Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
(повне найменування вищого навчального закладу)
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

Магістр
(освітньо-кваліфікаційний рівень)

на тему

Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів

Виконав: студент VI курсу, групи 601-ММв
напряму підготовки (спеціальності)
133 Галузеве машинобудування
(шифр і назва напряму підготовки, спеціальності)
Прохар Віктор Іванович
(прізвище та ініціали)
Керівник к.т.н доцент Нестеренко М.М.
(прізвище та ініціали)
Рецензент Молчанов П.О.
(прізвище та ініціали)

Полтава – 2024 рік

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів

Кваліфікаційна робота магістра

Лист затвердження

ГМтаМ 601ММв.014-00.00.000 МР

Технологічний контроль к.т.н., доц.
_____ О.С. Васильєв
„29" 08 2024р.

Розробив студент групи 601-ММв
_____ В.І. Прохар
„23" 08 2024р.

Нормативний контроль к.т.н., доц.
_____ О.С. Васильєв
„29" 08 2024р.

Керівник к.т.н., доц.
_____ М.М. Нестеренко
„29" 08 2024р.

ДОПУСТИТИ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
галузевого машинобудування та мехатроніки
к.т.н., доц. О.В. Орисенко

Гарант ОП М.М. Нестеренко

Полтава – 2024 рік

№ рядок.	Форм.	Позначення	Найменування	Кіл.	Прим.
1					
2			*Документація загальна*		
3					
4			*Вперше розроблена*		
5					
6	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.014-00.00.000ТЗ*	*Технічне завдання*	*1*	
7	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.014--00.00.000А*	*Анотація*	*3*	
8	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.014--00.00.000ПЗ*	*Пояснювальна записка*	*72*	
9					
10			*Документація наукова*		
11					
12			*Вперше розроблена*		
13					
14	*А4*	*ГМтаМ 601ММв.014--00.00.000ПМ*	*Дослідження динаміки канатно-*		
15			*блокових систем кабельних кранів*		
16			*Презентаційні матеріали*	*12*	
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					
29					
30					

Зм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	*ГМтаМ 601ММв.014-00.00.000ВМ*		
Розроб.		*Прохар*			*Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів*	*Літ.*	*Лист*	*Листів*
Перев.		*Нестеренко*				*Н*	*1*	*1*
Н.контр.		*Васильєв*		29.08	*Відомість кваліфікаційної роботи магістра*	Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Затв.		*Орисенко*		29.08				

5. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

6. Дата видачі завдання 18.03.2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів магістерської роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	*Аналіз літературних джерел, розрахунки*	15.08.2024	
2	*Аналітичні та експериментальні дослідження*		
	робочого процесу обладнання	15.08.2024	
3	*Компонування пояснювальної записки*	15.08.2024	
4	*Здача готової роботи*	15.08.2024	

Студент _____ Віктор ПРОХА
(підпис) (П.І.Б

Керівник роботи _____ Микола НЕСТЕРЕНК
(підпис) (П.І.Б

Гарант _____ Микола НЕСТЕРЕНК
(підпис) (П.І.Б

Анотація

Кваліфікаційна робота магістра на тему: «Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів»

Кваліфікаційна робота магістра на здобуття освітньо–кваліфікаційного рівня магістра за спеціальністю 133 Галузеве машинобудування – Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», Полтава, 2024

Робота складається з двох розділів.

У цій роботі представлено комплексне дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів, що дало змогу визначити основні фактори, які впливають на їх ефективність і стабільність в різних умовах експлуатації. Кабельні крани вирізняються своєю здатністю працювати у важкодоступних місцях та на великих висотах, що робить їх незамінними в гірничій промисловості, будівництві та рятувальних операціях. Основною проблемою є коливання вантажу на гнучкому підвісі, які виникають під час нестаціонарних періодів роботи. У роботі запропоновано методи регулювання динамічної поведінки крана, включно з оптимізацією тривалості розгону та гальмування, що дозволяє знизити коливання вантажу і підвищити ефективність робіт. Створена динамічна модель враховує взаємодію всіх компонентів системи, що дозволяє детально аналізувати перехідні процеси руху кранового візка. Для оптимізації динамічної поведінки запропоновано використовувати комплексний підхід, що враховує регулювання параметрів двигунів та вплив інших компонентів системи. Подальші дослідження повинні включати експерименти з адаптивними алгоритмами керування, які здатні автоматично налаштовувати параметри роботи залежно від поточного стану системи. Розглянуто перспективу підвищення продуктивності шляхом встановлення двох вантажних візків на одному крані, що

					ГМтаМ 601ММв.014-00.00.000 А		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Прохар			Анотація	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Нестеренко		17.0		Н		
Керівн.						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.		Васильєв		29.0				
Затв.		Орисенко		29.0				

забезпечує збільшення продуктивності на 50% без суттєвого збільшення капітальних витрат. Отримані результати забезпечують основу для подальшої оптимізації кабельних кранів, підвищуючи їх продуктивність та стабільність в складних експлуатаційних умовах.

Ключові слова: динаміка канатно-блокових систем, кабельні крани, коливання вантажу, оптимізація динамічної поведінки, адаптивні алгоритми керування

Annotation

Master's Qualification Thesis on the Topic: " Investigation of the dynamics of rope-pulley systems of cable cranes "

Master's Qualification Thesis for the Degree of Master in Specialty 133 Industrial Engineering – National University "Poltava Polytechnic named after Yuri Kondratyuk," Poltava, 2024.

The work consists of two sections.

This thesis presents a comprehensive study of the dynamics of rope-pulley systems of cable cranes, which allowed the identification of key factors affecting their efficiency and stability under various operating conditions. Cable cranes are distinguished by their ability to operate in hard-to-reach areas and at great heights, making them indispensable in mining, construction, and rescue operations. The main issue during the operation of cable cranes is load oscillation on the flexible suspension, which occurs during non-stationary operation periods. The thesis proposes methods for regulating the dynamic behavior of the crane, including the optimization of acceleration and braking durations, which helps reduce load oscillations and improve operational efficiency. The developed dynamic model considers the interaction of all system components, enabling detailed analysis of transitional processes in the movement of the crane trolley. For the optimization of dynamic behavior, a comprehensive approach is proposed, considering both engine parameter adjustments and the influence of other system components. Future research should include experiments with adaptive control algorithms that can automatically adjust operational parameters based on the current state of the system. The prospect of enhancing productivity by installing two cargo trolleys on a single crane is also considered, which can increase productivity by 50% without a significant rise in capital costs. The obtained results provide a foundation for further optimization of cable cranes, enhancing their productivity and stability in challenging operating conditions.

Keywords: dynamics of rope-pulley systems, cable cranes, load oscillation, optimization of dynamic behavior, adaptive control algorithms.

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів

Пояснювальна записка

Кваліфікаційної роботи магістра

ГМтаМ 601ММв.014-00.00.000 ПЗ

Полтава – 2024рік

Зміст

Вступ 3

Розділ 1: Технічні питання при використанні кабельних кранів для ведення гірничих робіт 5

1.1 Можливості використання кабельних кранів 5

1.2 Особливості будови 10

Розділ 2: Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів та можливі варіанти збільшення продуктивності 17

2.1 Керування краном та усунення коливань вантажу 17

2.2 Динамічна модель механізму зміни вильоту та підйому кабельних кранів 19

Висновки 42

Список літератури 44

Додатки Презентаційні матеріали за темою «Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів

»

					ГМіМ.601ММв.014-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Прохар		23.05	Зміст	Літ.	Лист 2 / Листів
Перев.		Нестеренко		23.05			
Керівник						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»	
Н. контр.		Васильєв		25.05			
Затв.		Орисенко					

Вступ

Канатно-блокові системи кабельних кранів є важливими механізмами, що використовуються в багатьох галузях промисловості, таких як будівництво, гірнича справа, суднобудування та транспортна інфраструктура. Ці системи дозволяють переміщувати великі вантажі на значні відстані з високою точністю, забезпечуючи ефективне використання простору та ресурсів. Проте, складність конструкцій та динамічні навантаження, які виникають під час експлуатації, можуть впливати на стабільність та безпеку їх роботи.

Дослідження динаміки канатно-блокових систем є актуальним завданням, оскільки воно дозволяє зрозуміти та оптимізувати поведінку цих механізмів під час роботи. Вивчення впливу різних параметрів, таких як швидкість руху, маса вантажу, жорсткість канатів та конструктивні особливості блоків, дозволяє виявити причини виникнення небажаних коливань та навантажень. Це, в свою чергу, сприяє покращенню експлуатаційних характеристик кранів, підвищенню безпеки роботи персоналу та зменшенню витрат на технічне обслуговування.

У даній магістерській роботі проводиться дослідження динамічних характеристик канатно-блокових систем кабельних кранів з метою оптимізації їх конструкції та роботи. Основний акцент зроблено на аналізі вібраційних процесів, що виникають під час експлуатації, а також на розробці методів управління для зниження динамічних навантажень. Використання сучасних методів моделювання дозволяє більш точно прогнозувати поведінку систем та знаходити ефективні рішення для покращення їх функціонування.

Метою роботи є розробка та обґрунтування рекомендацій щодо вдосконалення конструкції канатно-блокових систем кабельних кранів для підвищення їх надійності та продуктивності. Це дослідження сприятиме розвитку нових підходів у проектуванні кабельних кранів та вдосконаленню існуючих технологій, що дозволить забезпечити більш ефективне використання обладнання в умовах сучасної промисловості.

Розділ 1: Технічні питання при використанні кабельних кранів для ведення гірничих робіт

1.1 Можливості використання кабельних кранів

Використання канатних кранів у гірничій справі супроводжується рядом технічних викликів, пов'язаних із специфікою їх конструкції та умовами експлуатації. Серед основних питань, що потребують вирішення, виділяються забезпечення достатньої продуктивності обладнання, безпечне транспортування гірничої маси та адаптація кранів до різноманітних умов експлуатації, включаючи складний рельєф і змінні погодні умови. На рисунку 1.1 зображено транспортування канатних кранів при транспортуванні техніки в кар'єрі.

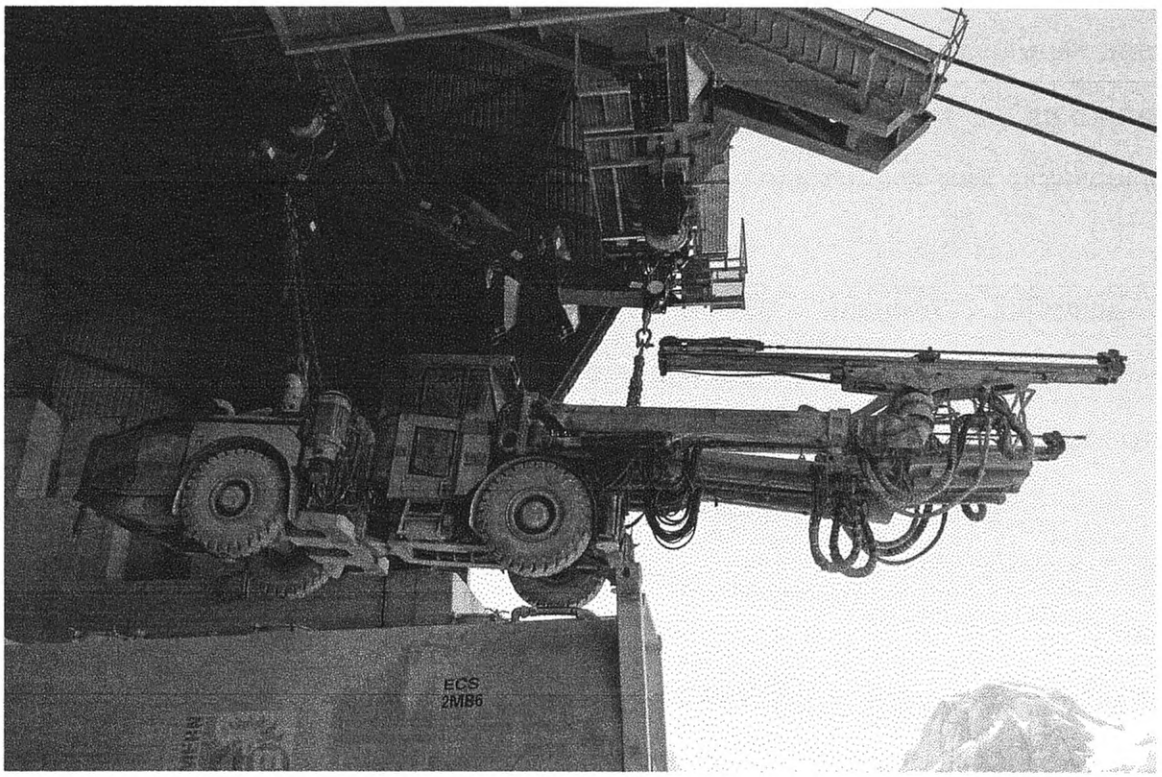


Рисунок 1.1 – Транспортування техніки в кар'єрі

Зазвичай зв'язок між робочими ділянками та поверхнею здійснюється за допомогою колісних транспортних засобів. Однак необхідність облаштування спусків на схилах кар'єру призводить до значного збільшення обсягів розкривних робіт. Це потребує пошуку нових технологій та відповідного гірничотранспортного обладнання, яке дозволить зменшити обсяги розкривних робіт. Одним із можливих рішень для скорочення обсягів розкривних робіт, а також для збільшення глибини кар'єру, розроблюваного за глибинною системою, є використання безтраншейного способу розкриття нижніх горизонтів кар'єрів. Як варіант транспорту для доставки гірничої маси в зоні безтраншейного розкриття розглядається канатний кран.

Кабельні крани є досить специфічним типом підйомно-транспортного обладнання, і їх застосування є доцільним для кар'єрів певної форми, зокрема для глибоких кар'єрів із крутим заляганням рудного тіла. Їх використання в гірничій промисловості не є поширеним, і тому вони недостатньо вивчені в цій галузі. Через це деякі технічні питання, пов'язані із забезпеченням достатньої продуктивності та можливістю ведення гірничих робіт із використанням канатних кранів, залишаються відкритими, і частина з них розглядається у даній роботі.

В гірській місцевості та лісових масивах кабельні крани використовуються для проведення різного типу робіт.

На рисунку 1.2 показано транспортування магістральних труб для прокладання газопровода.



Рисунок 1.2 –Транспортування елементів магістральних трубопроводів

Одним із ключових аспектів є оптимізація конструкційних параметрів канатних кранів для досягнення максимальної ефективності під час транспортування вантажів на значні відстані та під великим кутом нахилу. Це включає вибір відповідних матеріалів для канатів, блоків і інших елементів конструкції, здатних витримувати високі динамічні навантаження та зменшувати ризик аварійних ситуацій.

Також важливо розглянути питання зменшення коливань вантажу під час його переміщення, що впливає на стабільність крана та точність позиціонування. Це вимагає ретельного аналізу динамічних характеристик системи та впровадження ефективних засобів управління, таких як регулятори швидкості та амортизаційні механізми.

Крім того, необхідно враховувати вплив гірничо-геологічних умов на роботу канатних кранів, оскільки нестабільність ґрунту або скель може

призвести до небажаних зсувів та інших ризиків. Це вимагає попереднього геотехнічного аналізу та можливої адаптації техніки до конкретних умов експлуатації.

Загалом, вирішення цих технічних питань є необхідною умовою для успішного впровадження канатних кранів у гірничу промисловість та забезпечення їх ефективної і безпечної роботи.

Також крани даного типу можуть використовуватися при будівництві мостів та гідротехнічних споруд через річки (рисунок 1.3).

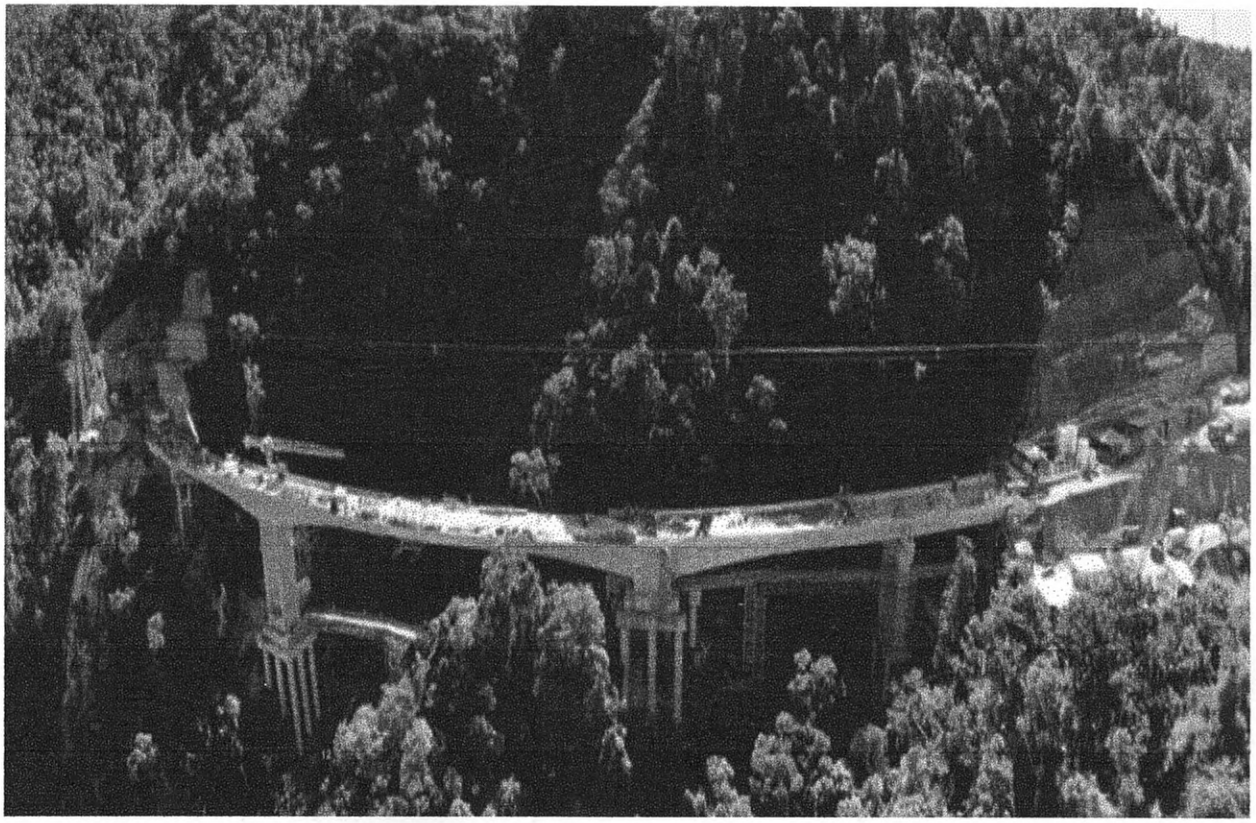


Рисунок 1.3 – Будівництво моста

Кабельні крани також мають значний потенціал для використання в аварійно-рятувальних роботах, особливо в умовах гірничих підприємств. Завдяки своїй здатності швидко переміщувати великі вантажі на значні відстані та долати перешкоди у вигляді складного рельєфу, вони можуть

ефективно використовуватись для евакуації людей, транспортування аварійного обладнання та надання допомоги у важкодоступних зонах.

Однією з ключових переваг канатних кранів при виконанні аварійних робіт є їх мобільність та гнучкість у розгортанні. Вони можуть бути встановлені над місцем аварії та забезпечувати оперативну доставку необхідних ресурсів — таких як вода, інструменти або медичне обладнання — безпосередньо до зони проведення рятувальних операцій. Це особливо важливо в умовах обмеженого доступу або зруйнованої інфраструктури, де традиційні транспортні засоби не можуть бути використані.

Крім того, кабельні крани можуть бути обладнані спеціалізованими підвісними платформами або контейнерами, що дозволяє здійснювати швидке транспортування постраждалих або евакуацію персоналу з небезпечних зон. Використання автоматизованих систем управління допомагає забезпечити високу точність позиціонування та безпечну роботу в екстремальних умовах.

Важливою перевагою є також можливість дистанційного керування канатними кранами, що дозволяє мінімізувати ризики для операторів під час проведення аварійних робіт. Це є суттєвим фактором у випадках, коли необхідно працювати в зонах із підвищеною небезпекою, таких як зсуви, обвали або під час ліквідації наслідків техногенних катастроф.

Таким чином, кабельні крани представляють собою ефективне рішення для проведення аварійних робіт у гірничій галузі, де швидкість, точність та безпека є пріоритетами. Їх використання сприяє підвищенню оперативності рятувальних заходів та зниженню ризиків для персоналу, що працює в екстремальних умовах.

1.2 Особливості будови

Кабельні крани є складними підйомно-транспортними системами, що використовуються для переміщення вантажів у важкодоступних або специфічних умовах, таких як глибокі кар'єри, великі будівельні майданчики, та під час проведення аварійних робіт. Їх конструкція має кілька характерних особливостей, які забезпечують високу функціональність і адаптивність до різноманітних завдань.

Основні елементи конструкції:

Кабельні крани оснащені декількома вежами або опорами, розташованими по периметру робочої зони. Вони можуть бути стаціонарними або пересувними, залежно від потреби, що дозволяє налаштовувати робочу зону відповідно до конкретних вимог (рисунок 1.4).

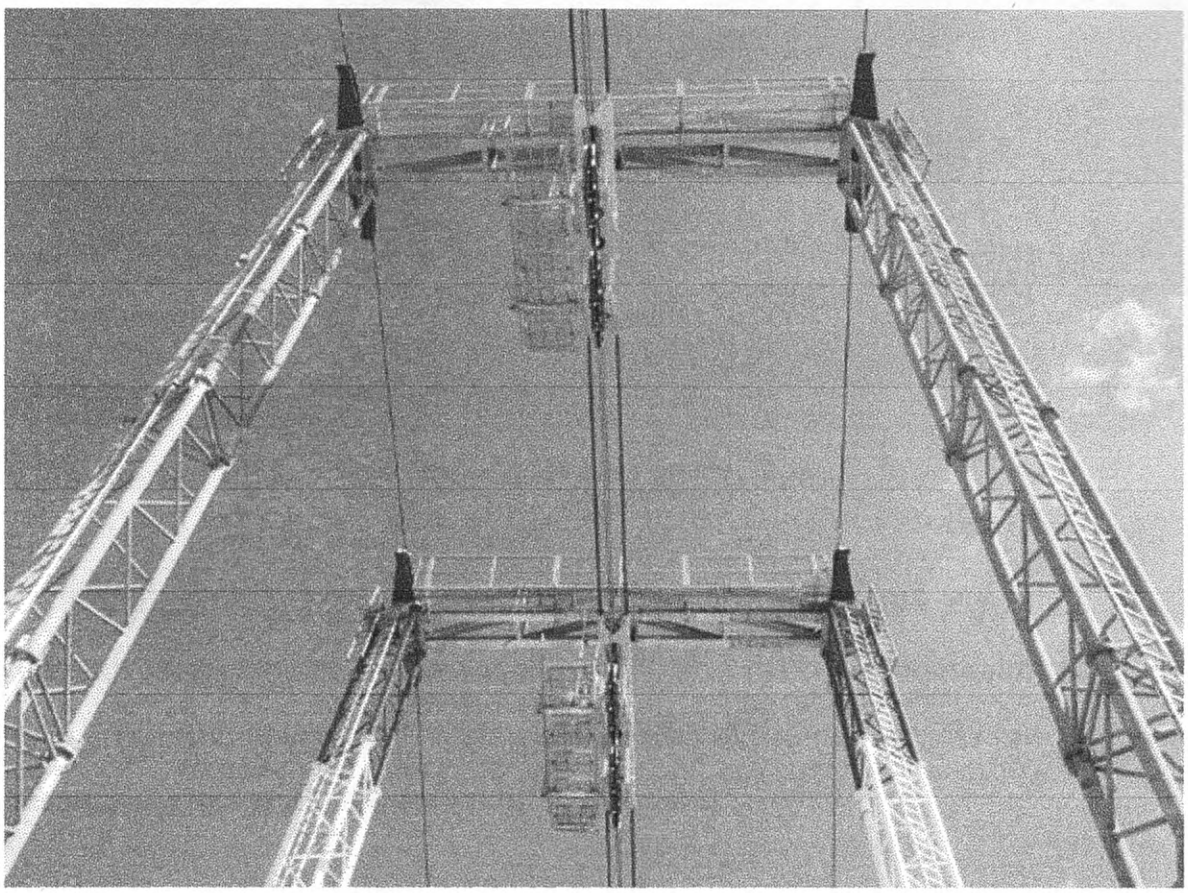


Рисунок 1.4 – Вежі кабельних кранів

Ключовим елементом є канати, які забезпечують підйом і переміщення вантажу. Канати виготовляються зі спеціальних сталевих сплавів, що забезпечують високу міцність і довговічність. Вони прокладаються між вежами та утримують підвісну платформу або кабіну, яка транспортує вантаж або людей.

Підвісна платформа або кабіна використовується для переміщення вантажів або персоналу. Вона може бути обладнана додатковими пристроями, такими як грейфери, гаки або спеціалізовані захоплювачі, залежно від типу вантажу та умов роботи.

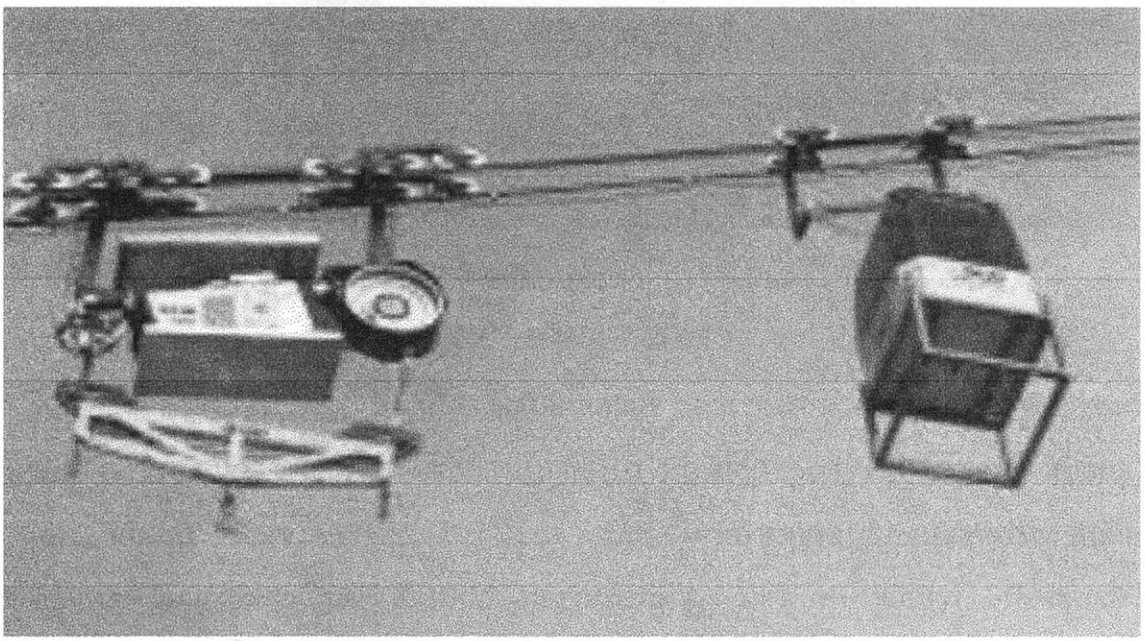


Рисунок 1.5 – Підвісна платформа або кабіна

Кабельні крани оснащені лебідками, що приводять в рух канати (1.6). Лебідки забезпечують контроль над підйомом та опусканням вантажу, а також його переміщенням по горизонталі. Високоточні механізми управління дозволяють регулювати швидкість та плавність руху.

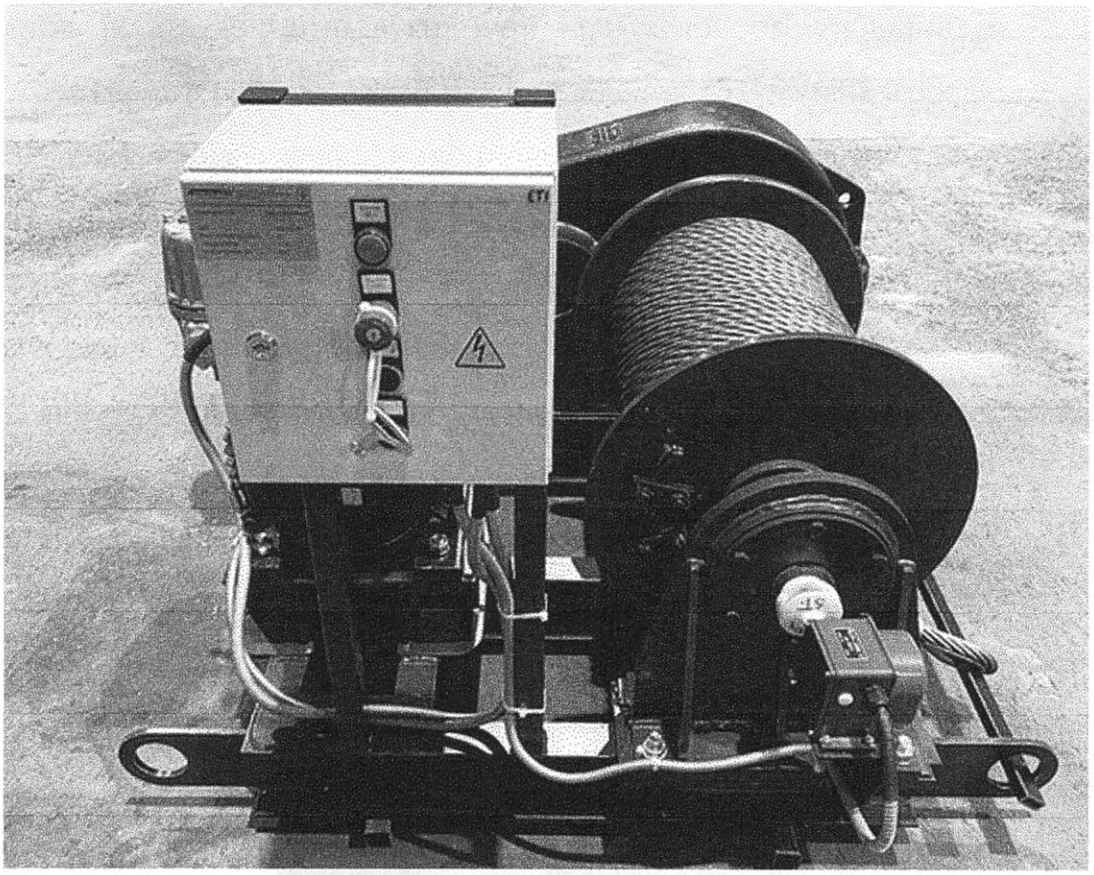


Рисунок 1.6 – Лебідка що приводить в рух канат

Сучасні кабельні крани обладнані автоматизованими системами управління, що дозволяють операторам точно контролювати рухи крана. Ці системи часто включають датчики для моніторингу напруги канатів, положення вантажу та інших параметрів, що підвищує безпеку та ефективність роботи.

Кабельні крани оснащені різноманітними механізмами безпеки, включаючи гальмівні системи, страхувальні пристрої та аварійні блокування. Вони необхідні для запобігання аваріям, таких як обрив канатів або перевантаження системи.

Кабельні крани відрізняються від традиційних підйомно-транспортних механізмів своєю здатністю працювати в обмежених умовах та на великих висотах. Їх конструкція дозволяє ефективно використовувати обладнання на крутих схилах, у вузьких місцях або на територіях із ускладненим доступом.

Це робить їх незамінними в гірничій промисловості, будівництві великих інфраструктурних об'єктів та під час проведення рятувальних операцій.

Завдяки своїм унікальним конструктивним особливостям, кабельні крани забезпечують високу мобільність, адаптивність до різних умов і значну вантажопідйомність, що робить їх ефективним рішенням для виконання складних завдань у важких умовах експлуатації.

В якості візка для транспортування вантажу використовуються вантажні візки різної конструкції зображено на рисунках 1.7 -1.10.



Рисунок 1.7 – Візок звичайної класичної конструкції

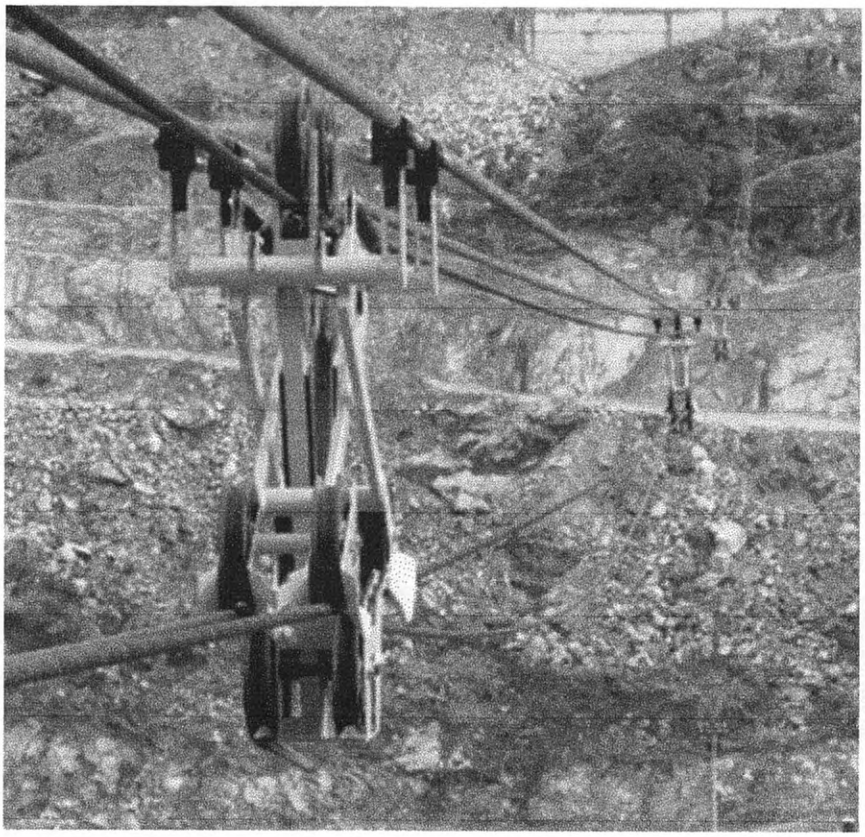


Рисунок 1.8 – Візок з додатковими блоками балансирами

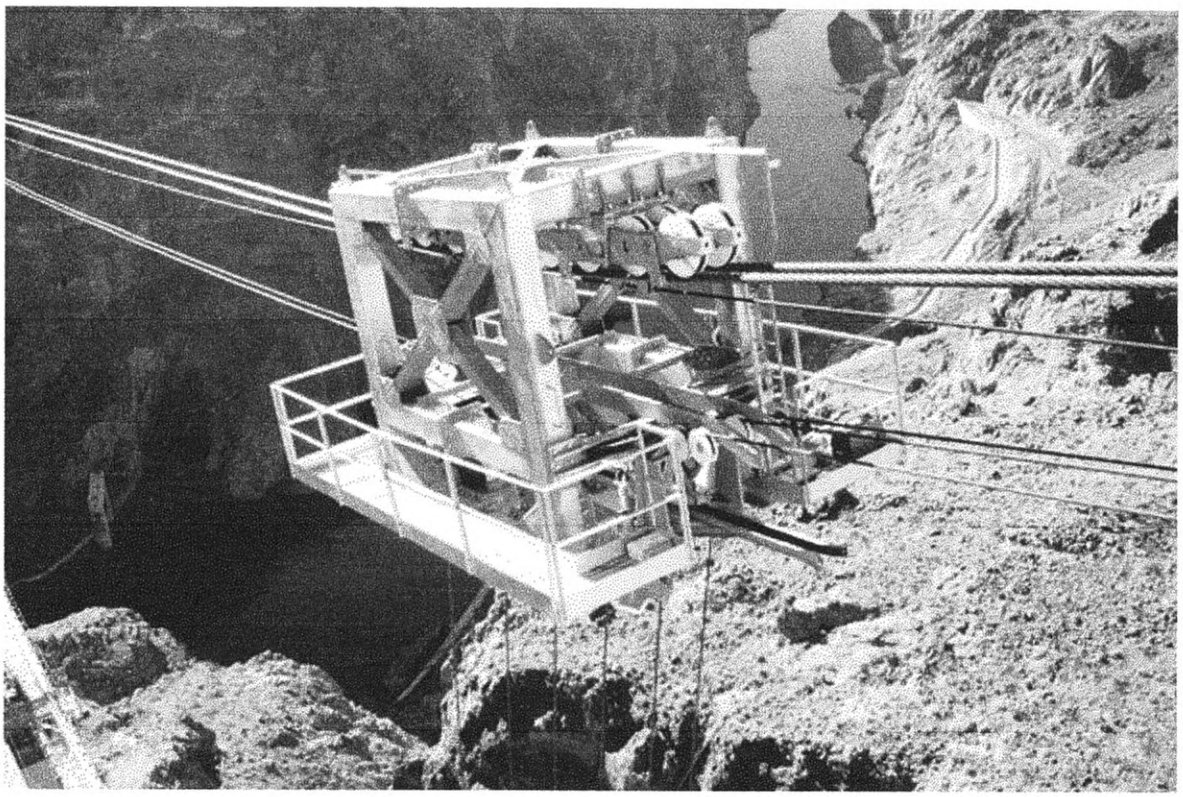


Рисунок 1.9 – Візок з механізмом підйому

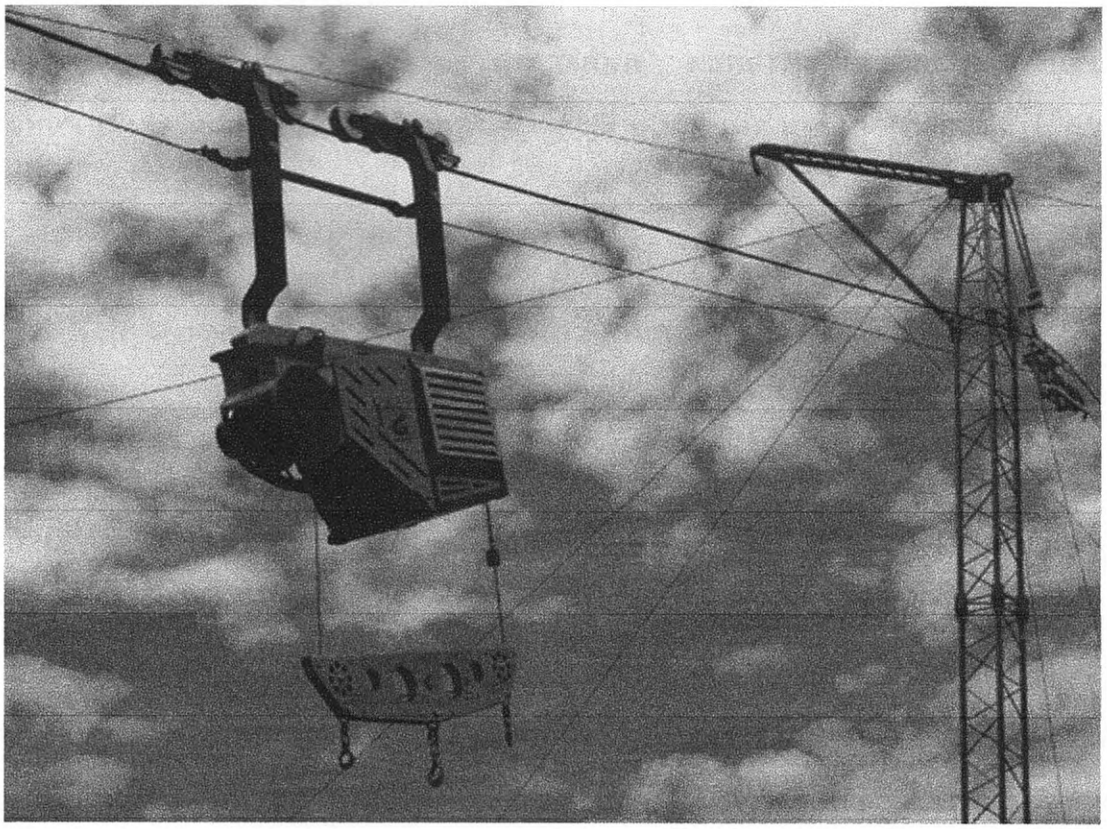


Рисунок 1.10 – Візок з електричним тельфером

На рисунку 1.11 наведено конструктивну схему кабельного крана який використовується при обслуговуванні складів.

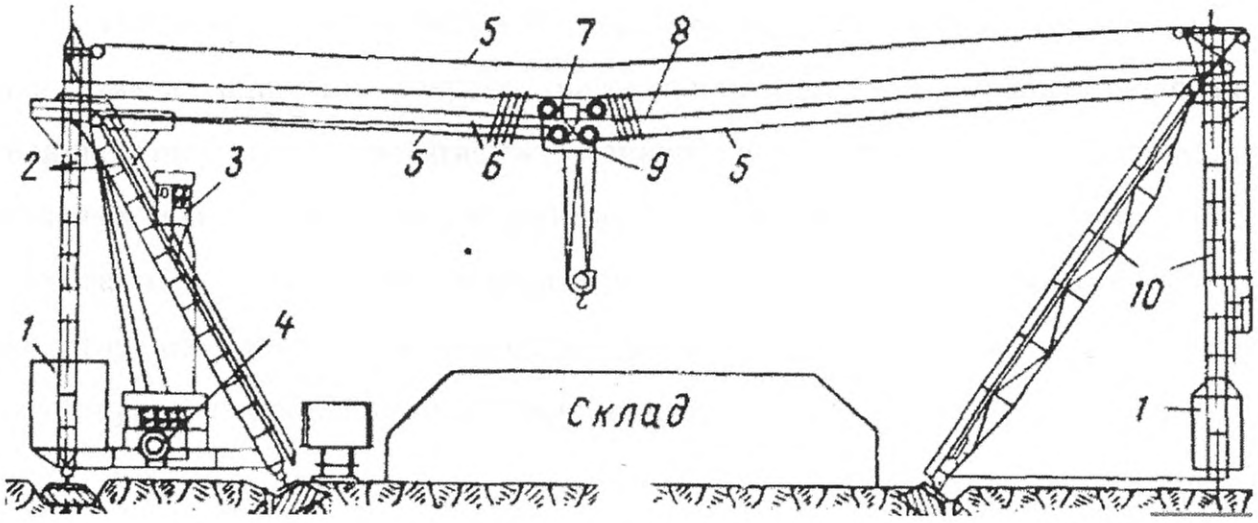


Рисунок 1.11 – Кабельний кран для складських операцій

Розділ 2: Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів та можливі варіанти збільшення продуктивності.

2.1 Керування краном та усунення коливань вантажу

Однією з важливих проблем, які виникають під час експлуатації кабельних кранів, є коливання вантажу на гнучкому підвісі. Ці коливання виникають під час нестаціонарних періодів роботи механізмів крана, таких як зміна вильоту. Через значну довжину канатів, коливання вантажу можуть тривати довгий час, що знижує ефективність робіт, оскільки оператор крана має постійно контролювати фазу цих коливань. Відповідно до правил охорони праці під час виконання робіт на висоті [5], знімати вантажні стропи забороняється, якщо вантаж не закріплений надійно. Тому важливо забезпечити стабільне положення вантажу, щоб уникнути його падіння, перекидання або сповзання, що представляє певну загрозу безпеці робіт на висоті.

Питання усунення коливань вантажу на гнучких підвісах вивчалося багатьма дослідниками. Зокрема, аналіз найбільш значущих праць показує, що найпростіші методи полягають у використанні спеціальних конструкцій підвісок, які запропоновані у роботах [4, 9]. Однак ці конструктивні зміни вимагають значних капіталовкладень і можуть додатково навантажувати конструкцію крана, що небажано. До того ж, усунення коливань за допомогою конструкційних рішень займає значний час.

У багатьох роботах [7-9] запропоновано усувати коливання вантажу шляхом управління приводом крана. Одним із підходів є регулювання тривалості розгону та гальмування візка крана, відповідно до періоду власних коливань вантажу за постійного приводного зусилля [4]. Проте, цей метод не є оптимальним через тривалий час, що негативно впливає на продуктивність крана.

Для оптимального керування вантажопідйомними кранами розроблено кілька методів, включаючи варіаційне числення [5], принцип максимуму [1] та динамічне програмування [2]. Згідно з критерієм швидкодії, усунення коливань вантажу можна досягти, використовуючи принцип максимуму, як це продемонстровано в ряді досліджень. Оптимальні закони керування були впроваджені у гідродинамічних приводах механізмів обертання баштового крана, пересування вантажного візка та прольотної балки мостового крана.

Релейний характер змін у керуванні може призводити до значних динамічних перевантажень, що негативно впливає на надійність обладнання. Для зменшення цих перевантажень запропоновано наближення до оптимальних режимів руху з плавним наростанням керування [4], що дозволяє зберегти швидкодію процесу. Принцип максимуму забезпечує лише "якісну" оцінку оптимального керування, тому для точного визначення параметрів, таких як моменти перемикання керування, необхідно використовувати додаткові методи. Різниця між підходами різних дослідників полягає у використанні різних методів аналізу динаміки системи, таких як розв'язання систем трансцендентних рівнянь та метод фазової площини.

2.2 Динамічна модель механізму зміни вильоту та підйому кабельних кранів

Кабельний кран, з точки зору динамічного аналізу, являє собою єдину динамічну систему, що включає механізми, несучі металоконструкції та приводи. Врахування всього різноманіття взаємодіючих елементів крана у динамічному розрахунку є досить складним і часто зайвим, оскільки не всі фактори однаково впливають на формування динамічних навантажень.

При переході від реальної машини до її розрахункової динамічної моделі, нехтують тими фізичними факторами, які не мають суттєвого значення для даного аналізу. У конкретних випадках динамічного розрахунку одні фізичні фактори є головними і визначальними, а інші — другорядними.

Розрахункова динамічна схема, що моделює реальну систему, повинна відповідати двом основним вимогам: по-перше, бути максимально адекватною реальній системі, наскільки це можливо, відображаючи основні фізичні властивості досліджуваної системи; по-друге, мати прийнятний рівень складності, щоб рішення динамічної задачі не стало надмірно трудомістким. Ускладнення розрахункової схеми повинно бути обґрунтоване підвищенням точності розрахунку, тоді як спрощення не повинно викривляти реальний фізичний процес.

Критерієм достовірності прийнятої розрахункової моделі є відповідність результатів, отриманих теоретичним та експериментальним методами [9].

У цьому дослідженні розглядається одночасне функціонування механізмів підйому вантажу та зміни вильоту кабельного крана. Для створення динамічної моделі необхідно зробити низку припущень. Вважається, що:

1. Всі елементи механізмів зміни вильоту та підйому вантажу є твердими тілами зі зосередженими і незмінними масами (моментами інерції).

2. Усі елементи крана рухаються у вертикальній площині, тобто розглядається плоска задача.

3. Вантаж здійснює кілька видів коливань: на гнучкому підвісі за типом маятника і вздовж вертикальної осі.

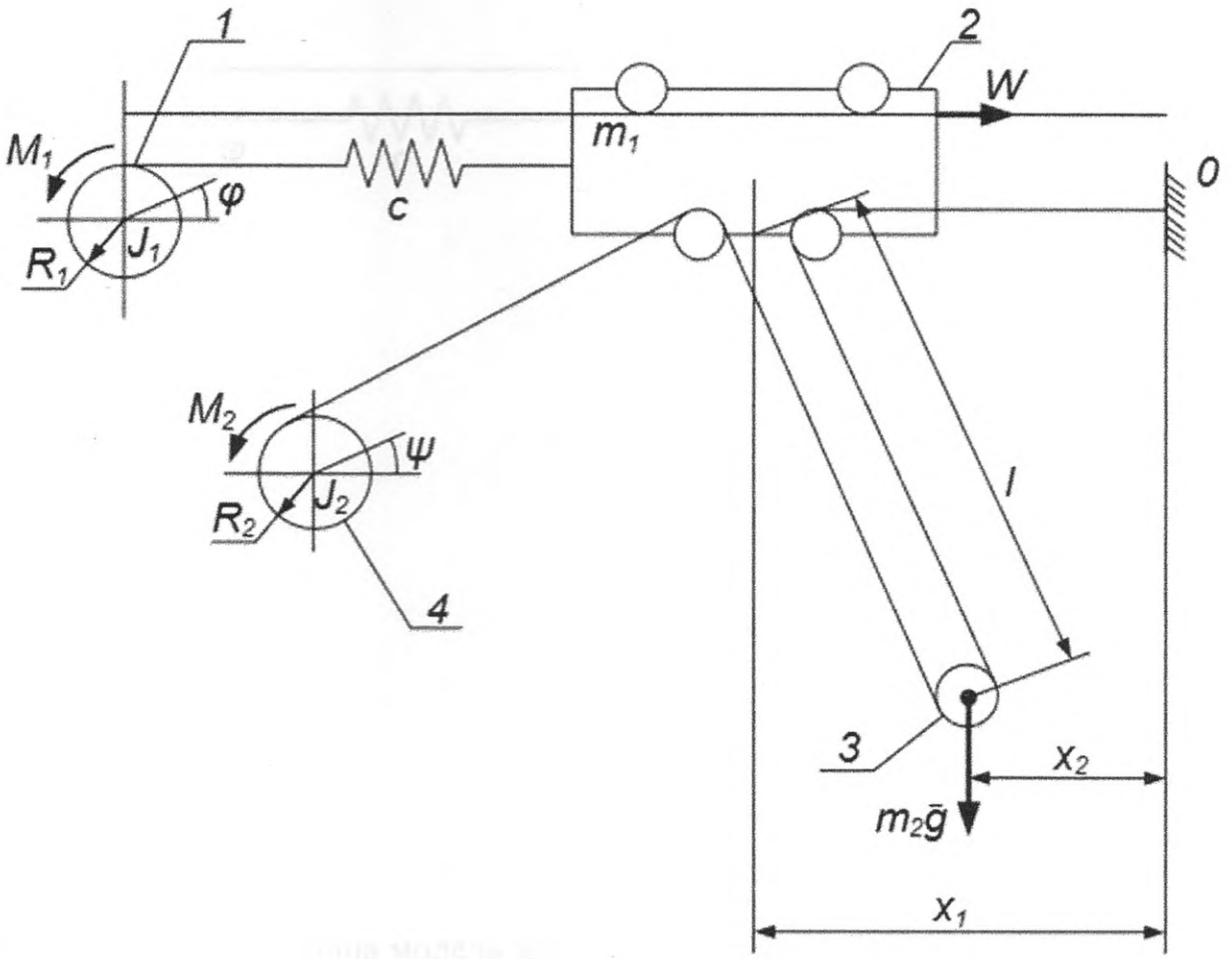
4. Зведена жорсткість канатів (для привода візка та підйому вантажу) залишається постійною під час перехідних процесів.

5. Статичний опір руху кранового візка є постійним (відхилення поліспастної системи від вертикалі під час зміни вильоту вантажу незначні і практично не впливають на величину статичного опору).

6. Вітрові навантаження відсутні або настільки малі, що їх дія не враховується.

Внаслідок цих припущень була розроблена динамічна модель сумісного руху механізмів зміни вильоту і підйому вантажу, яка представлена на рис. 2.1. При побудові моделі вважається, що вертикальні коливання вантажу, які виникають у перехідних режимах (підйом або опускання вантажу), не впливають на рух самого візка. Це припущення обґрунтовується тим, що амплітуда коливань вантажу під час підйому або опускання незначна, тому довжина канату змінюється мало. Крім того, перехідний процес руху візка короткочасний, що забезпечує практично незмінну довжину гнучкого підвісу і незначний вплив на параметри динамічної моделі.

Таким чином, динамічну модель, зображену на рис. 2.1, можна розбити на дві окремі моделі: для руху візка з вантажем на гнучкому підвісі (рис. 2.2) і для підйому (опускання) вантажу (рис. 2.3). На рис. 2.3 представлені наступні позначення (всі величини наведені до канатів).



1 – барабан привода візка; 2 – вантажний візок; 3 – поліспаст;

4 - барабан привода механізму підйому вантажу; l - довжина гнучкого підвісу вантажу; J_1 - приведений до барабана момент інерції привода візка; J_2 -приведений до барабана момент інерції приводу механізма підйому; с - коефіцієнт жорсткості каната привода візка; М1, М2 - рушійні моменти на приводних барабанах; R_1,R_2 - радіуси барабанів відповідно механізмів переміщення візка та підйому вантажу; W - сила статичного опору переміщення візка.

Рисунок 2.1 –Динамічна модель зміни вильоту крана та підйому (опускання) вантажу[2].:

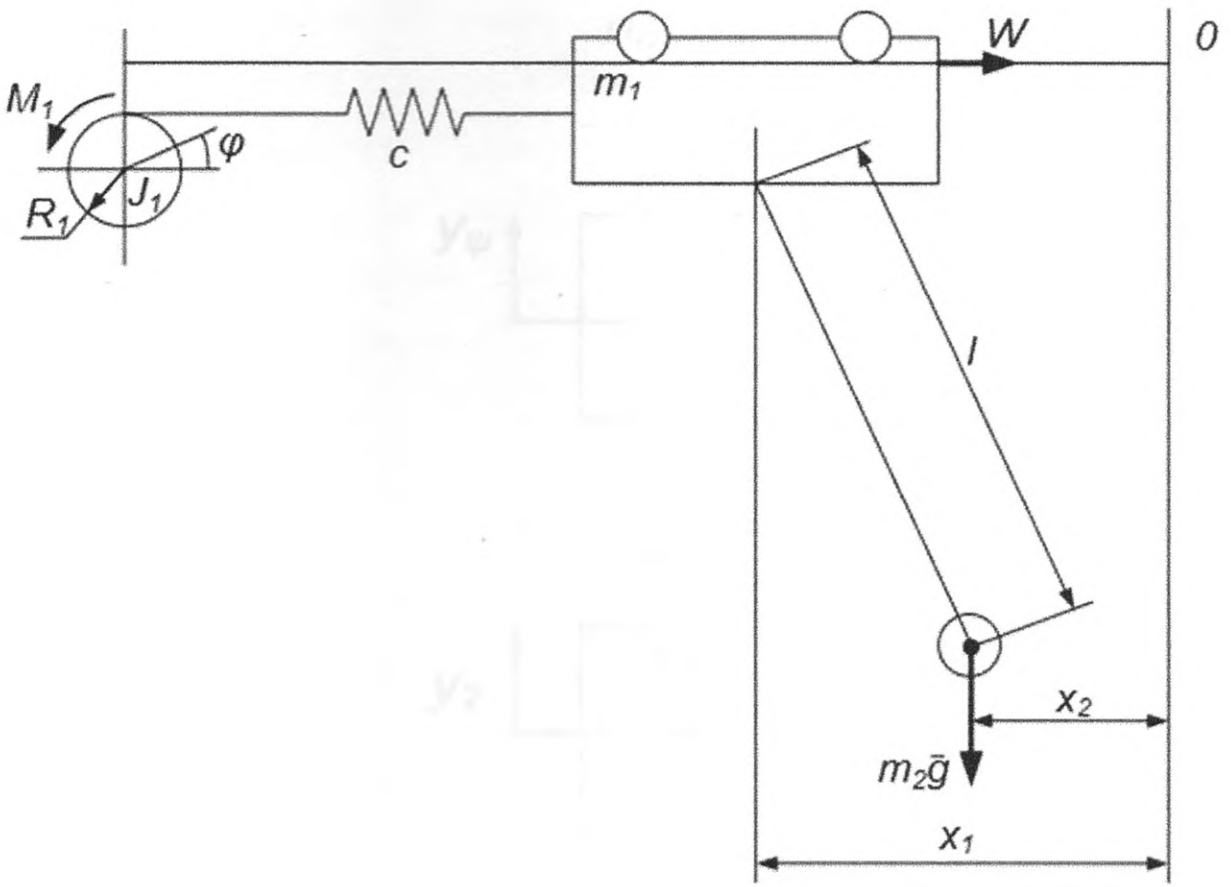


Рисунок 2.2 –Динамічна модель зміни вильоту крана[2].

Отже, можна динамічну модель, зображену на рисунку перетворити.

Для визначених величин формули розрахунку наступні:

$$F_{прив.\psi} = \frac{M_2}{R_2} = \frac{M_{\partial\psi} i_\psi}{R_2 \eta_\psi}, \tag{2.1}$$

$M_{\partial\psi}$ — момент електродвигуна механізму підйому вантажу;

i_ψ — передаточне число механізму підйому вантажу;

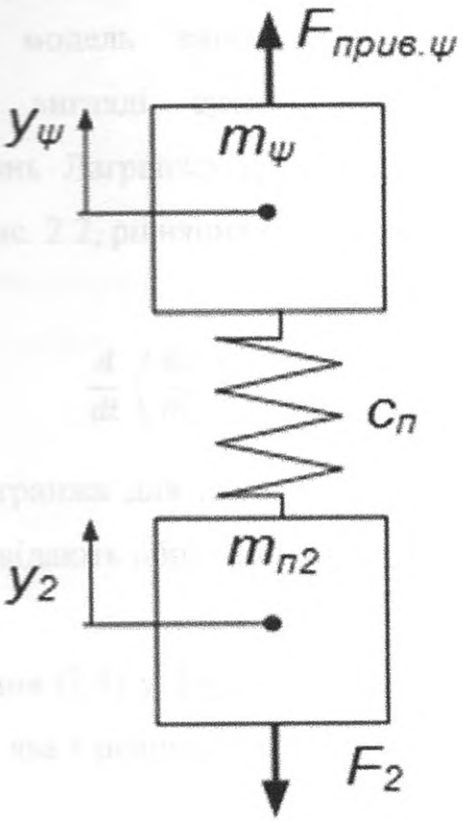
η_ψ — коефіцієнт корисної дії механізму підйому вантажу;

$$m_\psi = \frac{J_2}{R_2^2}; \tag{2.2}$$

$$c_n = c / n^2, \tag{2.3}$$

n — кратність поліспасту.

$$m_{n2} = m_2 / n^2. \qquad (2.4)$$



F.привψ – приведене приводне зусилля механізму підйому вантажу;

F2 - приведена сила ваги вантажу; ψm - приведена маса механізму підйому вантажу; пс – приведена жорсткість канатно-поліспастної системи механізму підйому вантажу; $m_{п2}$ - приведена маса вантажу; та y_2 - координати центрів відповідних мас

Рисунок 2.3 – Динамічна модель підйому (опускання) вантажу:

Узагальнені координати для динамічної моделі на рис. 2.2 включають кутову координату повороту барабана механізму переміщення візка φ, а також лінійні координати центрів мас візка x1 і вантажу x2.

Для моделі на рис. 2.3 узагальнені координати включають лінійні координати $y_ψ$ і y_2.

Варто зазначити, що динамічна модель підйому (опускання) вантажу вже відома в науковій літературі з динаміки кранів [7-9].

Маючи динамічну модель зміни вильоту, можна побудувати математичну модель у вигляді системи диференціальних рівнянь, застосовуючи метод рівнянь Лагранжа другого роду [4]. Для динамічної моделі, представленої на рис. 2.2, рівняння матиме наступний вигляд:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i}\right) - \frac{\partial L}{\partial q_i} = Q_i, \tag{2.5}$$

де L — функція Лагранжа для даної схеми (рис. 2.2), а Q_ϕ,Q_1,Q_2 — узагальнені сили, що відповідають обраним узагальненим координатам.

Щоб записати рівняння (2.5) у формі, придатній для аналізу, необхідно знайти функцію Лагранжа, яка є різницею кінетичної (T) та потенціальної (V) енергій системи:

$$L = T - V. \tag{2.6}$$

Визначимо відповідні доданки для системи рівнянь (2.5). Кінетична енергія включає складові, пов'язані з рухом візка та вантажу, а потенціальна енергія залежить від положення вантажу та деформацій канатів. Узагальнені сили визначаються на основі зовнішніх сил і моментів, що діють на систему.

Записуючи узагальнені сили для відповідних координат, отримуємо систему рівнянь у формі Лагранжа:

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\phi}}\right) - \frac{\partial L}{\partial \phi} = Q_\phi, \tag{2.7}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_1}\right) - \frac{\partial L}{\partial x_1} = Q_1, \tag{2.8}$$

$$\frac{d}{dt}\left(\frac{\partial L}{\partial \dot{x}_2}\right) - \frac{\partial L}{\partial x_2} = Q_2. \tag{2.9}$$

З урахуванням виразів (2.7)-(2.9), математична модель зміни вильоту

вантажу набуде вигляду, зручного для подальшого аналізу:

$$M_\phi \ddot{\phi} + C_\phi \dot{\phi} + K_\phi \phi = Q_\phi, \tag{2.10}$$

$$M_{x_1} \ddot{x}_1 + C_{x_1} \dot{x}_1 + K_{x_1} x_1 = Q_1, \tag{2.11}$$

$$M_{x_2} \ddot{x}_2 + C_{x_2} \dot{x}_2 + K_{x_2} x_2 = Q_2. \tag{2.12}$$

Отримана математична модель зміни вильоту вантажу буде використана для аналізу та оптимізації перехідних процесів руху кранового візка з вантажем.

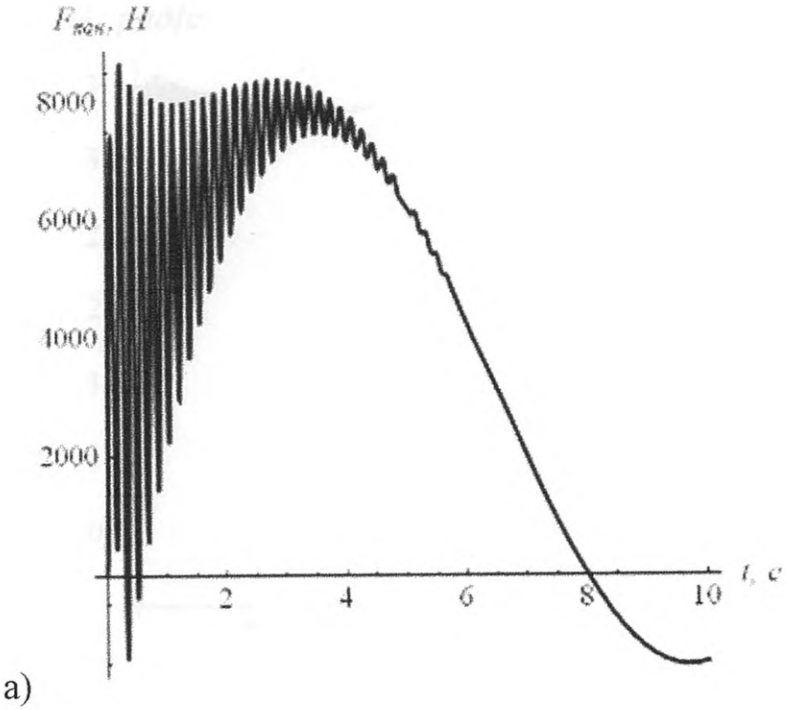
Для динамічної моделі підйому (опускання) вантажу немає необхідності знаходити математичну модель, оскільки вона вже відома [7-9]. Її рівняння мають такий вигляд:

$$M_y \ddot{y} + C_y \dot{y} + K_y y = Q_y, \tag{2.13}$$

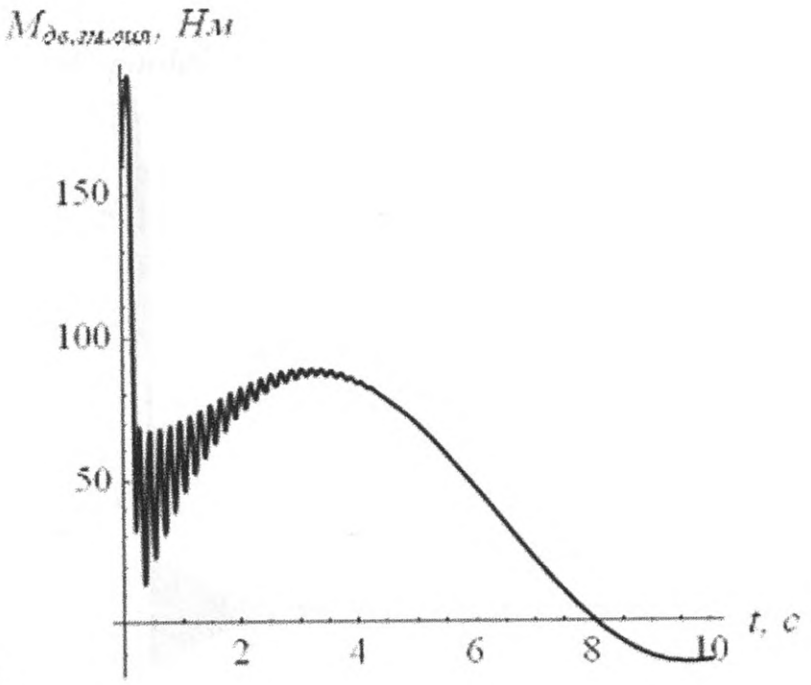
де M_y, C_y, K_y — масова, демпфуюча і жорсткісна характеристики для процесу підйому (опускання) вантажу, відповідно.

Ці моделі забезпечують основу для подальшого дослідження та оптимізації динамічної поведінки кабельного крана у різних режимах експлуатації.

На прикладі описаному в монографії [4] можна побачити як змінюються показники при роботі двигуна на природній механічній характеристиці.

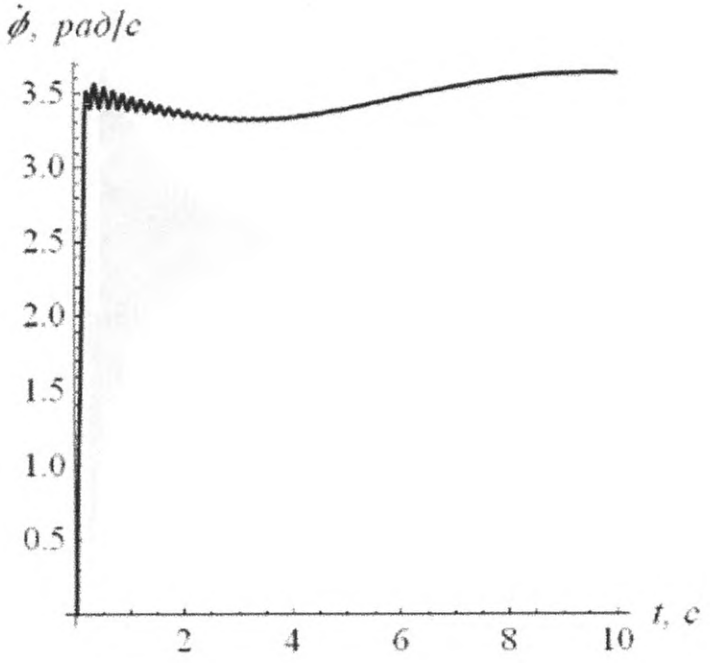


а)

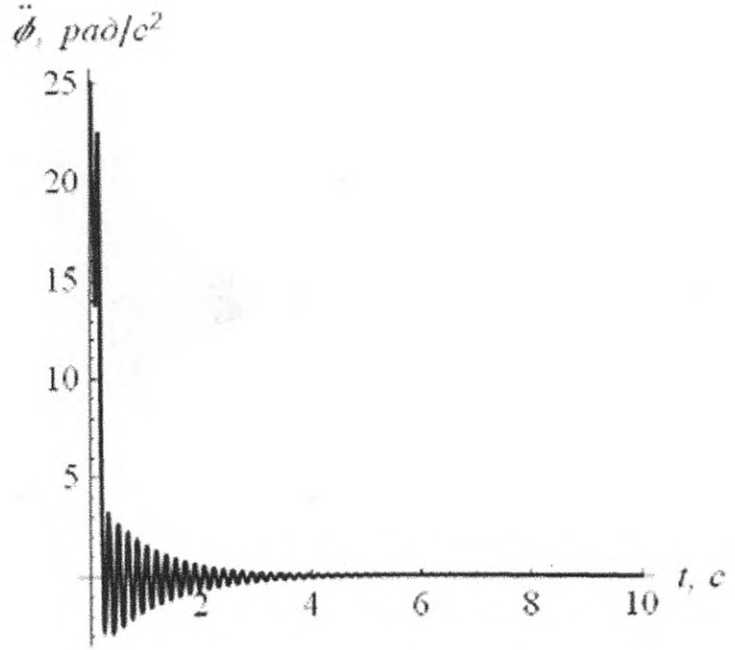


б)

Рисунок 2.4 Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці [2]: (а)– зусилля у тяговому канаті (б)– момент валу двигуна

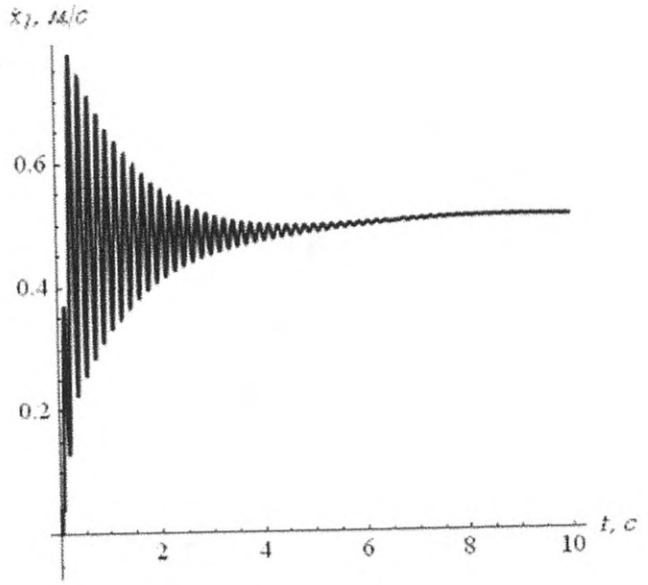


а)

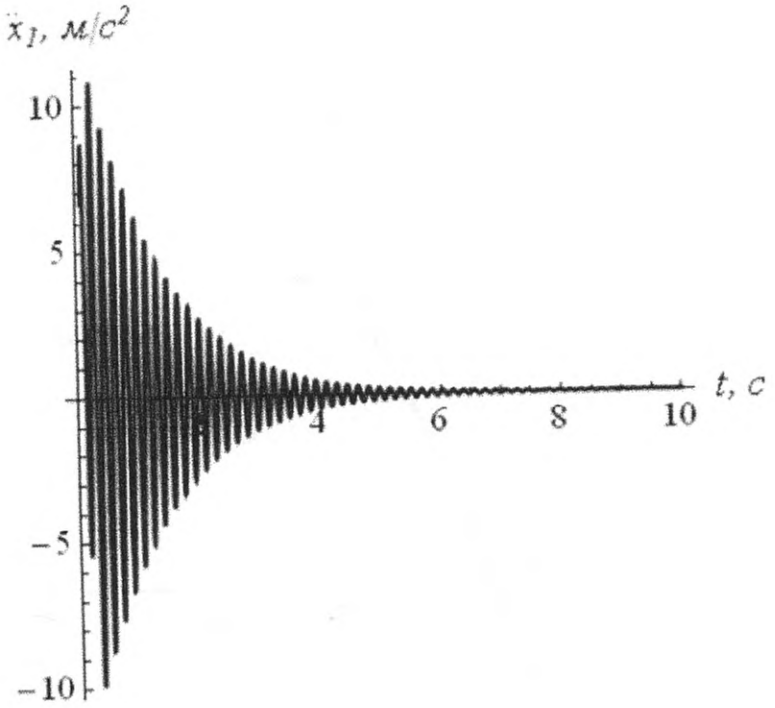


б)

Рисунок 2.5 Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці[2]: (а) – швидкість канатного барабану, (б) – прискорення канатного барабану,

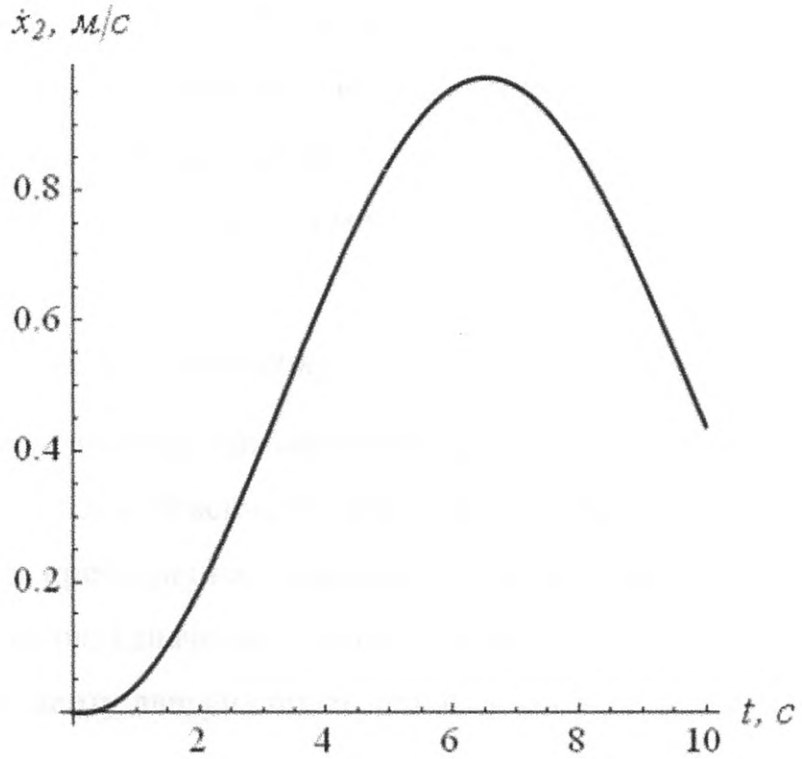


а)

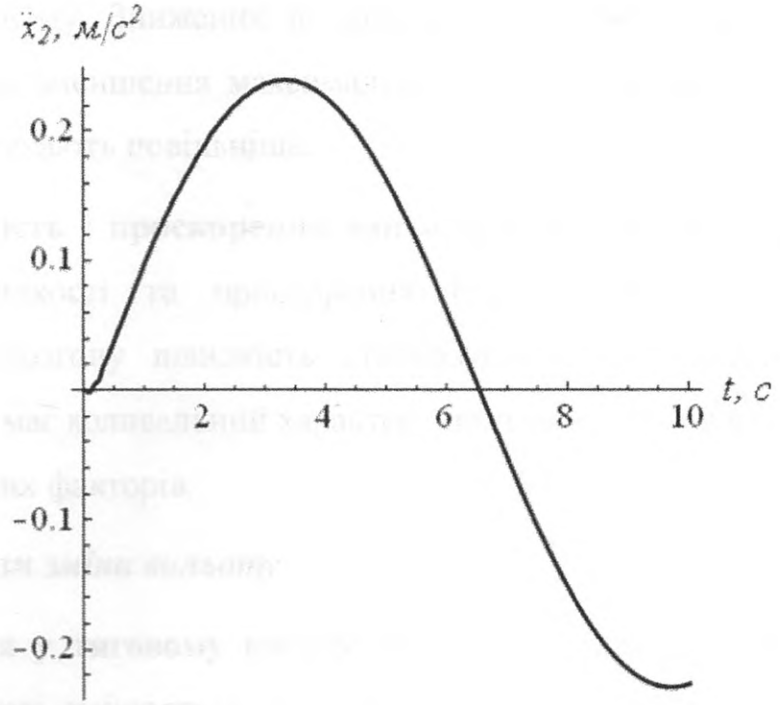


б)

Рисунок 2.6 Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці[2]: швидкість (а) та прискорення (б) візка



а)



б)

Рисунок 2.7 Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці[2]: швидкість (а) та прискорення (б) вантажу

Для дослідження та оптимізації динамічної поведінки кабельного крана вантажопідйомністю 20 тонн при різних режимах експлуатації розглянемо детальні розрахунки та аналіз графіків основних параметрів роботи механізмів підйому вантажу та зміни вильоту. Це допоможе виявити основні закономірності і вплив різних чинників на динамічну стійкість і ефективність роботи крана.

Механізм підйому вантажу

Зусилля у тяговому органі (канаті): Зусилля у канаті визначається як сума статичного навантаження від ваги вантажу та динамічних складових, що залежать від прискорення. Графіки показують коливання тягового канату з високою частотою і значною амплітудою, які поступово затухають. Вплив початкового моменту двигуна проявляється у зміні амплітуди цих коливань.

Момент на валу двигуна: Момент двигуна безпосередньо впливає на динаміку підйому. Зниження початкового (пускового) моменту двигуна призводить до зменшення максимального зусилля у канаті, але водночас коливання затухають повільніше.

Швидкість і прискорення вантажу у вертикальному напрямку: Графіки швидкості та прискорення вантажу показують, що після початкового розгону швидкість стабілізується на номінальному рівні. Прискорення має коливальний характер, що зменшується з часом, внаслідок дії демпфуючих факторів.

Механізм зміни вильоту

Зусилля у тяговому канаті: Як і в механізмі підйому, зусилля у тяговому канаті змінюється відповідно до динаміки переміщення візка. Коливання канату можуть передаватися на інші елементи крана, включаючи металоконструкцію, що може призвести до небажаних вібрацій.

Момент на валу двигуна: Момент на валу двигуна впливає на зміну

швидкості і прискорення візка. Аналіз графіків показує коливальний характер моменту, який може передавати динамічні навантаження на інші компоненти системи.

Швидкість і прискорення візка, вантажу і канатного барабану (кутові величини): Графіки показують швидке досягнення номінальних значень швидкості візка. В подальшому, рух візка супроводжується коливаннями швидкості через вплив відхилень вантажу. Кутові швидкості та прискорення канатного барабана мають значні коливання, що також можуть впливати на стійкість конструкції.

Висновки з аналізу графіків

Коливання тягового канату є високочастотними і швидко затухають. Вплив початкового моменту двигуна показує, що зі зменшенням моменту знижується максимум зусилля, але коливання затухають довше.

Аналіз кутових швидкостей та прискорень канатного барабана демонструє їх коливальний характер. Такі коливання передаються на металоконструкцію крана, що призводить до додаткових вібрацій, які є небажаними в експлуатації.

Лінійні швидкості та прискорення візка швидко досягають номінальних значень, проте в процесі руху спостерігаються коливання, викликані вантажем. Зміна механічної характеристики приводного двигуна з природної на штучну може зменшити амплітуду коливань вантажу, але подовжує тривалість перехідного процесу.

Оптимізація динамічної поведінки вимагає комплексного підходу, що враховує взаємодію всіх компонентів системи. Потрібно зважати на те, що зміна параметрів двигуна не завжди веде до покращення загальної стабільності системи, і може призводити до небажаних коливань у інших частинах крана.

Для подальшого дослідження рекомендується проведення експериментів та симуляцій з використанням адаптивних алгоритмів керування, які здатні автоматично підлаштовувати параметри роботи двигунів залежно від поточного стану системи. Це дозволить підвищити стабільність та ефективність роботи кабельного крана у різних режимах експлуатації.

2.3 Шляхи збільшення продуктивності кабельного крана

Оскільки єдиним вантажотранспортним зв'язком між робочою зоною – дном кар'єру та верхніми горизонтами – є кабельний кран, його продуктивність обмежуватиме продуктивність кар'єру по гірській масі. Оцінити її можна за формулою

$$П = \frac{3,6}{Тц} \cdot Qп \cdot tзм \cdot Nдн \cdot Nзм \cdot kнер \cdot kвик \cdot kт.г. \qquad (2.14)$$

де Qп – корисна маса вантажу, т;

tзм – тривалість робочої зміни, год;

Nдн – кількість робочих днів на рік;

Nзм – кількість змін на добу;

kнер – коефіцієнт нерівномірності роботи (0,98);

kвик - коефіцієнт використання змінного часу (0,92);

kт.г. – коефіцієнт технічної готовності (0,96);

Тц - час циклу, с.

Тривалість транспортного циклу кабельного крана

$$T\,ц = Tз + 2\,Tп + Tр\,, \qquad (2.15)$$

де Тз – час завантаження контейнера навантажувачем, с;

Тп – час переміщення контейнера кабельним краном;

Тр – час розвантаження контейнера, с.

Час переміщення контейнера кабельним краном розраховується за найбільшим значенням, отриманим із формул:

$$t_{під} = H / V_{під}, \quad (2.16)$$

$$t_{гор} = S / V_{пер}, \quad (2.17)$$

де tпід – час підйому, с;

tгор – час горизонтального переміщення контейнера, с;

Н – висота підйому, м;

Vпід – швидкість підйому контейнера, м/с;

S – відстань від точки завантаження до точки розвантаження (по горизонталі), м;

Vпер – швидкість пересування візка, м/с. Продуктивність кабельного крана при доставці гірничої маси з дна кар'єру на середні горизонти, розрахована за наведеними формулами, представлена на рис. 2.8-2.10.

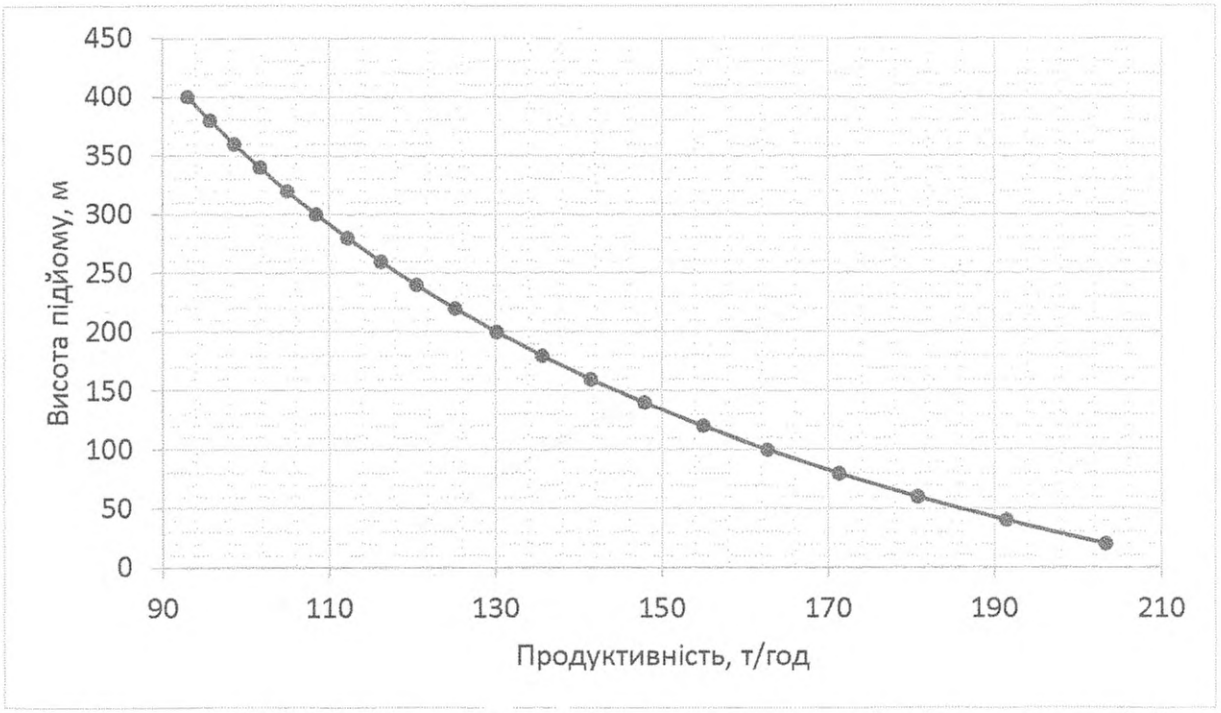


Рисунок 2.8 Графік залежності продуктивності від висоти підйому вантажу (при швидкості підйому 1 м/с) при одному візку

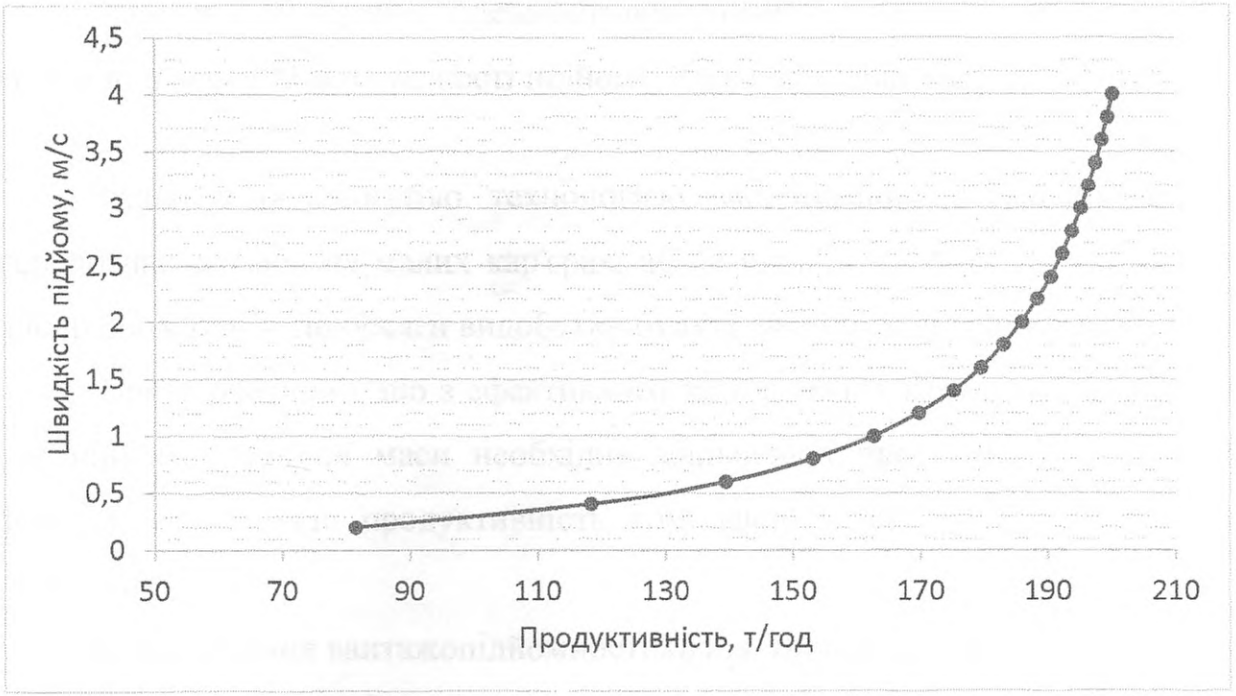


Рисунок 2.9 Графік залежності продуктивності від швидкості підйому (при висоті підйому 100 м) при одному візку

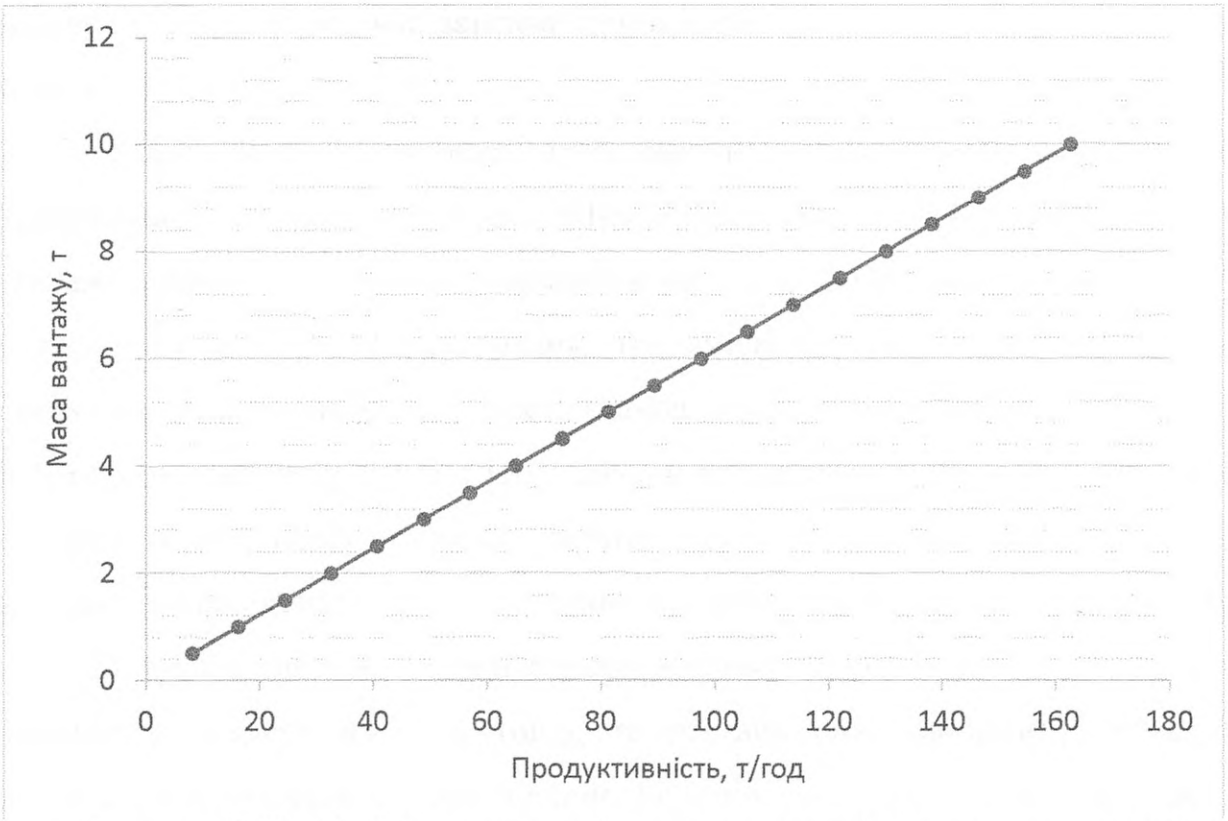


Рисунок 2.10 Графік залежності продуктивності від маси вантажу (при висоті підйому 100 м, швидкості підйому 1 м/с) при одному візку

Згідно з розглянутою технологією застосування кабельних кранів передбачається або на малих кар'єрах, або в нижній частині кар'єрів при їх доопрацюванні, коли обсяги видобутку будуть меншими від зазначених.

Проте очевидно, що з ефективного застосування кабельних кранів під час підйому гірничої маси необхідне збільшення продуктивності. Аналіз формул показує, що продуктивність комплексу можна збільшити такими шляхами:

1) Збільшення вантажопідйомності крана. Даний параметр обмежується стійкістю породи бортів кар'єру, де встановлений кран (тому що маса його металоконструкції безпосередньо залежить від вантажопідйомності), а також можливістю підприємств виготовити кран певної вантажопідйомності. Після вивчення попередніх технічних пропозицій виробників кабельних кранів було

виявлено, що максимальна вантажопідйомність, яка значиться в їх технічних характеристиках, – це 50 т.

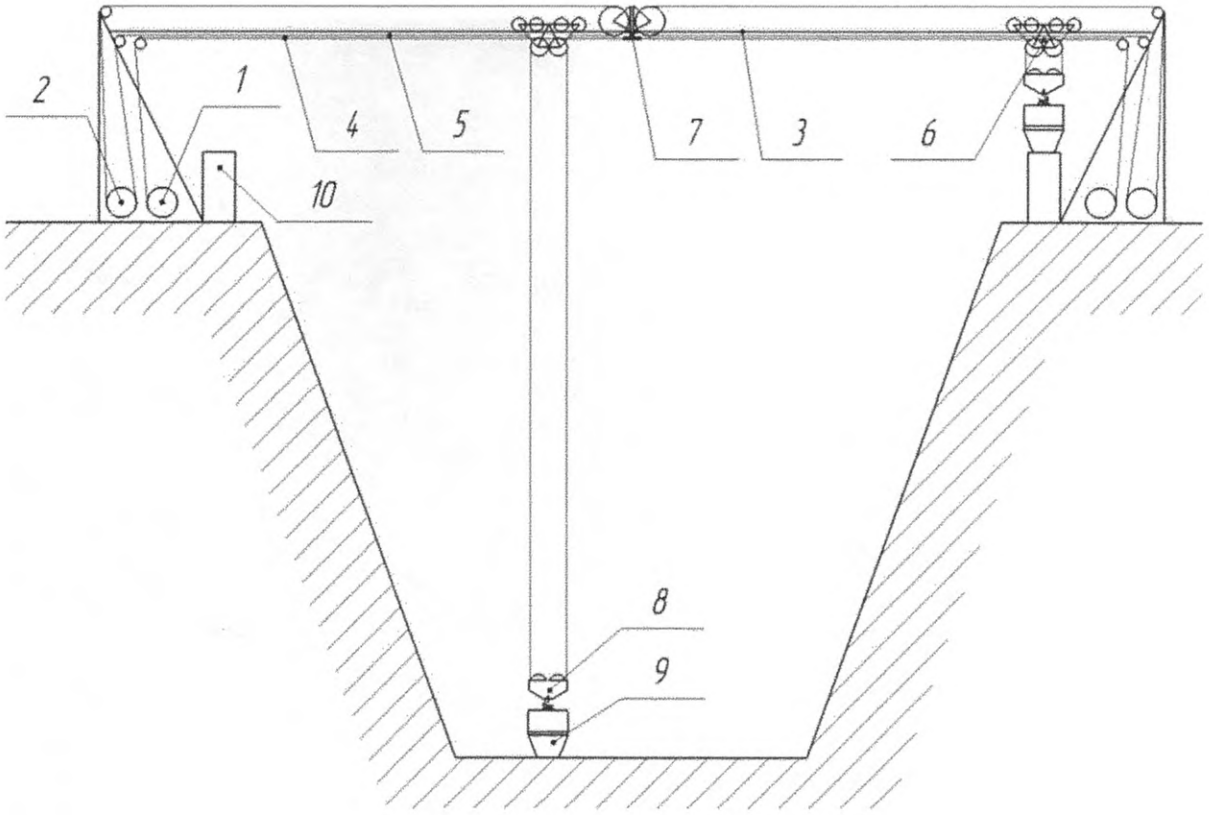
2) Збільшенням швидкості транспортування контейнера між точками навантаження та розвантаження. Швидкість переміщення візка і підйому вантажу можна збільшувати до досить великих величин, обмежуючись лише потужністю приводу і габаритами трансмісії, що випливають з нього. Рекомендовані граничні швидкості становлять: для переміщення візка 12,5 м/с, підйому вантажу 6,3 м/с [10]. Значне підвищення робочих швидкостей призводить до перевантажень канатів через поперечні коливання, що виникають при екстреному гальмуванні, що знижує термін їхньої служби [11].

3) Збільшенням коефіцієнта використання змінного часу – усуненням перезмінок, перерв на обід тощо, тобто. винятком людини із процесу управління комплексом. Такі технічні рішення нині цілком реальні. Так, у патенті [12] розглянуто систему управління в автоматичному режимі кабельним краном, призначеним для транспортування бетону на місце будівництва греблі. Система управління кабельним краном передбачає автоматичне транспортування бадді по найкоротшій траєкторії, шляхом обчислення координат положення вантажу за допомогою датчиків ваги, електронних далекомірів, встановлених на лебідках, і коригує їх, враховуючи прогин несучого каната та дію вітру. Точне встановлення бадді на пункт завантаження та розвантаження відбувається за допомогою ультразвукових датчиків виявлення об'єкта. Оператор у цій системі виконує функцію контролю за процесом, що відбувається, і коригує дії у разі виникнення позаштатних ситуацій.

Відома також система GPS-наведення гакової підвіски кабельних кранів, що використовуються при будівництві гребель, під керуванням «штучної системи» [13], алгоритми якої можуть визначити оптимальний маршрут для бадді, запобігаючи зіткненням з навколишніми об'єктами. Ця система успішно використовувалася під час будівництва ГЕС Дагангшань (Китай).

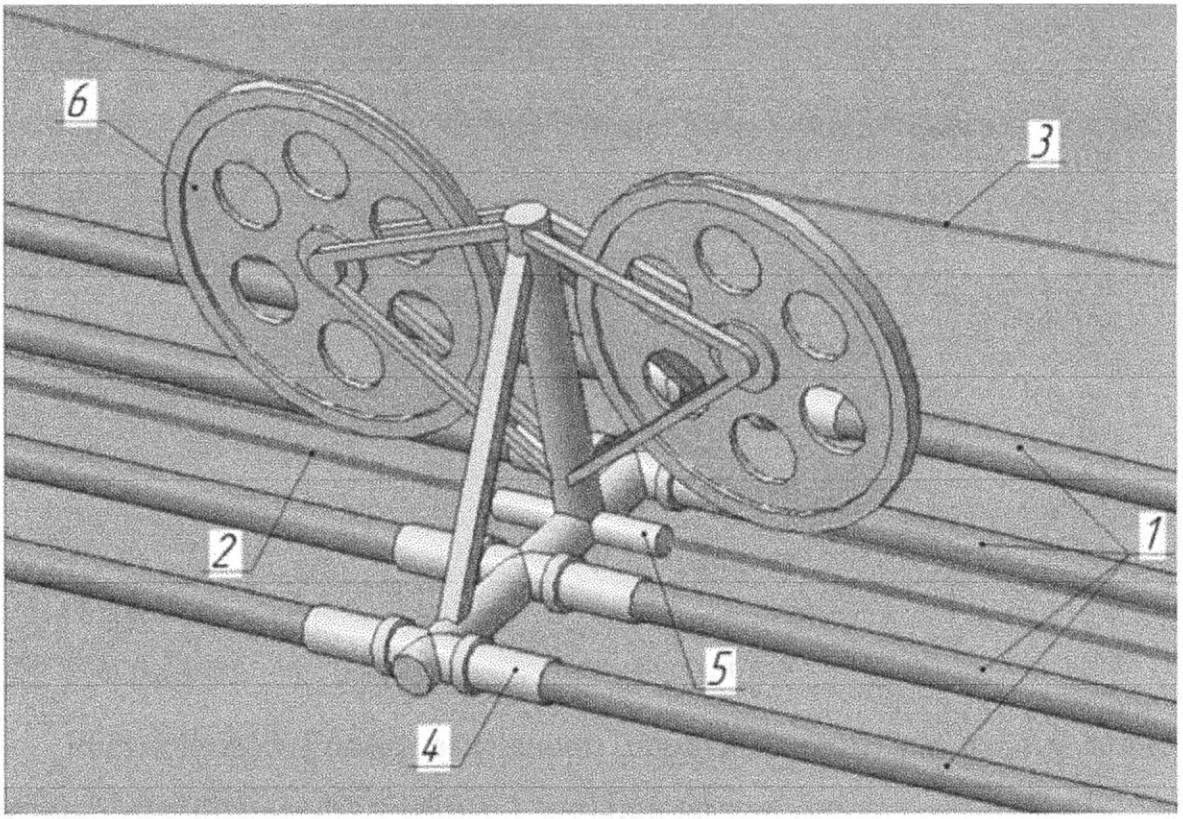
4) Збільшення кількості підйомно-транспортних пристроїв. Це можна здійснити або збільшенням кількості кабельних кранів на кар'єрі, але тоді пропорційно кількості кранів зростуть і капітальні витрати на здійснення даного проекту. Або використовувати два вантажні візки, кінематично не пов'язані між собою, на одному крані шляхом встановлення двох машинних веж із розвантажувальними естакадами на протилежних бортах кар'єру.

Подібне рішення описано в патенті [14], де розглядається кабельний кран з аеростатом, що підтримує центральну частину канатів. Це рішення збільшує вартість комплексу у зв'язку із встановленням ще одного машинного приміщення, вантажного візка та розвантажувальної естакади, а також масу металоконструкції самого крана. Пересування візків по несучому канату, через систему управління синхронізується так, що в центральній частині несучих канатів знаходиться тільки один візок. Це дозволяє знизити навантаження на канати та зменшити їхню металоємність. Цілком можливо, що така схема застосовна і без аеростату. У цьому випадку металомісткість кабельного крана неминуче збільшиться, проте якщо використовувати пропоновану в патенті [14] схему синхронізації руху, то зростання буде не таким значним. Схема кабельного крана із двома вантажними візками представлена на рис.2.11.



1 – вантажна лебідка; 2 – тягова лебідка; 3 – несучий канат; 4 – вантажний канат; 5 – тяговий канат; 6 – вантажний візок; 7 – проміжний вузол; 8 – гакова підвіска; 9 – контейнер; 10 – розвантажувальна естакада

Рисунок 2.11 Схема кабельного крана з двома вантажними візками



1 – несучі канати; 2 – вантажний канат; 3 – тяговий канат; 4 - кінцева муфта несучого каната; 5 – кінцева муфта вантажного каната; 6 – обвідний блок

Рисунок 2.12 Модель проміжного вузла [6]

За розрахунками це рішення збільшує продуктивність комплексу приблизно на 50 % порівняно з краном з одним візком за умови збереження вантажопідйомності кожного вантажного візка (при врахуванні, що коефіцієнт нерівномірності роботи становитиме 0,96). Графіки наведено на рис. 2.13-2.15.

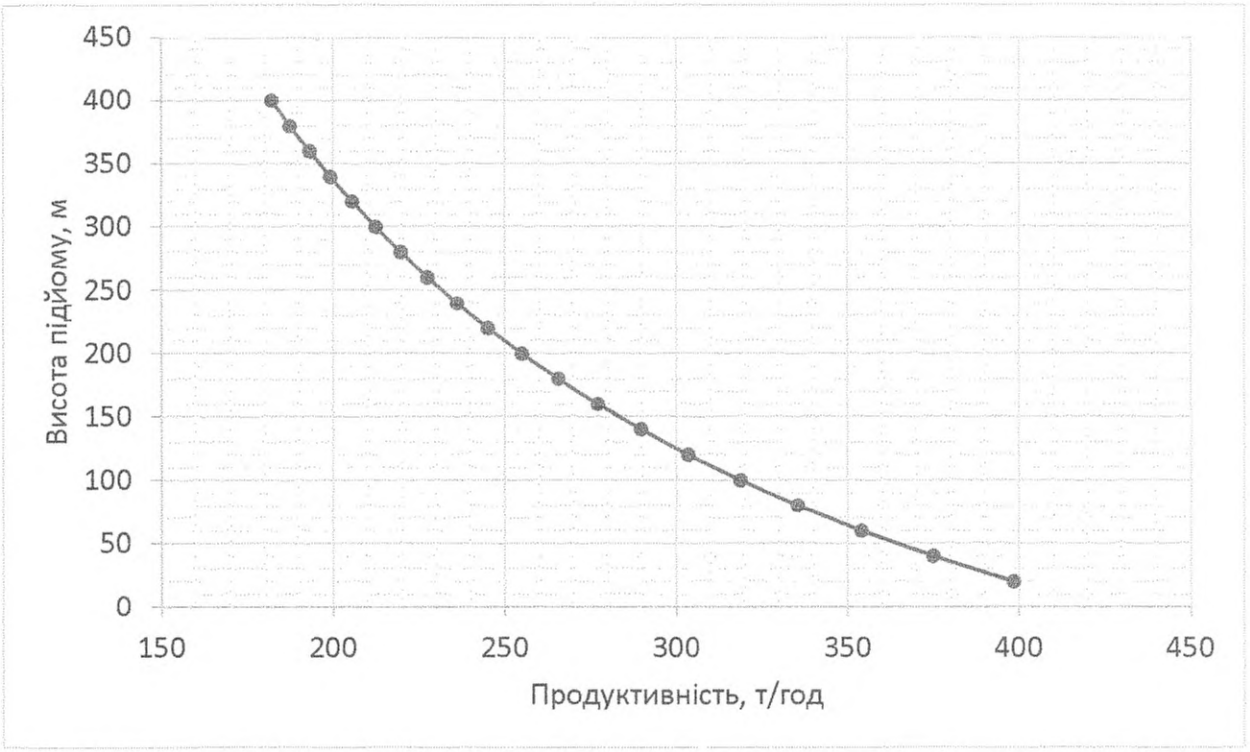


Рисунок 2.13 Графік залежності продуктивності від висоти підйому вантажу (при швидкості підйому 1 м/с) при двох візках

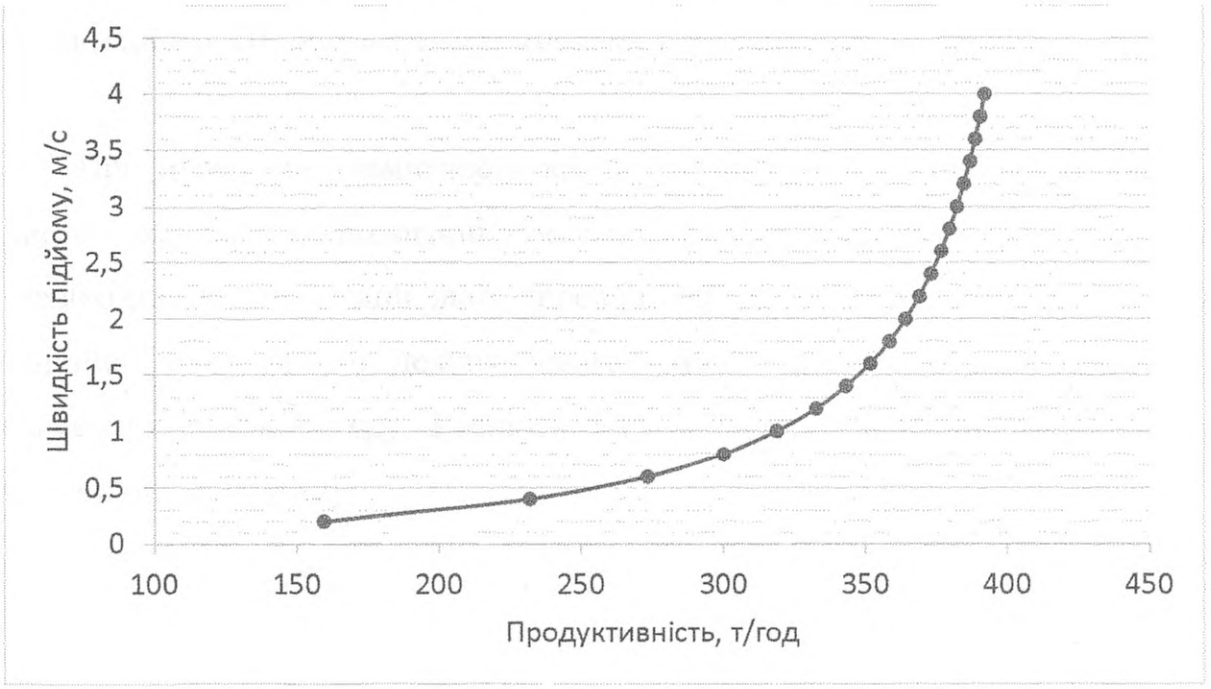


Рисунок 2.14 Графік залежності продуктивності від швидкості підйому (при висоті підйому 100 м) при двох візках

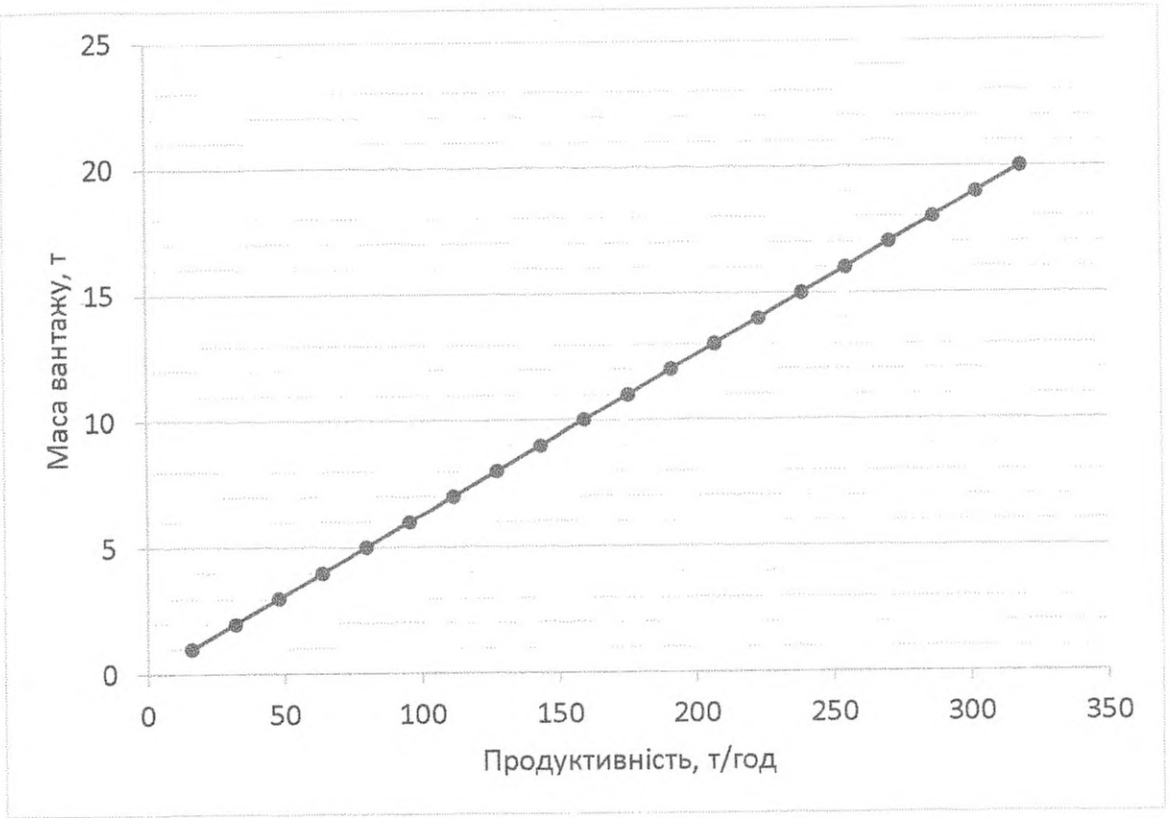


Рисунок 2.15 Графік залежності продуктивності від маси вантажу (при висоті підйому 100 м, швидкості підйому 1 м/с) при двох візках

При цьому металомісткість крана зросте приблизно в півтора рази. З одного боку, певні технологічні обмеження застосування такої схеми пов'язані з необхідністю організації двох перевантажувальних майданчиків у кожної машинної вежі, що в деяких умовах може призвести до додаткового рознесення бортів кар'єру. З іншого боку, з'являється можливість роздільної видачі руди та розтину.

Висновки

У роботі проведено комплексне дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів, що дозволило виявити ключові фактори, які впливають на їх ефективність та стабільність у різних режимах експлуатації. Кабельні крани мають перевагу перед традиційними підйомно-транспортними механізмами завдяки можливості працювати у важкодоступних умовах та на значних висотах, що робить їх незамінними у гірничій промисловості, будівництві та рятувальних операціях.

Основною проблемою при експлуатації кабельних кранів є коливання вантажу на гнучкому підвісі, що виникають під час нестаціонарних періодів роботи крана. Запропоновані методи регулювання динамічної поведінки, включно з оптимізацією тривалості розгону та гальмування, дозволяють суттєво знизити ці коливання, підвищуючи ефективність робіт.

Створена динамічна модель кабельного крана враховує взаємодію всіх компонентів системи, що дозволяє проводити детальний аналіз перехідних процесів руху кранового візка з вантажем. Результати дослідження показують, що для оптимізації динамічної поведінки необхідно використовувати комплексний підхід, який враховує не лише регулювання параметрів двигунів, але й вплив інших компонентів системи. Важливим висновком є те, що зміна параметрів двигуна може не тільки покращити стабільність системи, але й призвести до небажаних коливань у інших частинах крана.

Подальші дослідження повинні включати експерименти та симуляції з використанням адаптивних алгоритмів керування, які можуть автоматично підлаштовувати параметри роботи двигунів відповідно до поточного стану системи. Це сприятиме підвищенню стабільності та ефективності кабельного крана.

Також розглянуто перспективу збільшення продуктивності комплексу шляхом додавання додаткових підйомно-транспортних пристроїв, що дозволить значно підвищити ефективність без пропорційного зростання капітальних витрат. Встановлення двох вантажних візків на одному крані із двома машинними вежами забезпечить збільшення продуктивності на 50% порівняно з традиційними рішеннями, зберігаючи стабільність та вантажопідйомність кожного візка.

Таким чином, отримані результати забезпечують науково-методичну базу для подальшого вдосконалення та оптимізації кабельних кранів, що дозволить ефективно використовувати ці механізми у складних експлуатаційних умовах, підвищуючи їх продуктивність та стабільність.

Список літератури

1. Parker, H. *"Cable Crane Systems: Design, Operation, and Safety."* — Springer, 2018. — 312 pages

2. Ловейкін В.С. Оптимізація режиму зміни вильоту і підйому вантажу баштового крана. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Г.В. Шумілов. – К.: ЦП „КОМПРІНТ", 2013. - 174 с.

2. Савченко О.О. "Технічне обслуговування та ремонт кабельних кранів". — Київ: Техніка, 1994. — 296 с.

3. Construction of Pipelines in Steep Terrain with Cable Crane Systems https://pgjonline.com/magazine/2020/july-2020-vol-247-no-7/features/construction-of -pipelines-in-steep-terrain-with-cable-crane-systems

4. Ловейкін В.С. Вплив довжини каната механізму переміщення візка на динаміку одночасної зміни вильоту та підйому вантажу баштового крана / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Г.В. Шумілов // Підйомно-транспортна техніка. №1. – 2011. – С. 3-13. 5. Підйомно-транспортні машини. Розрахунки підіймальних і транспортувальних машин: підручник / В. С. Бондарєв та ін. Київ: Вища шк., 2009. 734 с

5. Ловейкін В.С. Теорія технічних систем / В.С. Ловейкін, І.І. Назаренко, О.Г. Онищенко. – К. - Полтава: ІЗМН-ПДТУ, 1998. –175 с

6. Ловейкін В.С. Оптимальне керування рухом динамічних систем з урахуванням вищих похідних функції керування / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич // Науковий вісник НЛТУ України. Випуск 21.15. – Львів. – С. 304-312.

7.Ловейкін В.С. Оптимізація режимів руху кранових механізмів / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.; Ніжин: Видавець ПП Лисенко М.М., 2011. - 307с.

					ГМіМ.601ММв.014-00.00.000 ПЗ		
Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дат			
Розроб.		Прохар			Список літератури	Літ.	Лист	Листів
Перев.		Нестеренко		29.08		Н		
Керівн.						Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»		
Н. контр.		Васильєв		29.08				
Затв.		Орисенко		29.08				

8. Подоляк О.С. Підвищення техніко-експлуатаційних показників стрілових самохідних кранів застосуванням гідравлічних гасителів коливань: автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук: спец. 05.05.05 „Піднімально-транспортні машини” / О.С. Подоляк. – Х., 2010. – 27с.

9. Ромасевич Ю.О. Оптимізація режиму зміни вильоту вантажу баштового крана за одиничними кінематичними критеріями / Ю.О. Ромасевич, Г.В. Шумілов // Motrol. Tom 13 B. 2011. - Lublin. – С. 167-173.

10. Ловейкін В.С. Оптимізація режиму зміни вильоту і підйому вантажу баштового крана. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич, Г.В. Шумілов. – К.: ЦП „КОМПРІНТ”, 2013. - 174 с.

11. Wilson, J., & Lee, K. "Cable Crane Systems: Theory and Practice." — CRC Press, 2019. — 304 pages.

12. Miller, A., & Thompson, B. "Design and Analysis of Cable Crane Systems: New Approaches." — Taylor & Francis, 2019. — 320 pages.

13. Evans, C., & Adams, N. "The Dynamics of Cable Cranes: Modeling and Simulation." — Cambridge University Press, 2020. — 296 pages.

14. Taylor, G., & Brown, E. "Cable Crane Technology and Applications: Advances and Innovations." — ASME Press, 2022. — 272 pages.

15. Harris, J., & Clark, D. "Cable Crane Systems: Engineering Design and Safety Considerations." — IET, 2018. — 300 pages.

16. Ловейкін В.С.Динамічна оптимізація механізму підйому вантажу мостових кранів. Монографія / В.С. Ловейкін, Ю.О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРІНТ”, 2015. – 197 с.

Додатки

Презентаційні матеріали за темою:

«Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів»

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Навчально-науковий інституту інформаційних технологій та робототехніки
Кафедра галузевого машинобудування та мехатроніки

Кваліфікаційна робота магістра

на тему:

Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів

Виконав: студент VI курсу, групи 601-ММв
Прохар Віктор Іванович

Полтава 2024

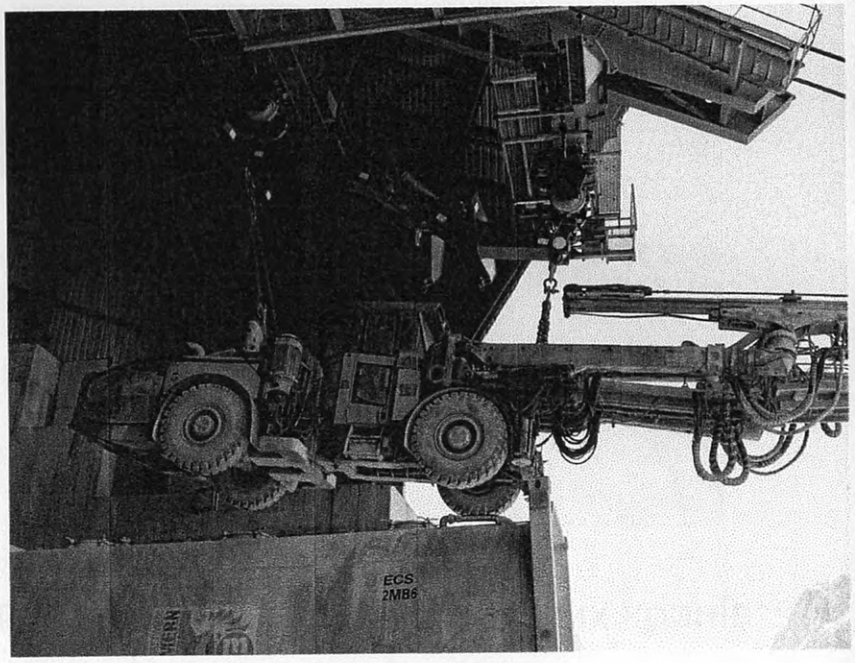


Рисунок 1 – Транспортування техніки в кар'єрі



Рисунок 2 – Будівництво моста

ОСОБЛИВОСТІ БУДОВИ

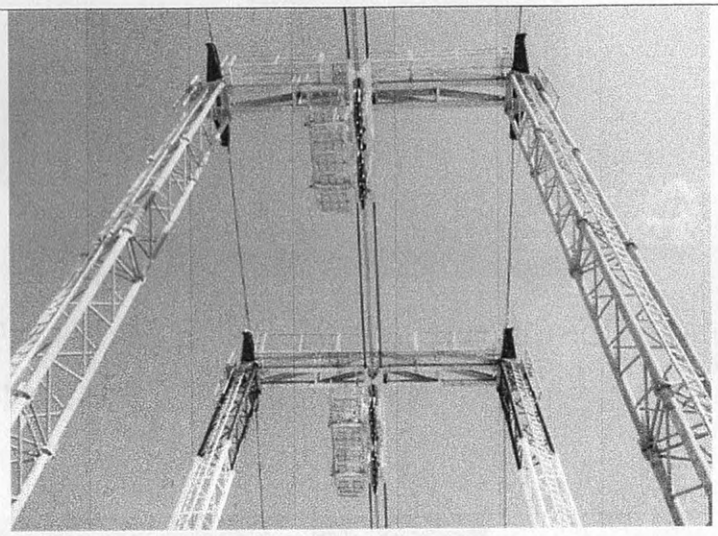


Рисунок 1.4 – Вежі кабельних кранів

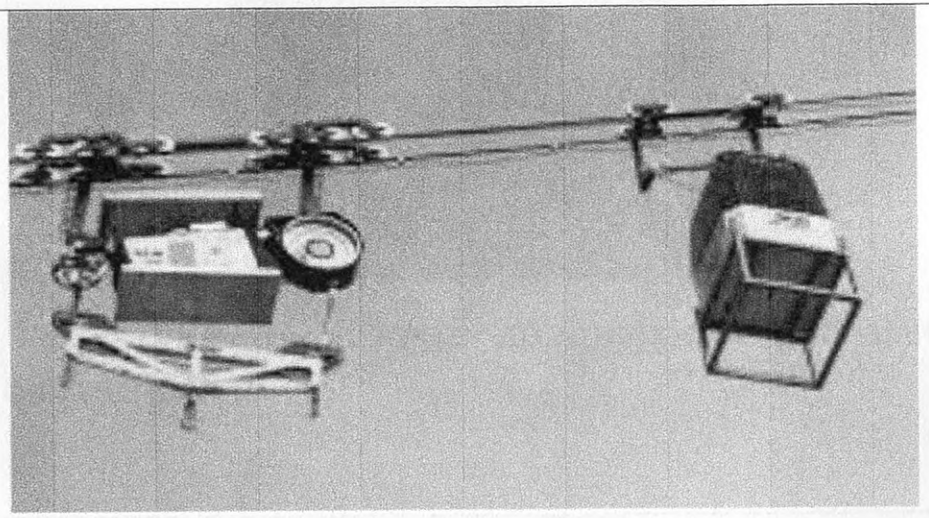


Рисунок 4 – Підвісна платформа або кабіна

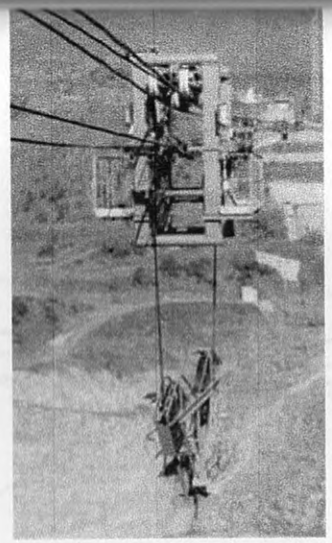


Рисунок 5 – Візок звичайної класичної конструкції

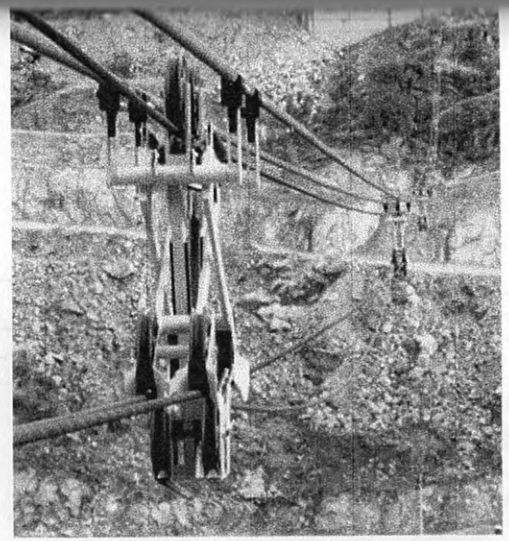


Рисунок 6– Візок з додатковими блоками балансирами



Рисунок 7 – Візок з механізмом підйому

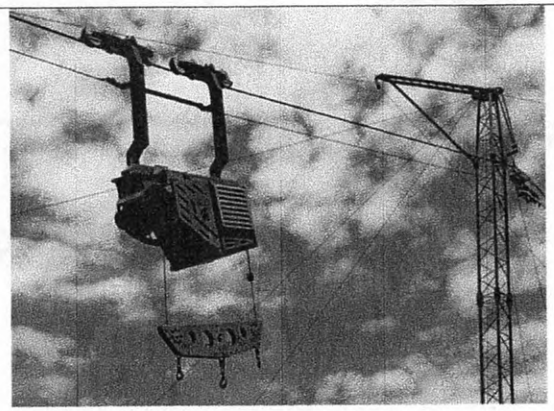


Рисунок 8 – Візок з електричним тельфером

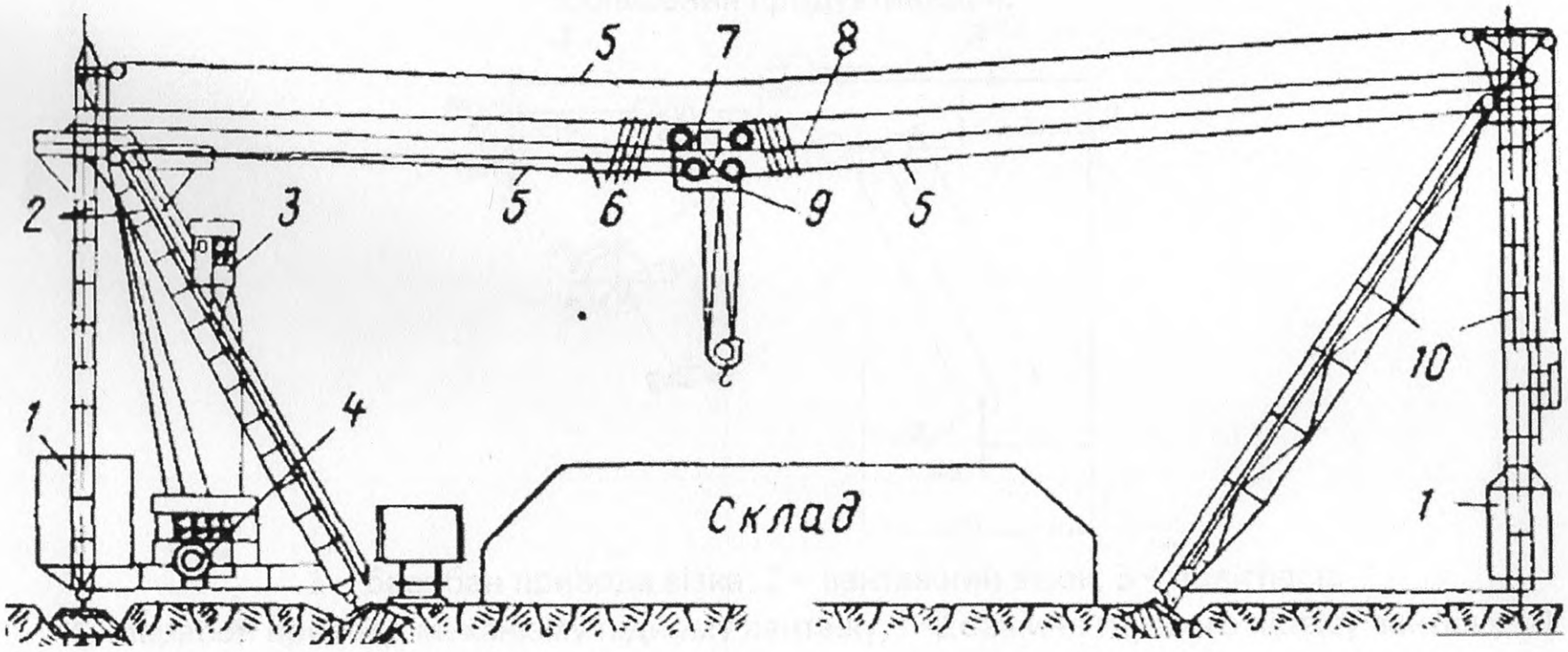
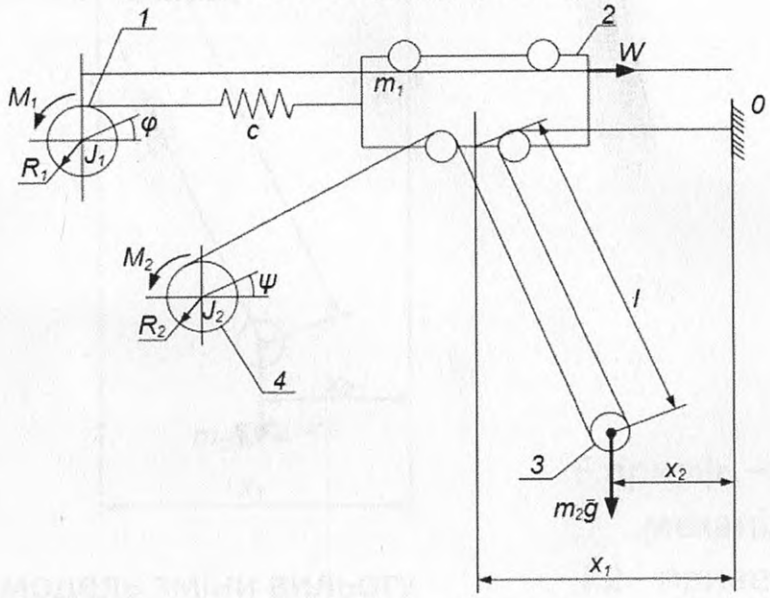


Рисунок 9 – Кабельний кран для складських операцій

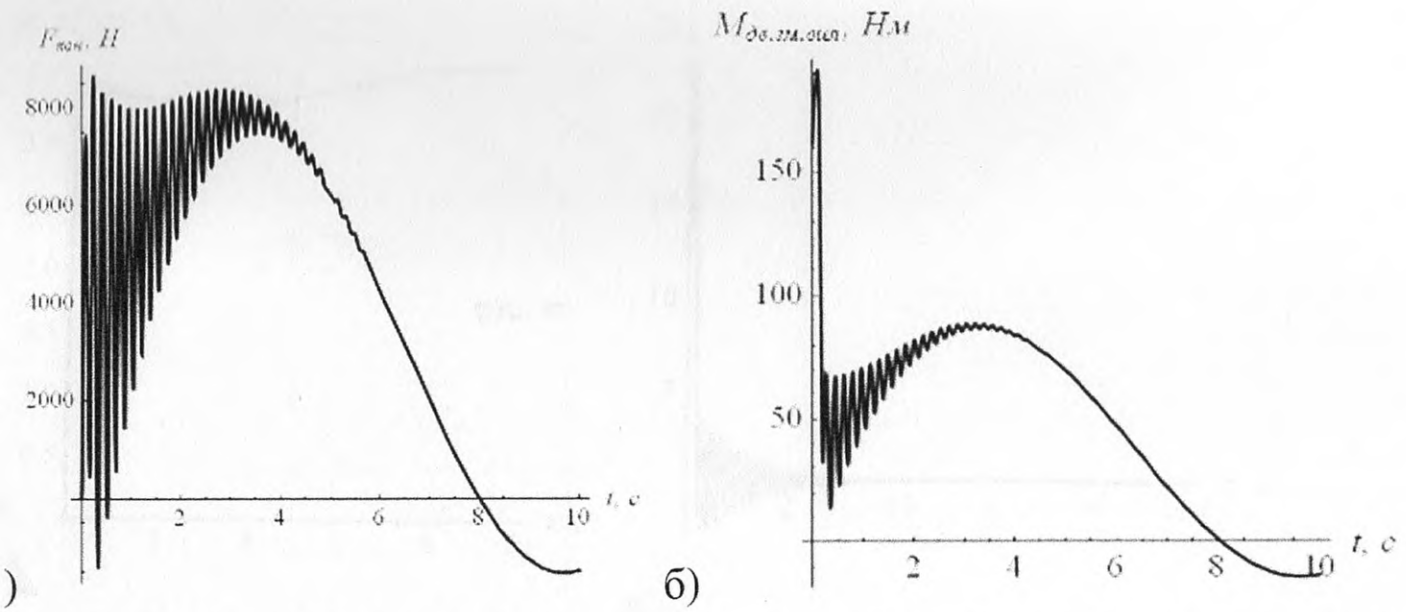
Дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів та можливі варіанти збільшення продуктивності.



1 – барабан привода візка; 2 – вантажний візок; 3 – поліспаст;

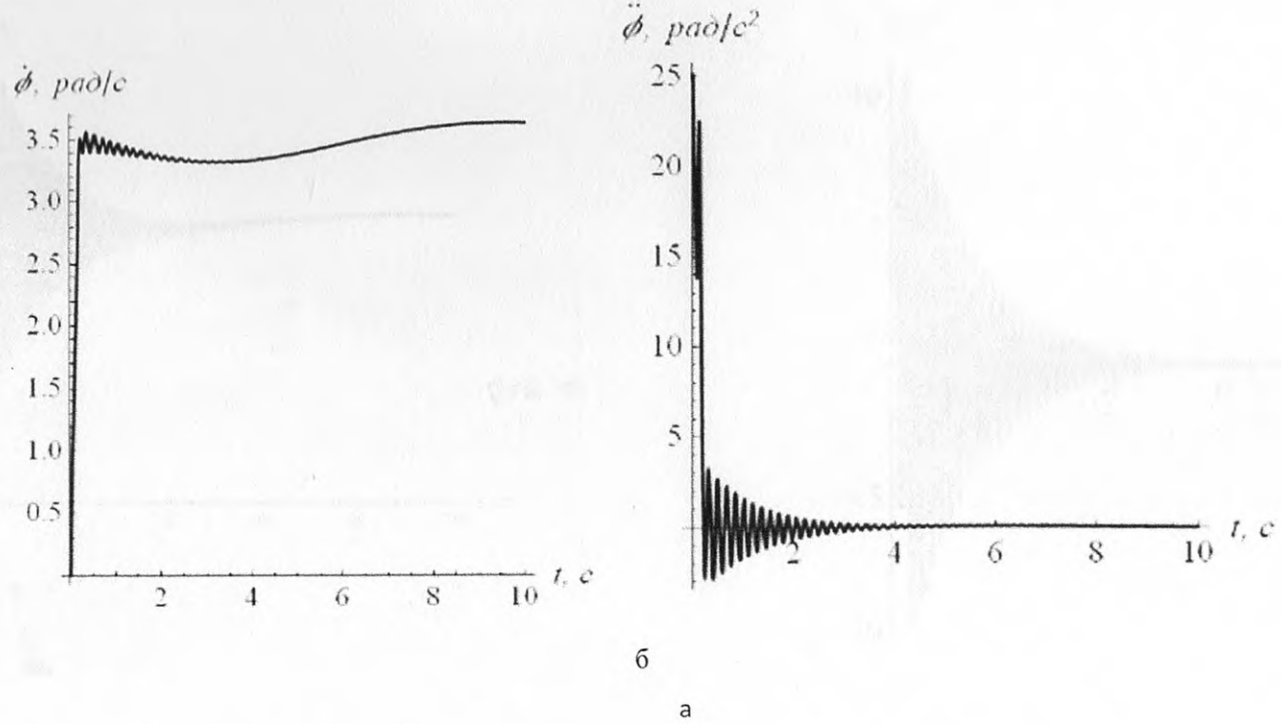
4 - барабан привода механізму підйому вантажу; l - довжина гнучкого підвісу вантажу; J1 - приведений до барабана момент інерції привода візка; J2 -приведений до барабана момент інерції приводу механізма підйому; с - коефіцієнт жорсткості каната привода візка; М1, М2 - рушійні моменти на приводних барабанах; R1,R2 - радіуси барабанів відповідно механізмів переміщення візка та підйому вантажу; W - сила статичного опору переміщення візка.

Рисунок 10 –Динамічна модель зміни вильоту крана та підйому (опускання) вантажу[2].:



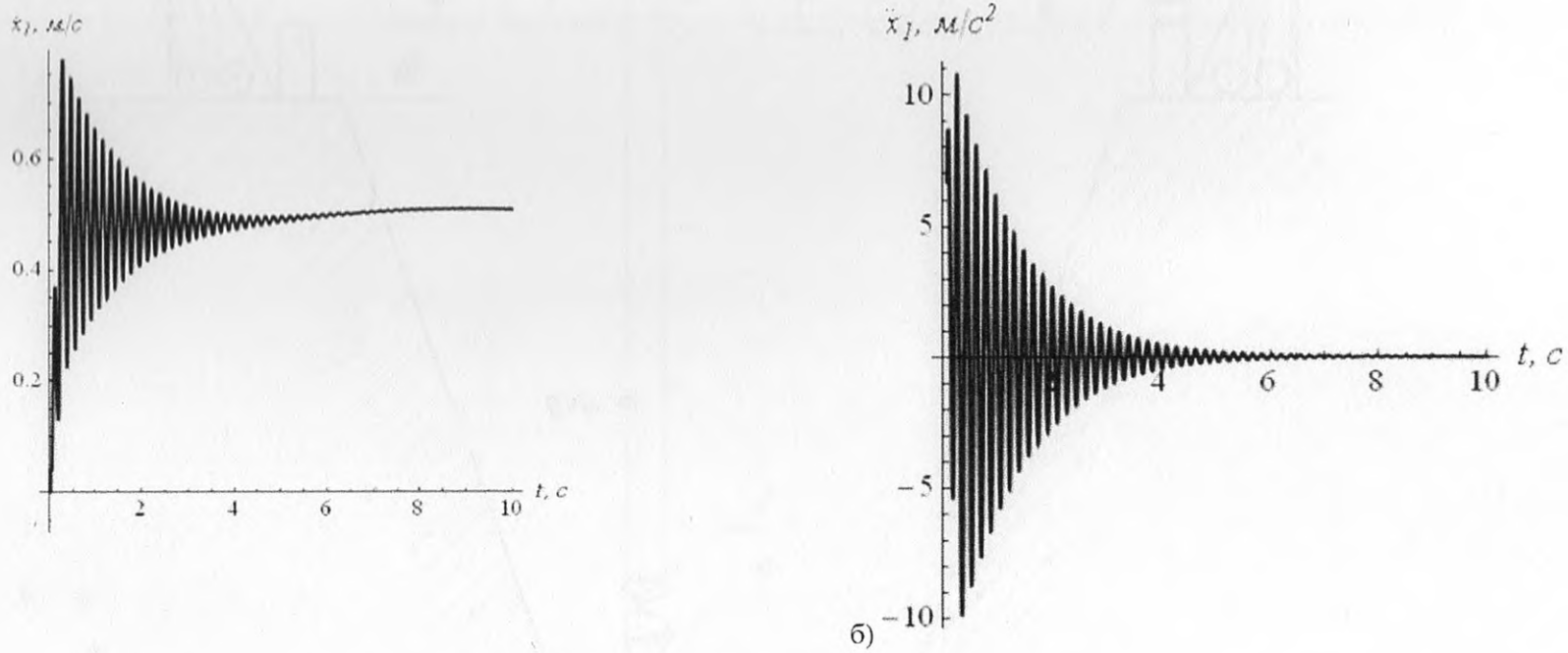
) б)

Рисунок 13 Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці [2]: (а)– зусилля у тяговому канаті (б)– момент валу двигуна



а б

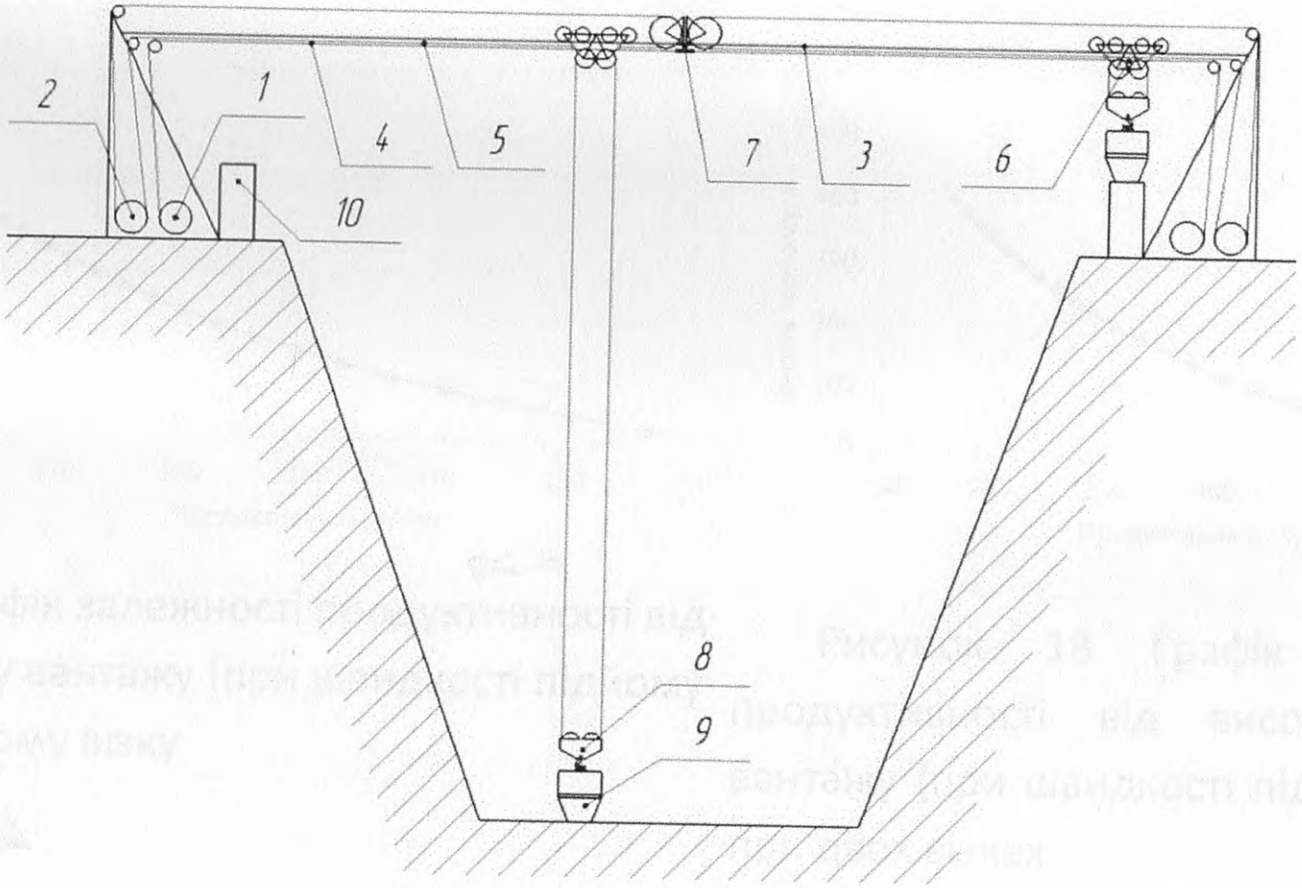
Рисунок 14 Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці[2]: (а) – швидкість канатного барабану, (б) – прискорення канатного барабану,



а)

б)

Рисунок 15Графіки функцій при роботі двигуна на природній механічній характеристиці[2]: швидкість (а) та прискорення (б) візка



1 – вантажна лебідка; 2 – тягова лебідка; 3 – несучий канат; 4 – вантажний канат; 5 – тяговий канат; 6 – вантажний візок; 7 – проміжний вузол; 8 – гакова підвіска; 9 – контейнер; 10 – розвантажувальна естакада

Рисунок 16 Схема кабельного крана з двома вантажними візками (20 тон)

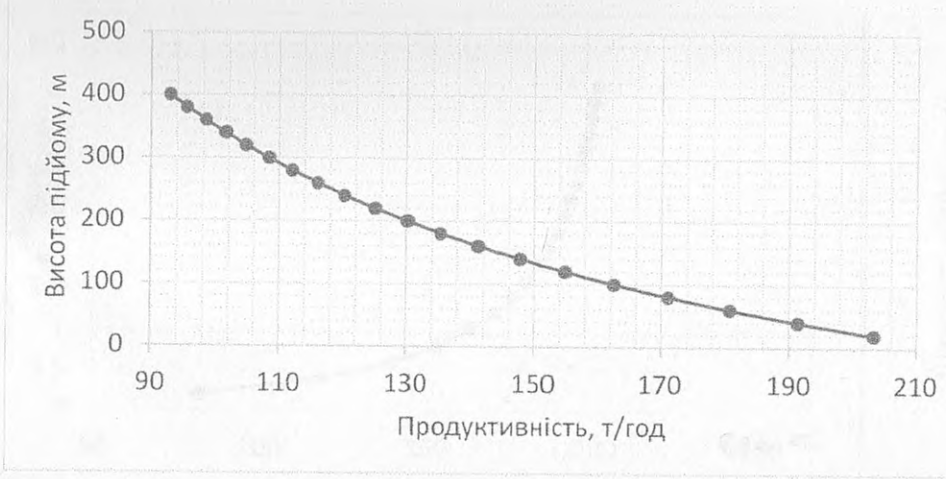


Рисунок 17 Графік залежності продуктивності від висоти підйому вантажу (при швидкості підйому 1 м/с) при одному візку

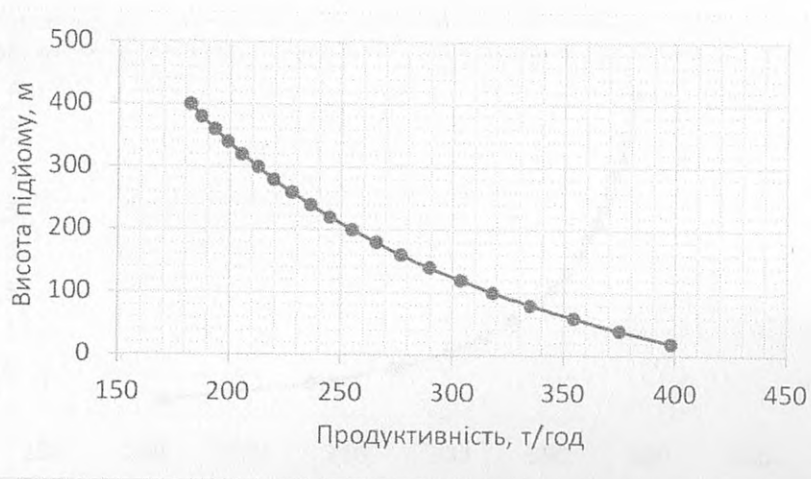


Рисунок 18 Графік залежності продуктивності від висоти підйому вантажу (при швидкості підйому 1 м/с) при двох візках

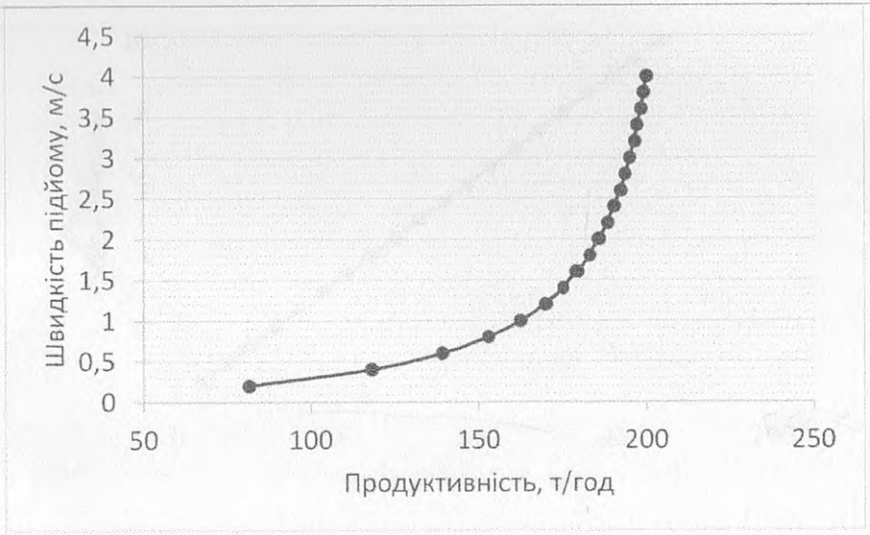


Рисунок 19 Графік залежності продуктивності від швидкості підйому (при висоті підйому 100 м) при одному візку

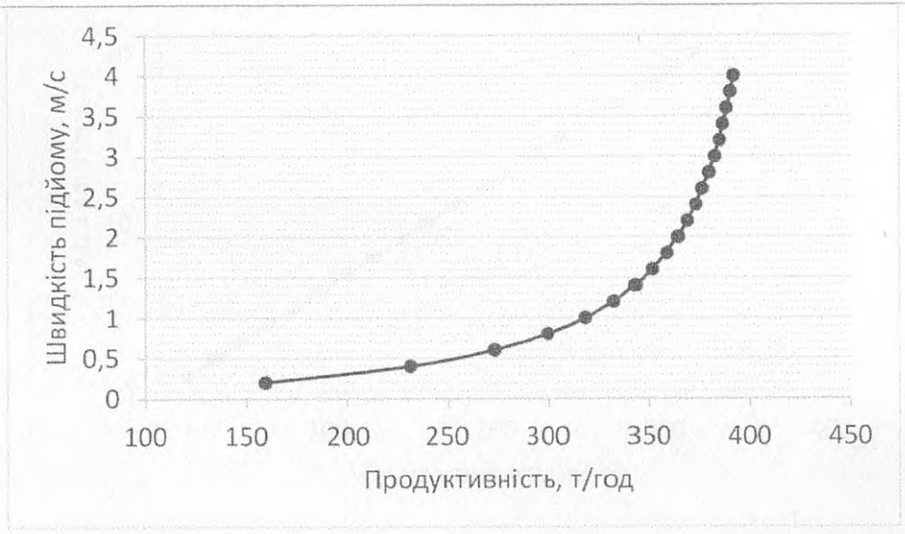


Рисунок 20 Графік залежності продуктивності від швидкості підйому (при висоті підйому 100 м) при двох візках

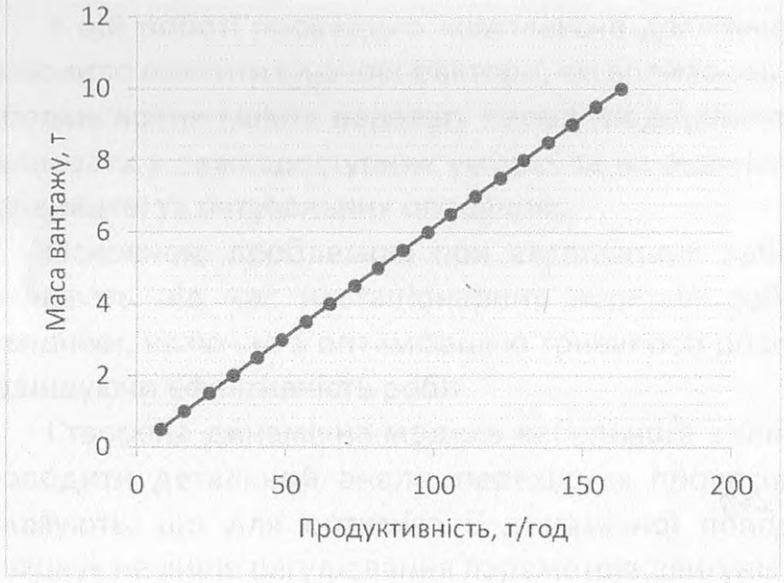


Рисунок 21 Графік залежності продуктивності від маси вантажу (при висоті підйому 100 м, швидкості підйому 1 м/с) при одному візку

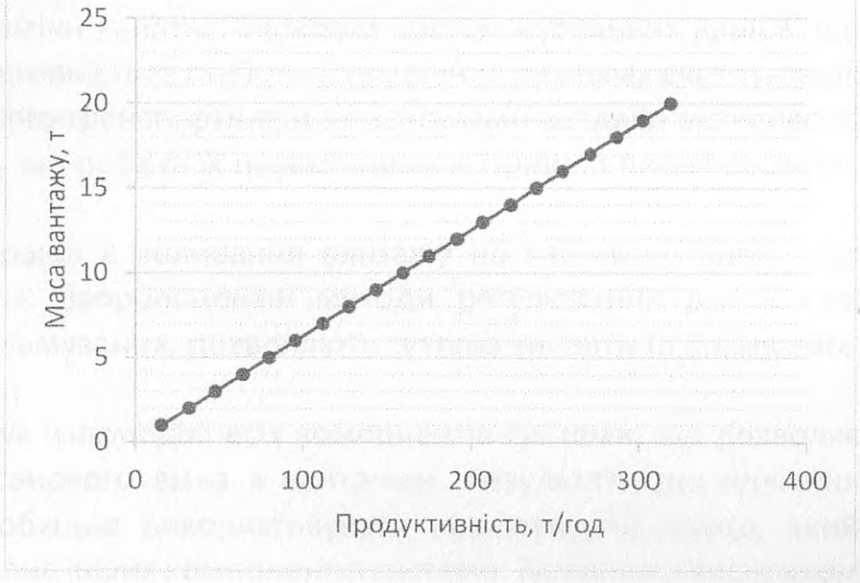


Рисунок 22 Графік залежності продуктивності від маси вантажу (при висоті підйому 100 м, швидкості підйому 1 м/с) при двох візках

Висновки

У цій роботі проведено комплексне дослідження динаміки канатно-блокових систем кабельних кранів, що дозволило виявити ключові фактори, які впливають на їх ефективність та стабільність у різних режимах експлуатації. Кабельні крани мають перевагу перед традиційними підйомно-транспортними механізмами завдяки можливості працювати у важкодоступних умовах та на значних висотах, що робить їх незамінними у гірничій промисловості, будівництві та рятувальних операціях.

Основною проблемою при експлуатації кабельних кранів є коливання вантажу на гнучкому підвісі, що виникають під час нестаціонарних періодів роботи крана. Запропоновані методи регулювання динамічної поведінки, включно з оптимізацією тривалості розгону та гальмування, дозволяють суттєво знизити ці коливання, підвищуючи ефективність робіт.

Створена динамічна модель кабельного крана враховує взаємодію всіх компонентів системи, що дозволяє проводити детальний аналіз перехідних процесів руху кранового візка з вантажем. Результати дослідження показують, що для оптимізації динамічної поведінки необхідно використовувати комплексний підхід, який враховує не лише регулювання параметрів двигунів, але й вплив інших компонентів системи. Важливим висновком є те, що зміна параметрів двигуна може не тільки покращити стабільність системи, але й призвести до небажаних коливань у інших частинах крана.

Подальші дослідження повинні включати експерименти та симуляції з використанням адаптивних алгоритмів керування, які можуть автоматично підлаштовувати параметри роботи двигунів відповідно до поточного стану системи. Це сприятиме підвищенню стабільності та ефективності кабельного крана.

Також розглянуто перспективу збільшення продуктивності комплексу шляхом додавання додаткових підйомно-транспортних пристроїв, що дозволить значно підвищити ефективність без пропорційного зростання капітальних витрат. Встановлення двох вантажних візків на одному крані із двома машинними вежами забезпечить збільшення продуктивності на 50% порівняно з традиційними рішеннями, зберігаючи стабільність та вантажопідйомність кожного візка.