоді, коли  $\ddot{\varphi}_2 = 0$ , оскільки інші складові не можуть дорівнювати нулю. Після послідовного інтегрування рівняння (4.5) будемо мати:

$$\begin{aligned} \ddot{\varphi}_2 &= C_1; \\ \dot{\varphi}_2 &= C_1 t + C_2; \\ \varphi_2 &= \frac{C_1 t^2}{2} + C_2 t + C_3; \\ \varphi_2 &= \frac{C_1 t^3}{6} + \frac{C_2 t^2}{2} + C_3 t + C_4. \end{aligned} \quad (4.6)$$

Тут  $C_1, C_2, C_3, C_4$  - постійні, що знаходяться з крайових умов руху ковшового конвеєра:

$$t=0: \varphi_2 = 0; \dot{\varphi}_2 = 0; t=t_1: \varphi_2 = \omega; \ddot{\varphi}_2 = 0. \quad (4.7)$$

В крайових умовах (4.7)  $\omega$  – усталена кутова швидкість приводного барабана ковшового конвеєра.

З крайових умов (4.7) та виразів (4.6) знайдемо постійні інтегрування:

$$C_1 = -\frac{2\omega}{t_1^2}; C_2 = \frac{2\omega}{t_1}; C_3 = 0; C_4 = 0. \quad (4.8)$$

Після підстановки виразів (4.8) в рівняння (4.6) знайдемо кінематичні характеристики оптимального динамічного режиму пуску ковшового конвеєра, які забезпечують бажану зміну пружного моменту в приводному барабані від пружності стрічки ковшового конвеєра.

З другого рівняння системи (3.7) виразимо координату першої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра, що описує приводний механізм

$$\varphi_1 = \varphi_2 + \frac{J_2}{c} \ddot{\varphi}_2 + \frac{M_{p2}}{c} \quad (4.9)$$

Після диференціювання за часом виразу (4.9), отримаємо кутові швидкість та пришвидшення обертання першої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра:

$$\dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 + \frac{J_{p2}}{c} \ddot{\varphi}_2 + \frac{M_{p2}}{c}; \quad (4.10)$$

$$\ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}_2 + \frac{J_{p2}}{c}. \quad (4.11)$$

Після цього визначимо зведений пружний момент на приводному барабані від пружності стрічки та рушійний момент приводу ковшового конвеєра:

$$M_p = J_{p2} \ddot{\varphi}_2 + M_{p2}; \quad (4.12)$$

$$M_d = J_{p1} \ddot{\varphi}_1 + J_{p2} \ddot{\varphi}_2 + M_{p2}, \quad (4.13)$$

де  $J_{p1}, J_{p2}$  – моменти інерції першої та другої зведених мас динамічної моделі ковшового конвеєра, які відображають привод і тяговий орган (стрічку) з ківшами та зерновим вантажем ковшового конвеєра;  $M_{p2}$  – зведений до приводного барабану момент сил опору стрічки з ківшами і вантажем;  $\omega$  –

кутова швидкість усталеного руху приводного барабана ковшового конвеєра

$t_1$  – тривалість пуску приводу ковшового конвеєра.

Визначимо потужність на приводному барабані ковшового конвеєра

$$P_d = M_d \dot{\varphi}_1.$$

### 4.3. Результати оптимізації режиму пуску ковшового конвеєра

На основі здійснених розрахунків математичної моделі ковшового конвеєра при оптимальному пуску побудовані графіки кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик ковшового конвеєра, які наведені на рис. 4.1, ..., рис. 4.8.

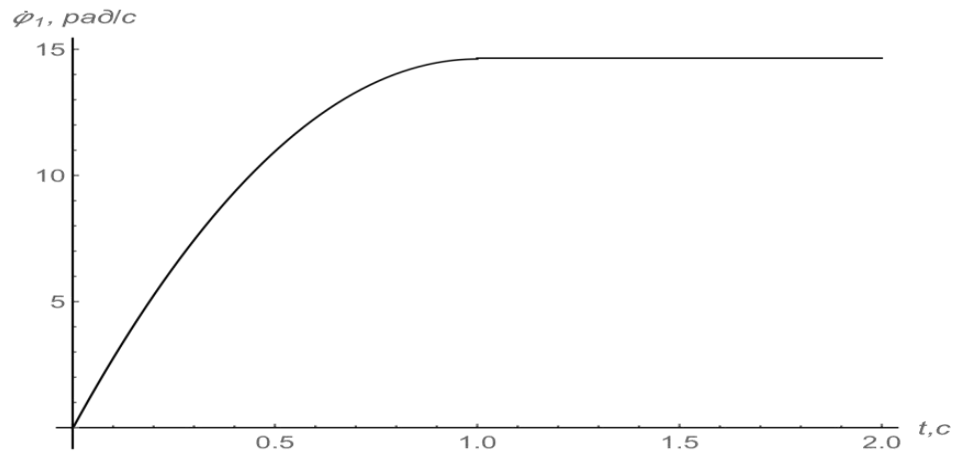


Рисунок 4.1- Графік кутової швидкості першої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра

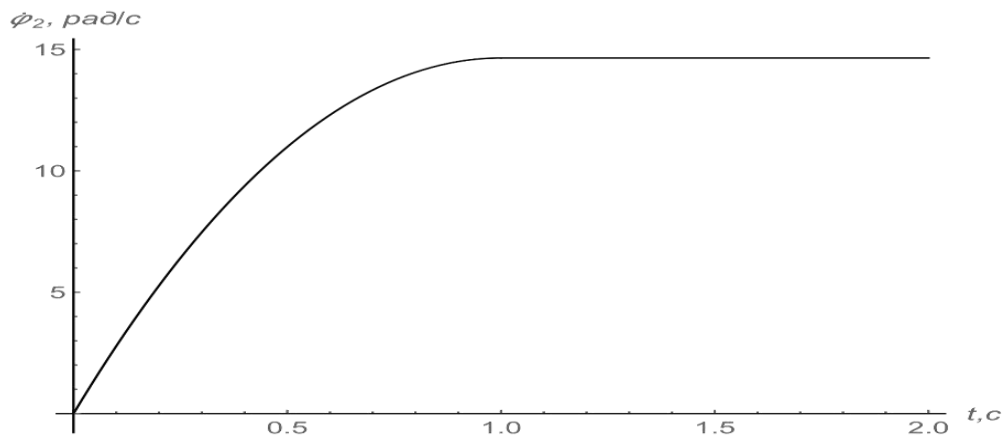


Рисунок 4.2- Графік кутової швидкості другої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра

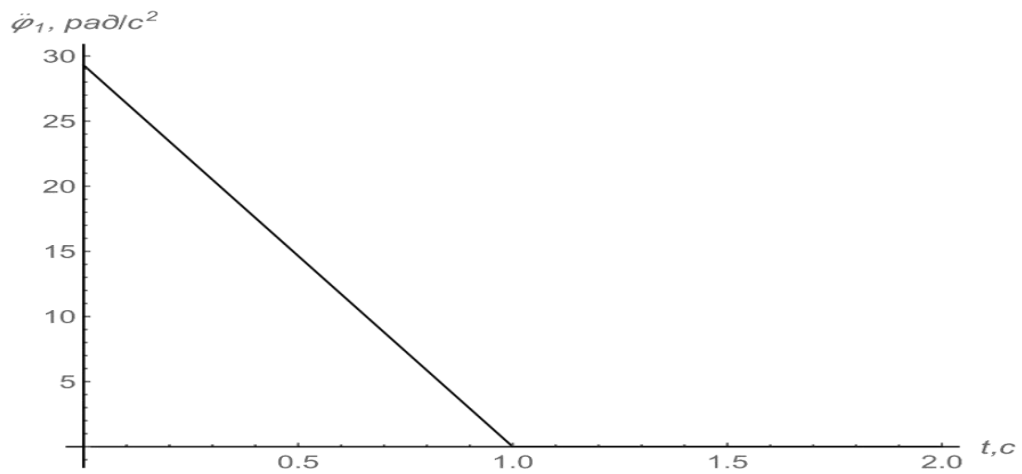


Рисунок 4.3- Графік пришвидження першої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра



Рисунок 4.4- Графік пришвидження другої зведеної маси динамічної моделі ковшового конвеєра

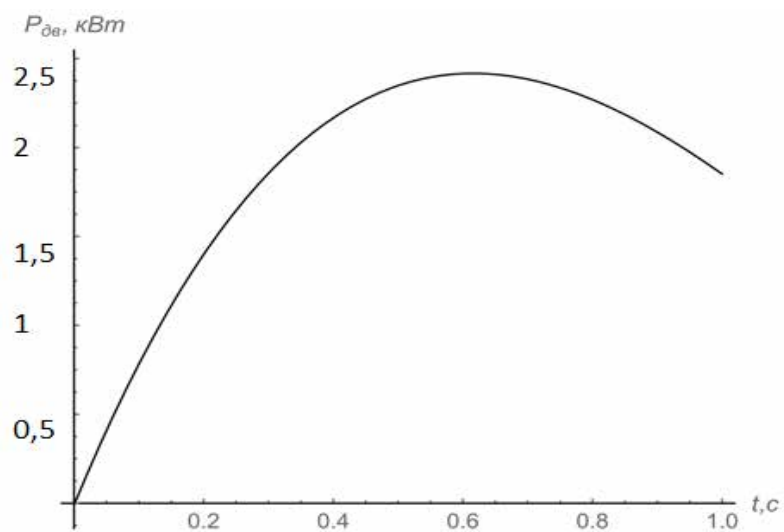


Рисунок 4.5 - Графік зміни потужності приводу ковшового конвеєра

З представлених вище графіків кінематичних, динамічних та енергетичних характеристик оптимального динамічного режиму пуску ковшового конвеєра видно, що при отриманому режимі відсутні коливання ланок ковшового конвеєра. Такий режим пуску мінімізує динамічні навантаження в елементах приводу та тягового органу (стрічці) ковшового конвеєра.

## РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.

Процес зберігання і переробки зерна супроводжується ризиком травмування працівників. Серед основних небезпек — можливість потрапляння у зернову масу або завалювання зерном, а також падіння з висоти або у відкриті люки бункерів та силосів. Окрім того, під час вантажно-розвантажувальних робіт на зернових складах також існує ризик травм. Небезпечні ситуації можуть виникати під час обслуговування стаціонарного зернового обладнання. Тому важливо забезпечити постійний контроль за діяльністю працівників і організувати процеси роботи з зерном відповідно до затверджених технологічних карт.

Для підтримання надійного рівня охорони праці та запобігання випадкам травматизму керівники зернозбиральних і зернопереробних підприємств повинні вжити такі заходи:

- Отримати необхідний допуск для виконання робіт, пов'язаних з підвищеною небезпекою, та зареєструвати декларацію про відповідність матеріально-технічної бази вимогам.
- Затвердити чіткі схеми обробки та переробки зерна.
- Забезпечити встановлення знаків безпеки та охорони здоров'я працівників для маркування небезпечних зон у відповідності до Технічного регламенту.
- Проводити атестацію робочих місць з урахуванням умов праці, де технологічний процес, обладнання, сировина або матеріали можуть бути джерелами шкідливих та небезпечних виробничих факторів, які загрожують здоров'ю працівників.
- Створити плани для швидкої локалізації та ліквідації надзвичайних ситуацій та аварій.
- Розробити графіки для очищення виробничих приміщень від пилу.

- Щоквартально проводити тренінги для персоналу та відпрацьовувати можливі дії працівників у випадку виникнення надзвичайних ситуацій техногенного характеру.
- Організовувати навчання і перевірку знань з охорони праці для посадових осіб та працівників, які виконують роботи з підвищеною небезпекою.
- Призначати відповідальних осіб за виконання специфічних робіт, пов'язаних із підвищеною небезпекою, серед тих, хто пройшов відповідне навчання з охорони праці.
- Організовувати обов'язкові попередні (при прийомі на роботу) та періодичні медичні огляди працівників.
- . Забезпечити співробітників спеціальним одягом, взуттям та іншими засобами індивідуального захисту відповідно до галузевих стандартів.
- Регулярно проводити профілактичні вимірювання опору заземлюючих пристроїв і ізоляції електричних мереж, а також обладнати зерносклади системами блискавкозахисту та перевіряти безпечний стан електроустановок.
- Контролювати наявність захисних огорож на рухомих частинах виробничого обладнання та натяжних пристроях конвеєрів.
- Перевіряти справність засобів аварійної зупинки конвеєрів в зернових складах.
- Виконання робіт у силосах, бункерах та інших закритих ємностях має здійснюватися лише за наявності наряду-допуску.
- Розпочинати роботи тільки після провітрювання та перевірки загазованості приміщень.
- . Перевіряти справність аспіраційних систем і видавати паспорти на них.
- Контролювати справність засобів дистанційного контролю за температурою зерна в силосах і бункерах.

- Перевіряти наявність вибухових детонаторів на норіях та їх справність.
- Контролювати реле регулювання швидкості на стаціонарних стрічкових конвеєрах та опорні датчики на ланцюгових транспортерах, які вимикають транспортер при переповненні.
  - Закрити ґратами ями для зерна на діючих фермах.
  - . Перевіряти наявність кнопок аварійної зупинки на конвеєрах головного і хвостового відділів.
  - Конвеєри понад 10 м повинні бути обладнані кабельним захистом для аварійної зупинки в будь-якій точці зі службового проходу.
  - Проходи біля взуття мають бути огорожені з трьох сторін, шириною не менше 0,7 м; сходи повинні бути надійними, а ями— забезпечені огорожею висотою не менше 1 м.
  - . Проходи над конвеєрами мають бути обладнані перилами і бортиками.
  - У робочих зонах, де відстань між рухомими та нерухомими частинами обладнання менше 0,5 м, безпеку забезпечують нерухомі огорожі або захисні пристрої.
  - Сушильні агрегати на рідкому паливі повинні мати контроль

## РОЗДІЛ 6. РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

Таблиця 6.1

### Дані для порівняння

Характеристика	Умовне позначення	Одиниця виміру	Значення	
			Базова конструкція	Нова конструкція
Годинна технічна продуктивність	$P_G^T$	т/год	23	25
Номіальна потужність мотор-редуктора	$N_{ном}$	кВт	4	4
Маса	$G$	кг	3993	3892,1
Швидкість стрічки	$v$	м/с	1,6	1,55
Коефіцієнт технічного використання	$K_T$	-	0,8	0,85
Оптова заводська ціна	$C_{оп}$	грн.	70000	-
Ресурс елеватора до першого капітального ремонту	$T_{ру}$	год.	18000	18000
Середнє напрацювання на відмову		год.	8000	8000

Періодичність виконання поточного ремонту	$t_{p.np}$	год.	2880	2880
Періодичність виконання технічного обслуговування	$t_{p.mo}$	год.	250	250
Період роботи	$T_{\epsilon}$	рік	10	10
Кількість обслуговуючого персоналу	$B$	чол	1	1

Визначення капітальних витрат.

Розрахункова вартість базової конструкції елеватора:

$$C_{\text{баз}} = C_{\text{оп}} \cdot K_{\text{б}} = 70000 \cdot 1,12 = 78400 \text{ грн.}, \quad (6.1.)$$

де  $C_{\text{оп}}$  – оптова ціна норії,  $K_{\text{б}} = 1,12$  – коефіцієнт переходу від оптової вартості

до середньої.

Середня вартість норії після удосконалення, яка змінюється на вартість удосконалення.

$$C_{\text{б.мод.}} = C_{\text{баз}} + C_{\text{мод}} = 78400 + 2999 = 81399 \text{ грн.}, \quad (6.2.)$$

де  $C_{\text{мод}} = 2999$  грн. – вартість удосконалення.

Визначення річної експлуатаційної продуктивності.

Експлуатаційна продуктивність елеватора визначається на основі технічної

продуктивності при однакових умовах експлуатації. Вона визначається за час

(зміну) та рік.

Годинна експлуатаційна продуктивність визначається за формулою:

$$\Pi_{\Gamma}^E = \Pi_{\Gamma}^T \cdot K_{\Gamma} = 23 \cdot 0,8 = 18,4 \text{ т/год.} \quad (6.3.)$$

$$\Pi_{\Gamma}^E = 25 \cdot 0,85 = 21,25 \text{ т/год.,}$$

де  $\Pi_{\Gamma}^T = 23$  т/год. – годинна технічна продуктивність для базової та  $\Pi_{\Gamma}^T = 25$  т/год. – для нової конструкцій,  $K_{\Gamma} = 0,8 \dots 0,85$  – коефіцієнти технічного використання.

Річна експлуатаційна продуктивність базової та нової норій розраховується по формулі:

$$\Pi_{\text{річна}}^E = \Pi_{\Gamma}^E \cdot T_{\text{річний}} \cdot K_{\text{в}} = 18,4 \cdot 2160 \cdot 0,82 = 32590,08 \text{ т/рік.} \quad (6.4.)$$

$$\Pi_{\text{річна}}^E = 21,25 \cdot 2160 \cdot 0,82 = 37638 \text{ т/рік.,}$$

де  $K_{\text{в}} = 0,82$  – коефіцієнт використання часу зміни,  $T_{\text{річний}} = 90$  днів = 2160 год.

– річний дійсний фонд робочого часу норій.

Визначення річних поточних витрат.

Річні поточні витрати визначаються за формулою:

$$C_{\text{річна}} = C_{\text{маш.-зм.}} \cdot N_{\text{зм}}, \quad (6.5.)$$

де  $C_{\text{маш.-зм.}}$  – собівартість машинно – змін, грн./маш. – зм.,  $N_{\text{зм}} = 270$  – кількість змін в році.

$$C_{\text{маш.-зм.}} = C_{\text{ам}} + C_{\text{обс}} + C_{\text{ен}} + C_{\text{то}}, \quad (6.6.)$$

де змінні витрати по амортизаційним відрахуванням:

$$C_{\text{ам}} = \frac{A}{H_{\text{зм}}}, \quad (6.7.)$$

де  $A$  – амортизаційні відрахування на повне відновлення і капітальний ремонт норії у гривнях.

$$A = \frac{C_{\text{б}} \cdot a}{100}, \quad (6.8.)$$

$C_{\text{б}}$  – середня вартість норії,  $C_{\text{баз}} = 78400$  грн.,  $C_{\text{б.мод.}} = 81399$  грн.,  $a = 12\%$

– норма амортизаційних відрахувань.

$$A = \frac{78400 \cdot 12}{100} = 9408 \text{ грн.}$$

$$A = \frac{81399 \cdot 12}{100} = 9767,9 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{ам}} = \frac{9408}{270} = 34,8 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{ам}} = \frac{9767,9}{270} = 36,2 \text{ грн/маш. – зм.}$$

Змінні витрати по обслуговуванню персоналу:

$$C_{\text{обс}} = N \cdot Z_{\text{зм}} \cdot 1,25, \quad (4.9.)$$

де  $N = 1$  – кількість обслуговуючого персоналу,

заробітна плата працівника за одну зміну:

$$Z_{\text{зм}} = T_{\text{ст.4}} \cdot t_{\text{зм}}, \quad (6.10.)$$

де  $T_{\text{ст.4}} = 125$  грн/год. – годинна тарифна ставка робітника,  $t_{\text{зм}} = 8$  год. – тривалість однієї зміни.

$$Z_{\text{зм}} = 125 \cdot 8 = 1000 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{обс}} = 1 \cdot 1000 \cdot 1,25 = 1250 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{ен}} = W_{\text{ен}} \cdot S_{1\text{кВт}} - \text{змінні енергетичні витрати,} \quad (6.11.)$$

де  $W_{\text{ен}}$  – споживання електроенергії для приводу елеватора,  $S_{1\text{кВт}} = 2,64$  грн. –

– вартість одного кіловата енергії.

$$W_{\text{ен}} = \frac{N_{\text{НОМ}} \cdot t_{\text{ЗМ}} \cdot K_{\text{ЗМ}} \cdot K_{\text{В}} \cdot K_{\text{ДМ}} \cdot K_{\text{П}}}{\eta} \quad (6.12.)$$

$N_{\text{НОМ}} = 4$  кВт – номінальна потужність двигуна;

$K_{\text{ЗМ}} = 3$  – кількість змін;

$K_{\text{В}} = 0,86$  – коефіцієнт використання двигуна по часу;

$K_{\text{ДМ}} = 0,6$  – коефіцієнт використання двигуна по потужності;

$K_{\text{П}} = 1,05 \dots 1,1$  – коефіцієнт що враховує втрати електроенергії;

$\eta = 0,85$  – коефіцієнт ККД двигуна при його завантаженні.

$$W_{\text{ен}} = \frac{4 \cdot 3 \cdot 0,86 \cdot 0,6 \cdot 1,1}{0,85} = 64,1 \text{ кВт/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{ен}} = 64,1 \cdot 2,64 = 169,2 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{ен}}' = 169,2 \cdot 2 = 338,4 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$C_{\text{ТО}}$  – змінні витрати на ТО і ремонт можна прийняти 13 % від вартості норії:

$$C_{\text{ТО}} = \frac{C_{\text{б}} \cdot 0,13}{H_{\text{ЗМ}}} \quad (6.13.)$$

$$C_{\text{ТО}} = \frac{78400 \cdot 0,13}{90} = 113,2 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{ТО}} = \frac{81399 \cdot 0,13}{90} = 117,6 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{маш.-зм.}} = 34,8 + 1250 + 169,2 + 113,2 = 1567,2 \text{ грн/маш. – зм.}$$

$$C_{\text{маш.-зм.}}' = 36,2 + 1250 + 338,4 + 117,6 = 1742,2 \text{ грн/маш. - зм.}$$

$$C_{\text{річна}} = 451,83 \cdot 270 = 423144 \text{ грн.}$$

$$C_{\text{річна}}' = 511,46 \cdot 270 = 470394 \text{ грн.}$$

Визначення основних показників і економічної ефективності капіталовкладень.

Питомі капіталовкладення на 1000 тон вантажу, що транспортується, визначається виходячи з розрахункової вартості машини і її річної продуктивності:

$$K_y = \frac{1000 \cdot C_{\text{б}}}{\text{П}_{\text{річ}}^{\text{Е}}} \quad (6.14.)$$

$$K_y = \frac{1000 \cdot 78400}{32590,08} = 2405,64 \text{ грн/1000 т.}$$

$$K_y' = \frac{1000 \cdot 81399}{37638} = 2162,7 \text{ грн/1000 т.}$$

Питомі поточні витрати на транспортування 1000 тон вантажу для базової і удосконаленої конструкцій:

$$S_y = \frac{1000 \cdot C_{\text{річна}}}{\text{П}_{\text{річ}}^{\text{Е}}} \quad (6.15.)$$

$$S_y = \frac{1000 \cdot 423144}{32590,08} = 12983,8 \text{ грн/1000 т.}$$

$$S_y' = \frac{1000 \cdot 470394}{37638} = 12497,8 \text{ грн/1000 т.}$$

Питомі приведені затрати на 1000 тон завантаженого вантажу:

$$Z_{\text{ПР}} = S_y + E_{\text{Н}} \cdot K_y, \quad (6.16.)$$

де  $E_{\text{Н}} = 0,15$  – нормальний коефіцієнт економічної ефективності.

$$Z_{\text{ПР}} = 12983,8 + 0,15 \cdot 2405,64 = 13344,6 \text{ грн/1000 т.}$$

$$З_{ПР}' = 12497,8 + 0,15 \cdot 2162,7 = 12822,2 \text{ грн/1000 т.}$$

Річний економічний ефект на одну машину:

$$E_P = (З_{ПР} - З_{ПР}') \cdot \frac{\Pi_{\text{річ}}^E}{1000} \quad (6.17.)$$

$$E_P = (13344,6 - 12822,2) \cdot \frac{37638}{1000} = 19662,1 \text{ грн/рік.}$$

Термін окупності додаткових капіталовкладень визначається по формулі:

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_y - K_y'}{S_y - S_y'} \quad (6.18.)$$

$$T_{\text{ок}} = \frac{2405,64 - 2162,7}{12983,8 - 12497,8} = 0,24 \text{ рік.}$$

Визначення собівартості продукції:

$$C_{\text{с/в}} = \frac{C_{\text{маш.-зм.}}}{\Pi_{\text{зм}}^E} \quad (6.19.)$$

$$C_{\text{с/в}} = \frac{1567,2}{115,2} = 13,6 \text{ грн/т.}$$

$$C_{\text{с/в}} = \frac{1742,2}{136} = 12,8 \text{ грн/т.}$$

Результати розрахунків заносимо до таблиці.

Таблиця 6.2

*Техніко – економічні показники*

<b>Показники</b>	<b>Одиниця виміру</b>	<b>Машини</b>	
		<i>Базова</i>	<i>Нова</i>
<b>Середня вартість елеватора</b>	<i>грн.</i>	74800	81399
<b>Експлуатаційна продуктивність</b>	<i>т/год.</i>	23	25

<i>машини:</i>	<i>т/рік</i>	32590,08	37638
<i>годинна</i>			
<i>річна</i>			
<i>Собівартість однієї машино – зміни</i>	<i>грн.</i>	1567,2	1742,2
<i>Собівартість одиниці продукції</i>	<i>грн./т</i>	13,6	12,8
<i>Річний економічний ефект</i>	<i>грн.</i>	-	19662,1
<i>Питомі капіталовкладення</i>	<i>грн/1000т</i>	2405,64	2162,7
<i>Термін окупності вкладень</i>	<i>рік</i>	-	0,24

## ВИСНОВОК

У результаті дослідження та аналізу конструкцій ковшових конвеєрів для транспортування зернових матеріалів можна зробити наступні висновки:

Розробка ефективних та надійних конструкцій ковшових конвеєрів є важливим завданням у сфері зернової промисловості. Вибір конкретного типу ковшового конвеєра залежить від таких чинників: об'єму переміщення, типу матеріалу, відстані переміщення та умов експлуатації.

Різні типи ковшових конвеєрів ( ланцюгові, стрічкові, пластинчасті тощо), мають свої переваги і недоліки. Ланцюгові конвеєри відзначаються високою надійністю та потужністю, але мають підвищені вимоги до обслуговування та витрачають більше енергії. Стрічкові конвеєри є економічними і простими в експлуатації, але мають обмежену потужність. Пластинчасті конвеєри використовуються для переміщення дрібних матеріалів , мають високу ефективність, але мають обмеження у використанні.

Економічна ефективність ковшових елеваторів залежить від багатьох чинників: продуктивність, витрати на експлуатацію, технічний стан та тривалість роботи. Важливо розглядати загальні витрати на капітальні вкладення, енергоспоживання, обслуговування та ремонт, а також чинники, що впливають на ефективність роботи конвеєра.

Для підвищення економічної ефективності ковшових елеваторів використовуються новітні технології та інноваційні рішення. Покращення систем автоматизації, використання енергоефективних приводів, оптимізація технологічних та робочих процесів, завантаження та розвантаження можуть сприяти зниженню витрат та підвищенню продуктивності.

В магістерській роботі шляхом використання морфологічного аналізу та синтезу технічних рішень ковшових елеваторів розроблено нову конструкцію ковшового конвеєра для транспортування зернових матеріалів. Проведено розрахунок розробленої конструкції ковшового конвеєра. При роботі ковшових конвеєрів з відцентровим розвантаженням сипких матеріалів виникають значні динамічні навантаження в елементах приводу та тягового органу (стрічки),

тому для виявлення цих навантажень проведено динамічне дослідження руху ковшового конвеєра.

Для проведення динамічного аналізу ковшового елеватора розроблено його динамічну модель, в якій враховано основний рух приводного механізму та коливання стрічки, яке викликане дією змінних навантажень на ківші під час завантаження та розвантаження ківшів. На базі динамічної моделі побудовано математичну модель, яка представляє собою систему двох звичайних нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку, нелінійність рівнянь викликана нелінійністю механічної характеристики приводного електродвигуна. Тому розв'язування диференціальних рівнянь здійснено чисельним методом з використанням комп'ютерної програми. Проведений розрахунок показав наявність значних коливань в елементах приводного механізму та тягового органу (стрічки) ковшового елеватора, які приводять до значного збільшення динамічних навантажень та енергетичних витрат приводу.

Для зменшення динамічних навантажень та енергетичних витрат здійснено оптимізацію режиму пуску ковшового елеватора, так як в процесі пуску зароджуються коливальні процеси і діють найбільші динамічні навантаження. Оскільки в тяговому органі спостерігаються значні коливальні процеси з підвищеними динамічними навантаженнями, тому за критерій оптимізації використано середньоквадратичне значення зусилля в стрічці зведене до приводного барабану ковшового конвеєра. В результаті проведеної оптимізації встановлено, що усуваються коливання в елементах приводу та тягового органу. Це приводить до зменшення динамічних навантажень та енергетичних витрат і, як наслідок, підвищується ефективність використання ковшових елеваторів при транспортуванні зернових матеріалів.

Розуміння конструкцій, функціональних особливостей та режимів роботи та руху ковшових конвеєрів, а також оцінка їх ефективності, є важливими аспектами для досягнення оптимального функціонування в зерновій промисловості. Результати досліджень та аналізу в цій області можуть бути

корисними для підвищення продуктивності, зниження витрат та покращення загальної ефективності ковшових елеваторів.

## ДЖЕРЕЛА ІНФОРМАЦІЇ

1. K. Golka, "Design and Analysis of Bucket Elevator", International Journal of Engineering and Technology, vol. 7, no. 4.20, pp. 122-127, 2018.
2. Кузнєцов О. І. Конвеєри: проектування, монтаж, експлуатація" / О. І. Кузнєцов., 2018.
3. "All About Bucket Conveyors - Types, Design, and Uses" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.thomasnet.com/articles/materials-handling/all-about-bucket-conveyors/>.
4. "Double-Chain High-Capacity Bucket Elevators" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://bulksinside.com/bulk-solids-handling/mechanical-conveying/double-chain-high-capacity-bucket-elevators/>.
5. "Bucket Elevators" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.guttridge.com/eu/en/bucket-elevators>.
6. "Bulk Material Handling by Conveyor Belt" by M. A. Alspaugh.
7. "Conveyors: Application, Selection, and Integration" by Patrick M. McGuire.
8. "Design of Material Handling Equipment: Belt Conveyors" by Matthew P. Stephens and Myer Kutz.
9. "Conveyor Equipment Manufacturers Association (CEMA) Standards and Publications."
10. Technical specifications and documentation provided by manufacturers of bucket conveyors.
11. "Handbook of Conveyor and Elevator Belting" by George H. Dresback Jr.
12. "Grain Storage Systems Design" by Jacko Vosloo.

13. "International Journal of Agricultural and Biological Engineering".
14. "Design and Simulation of Bucket Elevator in ModelSim and Altera Quartus" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://spiral.imperial.ac.uk/handle/10044/1/37594>.
15. "Bucket Elevator - Design, Installation, Maintenance Guide" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.dp.dsp.gov.ua/novyny/okhorona-pratsi-pid-chas-zberihannia-ta-pererobky-zerna/>.
16. Hibbeler R. Mechanics of Materials / R.C Hibbeler.
17. Іваненко І. І. Оптимізація конструкцій ковшових конвеєрів для транспортування сипучих матеріалів" / Іваненко І. І., 2022.
18. Патент US9205988B2 (США) - "Bucket Elevator System" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/US9205988B2/en>.
19. Патент CN201334231Y (Китай) - "Bucket Elevator" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN201334231Y/en>.
20. Патент CN210028905U (Китай) - "Bucket Elevator" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patents.google.com/patent/CN210028905U/en>.
21. Патент CN202967332U (Китай) - "Bucket Elevator" [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://patents.google.com>

## **ДОДАТКИ**

**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

01.09 – КМР. 2401 –Є” 2023.12.29. 034 ПЗ

**РЕШЕТНІК ТИМОФІЙ ОЛЕКСАНДРОВИЧ**

2024 р.