

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

НУБІП України

Факультет (ННІ)

КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

УДК 621.873

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)
конструювання та дизайну
(назва факультету (ННІ))

Зіновій РУЖИЦО
(підпис) (ПІБ)

“ ” 2023 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

Вячеслав ЛОВЕЙКИ
(підпис) (ПІБ)

“ ” 2023 р.

НУБІП України

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ РУХУ МЕХАНІЗМУ
ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОТАЛІ

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва
(назва)

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

Гарант освітньої програми

д.т.н. професор
(науковий ступінь та вчене звання)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

К.Т.Н.
(науковий ступінь та вчене звання)

Юрій РОМАСЕВИЧ
(ПІБ)

(підпис)

Віктор КРУШЕЛЬНИЦЬКИЙ
(ПІБ)

(підпис)

Виконав

(підпис)

Запіза Дмитро Андрійович

(ПІБ студента)

НУБІП України

КИЇВ – 2023

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (НИІ)

КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

конструювання машин і обладнання

Д.т.н., професор
(науковий ступінь,
вчене звання)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)

2023 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

ЗАЛИЗА ДМИТРО АНДРІЙОВИЧ

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність

133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Освітня програма

Машини та обладнання сільськогосподарського виробництва
(назва)

Орієнтація освітньої програми

освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської кваліфікаційної роботи

ОБГРУНТУВАННЯ РЕЖИМУ РУХУ

МЕХАНІЗМУ ПЕРЕМІЩЕННЯ ЕЛЕКТРОТАЛІ

затверджена наказом ректора НУБіП України від “28” березня 2023 р. № 464 «Є»

Термін подання завершеної роботи на кафедру

2023.10.31

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської кваліфікаційної роботи

Електроталь вантажопідйомністю 0,5 тони

Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз літератури
2. Динамічний аналіз переміщення електроталі
3. Експериментальне дослідження
4. Охорона праці
5. Техніко економічне обґрунтування

Перелік графічного матеріалу (за потреби)

Дата видачі завдання “ 04 ” квітня 2023 р.

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Крушельницький В.В.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

(підпис)

Зализа Д. А.

(прізвище та ініціали студента)

ВСТУП

У сучасному виробництві, де технологічний прогрес стрімко розвивається, кранові механізми є ключовим елементом, що є важливим фактором для забезпечення надійності та ефективності перевантажувальних робіт. Механізм переміщення електроталі відіграє важливу роль у забезпеченні оптимальної роботи цих систем, адже ефективний режим руху механізмів пересування талі визначає якість та стійкість всієї системи.

Технічні вимоги до електроталей постійно зростають, вимагаючи не лише вдосконалення їхньої конструкції, але й вдосконалення систем керування. Сучасний підхід до керування рухом талі передбачає врахування не лише технічних, але й економічних та екологічних аспектів виробництва.

Метою даної роботи є аналіз та обґрунтування режиму руху механізму переміщення талі електричної з урахуванням сучасних технічних вимог.

Дослідження покликане вирішити завдання ефективного використання електроталей, сприяючи підвищенню їхньої надійності та оптимізації виробничих процесів.

У зв'язку з ростом обсягів виробництва та розширенням функціональних можливостей, важливо звернутися до інноваційних методів керування рухом, які сприяють оптимізації енергоспоживання та підвищенню загальної продуктивності. Тому обґрунтування режимів руху є вагомим внеском у розробці ефективних систем керування крановими механізмами.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРИ

1.1. Принцип роботи електроталі

Електроталь (рис. 1.1) – це тип [1] кранового обладнання, яке використовується для підйому і переміщення вантажів в промислових об'єктах, складах, портах, будівельних майданчиках та інших місцях, де потрібно ефективно маніпулювати великими предметами. Така система включає в себе крановий механізм, таль, а також операційний блок керування.



Рис. 1.1. Електроталь

Електроталь (рис. 1.1) зазвичай використовуються в будівництві, виробництві, на складах, у логістичних компаніях та в інших промислових секторах для автоматизації підйому і переміщення вантажів. Основні компоненти електроталі включають в себе електродвигун, гальмівну систему, блок керування та канат, який прикріплений до спеціального гака чи іншого пристосування для підйому вантажу.

Електродвигун приводить в рух механізм переміщення, який забезпечує підйом і опускання вантажу. Гальмівна система забезпечує швидку зупинку електроталі при необхідності.

Електроталь є невід'ємною частиною багатьох промислових галузей і відіграє ключову роль у забезпеченні ефективного переміщення важких

вантажів. Така технологія вперше була винайдена більше століття тому, і вона постійно розвивається та вдосконалюється.

Механізми електроталі приводяться в рух за допомогою електричних двигунів, які передають крутний момент до механізмів. Електроталь виступає в якості підйомного пристрою, також вона забезпечує переміщення вантажів в горизонтальному напрямку. Електричні двигуни забезпечують піднімання і опускання вантажу, а також переміщення електроталі.

Існують різні типи електроталей, які варіюються за потужністю, вантажопідйомністю і спектром застосувань. Електроталь широко використовуються в різних галузях промисловості включаючи металургію, хімічну промисловість, автомобільне виробництво та багато інших. Вони допомагають піднімати і переміщувати важкі деталі, обладнання та сировинні матеріали.

Електроталь з'єднана з крановою системою здатна піднімати важкі вантажі з високою точністю та ефективністю, що робить її ідеальними для задач, де важлива точність руху.

Такі конструкції зазвичай обладнані різними системами безпеки, які дозволяють уникнути аварій та надзвичайних ситуацій на робочому місці.

Електроталь значно зменшують фізичне навантаження на оператора, оскільки більшість операцій можуть бути виконані за допомогою автоматизованих керуючих систем.

Сучасні системи, які включають в свою конструкцію електроталь обладнані системами автоматизації та «Інтернет речей».

Системи моніторингу та керування прають важливу роль в даній сфері, вони контролюють параметри такі як температура, напруга, струм, оберти. Дані можуть бути зібрані за допомогою різноманітних датчиків і передаватися через мережу інтернет речей до центральної системи моніторингу.

Після цього їх можна аналізувати, і у разі необхідності виконувати автоматичні заходи, наприклад, вимкнення або переведення в режим захисту. Планування обслуговування є ще однією важливою функцією. Аналіз даних

може допомогти передбачити момент, коли компоненти електроталі вимагають обслуговування або ремонту. Це знижує витрати на ремонт та допомагає уникнути непередбачених відмов.

У приміщеннях де використовуються електроталі, можуть використовуватися камери та датчики для контролю безпеки приміщення і виявлення небезпечних ситуацій, таких як пожежа чи витік газу, що допомагає забезпечити безпеку працівників та обладнання.

Дистанційне керування - це ще один аспект, який надають сучасні системи. Можливо віддалено керувати різними пристроями та системами, що забезпечує більший рівень контролю та можливість здійснювати оперативне реагування на зміни.

Інтеграція з іншими системами також є важливим аспектом. Це дозволяє забезпечити спільну роботу систем автоматизації та інтернет речей з іншими системами керування виробництвом або обслуговуванням, що підвищує продуктивність та ефективність в цілому.

Вантажо-підйомні крани є важливою [2] складовою багатьох виробничих процесів і використовуються в різних галузях промисловості.

Вони наділені великим потенціалом для підвищення продуктивності та забезпечення безпеки на робочих місцях.

Сучасні матеріали, такі як легкі сплави та високоміцні сталі, роблять електроталі більш легкими і міцними, збільшуючи їхню продуктивність та тривалість служби.

Зростання уваги до питань сталого розвитку призводить до розробки більш енергоефективних електроталей, що дозволяє зменшити витрати електроенергії, впливаючи на довкілля.

Завдяки технологічним інноваціям, ці системи стають все більш ефективними в них з'являється більше автоматизації, вдосконалення енергоефективності та розширення їхнього застосування в різних галузях.

1.2. Привод електроталі

Двигуни [3] які використовуються для механізмів переміщення електроталі є важливою складовою цього обладнання. Вони передають енергію для підйому та переміщення вантажів. Тип двигуна може суттєво впливати на продуктивність, ефективність і надійність механізму.

Для приведення у рух кранових механізмів можуть використовуватися двигуни постійного струму (рис. 1.2).



Рис. 1.2. Електричні двигуни постійного струму

Двигуни такого типу мають складну, але ефективну конструкцію, що дозволяє їм перетворювати електричну енергію на механічну енергію. Основні елементи конструкції включають статор, ротор, комутатор та обмотка.

Вони мають високий крутний момент і чутливе регулювання швидкості, в результаті чого забезпечується точне позиціонування та керування навантаженням.

Ротор обертається під впливом магнітного поля статора, в результаті чого виникає взаємодія магнітного поля. Цей момент змушує ротор обертатися. Під час обертання комутатор змінює поточний напрямок обертання ротора, забезпечуючи постійний рух в одному напрямку.

Електричні двигуни [3] змінного струму (рис.1.3) також дуже поширені у механізмах переміщення.



Рис. 1.3. Електричний двигун змінного струму

Основний принцип його роботи базується на використанні змінного напрямку струму у статорі. Вони можуть бути асинхронними (індукційними) або синхронними, залежно від конкретних вимог. Двигуни зазвичай використовуються для електроталей важких об'ємів, таких як ліфти та кранів.

Основний принцип дії можна поділити на етапи:

1. Генерація магнітного поля.
2. Створення крутного моменту
3. Зміна напрямку струму.

Важливою характеристикою АС-двигунів є їхня можливість працювати на різних частотах, забезпечуючи гнучкість у регулюванні швидкості обертання. Регулювання швидкості досягається зміною частоти струму, що подається до двигуна. Це робить їх ефективними для використання у промисловості та побутових пристроях.

Гідравлічні двигуни (рис.1.4) використовують рідину під тиском для створення руху. Вони дуже потужні і можуть використовуватися для підйому

важких вантажів. Гідравлічні механізми переміщення можуть бути особливо корисними у ситуаціях, де вимагається велика зусилля для підйому.



Рис. 1.4. Гідравлічний двигун

Пневматичні двигуни [4] (рис1.5) використовують стиснутий повітря для генерації руху. Ці двигуни можуть бути легкими та витратними, і їх використання обмежується певними застосуваннями, зазвичай не важкими підйомами та переміщенням.

Стандартна конструкція пневматичного двигуна включає циліндр, поршень, впускний та випускний клапани, а також систему керування повітрям. При збільшенні тиску повітря в циліндрі поршень рухається вперед, виконуючи робочий хід. Після цього випускає повітря, і поршень повертається назад під дією пружини або самої повітряної системи. Пневматичні системи широко застосовуються в промисловості, автоматизації виробництва, автомобільній промисловості та інших галузях. Вони не можуть легко керувати рухом і використанням в різних механічних пристроях, таких як пневматичні різальні інструменти, роботи на виробництві, системи керування.



Рис 1.5. Пневматичний двигун

Деякі кранові механізми можуть використовувати комбінацію різних типів двигунів, таких як двигунами постійного струму та змінного струму, для подання переваг обох типів.

Вибір конкретного типу двигуна залежить від різних факторів, таких як потужність, швидкість, точність позиціонування, робочі умови і бюджет.

Важливо також враховувати ефективність та екологічні аспекти, оскільки це може вплинути на загальну ефективність механізму переміщення електроталі.

Важливо обирати двигуни таким чином, щоб забезпечити надійну та безпечну роботу механізму переміщення електроталі.

1.3. Механізм переміщення електроталі

Механізм переміщення електроталі [5] є ключовою складовою в обладнанні для підйому та переміщення вантажів у промисловості, будівництві, логістиці та інших сферах діяльності, де потрібно ефективно та безпечно переміщувати великі або важкі предмети.

Цей механізм дозволяє керувати електроталією, яка є підвісним пристроєм для підйому і переміщення. Механізм переміщення електроталі

складається з кількох компонентів, які працюють разом для забезпечення правильної роботи.

Найважливіші компоненти включають в себе електродвигун який є джерелом енергії, яке приводить у рух механізм переміщення, канат або ланцюг прикріплений до гака електроталі і служить для підйому вантажу.

Канати можуть бути зроблені зі сталі або інших матеріалів, які забезпечують високу міцність та надійність. Гальмівна система (рис 1.6) необхідна для безпечної зупинки електроталі та утримання вантажу [6] в певному положенні.

Вона забезпечує безпечну експлуатацію та запобігає небажаним падінням вантажу



Рис.1.6. Гальмівна система

Блок керування відповідає за керування рухом електроталі. Він може бути оснащений пультом керування або іншими пристроями для оператора.

Механізм переміщення дозволяє електроталі рухатися вздовж горизонтальних балок або рейок. Цей механізм може бути тельфером (для горизонтального переміщення) або кареткою (для вертикального переміщення).

Механізми переміщення електроталі можуть бути оснащені датчиками безпеки, які виявляють перешкоди та призупиняють рух, а також системами моніторингу та діагностики для підвищення надійності і безпеки.

Типи механізмів переміщення електроталі можуть значно варіюватися в залежності від конкретних потреб і умов роботи.

Кран балкова система [7] (рис.1.3) є одними з найпоширеніших механізмів переміщення електроталі. Вони складаються з великих сталених балок, які розташовані над робочою областю. По цих балках рухаються крани або талі з гаками, які піднімають та переміщують електроталь.



Рис 1.7. Кран балкова система

Кран-маніпулятори (рис.1.8) це механізми [7] з підвісним краном, який рухається по стаціонарних рейках або конструкціях. Вони зазвичай використовуються для переміщення електроталі всередині виробничого приміщення, здійснюючи операції підйому, опускання, повороту і переміщення в будь-якому напрямку.

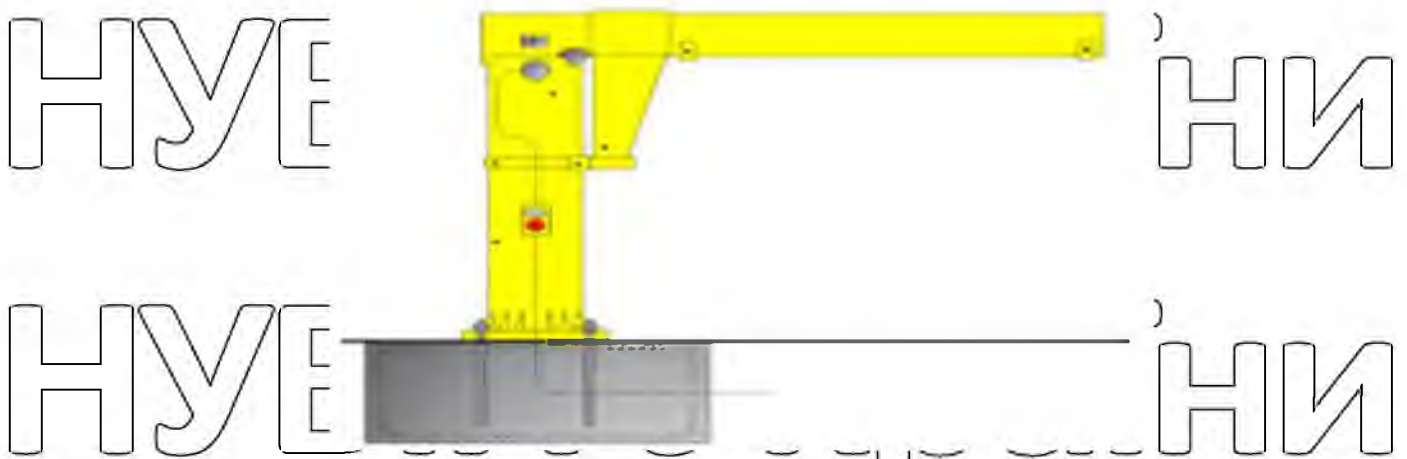


Рис 1.8. Кран-маніпулятор

Консольна система [7] (рис 1.9) з візком який рухається по горизонтальних рейках і призначена для переміщення електродів вздовж виробничої лінії. Такий тип може бути обладнаний спеціальними захоплювальними пристроями.



Рис 1.9. Консольна система

Механізм переміщення електродів також може бути призначений для роботи в різних умовах, включаючи зони з високою температурою, пилом, вологістю тощо. Вони можуть бути виготовлені з матеріалів, які стійкі до

агресивних середовищ, і оснащені системами охолодження чи ізоляції в разі потреби.

Керування механізмами переміщення електроталі зазвичай здійснюється операторами з використанням пультів, інтерфейсів або автоматизованими системами. У деяких випадках, таких як кран-маніпулятори, оператор може здійснювати контроль за допомогою дистанційних пристроїв.

Важливо, щоб керування було точним і безпечним, оскільки неправильні операції можуть призвести до серйозних наслідків.

Сучасні механізми переміщення електроталі часто оснащені системами автоматизації та контролю, що дозволяє підвищити продуктивність і забезпечити безпеку під час роботи.

1.4. Системи керування крановими механізмами

Системи керування крановими механізмами електроталі [8] грають важливу роль у забезпеченні безпеки, точності та ефективності підйому і переміщення вантажів. Ці системи призначені для керування рухом крана та його механізмами, а також забезпечення безпеки оператора та навколишнього середовища.

Пульт керування (рис 1.10) є основним інтерфейсом між оператором та крановим механізмом. Він може бути провідним або бездротовим і містить кнопки, джойстики та інші елементи керування, що дозволяють оператору вказувати напрямок руху, швидкість, підйом і опускання вантажу та інші команди.

Блок керування (рис 1.10) відповідає за обробку сигналів від пульта керування та рухом крана. Він може містити мікроконтролери, програмні алгоритми та датчики для забезпечення безпеки та точності руху.



Рис 1.10. Пульти керування та блок керування

Телемеханіка включає в себе механізми, які відповідають за переміщення крана по рейках або шні. Це можуть бути колеса, ланцюги або інші пристрої, які забезпечують рух по горизонталі. Двигуни і приводи використовуються для надання руху

Механізми підйому [8] та опускання використовуються для керування підйомом і опусканням вантажу. Вони можуть включати лебідки, ланцюги, кабелі або інші пристрої для кріплення та підняття вантажу.

Системи керування краном також включають системи безпеки, які дозволяють уникнути аварійних ситуацій та захистити оператора та оточуюче середовище. Це можуть бути датчики перешкод, системи аварійного гальмування, обмежувачі швидкості та інші заходи безпеки.



Рис. 1.11. Механізми підйому та опускання

Частотні перетворювачі можуть [9] (рис.1.12) керувати крановими двигунами і можуть бути інтегровані з іншими виробничими процесами та системами з метою автоматизації переміщення вантажу та підвищення продуктивності.



Рис. 1.12. Перетворювачі частоти

Загальний принцип роботи системи керування полягає в тому, що оператор надає команди через пульт керування, а блок керування інтерпретує ці команди та керує механізмами для виконання відповідних рухів. Системи керування краном мають бути надійними, точними та безпечними, оскільки вони працюють з великими вантажами та можуть бути потенційно небезпечними, якщо не дотримуватися техніки безпеки.

Системи керування, які забезпечують усунення коливання вантажу, є критично важливими в промислових механізмах підйому та переміщення великих і важких навантажень. Коливання вантажу може бути небезпечним і призвести до аварійних ситуацій, пошкодження вантажу або навіть загрозувати життю та безпеці працівників. Тому розробка і впровадження систем, спрямованих на усунення цих коливань, є дуже важливою.

Дослідженням різних систем та технологій здійснюється щоб зрозуміти принцип роботи таких систем. Системи для усунення коливань вантажу включають в себе:

Сенсори та [10] датчики: система отримує дані з різних сенсорів і датчиків, що вимірюють параметри, пов'язані з рухом вантажу. Це можуть бути параметри, такі як швидкість, прискорення, положення, вага.

Аналіз даних: отримані дані піддаються аналізу, щоб визначити коливання вантажу. Це може включати виявлення амплітуди, частоти та характеристик коливань.

Керування: за допомогою різних алгоритмів керування система приймає рішення про те, як впливати на механізм підйому або інші компоненти для усунення коливань. Це може включати в себе зміну швидкості, напрямку руху або внесення корекцій до робочих параметрів.

Виконання дій: запрограмовані дії виконуються механізмами підйому або іншими компонентами для усунення коливань. Це може бути здійснено за допомогою електронних систем керування, механічних пристроїв, гідравлічних або пневматичних систем.

Система керування протягом усього процесу підйому та переміщення продовжує моніторинг параметрів та корегування дії для забезпечення стабільності вантажу.

Існують різні типи систем та технологій, які використовуються для усунення коливань вантажу.

Активні системи антиколивання використовують різні методи керування, щоб активно впливати на рух механізму підйому та вантажу.

Один з поширених методів - використання гідравлічних амортизаторів або електронних пристроїв для зміни параметрів підйому залежно від вимірів, такі системи можуть автоматично реагувати на коливання і коригувати рух механізму для їх усунення;

Пасивні системи антиколивання базуються на використанні амортизаторів, пружин і інших механічних пристроїв, які поглинають коливання вантажу. Ці системи не вимагають активного керування та працюють самі по собі сприяючи поглинанню енергії коливань і зменшенню їх впливу на вантаж.

Адаптивні системи комбінують [9] активні та пасивні елементи для ефективного усунення коливань вантажу. Вони використовують сенсори для вимірювання параметрів та динаміки руху, а потім вибирають оптимальні стратегії керування на основі цих даних. Ці системи мають великий потенціал для роботи в різних умовах та з різними типами вантажів.

Адаптивні демпфери та амортизатори використовують змінні параметри амортизації для регулювання вібрацій і коливань вантажу. Вони можуть змінювати жорсткість або інші параметри амортизаторів в реальному часі, відповідаючи на зовнішні впливи і забезпечуючи більшу стабільність.

Системи керування тяговими силами використовуються для зменшення коливань під час підйому та опускання вантажу. Вони контролюють швидкість підйому та напрямок руху так, щоб забезпечити максимальну стабільність.

Системи групового керування використовуються там, де вантаж складається з декількох незалежних частин, які можуть коливатися.

Головною метою таких систем є синхронізація руху цих частин, щоб зменшити вібрації та коливання.

Сучасні системи також можуть використовувати передові технології штучного інтелекту та машинного навчання для усунення вібрацій вантажу.

Вони можуть аналізувати дані, отримані від сенсорів та датчиків, і навчатися застосовувати оптимальні стратегії керування, базуючись на попередньому досвіді в реальному часі.

Важливо також враховувати властивості вантажу і характеристики обладнання при розробці системи усунення коливань. Це може включати в себе вагу вантажу, його форму, центр ваги, відомості про висоту підйому, вибір спеціальних пристроїв для фіксації вантажу тощо.

Системи керування, які забезпечують усунення коливань вантажу, допомагають забезпечити безпеку роботи та зберегти цілісність вантажу.

Вибір підходящої системи залежить від специфікацій конкретного додатка та вимог щодо стабільності та безпеки.

Будь-яка система усунення коливань вимагає ретельного проектування, налагодження та обслуговування, щоб забезпечити її ефективну роботу.

Враховуючи всі ці аспекти, можна досягти високої якості та ефективності у підйомі та переміщенні вантажу.

1.5. Аналіз наукових досліджень

На сьогоднішній день проведена значна кількість досліджень. У статті [11] розглянуто обґрунтування режиму руху механізму переміщення електроталі на підприємстві з використанням методів оптимізації.

Оптимальний режим руху механізму переміщення електроталі дозволяє зменшити енергоспоживання та покращити ефективність виробничого процесу. Автори розглядають різні методи оптимізації, включаючи метод градієнтного спуску, метод найшвидшого спуску, метод

золотого перетину та інші. Автори роботи [12] розглядають проблеми енергоефективності електроталі та різних методів її підвищення.

У роботі особливу увагу приділено на необхідність розробки енергоефективних механізмів переміщення вантажів. В роботі [13] здійснено аналіз впливу факторів на режим руху механізму переміщення електроталі.

Автори розглянули такі фактори, як вага електроталі, висота підйому, швидкість переміщення, кут нахилу ділянки переміщення та коефіцієнт тертя.

В результаті досліджень було встановлено, що збільшення ваги електроталі та висоти підйому призводить до збільшення споживання енергії механізмом переміщення.

Водночас, збільшення швидкості переміщення та коефіцієнта тертя призводить до зниження споживання енергії. Крім того, автори розглянули вплив кута нахилу ділянки переміщення на енергоспоживання та встановили,

що зі збільшенням кута нахилу до 10° , енергоспоживання збільшується, а після 10° споживання енергії зменшується. Тому, автори зробили висновок про те, що для оптимального режиму руху механізму переміщення електроталі потрібно враховувати різні фактори, що впливають на споживання енергії.

У роботі [14] розглядається математичне моделювання процесу руху механізму переміщення електроталі з урахуванням тертя. Автори зазначають, що розробка моделі є необхідною для оцінки технічних параметрів системи та зниження енергоспоживання. Проведено аналіз існуючих моделей руху механізмів переміщення електроталі та обрано найбільш оптимальну для подальшого використання.

Автори розробили математичну модель руху механізму з урахуванням тертя, яка дозволяє розрахувати швидкість руху, зусилля, що діють на механізм та інші параметри. Для перевірки точності розробленої моделі проведені експериментальні дослідження на спеціальному стенді. Результати

порівняно з даними, отриманими з використанням інших моделей, що дозволило зробити висновок про високу точність та ефективність запропонованої моделі. Автори зазначають, що розроблена модель може бути

використана для підвищення ефективності роботи механізму переміщення електроталі, зменшення енергоспоживання та покращення умов експлуатації обладнання.

Науковці у статті [15] провели дослідження впливу різних факторів на режим руху механізму переміщення електроталі. Було розглянуто такі фактори, як маса електроталі, ступінь зносу колісних пар, наявність приводу, типи рейок, геометричні параметри рейок, температура та вологість повітря, наявність смуги зчеплення та інші. У результаті дослідження було встановлено, що основними факторами, що впливають на режим руху механізму переміщення електроталі є маса електроталі, геометричні параметри рейок, тип рейок та ступінь зносу колісних пар.

Також було встановлено, що збільшення маси електроталі та ступеню зносу колісних пар призводить до збільшення опору коченню, що в свою чергу зменшує швидкість руху механізму. Для підвищення ефективності роботи механізму переміщення електроталі необхідно зменшувати масу електроталі та ступінь зносу колісних пар, а також використовувати рейки з більш оптимальними геометричними параметрами.

Автори монографії [16] розглядають вивчення принципів дизайну та експлуатації кранових механізмів та підйомників з верхнім рухом. Детально розглядається конструкція та принцип дії різних видів кранів та підйомників, включаючи механізми переміщення, підйому та опускання вантажів. Особливу увагу приділено вивченню різних типів механізмів з підйомним обладнанням, таких як лебідки, гакові та магнітні підйомники, а також системи керування та безпеки під час роботи з крановими механізмами. Автор також висвітлює важливі питання, пов'язані з ефективністю та надійністю роботи кранових механізмів, включаючи аналіз динамічних навантажень, визначення оптимального режиму експлуатації та профілактичного обслуговування.

В роботі [17] автори розглядають систему керування, яка використовує нейронмережевий алгоритм для керування краном з використанням датчиків положення. Автори проводять моделювання руху крану з використанням

системи, що базується на нейромережі, та порівняти її з класичною системою керування. Результати дослідження показали, що система на основі нейромережі має кращу точність та швидкість, ніж класична система керування. В роботі міститься детальний опис системи керування, включаючи математичні моделі, розглядається проблема динаміки руху крана, а також досліджується вплив параметрів системи на її ефективність.

Автори роботи [18] порівнює різні стратегії контролю руху мостового крана, включаючи ПД регулятор, регулятори з використанням методів штучного інтелекту, а також оптимальні регулятори.

Авторами зроблено висновок про те, що оптимальний регулятор забезпечує кращу продуктивність, ніж інші методи. У роботі [19] досліджується методи контролю руху мостового крана з використанням різних регуляторів, включаючи ПД регулятори, адаптивні регулятори та інші методи. Автори наголошують, що оптимальний регулятор може забезпечити найкращу точність і стійкість в роботі крана.

У роботі [20] описується метод контролю руху мостового крана з урахуванням коливань і динаміки підйому вантажу. Досліджено різні стратегії контролю, включаючи адаптивний регулятор та регулятор зі зворотним зв'язком. Встановлено, що адаптивний регулятор є ефективнішим при керуванні краном зі значними коливаннями.

Автори [21] пропонують метод контролю руху мостового крана з використанням нейронної мережі для керування коливаннями. Використання такої мережі дозволяє отримати кращі результати в порівнянні зі звичайними регуляторами.

Наукова робота [22] описує оптимальне керування мостовим краном з системою підвіски з двома маятниками. Автори використовують математичну модель системи з метою отримання керуючих сигналів, що забезпечують оптимальну роботу крана з урахуванням динаміки системи. Запропонована стратегія керування дозволяє зменшити похибки та відхилення від заданої траєкторії руху крана.

В роботі [23] досліджується нелінійна динаміка та оптимальне керування мостовим краном з урахуванням динамічних обмежень. Автори запропонували математичну модель крана з урахуванням динамічних обмежень та розв'язали задачу оптимального керування з використанням методу прогнозування. Результати дослідження показали ефективність запропонованого методу керування краном.

Дослідження в роботі [24] присвячену робастному оптимальному керуванню мостовим краном зі змінними інтервалами несприятливих умов.

Автори використовують кілька методів для зменшення впливу несприятливих умов на процес керування та отримують оптимальне керування з мінімальними відхиленнями від заданої траєкторії крана. Автори роботи [25] досліджують оптимальне керування мостовим краном кабельно-блочною системою підвіски. Автори використовують математичну модель системи для отримання керуючих сигналів, що забезпечують оптимальну роботу крана.

Результати дослідження показали ефективність запропонованого методу керування краном. Наукове дослідження [26] присвячене задачі планування оптимальної траєкторії руху крана з використанням методу диференціальної еволюції. Автори звертають увагу на те, що визначення оптимальної траєкторії руху крана є важливою задачею з точки зору зменшення енергоспоживання та підвищення ефективності роботи крана. У статті описано метод диференціальної еволюції та його застосування для розв'язання задачі планування траєкторії руху крана. В результаті дослідження автори отримали оптимальну траєкторію руху крана, яка забезпечує мінімальне енергоспоживання.

Автори роботи [27] запропонували методіку оптимізації режиму руху крана з використанням методу, що базується на використанні алгоритмів машинного навчання. Зазначено, що визначення оптимального режиму руху крана є важливою задачею з точки зору підвищення ефективності роботи крана та зменшення витрат на енергопостачання. У статті описано метод, що

базується на використанні алгоритмів машинного навчання та відповідних програмних засобів, які дозволяють знайти оптимальний режим руху крана. Результати дослідження показали, що використання запропонованого методу дозволяє підвищити ефективність роботи крана та зменшити витрати на його експлуатацію.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 2. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ

2.1. Побудова динамічної моделі та визначення параметрів

Переміщення вантажів електроталію супроводжується коливанням вантажу, а металоконструкції піддаються значним динамічним навантаженням. Слід відмітити, що саме під час перехідного процесу розгону механізму переміщення електроталі, значення динамічних навантажень досягають пікових значень, що на пряму впливають на швидкість виконаної операції (циклу), додаткової витрати електроенергії, надійності та призводить до передчасного виходу з ладу механізмів. Тому для подальших досліджень цих негативних факторів необхідно провести динамічний аналіз руху електроталі. Для цього використаємо двомасову динамічну модель, яка буде відображати рух досліджуваного об'єкту (рис. 2.1).

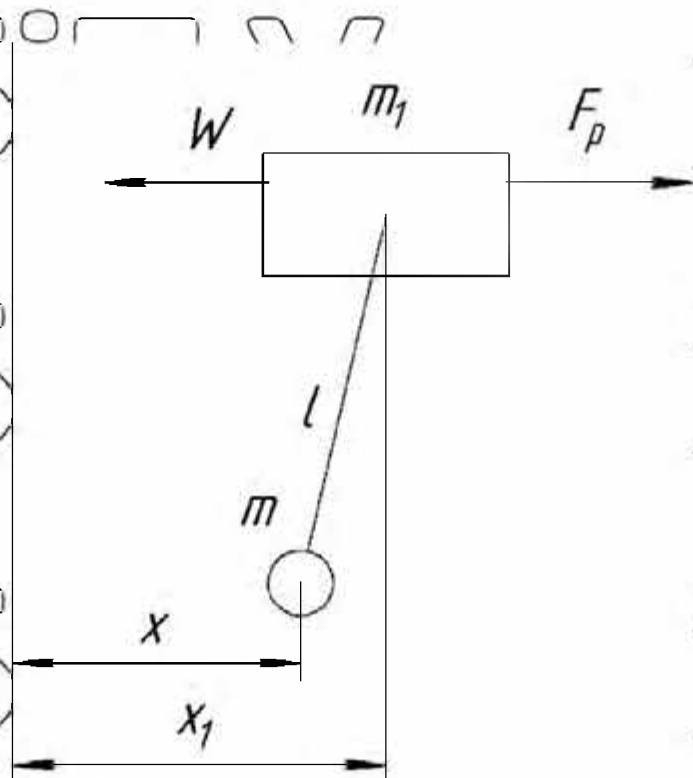


Рис. 2.1. Двомасова динамічна модель

В динамічній моделі зображеній на рисунку 2.1 m – маса вантажу, m_1 – маси електроталі. До маси m_1 прикладено рушійне зусилля F_p та силу опору переміщення W . В цій моделі x , x_1 узагальнені координати мас вантажу та електроталі, а l – довжина гнучкого підвісу на якому закріплений вантаж.

Динамічна модель (рис. 2.1) описується наступною системою диференціальних рівнянь руху (крапка над символом означає диференціювання за часом):

$$\begin{cases} m_1 \ddot{x}_1 + m \dot{x} = F_p - W; \\ \ddot{x} + \frac{g}{l}(x - x_1) = 0. \end{cases} \quad (2.1)$$

Опір коченню ходового колеса визначається за наступною формулою:

$$W = k_p (m_1 + m) \left(f \frac{d}{2} + \mu \right) \frac{2}{D_k} \quad (2.2)$$

де m – маса вантажу;

m_1 – маса електроталі;

f – коефіцієнт тертя в опорі ходового колеса;

d – діаметр цапфи валу (осі) колеса;

D_k – діаметр ходового колеса;

μ – коефіцієнт тертя кочення.

Рушійна сила приведена до ходових коліс розраховується за формулою.

$$F = M_{\text{дв}} \cdot i \cdot \eta_{\text{пер}} \frac{2}{D_k} \quad (2.3)$$

де $\eta_{\text{пер}}$ – коефіцієнт корисної дії передачі

Крутний момент двигуна змінюється за формулою Клосса[28]:

$$M_{дв} = \frac{2M_{max}(1+S_{кр})}{\frac{S_{кр}}{S} + \frac{S}{S_{кр}} + 2S_{кр}} \quad (2.4)$$

Ковзання в двигуні визначається за формулою:

$$S = \frac{\omega_0 - \omega_{д}}{\omega_0} \quad (2.5)$$

Кутова швидкість на валу електродвигуна:

$$\omega_{д} = \frac{\pi \cdot n_n}{30} \quad (2.6)$$

де n_n – номінальна частота обертання валу двигуна.

Кутову швидкість ідеального холостого ходу:

$$\omega_0 = \frac{2\pi \cdot f}{p} \quad (2.7)$$

де f – частота напруги живлення двигуна;

p – кількість пар полюсів електродвигуна.

Критичне ковзання в двигуні:

$$S_{кр} = S(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}), \quad (2.8)$$

де λ – перевантажувальний коефіцієнт двигуна.

$$$$

Максимальний крутний момент двигуна:

$$M_{\max} = M_{де} \cdot \lambda. \quad (2.9)$$

Для подальших досліджень необхідно розв'язати систему рівнянь (2.1), які описують рух динамічної моделі, що зображена на рис. 2.1. Підставивши розраховані параметри можна побудувати графічні залежності, які характеризують процес пуску двигуна механізму переміщення електроталі.

2.2. Моделювання руху електроталі

Розв'язок системи диференціальних рівнянь руху (2.1) для двомасової динамічної моделі виконано з використання чисельного інтегрування у онлайн середовищі Wolfram Cloud. Момент двигуна змінюється за рівнянням Клосса.

Для розрахунків використані параметри, які наведені у таблиці 2.1.

Таблиця 2.1

Параметри для моделювання

Параметр	Значення
Вантажопідйомність електроталі	500 кг
Швидкість переміщення електроталі	0,33 м/с
Маса вантажу	300 кг
Маса електроталі	70 кг
Передаточне число редуктора	20
Коефіцієнт корисної дії привода механізму переміщення	0,88
Радіус ходового колеса	0,0485 м
Номінальний крутний момент двигуна	0,546 Н·м
Перевантажувальна здатність двигуна	2,3
Частота обертання валу двигуна	1400 об/хв
Кутову швидкість ідеального холостого ходу	0.346 рад/с
Опір переміщення	265 Н

В результаті моделювання отримані графіки зображені на рисунках 2.2-2.10, які відображають переміщення, швидкості та прискорення маси m_1 (електроталі) та m (вантажу), відповідно для маси m_1 – рисунки 2.2 – 2.4, а для маси m – рисунки 2.5 – 2.7. Також отримані графіки, які відображають різницю узагальнених координат мас m та m_1 (рис. 2.8), момент двигуна (рис. 2.9) і на останньому русійне зусилля (рис. 2.10). З рисунку 2.2 видно, що за 5 секунд маса m_1 перемістилася на 1,5 метри, а з рисунків 2.3 та 2.4 видно, що процес переміщення електроталі супроводжується коливаннями швидкості та прискорення. Максимальна швидкість 0,33 м/с, а прискорення

3,31 м/с².

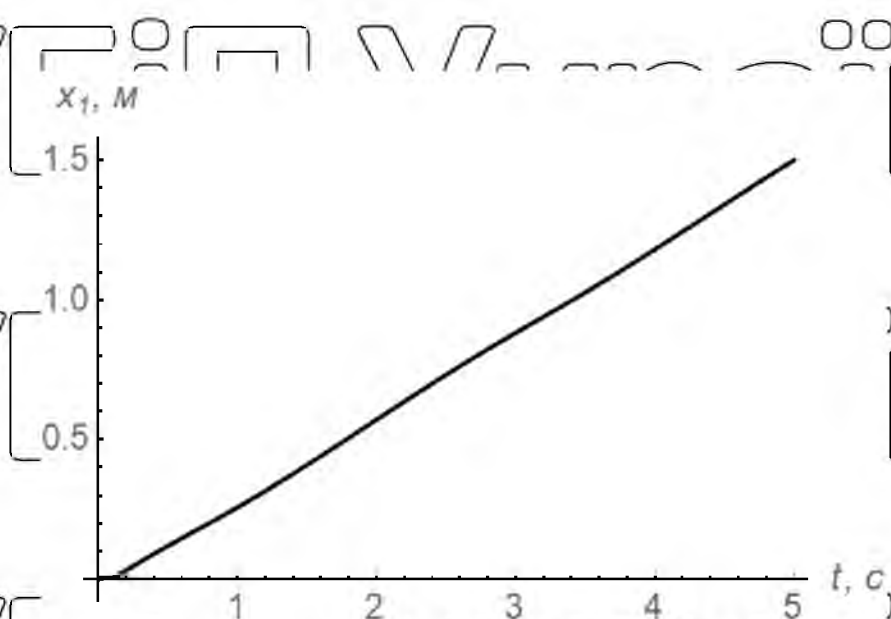


Рис. 2.2. Переміщення електроталі

$\dot{x}_1, \text{m/s}$

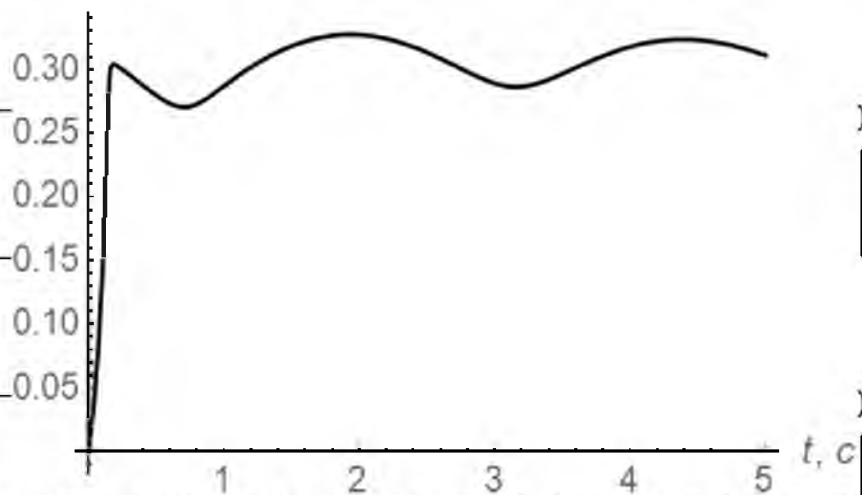


Рис. 2.3. Швидкість електроталі

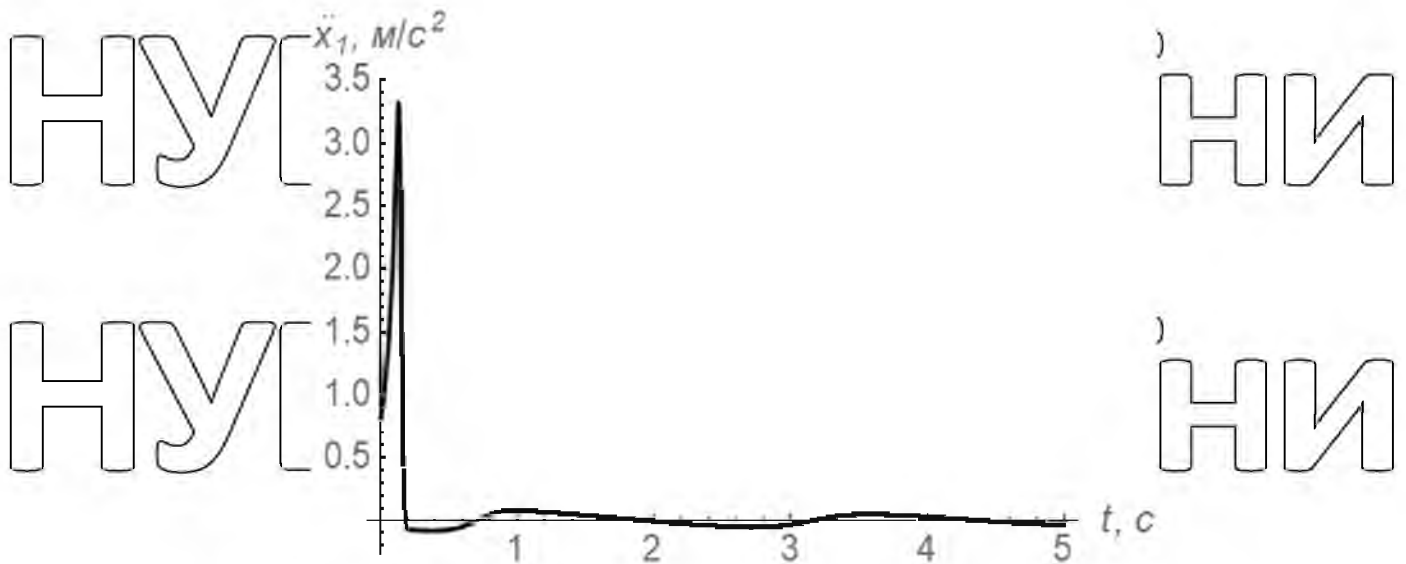


Рис. 2.4. Прискорення електроталі

З рисунків 2.5 – 2.8 видно що процес пуску супроводжується коливанням вантажу. Ці коливання продовжуються також після досягнення усталеної швидкості електроталю. Крім того саме під час пуску рушійне зусилля (рис. 2.9) та крутний момент (рис. 2.10) двигуна досягає пікових значень, відповідно значення 520 Н та 1,25 Н·м. Після досягнення усталеної швидкості, коливання рушійного зусилля та моменту двигуна плавно затухають. Максимальна швидкість вантажу 0,56 м/с, прискорення 0,72 м/с².

Відхилення вантажного канату від вертикалі – максимальне значення 0,093 м, а мінімальне -0,109 м

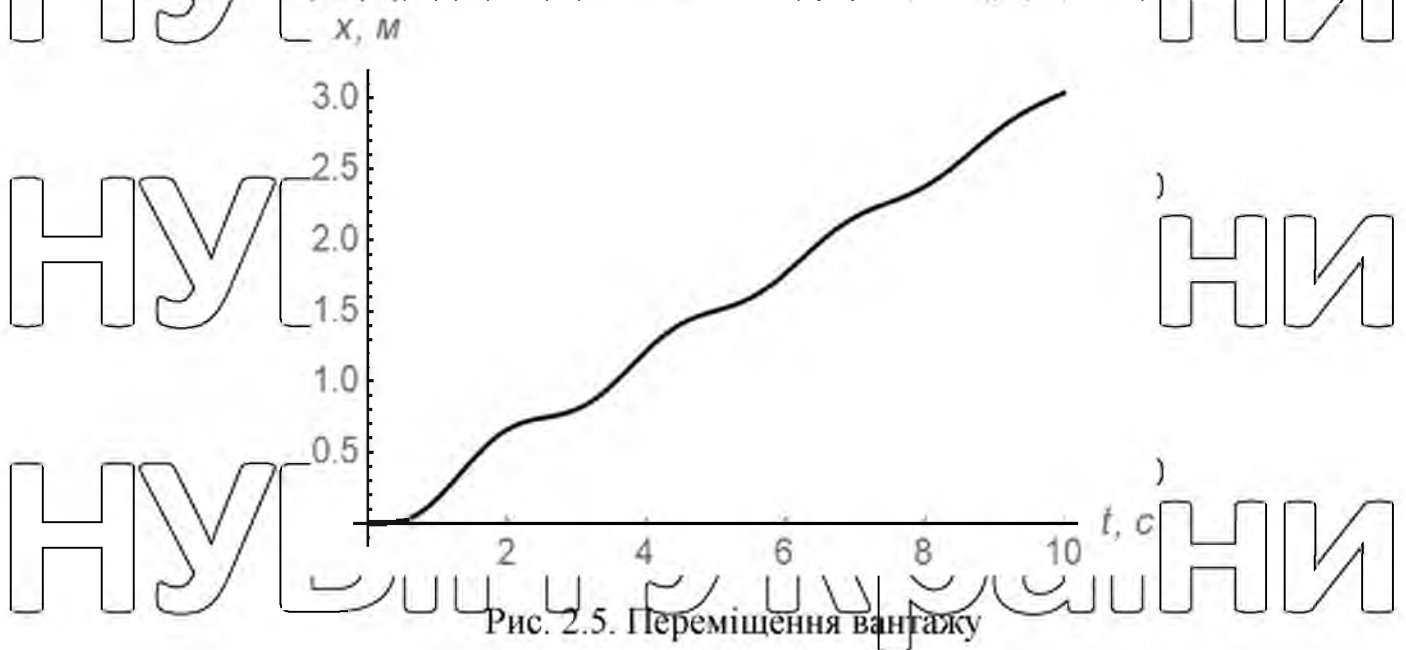


Рис. 2.5. Переміщення вантажу

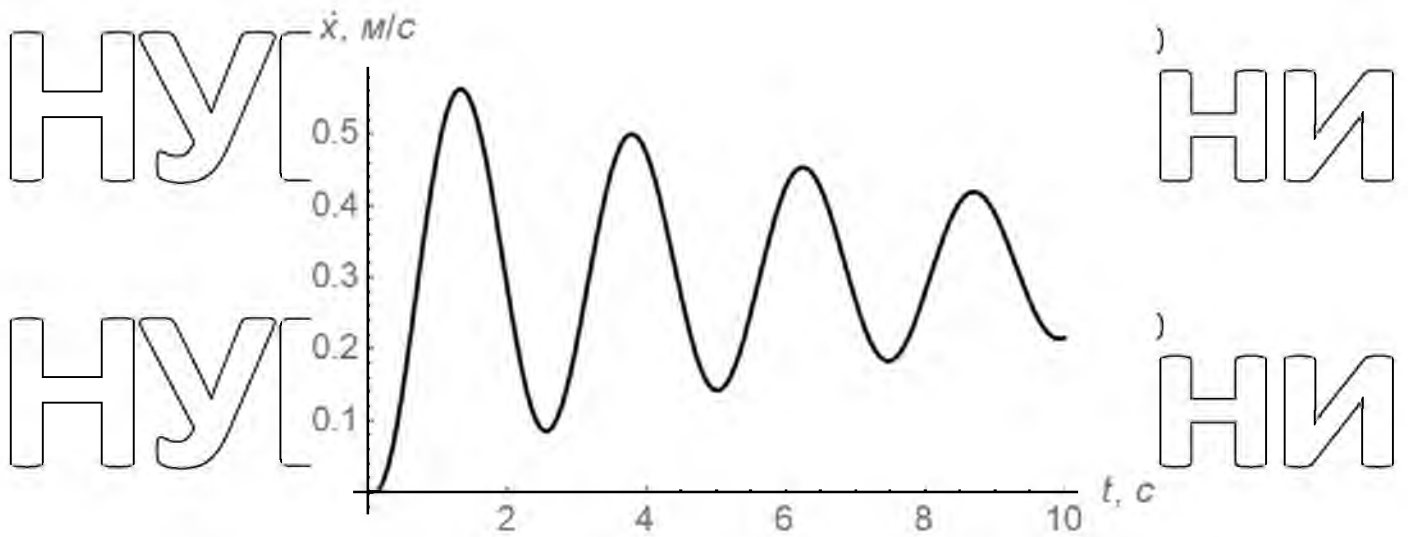


Рис. 2.6. Швидкість вантажу

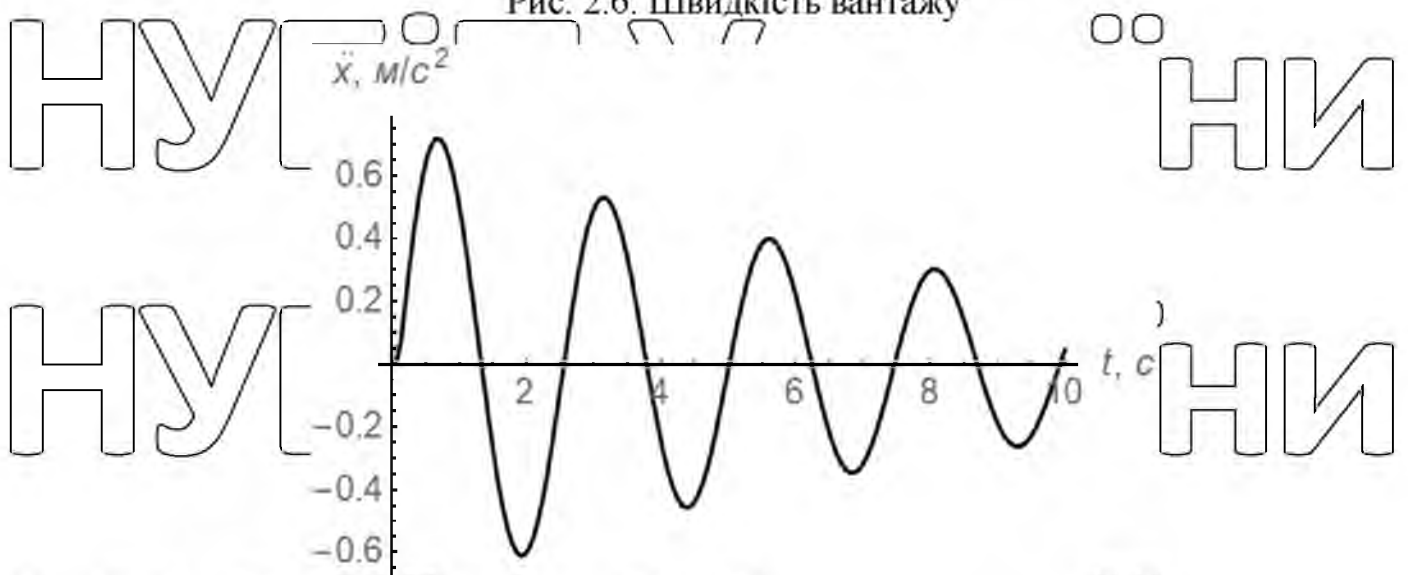


Рис. 2.7. Прискорення вантажу

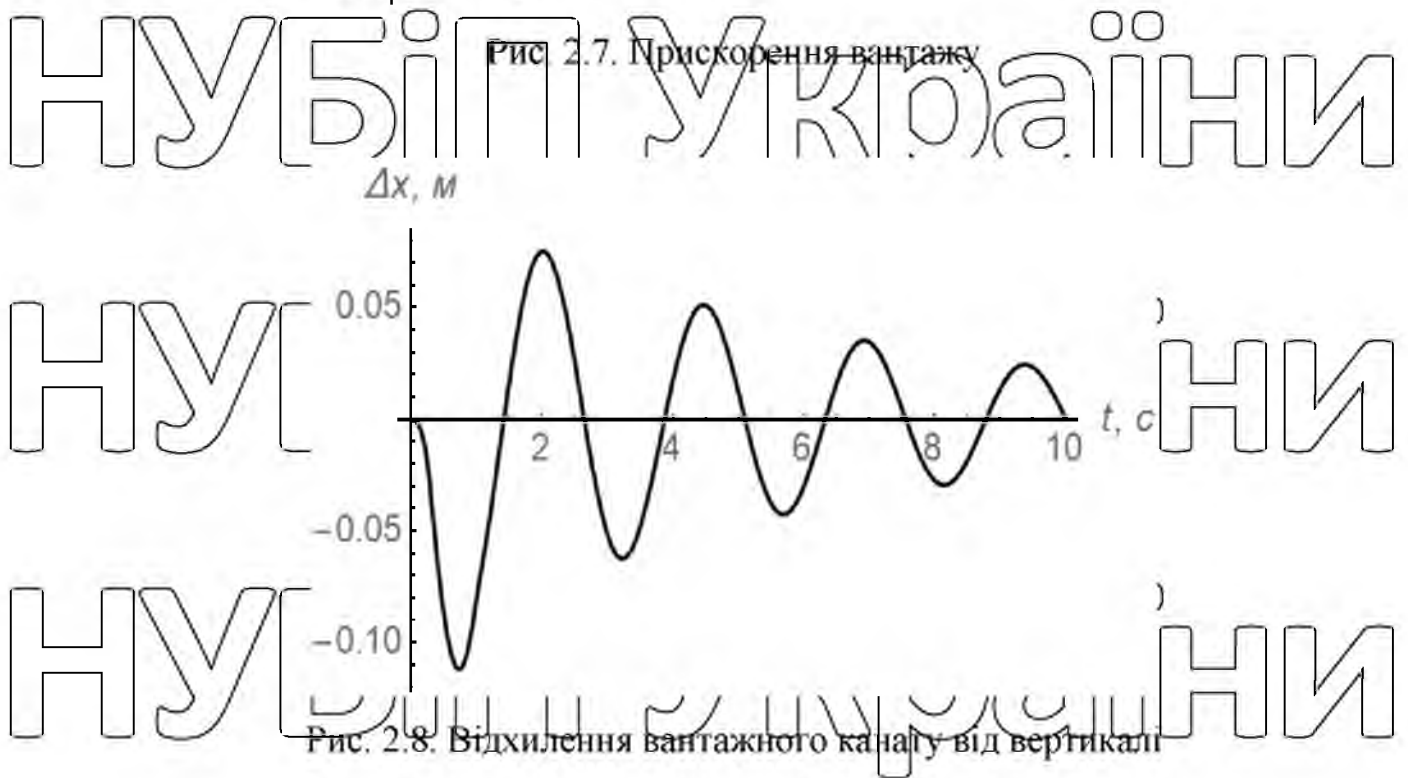


Рис. 2.8. Відхилення вантажного каналу від вертикалі

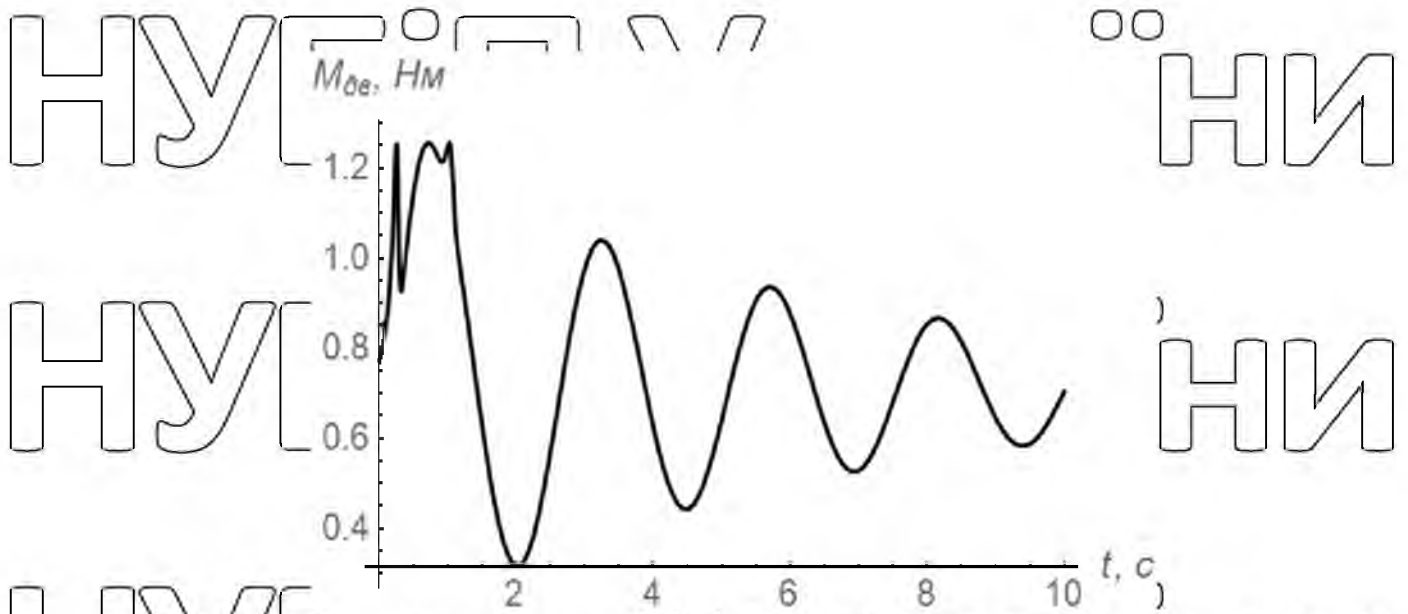


Рис. 2.9. Крутний момент двигуна

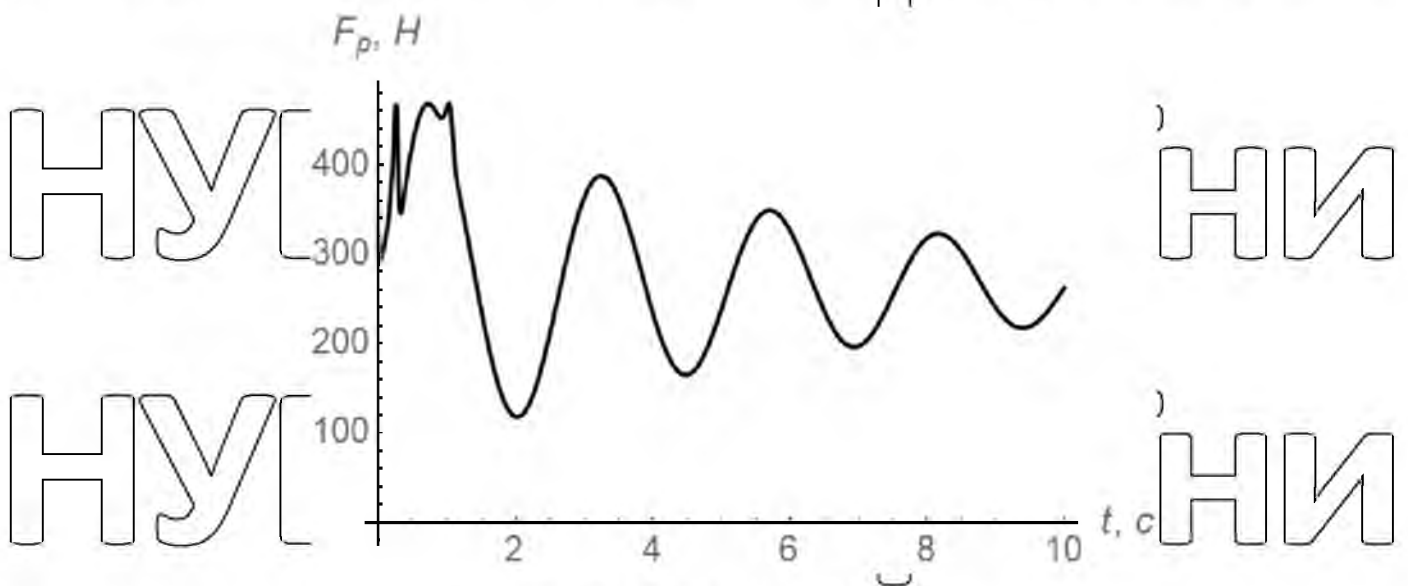


Рис. 2.10. Рушійне зусилля

Проаналізувавши графічні залежності, видно, що плавно затухаючі коливання рушійного зусилля та моменту двигуна збігається із частотою коливань вантажу. Пікові значення виникають саме під час процесу пуску, а коли рух відбувається на усталеній швидкості, то коливання затухають. Тому слід звернути увагу саме на процес пуску та методи усунення коливань

вантажу. Одним із таких є плавний запуск двигуна механізму переміщення електродів за допомогою перетворювача частоти. Тому наступним кроком є проведення експериментальних досліджень з частотно-керованим приводом.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ

3.1. Програма експериментальних досліджень

Мета експериментальних досліджень полягає у визначенні кінематичних параметрів руху електроталі при переміщенні вантажу експериментальним шляхом. Пропонується проводити однофакторний експеримент з частотно-керованим приводом з різними тривалостями розгону та гальмування. Сам процес пуску двигуна буде відбуватися за лінійним законом. План однофакторного експерименту наведено у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1
План одно-факторного експерименту

Маса вантажу, кг	27	
Довжина гнучкого підвісу, м	1,5	
Тривалість перехідного процесу пуску/гальмування, с	1	2
Номер експерименту	1	2

Програма експериментальних досліджень включає наступні етапи:

- вибір об'єкта дослідження;
- вибір вимірювально обладнання;
- вибір реєструючого обладнання;
- вибір перетворювача частоти;
- проведення експерименту;
- обробка експериментальних даних;
- проведення аналізу отриманих результатів.

3.2. Вибір об'єкту досліджень та обладнання для експерименту

В якості об'єкта дослідження вибрано електроталь (рис. 3.1) вантажопідйомністю 0,5 тон який розташований у навчальній лабораторії

кафедри конструювання машин і обладнання НУБіП України. Електроталь оснащена приводом механізму переміщення та підйому/опускання вантажу. Керування крановими механізмами виконується оператором за допомогою пульта.



Рис. 3.1. Об'єкт дослідження

Для вимірювання переміщення електроталі використовуються оптичний інкрементальний енкодер із мірним колесом Autonics ENC-1-1-424 [29] (рис. 3.2). Він монтується безпосередньо на електроталь (рис. 3.3), а його мірне колесо прижимається за допомогою пружного елемента до балки. Основні технічні характеристики наведені у таблиці 3.2.

При переміщенні мірного колеса енкодера на 1мм з його виходів приходить один імпульс, тому його не потрібно тарувати. Порахувавши кількість імпульсів можна визначити переміщення.



Рис. 3.2. Енкодер Autonics ENC-1-1-t-24



Рис. 3.3. Закріплені енкодер для вимірювання швидкості електрододу

Таблиця 3.2

Технічні характеристики енкодера Autonics ENC-1-1-t-24

Параметр	Значення
Напруга живлення, В	24
Споживана сила струму, А	0,06
Максимальна кількість обертів	5000
Вихідні фази	A, B
Фазова рівниця виходу	T/4 T/8
Імпульсів при переїщенні на 1 мм	1

Для вимірювання коливань вантажу використовується потенціометр опором 10 кОм (рис. 3.4). Він монтується на електроталі за допомогою кріплення. Коливання вантажу передаються за допомогою штанги, яка однією стороною з'єднана пружною муфтою, закріпленою на валу потенціометра, а іншою стороною кріпиться до вантажного каната (рис. 3.5).



Рис. 3.4. Потенціометр



Рис. 3.5. Закріплений датчик для вимірювання коливань вантажу

Для реалізації керування приводом механізму переміщення електроталі використано частотний перетворювач та система керування збору даних. Система керування забезпечує формування керуючого аналогового сигналу, який передається на аналоговий вхід частотного перетворювача. В залежності від рівня сигналу частотний перетворювач змінює частоту струму живлення двигуна. Сама система керування розроблена на базі мікроконтролера ATmega328 [30]. До системи керування підключаються датчики та пульт керування. При натисканні кнопки на пульті керування, формується аналоговий сигнал за допомогою цифро-аналогового перетворювача, який подається до перетворювача частоти (рис. 3.6). Крім того система керування включає в себе систему збору даних. Сигнали з датчиків та сформований керуючий сигнал записуються на мікроSD карту у вигляді масиву. Для проведення експерименту використано частотний перетворювач Mitsubishi FR-E740-060 [30] (рис. 3.7). Основні характеристики перетворювача наведені у таблиці 3.3.

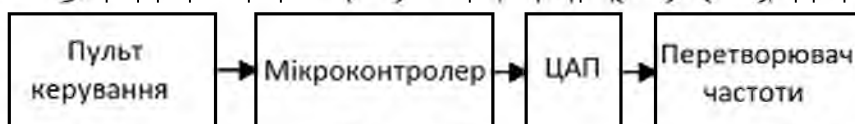


Рис. 3.6. Формування керуючого сигналу



Рис. 3.7. Перетворювач частоти Mitsubishi FR-E740-060

Таблиця 3.3

Основні технічні характеристики частотного перетворювача

Параметр	Значення
Номінальна потужність, кВт	2,2
Сила струму, А	6
Напруга живлення, В	380
Ступінь захисту	IP21

3.3. Результати експериментальних досліджень

Експериментальні дослідження динаміки руху електроталі проводилися відповідно до плану експерименту (табл. 3.1). Під час переміщення електроталі електричні сигнали з датчиків, що монтувалися на кранових механізмах передавалися до системи керування та збору даних. В результаті проведення експерименту отриманні дані збережені у масиви значень переміщення та швидкостей електроталі та коливань вантажу, що дало змогу виконати в подальшому обробку та проаналізувати результати.

При проведенні першого експерименту частота струму живлення двигуна механізму переміщення електроталі змінювала відповідно до рисунку 3.8.

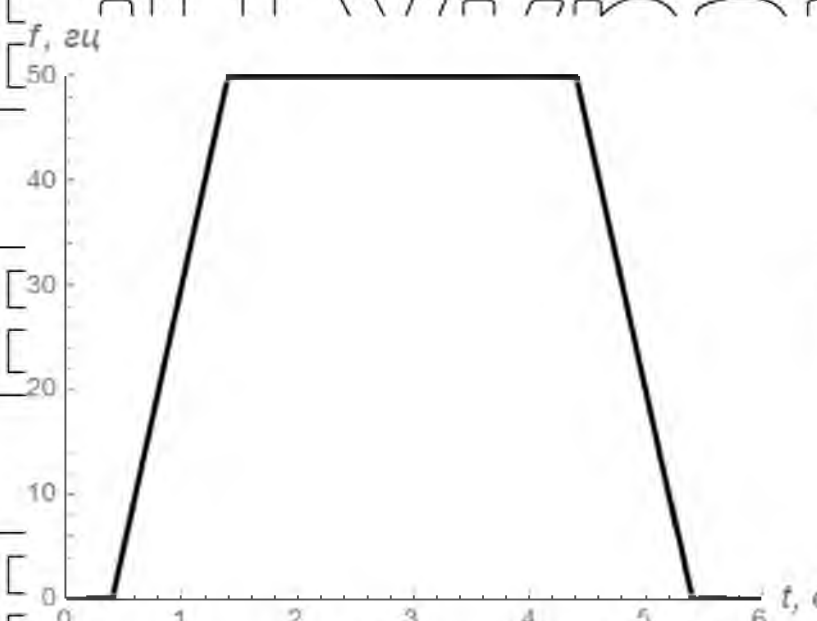


Рис. 3.8. Частота напруги живлення двигуна для експерименту 1

У програмі мікроконтролера задана тривалість пуску/гальмування 1 секунда, рух на усталеній швидкості – 3 секунди. В подальшому отримані дані з датчиків оброблені та побудовані графічні залежності, що відображають швидкість електроталі (рис. 3.9), відхилення вантажного канату від вертикалі (рис. 3.10) та швидкість відхилення (рис. 3.12).

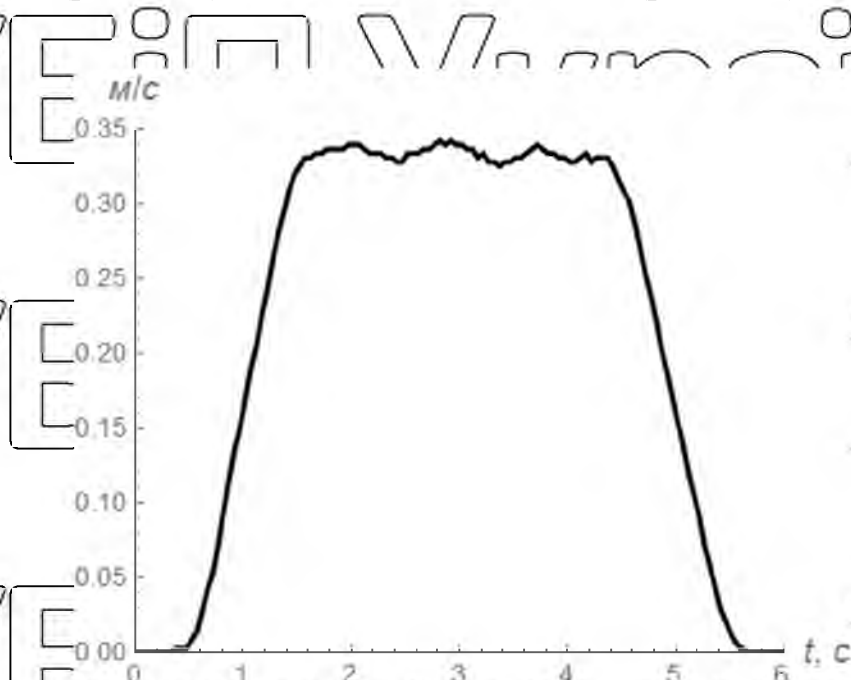


Рис. 3.9. Швидкість електроталі для експерименту 1

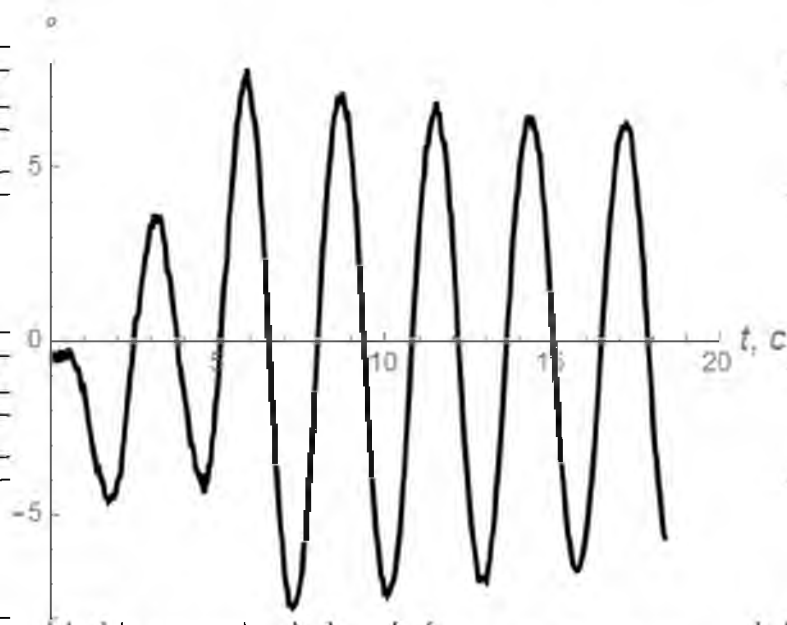


Рис. 3.10. Відхилення вантажного канату від вертикалі для експерименту 1

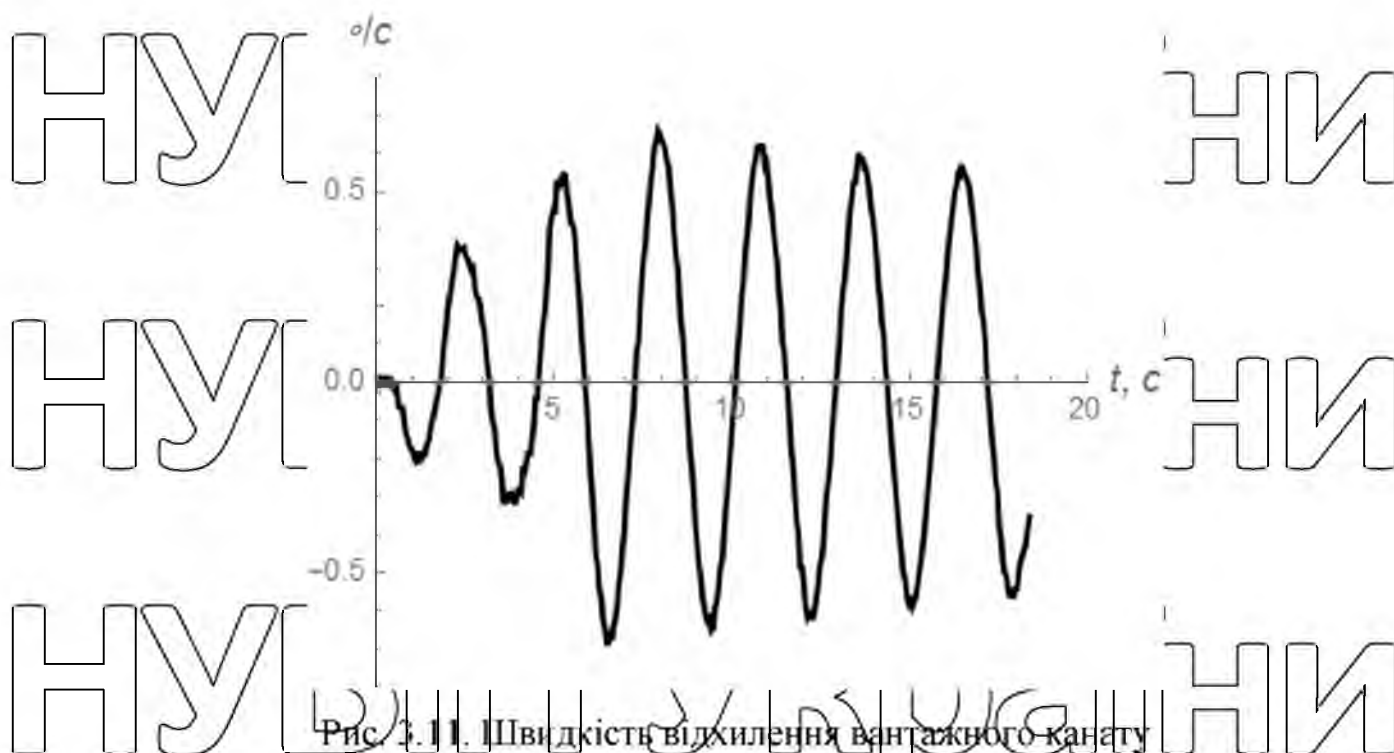


Рис. 3.11. Швидкість відхилення вантажного канату від вертикалі для експерименту 1

Другий експеримент проводився аналогічно, у програмі мікроконтролера задавалась тривалість пуску/гальмування 2 секунди та рух на усталеній швидкості – 3 секунди. Отримані данні з датчиків теж оброблені та побудовані графічні залежності, що відображають зміну частоти напруги живлення двигуна (рис. 3.12) швидкість електроталі (рис. 3.13), відхилення вантажного канату від вертикалі (рис. 3.14) та швидкість відхилення (рис. 3.15).

При проведенні усіх експериментів маса вантажу була 27 кілограм, довжина гнучкого підвісу 1,5 метри, тривалість руху на усталеній швидкості 3 секунди. Для експерименту 1 тривалість пуску/гальмування 1 секунда, а для експерименту 2 – пуск/гальмування 2 секунди.

З отриманих графічних залежностей видно, що рух електроталі супроводжується коливаннями вантажу, як у експерименті 1 (рис. 3.10) так і у експерименті 2 (рис. 3.14), самі ж коливання плавнотухаючі. З рисунків 3.9 та 3.13 видно що пуск та гальмування відбувається за лінійним законом, відповідно до керуючого сигналу (рис. 3.8 та 3.12).

Для експерименту 1 (тривалість пуску/гальмування 1 секунда) максимальний кут відхилення вантажного канату від вертикалі становить $7,8^\circ$, а для експерименту 2 (тривалість пуску/гальмування 2 секунди), максимальне значення $3,3^\circ$, що у 2,33 рази менше.

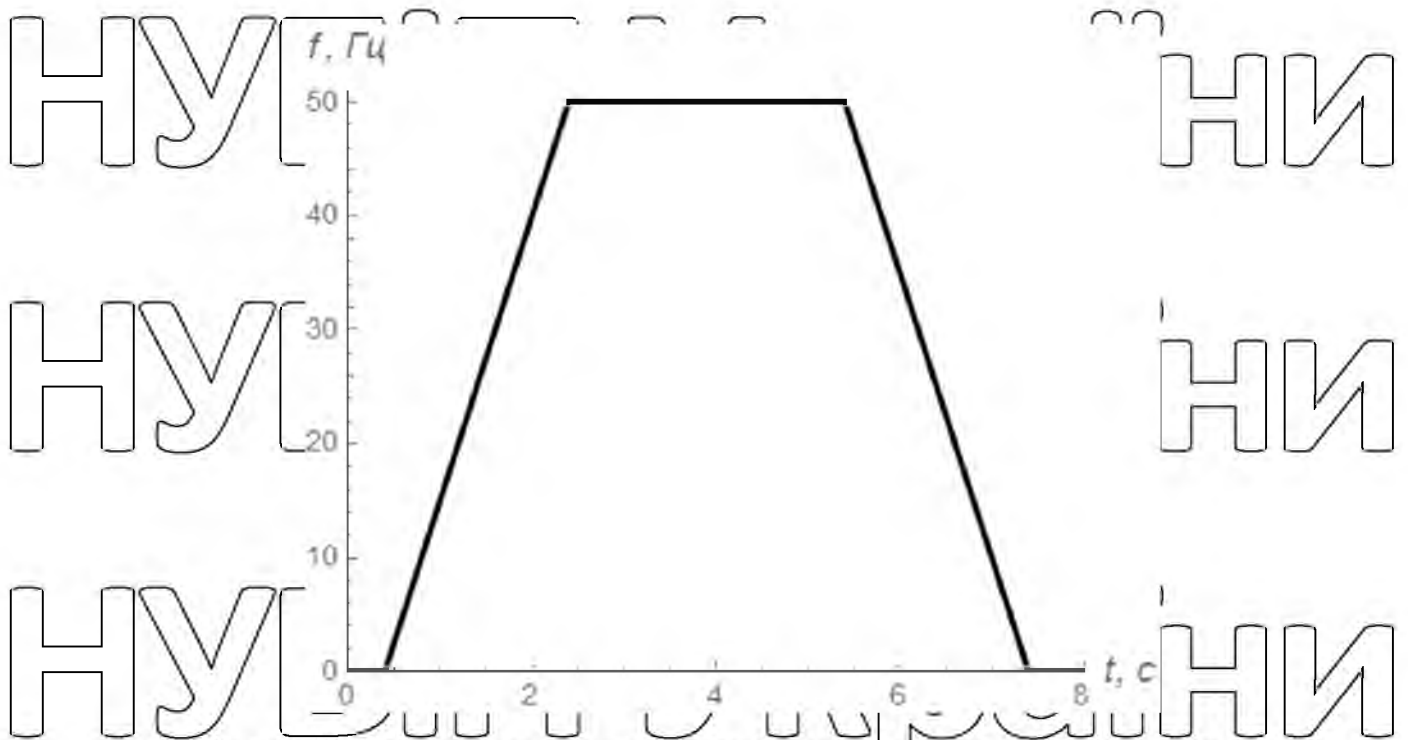


Рис. 3.12. Частота напруги живлення двигуна для експерименту 1

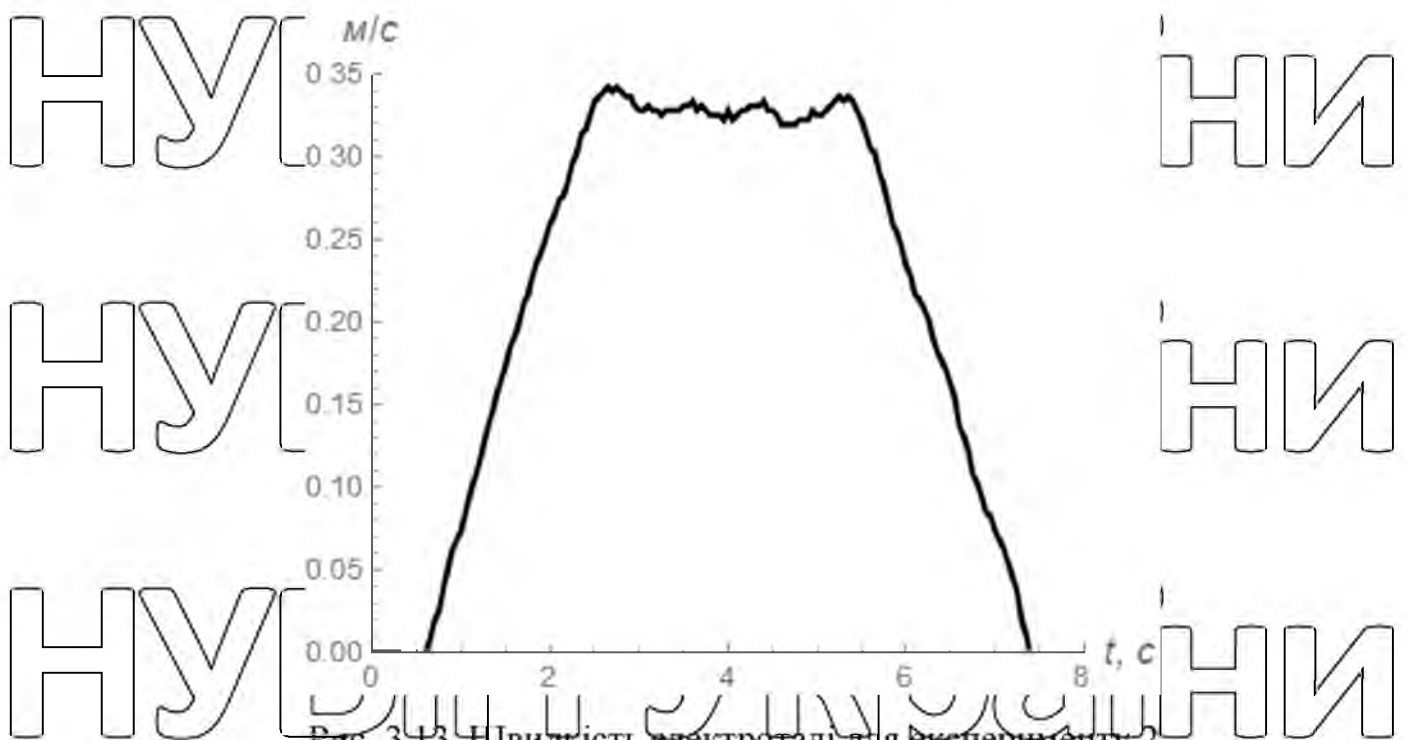


Рис. 3.13. Швидкість електроталі для експерименту 2

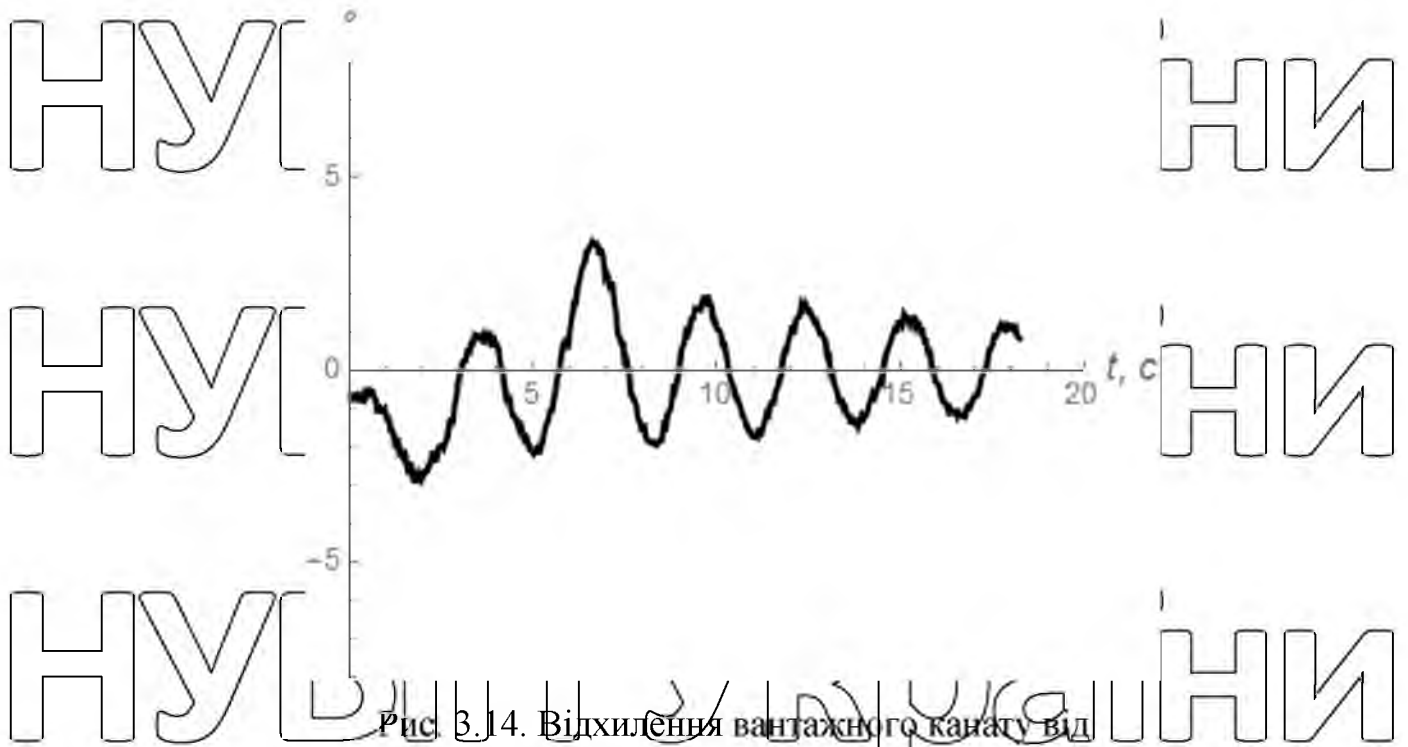


Рис. 3.14. Відхилення вантажного канату від вертикалі для експерименту 2

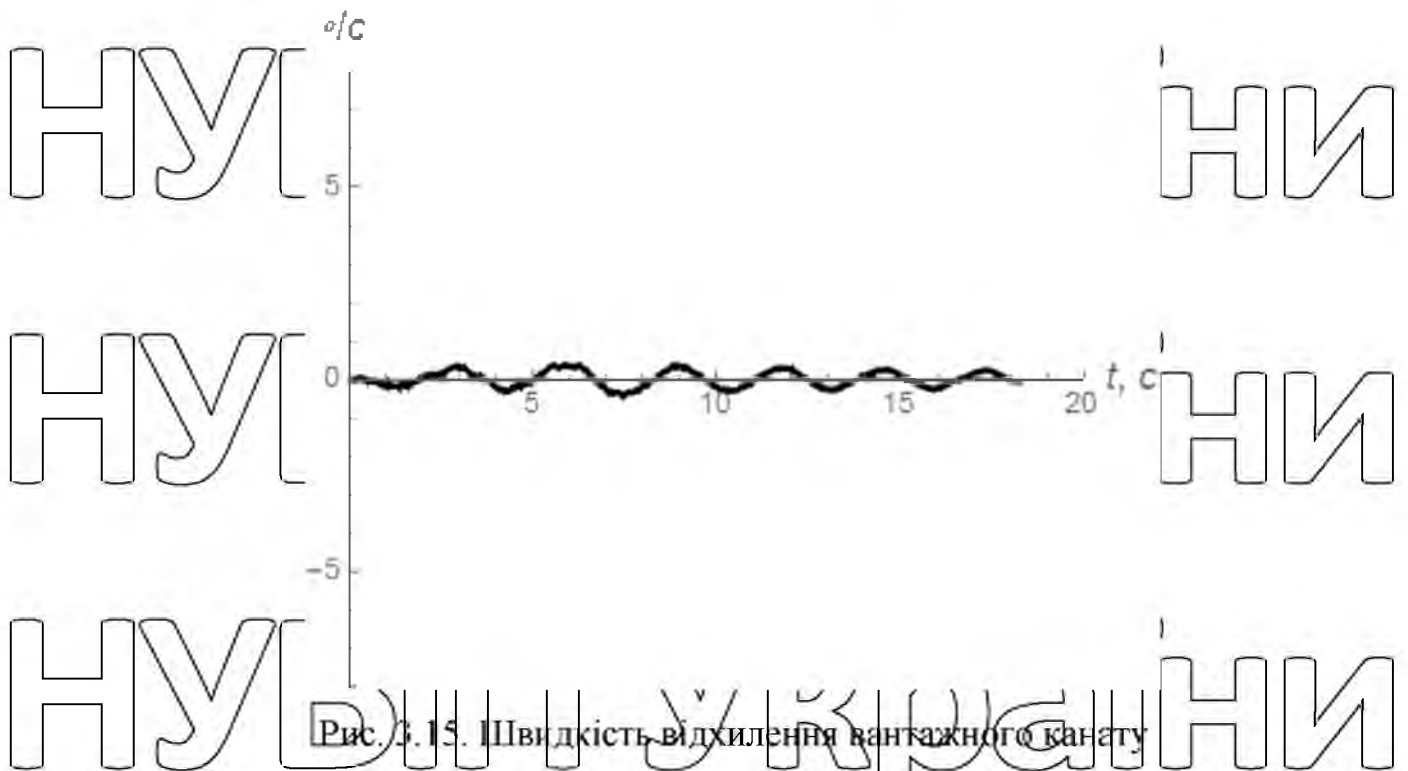


Рис. 3.15. Швидкість відхилення вантажного канату від вертикалі для експерименту 1

Проаналізувавши результати проведення експериментів можна зробити висновок, що при пуску двигуна за лінійним законом керування, збільшення тривалості пуску зменшують коливання вантажу.

РОЗДІЛ 4. ОХОРОНА ПРАЦІ

Вантажно-розвантажувальні роботи є найбільш складних і трудомісткими і однією із найважливіших завдань у сфері охорони праці та промислової безпеки. Водночас частка ручних вантажно-розвантажувальних робіт залишається значною. Аналіз виробничого травматизму, пов'язаного з вантажно-розвантажувальними роботами, показує, що найвищий рівень травматизму спостерігається при виконанні таких робіт вручну. Тому максимальна автоматизація цих робіт не тільки полегшує працю працівників, а й підвищує безпеку.

Безпека під час вантажно-розвантажувальних робіт сильно варіюється в залежності від групи, класу і категорії вантажу. Залежно від небезпек, що виникають при навантаженні, транспортуванні та розвантаженні, всі вантажі можна розділити на чотири групи:

1. Мало небезпечні вантажі.
2. Небезпечні вантажі за розміром.
3. Пилові та гарячі.
4. Небезпечні вантажі за характером.

При навантаженні та розвантаженні вантажів груп 3 і 4 необхідно використовувати засоби індивідуального захисту.

Небезпечні за своєю природою вантажі поділяються на дев'ять класів:

1. Вибухові речовини.
2. Стиснуті, зріджені та розріджені гази під тиском.
3. Легкозаймісті рідини з температурою спалаху нижче 61°C, суміші рідин, що виділяють легкозаймісті пари.
4. Легкозаймісті речовини і матеріали, що займаються при терті, нагріванні, поглинанні вологи і природних хімічних змінах легкозаймісті речовини та матеріали;
5. Окислювальні речовини, що легко виділяють кисень;
6. Токсичні та інфекційні речовини;
7. Радіоактивні речовини;

8. Їдкі та корозійно-активні речовини;
9. Речовини відносно низької небезпеки, але які повинні відповідати певним вимогам безпеки під час транспортування та зберігання

На додаток до стандартного маркування, упаковка небезпечного вантажу повинна бути промаркована знаком небезпеки. Цей знак має форму квадрата, облямованого чорною рамкою, повернутого по діагоналі і розділеного на два рівних трикутника. У верхньому трикутнику міститься символ небезпеки, а в нижньому трикутнику – номер небезпеки і класу вантажу.

Вантажі поділяються на три категорії відповідно до ваги однієї одиниці:

- вагою до 80 кг;
- вагою від 80 кг до 500 кг;
- вагою понад 500 кг.

Відповідні нормативні документи визначають граничні норми підймання та переміщення важких речей (вантажів) вручну одним працівником:

- чоловіки старше 18 років – 50 кг (дозволяється переносити вантаж до 80 кг на горизонтальну відстань не більше 25 м за умови, що вантаж піднімає на спину та розвантажує інший вантажник),
- жінки старше 18 років: 50 кг (дозволяється переносити вантаж до 80 кг на горизонтальну відстань не більше 25 м за умови, що вантаж піднімає на спину та розвантажує інший вантажник),
- жінкам віком від 18 років – 10 кг, якщо чергується з іншою роботою, 7 кг, якщо постійно працює з вантажем протягом зміни,
- юнакам і дівчатам віком 16-17 років – 14 кг і 7 кг відповідно для короткочасної роботи, 16 кг і 8 кг для 17-18-річних підлітків.

Якщо вага вантажу перевищує 50 кг і якщо вантаж необхідно підняти на висоту понад 3 м, необхідно застосовувати механізовані способи вантажно-розвантажувальних робіт із застосуванням механічних пристроїв і підйомно-транспортних механізмів. Перед проведенням таких операцій повинна бути

складена технологічна схема вантажно-розвантажувальних робіт з визначенням маршруту руху транспортних засобів на ділянці, де будуть проводитися такі роботи.

Вантажно-розвантажувальні майданчики повинні мати рівне, тверде покриття з ухилом не більше 5° і бути забезпечені природним і штучним освітленням. У зоні вантажно-розвантажувальних робіт повинні бути встановлені знаки.

Вантажно-розвантажувальні роботи повинні проводитися під наглядом призначеної в установленому порядку відповідальної особи. Такі відповідальні особи зобов'язані перед початком і під час виконання робіт перевірити наявність вантажопідйомних і транспортних засобів, механізмів, такелажу та іншого обладнання, проінструктувати працівників, пояснити порядок виконання робіт, переконатися у відсутності в робочій зоні сторонніх осіб тощо. У разі виникнення небезпечної ситуації особа, відповідальна за вантажно-розвантажувальні роботи, повинна негайно вжити запобіжних заходів і, за необхідності, припинити роботи до усунення небезпеки.

До виконання робіт, пов'язаних з підйомно-транспортними механізмами та обладнанням, допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли медичний огляд і спеціальне навчання, склали іспит у кваліфікаційній комісії та отримали посвідчення.

Вантажно-розвантажувальні роботи поділяються на групи:

1. Ручні роботи з підйому та переміщення вантажу;
2. Роботи з використанням механічних пристроїв (лебідок, блоків, домкратів, візків, опускних пристроїв) для підйому і переміщення вантажу;
3. Підйом і переміщення вантажів за допомогою спеціальних машин і механізмів (кранів, навантажувачів, конвеєрів, автомобілів, електромобілів).

Кожна з цих операцій з переміщення вантажу має свої небезпеки, які можуть призвести до нещасних випадків. Там, де вантажно-розвантажувальні

роботи виконуються вручну, нещасні випадки зазвичай трапляються через невідповідність робочого місця або умов праці вимогам охорони праці. Тому місця, де проводяться вантажно-розвантажувальні роботи, повинні бути добре освітлені, ширина проходів повинна відповідати нормам, підлога і риштування повинні бути рівними, неслизькими, без тріщин, вибоїн, набивання і цвяхів.

Працівники часто отримують травми під час перевезення вантажів у нещільній або пошкодженій тарі (наприклад, задирки, цвяхи, виступаючі лінії ременів) або у твердій тарі без захисних рукавичок. Відсутність спеціальної підготовки або необхідних навичок при виконанні вантажно-розвантажувальних робіт також є поширеною причиною нещасних випадків.

Недотримання правил складування вантажів може призвести до травмування працівників. Часте підняття та перенесення вантажів на великі відстані може призвести до перевантаження організму працівника. Підняття вантажу, що перевищує допустиму вагу, може призвести до того, що вантаж придавить працівника.

При таких операціях нещасні випадки зазвичай трапляються через падіння вантажу. У блоках мотузки або ланцюги можуть зісковзнути і застрягти між блоком і тілом. Вантаж може впасти і працівник може отримати травму.

Руки часто травмуються при поверненні каната або ланцюга в початкове положення. При роботі з таями канат або ланцюг можуть зісковзнути, а вісь або ролик - зламатися, що призведе до падіння вантажу. У випадку з пневматичними підійомниками вантаж може впасти, якщо пневматичне обладнання зламане або неправильно відрегульоване.

При використанні домкратів і лебідок шестерні, храповики, гвинти тощо можуть зламатися або вийти з ладу, що призведе до падіння вантажу.

При використанні домкратів вантаж також може впасти внаслідок неправильного встановлення домкрата або несанкціонованого переміщення вантажу, якщо він не закріплений належним чином.

Ковзанки використовують вагу вантажу для переміщення по похилій площині. Неправильно підбраний кут нахилу або відсутність захисних бортирів може призвести до того, що вантаж зісковзне і травмує людей, які знаходяться поруч.

Більшість нещасних випадків і травм при роботі з підйомно-транспортними машинами є наслідком неправильної організації робіт або відсутності належного контролю, помилок або невідповідності підйомно-транспортного механізму або машини виконуваний роботі, відсутності або несправності засобів безпеки, підйому, переміщення або опускання вантажу.

Наслідки таких факторів, як зачеплення вантажу при його підйомі, переміщенні або розвантаженні.

Оскільки більшість машин і механізмів, призначених для підйому або переміщення вантажів, обладнані електричними приводами, нещасні випадки та катастрофи часто спричинені порушенням вимог електробезпеки. Під час роботи кранів найпоширенішими причинами падіння вантажів і нещасних випадків, що виникають внаслідок цього, є недостатня міцність канатів або ланцюгів і невідповідні гальмівні пристрої. Падіння вантажу також може статися, якщо вантаж не закріплений належним чином, неправильно прив'язаний або якщо використовуються канати, які не підходять для відповідного навантаження. Нещасні випадки також можуть бути спричинені недосвідченими операторами, які подають неправильні знаки кранівнику.

До вантажопідйомного обладнання належать вантажопідйомні пристрої та механізми (лебідки, домкрати, блоки) і вантажопідйомні крани (вишки, мости, козли, кран-балки, телескопічні крани).

Безпека вантажопідйомного обладнання забезпечується проектуванням, виготовленням та експлуатацією відповідно до вимог нормативних документів. Найбільш відповідальними елементами вантажопідйомного обладнання є несучі елементи (канати, ланцюги і гаки), які під час експлуатації піддаються найбільшому зносу і навантаженню. Тому вони повинні бути спроектовані з великим запасом міцності.

Несучі елементи є найбільш відповідальними елементами вантажопідйомного обладнання, тому їх стан необхідно постійно контролювати.

Для створення безпечних умов роботи вантажопідйомного обладнання канат або ланцюг повинні бути надійно закріплені на гаку, а вантаж не повинен падати. Це досягається шляхом використання гаків із запобіжними пристроями. Щоб запобігти заковуванню каната або ланцюга з блоку і його заклинюванню, в обоємі блоку встановлюються розпірні штифти.

Для забезпечення безпеки ручні підйомні пристрої та механізми повинні бути обладнані храповим пристроєм, який запобігає падінню вантажу при підйомі. Гідравлічні домкрати з цією метою оснащуються зворотними клапанами. Диференціальні блоки обладнуються пристроями, що забезпечують самоблокування вантажу на будь-якій висоті при підйомі або опусканні вантажу. До таких пристроїв відносяться черв'ячна шестерні і храпові механізми.

Ручні лебідки оснащуються запобіжним важелем, який являє собою єдиний конструктивний вузол, що складається з важеля, храпового механізму і гальма.

Електричні талі обладнані гальмівними колодками, які автоматично спрацьовують при відключенні електродвигуна.

Перед початком експлуатації крани повинні бути зареєстровані в Національній комісії з промислової безпеки та охорони праці відповідно до "Правил безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів". Не підлягають реєстрації всі види кранів з відповідними приводами, пересувні крани (підйомники) або консольні крани, що обертаються, вантажопідйомністю до 10 тон, керовані з землі за допомогою перемикача та інші.

Вантажопідіймальні крани підлягають періодичним технічним оглядам для забезпечення відповідності вимогам безпеки. Повний технічний огляд включає огляд, стагичні та динамічні випробування. Часткові огляди не включають випробування. Під час огляду перевіряється стан крана та його

механізму, металоконструкції, блоків, блоків, сталевих канатів та їх з'єднань, надійність монтажу крана, стан підійної колії та заземлення, а також відповідність проти ваговим значенням, зазначеним у паспорті крана.

Також перевіряється робота електрообладнання та механізмів крана, запобіжних пристроїв, гальм, органів керування та сигналізації.

Статичні випробування проводяться для перевірки міцності і вантажопідйомності крана. Під час цього випробування вантаж вагою не менше 25 відсотків від вантажопідйомності крана піднімають на висоту 2-3 м

і утримують протягом 10 хвилин. Потім вантаж опускають і перевіряють на наявність залишкової деформації, тріщин або інших пошкоджень.

Динамічні випробування проводяться для перевірки працездатності механізму і надійності гальмівної системи. Результати технічного огляду заносяться в паспорт крана і вказується дата наступного огляду.

Наказом по підприємству призначається інженерно-технічна особа, яка відповідає за справний стан і безпечну експлуатацію вантажопідіймальної машини та її механізму.

Залежно від типу крана, він повинен бути оснащений відповідними запобіжними пристроями та обладнанням, такими як кінцеві вимикачі, обмежувачі вантажопідйомності та блокувальні пристрої.

Кінцеві вимикачі автоматично зупиняють двигун, коли гак досягає верхнього граничного положення. Вони також зупиняють механізм пересування крана або візка до того, як він досягне положення зупинки.

Обмежувачі навантаження запобігають перевантаженню крана. Якщо вантаж перевищує вантажопідйомність крана більш ніж на 10%, він автоматично зупиняє механізм підйому.

РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ

Щоб розрахувати економічність ефективність системи керування електроталпо. Скористаємося формулою для визначення річної продуктивності крана.

$$Q_{\text{річ}} = \frac{60 \cdot T}{t_{\text{ц}}} \cdot Q \cdot K_{\text{доб}} \cdot K_{\text{річ}} \cdot K_{\text{ван}} \quad (5.1)$$

де T – дійсний фонд робочого часу машини протягом року $T \approx 2496$ год;

Q – вантажопідйомність крана $Q = 0,5$ т;

$K_{\text{доб}}$ – коефіцієнт використання крана за часом протягом доби, $K_{\text{доб}} = 0,5$;

$K_{\text{річ}}$ – коефіцієнт використання крана за часом протягом року, $K_{\text{річ}} = 0,6$;

$K_{\text{ван}}$ – коефіцієнт використання крана за вантажопідйомністю, $K_{\text{ван}} = 0,5$;

$t_{\text{ц}}$ – тривалість циклу роботи для крана обладнаного системою для усунення коливань вантажу.

Тривалість робочого циклу крана при перевантажувальних роботах:

$$t_{\text{ц}} = \sum t + \sum t_{\text{д}}, \quad (5.2)$$

де $\sum t$ – час, що витрачається на операції по переміщенню вантажу краном,

$\sum t_{\text{д}}$ – сумарний час виконання допоміжних операцій.

Сумарний час виконання допоміжних операцій:

$$\sum t_{\text{д}} = t_{\text{зах}} + t_{\text{зн}} + t_{\text{нав}} + t_{\text{засп}}, \quad (5.3)$$

де $t_{\text{зах}}$ – час, затрачений на стропування або захват вантажу;

$t_{\text{зн}}$ – час, затрачений на знімання вантажу;
 $t_{\text{зп}}$ – час, затрачений на позиціонування вантажу;
 $t_{\text{зв}}$ – час, затрачений на заспокоєння коливань вантажу.

Час на операції по переміщенню вантажу краном:

$$\Sigma t = t_{\text{під}} + t_{\text{пер.в.}} + t_{\text{пер.к.}} \quad (5.4)$$

де $t_{\text{під}}$ – час підйому/опускання вантажу;

$t_{\text{пер.в.}}$ – час переміщення візка;
 $t_{\text{пер.к.}}$ – час переміщення крана.

$$\Sigma t = 21,71 + 14,67 + 10 = 46,38 \text{ с.}$$

Час на операції по підйому вантажу краном:

$$t_{\text{під}} = \frac{2H}{V_{\text{під}}} + t_n, \quad (5.5)$$

де H – середня висота підйому вантажу;
 V – середня швидкість підйому;

t_n – тривалість розгону і гальмування механізму.

$$t_{\text{під}} = \frac{2 \cdot 5,5}{0,7} + 4 = 19,71 \text{ с.}$$

Час на операції по переміщенню електроталі:

$$t_{\text{пер.в.}} = \frac{2S_{\text{в.}}}{V_{\text{пер.в.}}} \cdot t_n, \quad (5.6)$$

де S – середня довжина переміщення електроталі;
 $V_{пер.в.}$ – середня швидкість електроталі;
 t_n – тривалість розгону і гальмування механізму.

$t_{пер.в.} = \frac{2 \cdot 13}{3} \cdot 4 = 34,66с.$

Час на операції по переміщенню крана:

$t_{пер.в.} = \frac{2S_{кр.}}{V_{пер.к.}} \cdot t_n$ (5.7)

де: S – середня довжина переміщення крана;

$V_{пер.к.}$ – середня швидкість переміщення крана;
 t_n – тривалість розгону і гальмування механізму.

$t_{пер.к.} = \frac{2 \cdot 10}{5} + 4 = 8с.$

За формулою (5.3) визначимо тривалість робочого циклу крана при перевантажувальних роботах при оптимальному та ручному керуванні відповідно:

$t_{ц.р.} = 110 + 46,38 = 156,38с.$

$t_{ц.о.} = 94 + 46,38 = 140,38с.$

Визначимо продуктивність крана відповідно при частотно-керованому керуванні та ручному керуванні:

$$Q_{\text{р.р.}} = \frac{60 \cdot 2500}{156,38} \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,5 = 86,32 \text{ т}$$

$$Q_{\text{р.о.}} = \frac{60 \cdot 2500}{140,38} \cdot 0,5 \cdot 0,5 \cdot 0,6 \cdot 0,5 = 80,56 \text{ т}$$

Знайдемо різницю продуктивності.

$$Q_{\text{р.р.}} - Q_{\text{р.о.}} = 86,32 - 80,56 = 5,76 \text{ т/рік}$$

Продуктивність за годину при ручному керуванні краном становить 0,115 т/год. При такій продуктивності можна заощадити 50 годин на рік. Місячна заробітна плата кранівника становить 25 000 грн./місяць, а погодинна заробітна плата - 147 грн./год. У цьому випадку економічна вигода від підвищення продуктивності складатиме 7350 грн/рік.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ВИСНОВКИ

Аналіз літератури показав, що у світі проведено достатньо велика кількість досліджень щодо способів керування крановими механізмами, але мало приділено уваги саме обґрунтування режимів руху. В результаті проведення динамічного аналізу, проаналізувавши графічні залежності, видно, що плавно затухаючі коливання рушійного зусилля та моменту двигуна збігаються із частотою коливань вантажу. Пікові значення виникають саме під час процесу пуску, а коли рух відбувається на ustalеній швидкості, то коливання затухають. Тому увагу приділено саме на процес пуску та гальмування.

При проведенні експерименту, у якому запуск двигуна механізму переміщення електроталі відбувався за лінійним законом керування, тривалістю пуску/гальмування 1 секунда – максимальний кут відхилення вантажного канату від вертикалі становить $7,8^\circ$, а для експерименту, де тривалість пуску/гальмування 2 секунди – максимальне значення $3,3^\circ$, що у 2,33 рази менше.

Проаналізувавши результати експерименту можна зробити висновок, що при пуску двигуна за лінійним законом керування та зі збільшенням тривалості самого процесу пуску, коливання вантажу зменшуються.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. IQS Directory 2022. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.iqsdirectory.com/articles/electric-hoist.html>.
2. Принцип роботи й особливості електричного таля [Електронний ресурс] // КЗЦТО. – 2020. – Режим доступу до ресурсу:
3. Хмара Л. А. Будівельні крани: конструкції та експлуатація / Л. А. Хмара, М. П. Колісник, О. І. Голубченко. – Київ: Техніка, 2001. – 296 с.
4. Вантажопідйомна, транспортуюча та транспортна техніка – Кропивницький: СПД ФО Лисенко В. Ф, 2020. – 126 с. – (Навчальне видання).
5. How Does An Electric Chain Hoist Work [Електронний ресурс] // Copyright RGM Cranes. All Rights Reserved.. – 2020. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.rgmcranes.com/electric-chain-hoist-vs-manual-chain-hoists/#:~:text=lifting%20heavy%20items,-How%20Does%20An%20Electric%20Chain%20Hoist%20Work%3F,then%20lift%20the%20load%2Fweight>.
6. Підйомно-транспортні машини [Електронний ресурс] // Wikipedia. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Підйомно-транспортні_машини.
7. Класифікація і основні параметри вантажопідіймальних кранів [Електронний ресурс] // ПТНЗ. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: http://slinger.pto.org.ua/index.php?option=com_k2&view=item&id=1467:1467.
8. Підйомно-транспортні засоби механізації [Електронний ресурс] // Будівельна техніка (довідник). – 2016. – Режим доступу до ресурсу: <https://budtehnika.pp.ua/9502-pdyomno-transportn-zasobi-mehanzacyi.html>.
9. Аналого-цифровий перетворювач [Електронний ресурс] // Wikipedia. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Аналого-цифровий_перетворювач.

10. Потенціометричний датчик [Електронний ресурс] // Wikipedia. – 2022. – Режим доступу до ресурсу: https://uk.wikipedia.org/wiki/Потенціометричний_датчик.

11. Журавльов А. М. Дослідження енергетичної ефективності механізму переміщення електроталі на трубних стійках / А. М. Журавльов, В. П.

Трипутень, І. В. Тарасов. // Вісник Дніпропетровського національного університету залізничного транспорту імені академіка В. Лазаряна. – 2018. – №72. – с. 61–68.

12. Дубілет О. М. Обґрунтування режиму руху механізму переміщення

електроталі на підприємстві з використанням методів оптимізації. / О. М.

Дубілет, І. С. Пітюк, Я. В. Карнаух. // Енергетика та електрифікація. – 2017. – №4. – с. 21–25.

13. Кіреєва Н. М. Аналіз впливу факторів на режим руху механізму

переміщення електроталі / Н. М. Кіреєва, В. В. Павлик, Ю. В. Мацюк. //

Вісник Національного університету водного господарства та природокористування. – 2021. – №5. – с. 33–39.

14. Сорочинський В. Г. Математичне моделювання процесу руху механізму

переміщення електроталі з урахуванням тертя / В. Г. Сорочинський,

С. М. Скрипник, О. О. Макарова. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. – 2019. – №1199. – с. 136–142.

15. Іванов І. П. Математичне моделювання режимів руху електроталі на

основі векторного аналізу. / І. П. Іванов. // Вісник Національного технічного університету України "КПІ". – 2020. – №2. – с. 45–52.

16. McCormick J. W. Overhead Traveling Cranes and Hoists / J. W. McCormick.

– США: Хобокен (Нью-Джерси: John Wiley & Sons, 2016. – 112 p. – (John Wiley & Sons).

17. Wensink J. H. Motion control of an overhead crane / J. H. Wensink, R. A.

Ramaker. // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1994. – №30. – p. 44–50.

18. Schmitz B. A. Comparison of control strategies for an overhead crane / B. A. Schmitz, R. A. Layton. // IEEE Transactions on Industry Applications. – 1996. – №32. – p. 699–707.

19. Ramaker R. A. Control of overhead cranes / R. A. Ramaker, J. H. Wensink. // Control Engineering Practice. – 1994. – №2. – p. 455–463

20. Chowdhury S. P. Control of an overhead crane with sway and hoisting dynamics, / S. P. Chowdhury, S. P. Boyd. // IEEE Transactions on Control Systems Technology. – 1999. – №7. – p. 607–616.

21. X.Liu H. L. Research on the sway control system of the electric overhead traveling crane based on the wavelet neural network / H. L. X.Liu, Y. P. Zhao. // Mathematical Problems in Engineering. – 2016. – №1. – p. 136–142.

22. Witkowski K. Optimal control of an overhead crane with double-pendulum hoisting system, / K. Witkowski, P. Osiecki. // Control Engineering Practice. – 2011. – №19. – p. 358–356.

23. Vaz M. F. Nonlinear dynamic analysis and optimal control of an overhead crane, / M. F. Vaz, A. F. Santos, J. M. Santos. // Journal of Vibration and Control. – 2012. – №18. – p. 814–826.

24. Zhao C. "Robust optimal control for an overhead crane with interval uncertainties / C. Zhao, H. Chen, Z. Zhou. // Control Engineering Practice. – 2013. – №21. – p. 818–827

25. Driankov D. "Optimal control of an overhead crane with cable-pulley hoisting system / D. Driankov, B. Donev. // " Control Engineering Practice. – 2004. – №12. – p. 335–345.

26. Pereira S. F. Optimal trajectory planning for an overhead crane using differential evolution / S. F. Pereira, F. J. Ferreira, J. M. Lemos. // Engineering Optimization. – 2010. – №42. – p. 715–729.

27. Tchernykh K. M. Optimization of the mode of electric overhead traveling crane motion / K. M. Tchernykh, A. V. Kolyubin, A. A. Fisun. // Bulletin of the South Ural State University. Series: Mechanical Engineering. – 2020. – №20. – p. 29–38.

28. Фадєєва О. В. Удосконалення механічної характеристики асинхронного двигуна привода роторного стола бурової установки [Електронний ресурс] / О. В. Фадєєва – Режим доступу до ресурсу:

<http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/2607/1/703p.pdf>.

29. ENC Series [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://hidroteka.lt/wp-content/uploads/2016/08/ENC.pdf>.

30. INVERTER FR-E700 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

<https://vfds.com/content/manuals/mitsubishi-e700-manual.pdf>.

31. ATmega328 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:

https://ww1.microchip.com/downloads/en/DeviceDoc/Atmel-7810-Automotive-Microcontrollers-ATmega328P_Datasheet.pdf.

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

НУБІП України

ДОДАТКИ

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

17.05 – МКР. 464 “С”2023.03.28.018 ПЗ

ЗАЛИЗА ДМИТРО АНДРІЙОВИЧ

2023 р.