

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

01.09 – КМР. 2398 –Є” 2023.12.29. 017 ПЗ

БЕЗКОРОВАЙНИЙ ОЛЕКСАНДР ВАСИЛЬОВИЧ

2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

УДК 621.873

ПОГОДЖЕНО

Декан факультету (Директор ННІ)

конструювання та дизайну

(назва факультету (ННІ))

Зіновій РУЖИЛО

(підпис)

(ПІБ)

2024р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри

конструювання машин і обладнання

(назва кафедри)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН

(підпис)

(ПІБ)

2024р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Оптимізація режиму повороту стрілового крану

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Освітня програма Обладнання лісового комплексу

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Гарант освітньої програми

К.Т.Н., доцент

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Олександр БАННИЙ

(ПІБ)

Керівник магістерської кваліфікаційної роботи

Д.Т.Н., професор

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН

(ПІБ)

К.Т.Н., ст. викладач.

(науковий ступінь та вчене звання)

(підпис)

Іван КАДИКАЛО

(ПІБ)

Виконав

(підпис)

Олександр Васильович БЕЗКОРОВАЙНИЙ

(ПІБ студента)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
РЕФЕРАТ	5
ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ	7
1.1. Види, роль та функції стрілового крану.....	7
1.2. Будова стрілового крану	19
1.3. Механізм повороту стрілового крану.....	26
1.4. Попередні дослідження з оптимізації.....	28
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ СТРІЛОВОГО КРАНА	36
2.1. Розрахунок механізму повороту стрілового крану	36
2.2. Кінематичний розрахунок приводу механізму повороту.....	58
РОЗДІЛ 3. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ	61
3.1. Побудова динамічної моделі механізму повороту.....	61
3.2. Математична модель механізму повороту крана.	64
3.3. Результати динамічного аналізу механізму	66
РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ МАХАНІЗМУ ПОВОРОТУ	71
4.1. Оптимізація режиму пуску механізму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення пружного	71
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ	80
5.1. Загальні вимоги до охорони праці на об'єктах з експлуатації стрілових кранів	80
5.2. Види потенційних небезпек при експлуатації стрілового крана.....	86
5.3. Технічні заходи з безпеки при роботі крана	91
РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ	96
6.1. Техніко-економічні показники рентабельності виробництва баштового крана в умовах серійного виробництва	96
ВИСНОВОК	108
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ	109
ДОДАТКИ	116

РЕФЕРАТ

Магістерська кваліфікаційна робота включає пояснювальну записку, що складається зі вступу, шести розділів, висновків, списку використаної літератури, додатків. Пояснювальна записка магістерської кваліфікаційної роботи містить 116 аркушів друкованого тексту.

В магістерській роботі розглянуто загальні відомості про стрілові крани, конструкції стрілових кранів, їхня класифікація, а також більш детально розглянуто механізм повороту баштового крану.

Виконано кінематичний розрахунок приводу, розрахунок механізму повороту та підібрано складові елементи приводного механізму.

Здійснено динамічний аналіз механізму повороту стрілового крану, де побудовано його динамічну та математичну моделі, В результаті проведеного розв'язку диференціальних рівнянь руху механізму повороту розраховані його кінематичні, динамічні та енергетичні характеристики. Динамічний аналіз виявив значні коливання в елементах конструкції та приводу механізму повороту.

Для усунення коливань та зменшення динамічних навантажень проведено оптимізацію режиму пуску механізму повороту, яка дозволила покращити характеристики механізму повороту.

В магістерській роботі визначені основні напрямки розробки конструкції механізму повороту стрілового крану та його моделювання, динамічного аналізу та оптимізації режиму руху приводу механізму повороту.

Ключові слова: стріловий кран, механізм повороту, привод, моделювання, динамічний аналіз, оптимізація, режим пуску.

ВСТУП

Стріловидні крани є важливим елементом у будівництві, промисловості та на транспорті, виконуючи підйомно-транспортні завдання.

Одним з важливих механізмів, що визначає продуктивність і надійність крана, є механізм повороту.

Правильне функціонування впливає на точність і швидкість роботи, особливо під час транспортування вантажів, будівництва та руйнування споруд.

У сучасних умовах важливо не тільки забезпечити високу ефективність роботи кранів, але й оптимізувати режими їх роботи з метою мінімізації енерговитрат і продовження терміну служби.

Особливо це стосується динамічних режимів роботи, які характеризуються підвищеними навантаженнями на всі вузли поворотного механізму.

Метою даної магістерської роботи є аналіз та розробка методу оптимізації режиму повороту стрілового крана.

Для досягнення поставленої мети були проведені експериментальні дослідження, змодельовано динамічні процеси та надано практичні рекомендації щодо підвищення ефективності механізму.

Більше того, дослідження є не лише технічно, а й економічно раціональним, оскільки основна увага приділяється питанням охорони праці та економічній доцільності запропонованих рішень.

У даному дослідженні розглянуто як теоретичні аспекти, так і практичні методи підвищення функціональності стрілових кранів, що дає можливість втілити результати досліджень у реальний виробничий процес.

РОЗДІЛ 1. АКТУАЛЬНІСТЬ РОЗРОБКИ

1.1. Види, роль та функції стрілового крану

Стріловий кран - це тип вантажопідйомного обладнання, що має стрілу, яка висувається з основної конструкції для збільшення вильоту. Його решітчаста конструкція допомагає зменшити додаткову вагу вантажу. Стрілові крани добре підходять для невеликих робочих приміщень і ідеально підходять для повторюваних підйомних завдань.[1] Вони пропонують чудову гнучкість і універсальність, з можливістю піднімати вантажі вагою від 250 фунтів до 15 тонн.

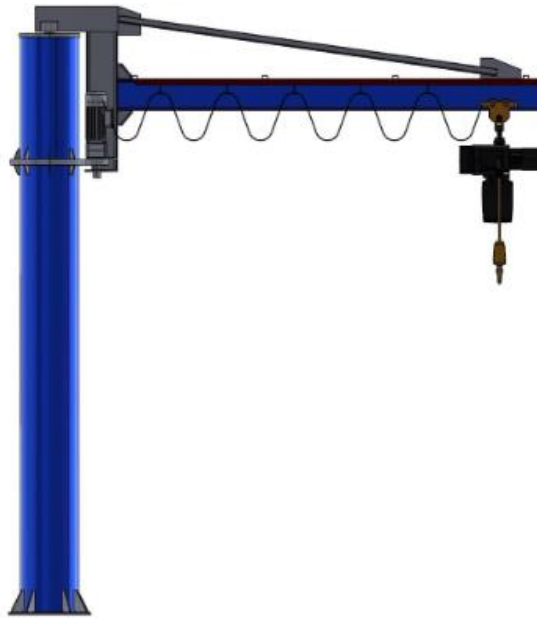


Рис. 1.1 Стріловий кран

Стрілові крани бувають різних типів, кожен з яких пристосований до різних вантажопідйомних завдань. Окремо стоячі стрілові крани є найбільш поширеними і можуть бути встановлені в різних місцях. Їх конструкція служить основою для інших типів стрілових кранів, в тому числі настінних, стельових і шарнірно-зчленованих.

Основними функціями крану є:

Підйом вантажів: Стріловий кран здатний піднімати вантажі різної маси та габаритів на задану висоту.

Переміщення вантажів: Піднятий вантаж може бути переміщений у горизонтальному напрямку на певну відстань.

Розвантаження та завантаження: Кран використовується для завантаження та розвантаження транспортних засобів, складування вантажів на складах та майданчиках.[1]

Монтаж та демонтаж конструкцій: Стрілові крани застосовуються для монтажу та демонтажу будівельних конструкцій, обладнання та інших великогабаритних об'єктів.

Будова стрілового крану:

Основа: Служить для забезпечення стійкості крана і передачі навантаження на ґрунт.

Стріла: Головний елемент, на якому закріплений вантажозахоплювальний пристрій.[2]

Вантажозахоплювальний пристрій: Використовується для захоплення та утримання вантажу (гаки, траверси, магніти тощо).

Механізми підйому, повороту та пересування: Забезпечують виконання основних функцій крана.

Кабіна оператора: Місце керування краном, обладнане важелями, кнопками та іншими органами управління.

Проста конструкція стрілових кранів робить їх придатними для встановлення на різних робочих майданчиках. Їх універсальність і пристосованість дозволяють адаптувати їх до невеликих площ, допомагаючи полегшити тягар підйому важких або громіздких матеріалів. Часто стрілові крани використовуються разом з іншим обладнанням для підвищення загальної операційної ефективності.

[2] Як і всі крани, стрілові крани - це підвісні вантажопідйомні пристрої, що монтуються на горизонтальній балці, стелі, колоні або стіні. Їх часто називають як стріловими, так і козовими кранами. Конструкцію крана визначає стріла, яка підтримує механізм підйому.

Типи стрілових кранів:

Окремо стоячий стріловий кран

Окремо стоячі стрілові крани є найпоширенішим типом кранів, які підходять як для внутрішнього, так і для зовнішнього використання. Вони часто використовуються в поєднанні з мостовими кранами. Ці крани можуть піднімати вантажі вагою від кількох кілограмів до кількох тонн і, як правило, мають можливість обертання на 360°, залежно від їхньої конструкції.[1]



Рис. 1.2 Окремо стоячий стріловий кран

До основних переваг окремо стоячих стрілових кранів відносяться гнучкі можливості розміщення, великий діапазон повороту, висока вантажопідйомність і збільшений виліт стріли. Існує три основних типи окремо стоячих стрілових кранів: на опорній плиті, на фундаменті та на втулковій вставці.

На опорній плиті

Окремо стоячий стріловий кран на фундаментній плиті кріпиться до фундаментної плити і підтримується товстим шаром бетону з армованими прокладками.[3] Така конструкція дозволяє висувати стрілу крана над перешкодами, забезпечуючи гнучке розміщення талі.



Рис 1.3 Стріловий кран на фундаментній плиті

Фундаментний

Окремо стоячий стріловий кран, встановлений на фундаменті, має зварену сталеву пластину в основі щогли, яка встановлюється на початковий шар бетону. Наступний шар бетону забезпечує додаткову опору для щогли, усуваючи необхідність у прокладках.



Рис. 1.4 Фундаментальний кран

Кран зі вставною гільзою

Окремо стоячий стріловий кран, встановлений на гільзі, можна порівняти з фундаментним типом, але він включає в себе гільзу, вбудовану в перший шар бетону, а другий шар закриває гільзу. Щогла крана вставляється в цю гільзу, що дозволяє легко переставляти його без необхідності різати або пошкоджувати щоглу.

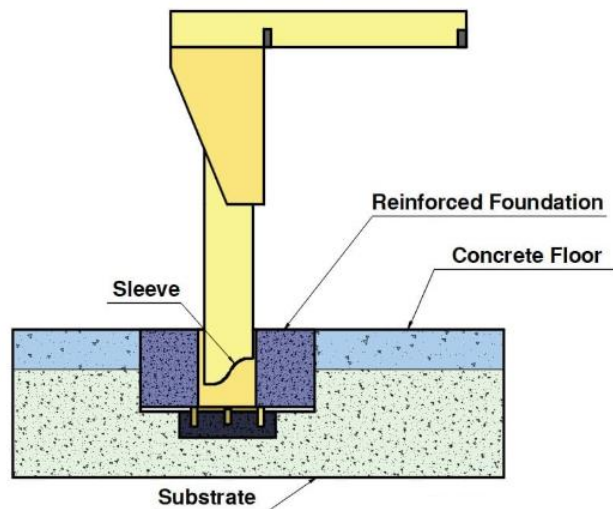


Рис 1.5 Кран зі вставною гільзою

Крани з шарнірно-зчленованою стрілою

На відміну від стандартних стрілових кранів, крани з шарнірно-зчленованою стрілою мають як поворотну стрілу, так і маніпулятор. Ці крани забезпечують плавне обертання і точне позиціонування вантажу, що дозволяє їм обходити кути і перешкоди.[1,3] Крани з шарнірно-зчленованою стрілою можуть бути встановлені різними способами, включаючи настінний, підлоговий, стельовий або інтегрований в мостову систему.



Рис 1.6 Крани з шарнірно-зчленованою стрілою

Обидві стріли шарнірно-колінчастого крана можуть бути зафіксовані на місці і бувають трьох різних довжин. Основна стріла може повертатися на 200° , а зовнішня - на 360° , що дає змогу заглиблюватися в машини та контейнери. Ці універсальні конфігурації забезпечують точне позиціонування вантажу та ефективне маневрування навколо перешкод.

Настінні консольні крани

Настінні консольні крани, також відомі як настінні стовпові або консольні крани, - це компактні типи консольних кранів, які не потребують місця на підлозі або фундаменті.[1,4] Вони можуть служити доповненням до монорельсового або мостового крана і можуть бути встановлені впритул до нижньої частини найнижчої будівельної конструкції, забезпечуючи максимальний зазор під і над стрілою.

Настінні стрілові крани можна скласти біля стіни, коли вони не використовуються, що мінімізує втручання у виробничі процеси. Вони мають прольоти від 8 до 30 футів і можуть працювати з вантажами вагою до п'яти тонн.

Настінні консольні крани бувають двох типів: консольні та з опорою на стяжках.

Стріловий настінний кран

Стріловий настінний кран має два кронштейни, які кріплять його до стіни, а стріла висувається перпендикулярно до підлоги. Така конструкція забезпечує максимальний зазор завдяки своїй повністю консольній конфігурації.

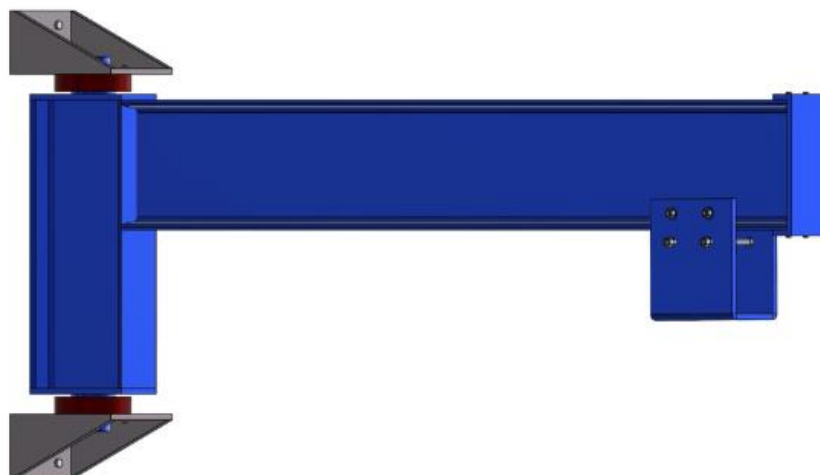


Рис 1.7 Стріловий настінний кран

З опорою на анкерні тяги

Консольно-поворотні крани на стяжках - це економічно ефективне рішення для виконання вантажопідйомних робіт у прольотах, уздовж стін, колон, а також для підтримки мостових і монорельсових кранів. Подібно до консольної конструкції, консольний кран на тягах монтується до стіни або колони за допомогою двох кронштейнів. Нижній кронштейн кріпиться до стріли, яка простягається перпендикулярно до підлоги, тоді як другий кронштейн з'єднується з опорою для стяжних шпильок.

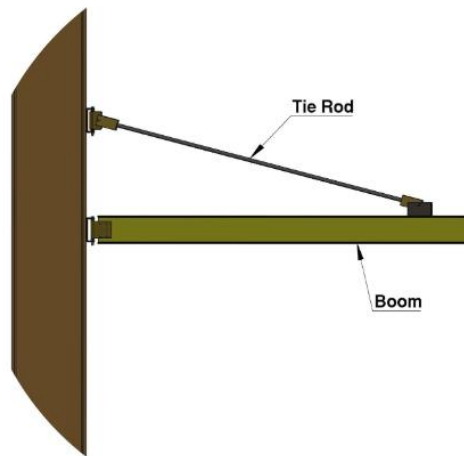


Рис 1.8 З опорою на анкерні тяги

Хоча настінні консольні крани на стяжках вимагають більше місця, вони забезпечують значну вантажопідйомність. Їх конструкція забезпечує повний хід таля по всій довжині балки.

Щоглові стрілові крани[1]

Консольно-поворотні крани щоглового типу спираються на підлогу і стабілізуються зверху за допомогою балок будівлі. На відміну від консольних кранів, встановлених на фундаменті або на фундаментній плиті, щоглові консольні крани займають мінімальну площу і не потребують модифікації фундаменту будівлі. Це робить їх економічно вигідним вантажопідйомним рішенням, подібним до консольних кранів на стяжках.

Існує дві основні конструкції щоглових стрілових кранів: повністю консольні та консольні. Повністю консольні моделі використовують максимум верхнього простору будівлі, в той час як консольні моделі фіксуються на заздалегідь визначеній висоті під стелею.

Щоглові консольні крани мають прольоти від 10 до 40 футів[5], вантажопідйомність до десяти тонн і можливість повороту на 360°. Висота стріли може сягати від підлоги до верху будівлі.

Переносні стрілові крани

Переносні стрілові крани встановлюються на мобільну основу, яка може пересуватися на колесах або підніматися навантажувачем, залежно від їх конструкції. Ці крани зазвичай мають вантажопідйомність менше півтонни. Їх конструкція дозволяє одній людині переміщати велику кількість матеріалів без додаткової допомоги.

Важливим аспектом конструкції портативних стрілових кранів є збереження стійкості без необхідності постійного кріплення. Вони мають легку конструкцію, що забезпечує легку мобільність і дає змогу розміщувати їх поблизу робочої зони.[5]



Рис 1.9 Переносні стрілові крани

Гідравлічний стріловий кран

Гідравлічний стріловий кран - це ще одна версія портативного стрілового крана з додатковою функцією гідравлічного циліндра для підйому і опускання стріли крана. Система підйому гідравлічного стрілового крана використовує гідравлічний циліндр, який кріпиться до стріли крана для підйому і опускання вантажів. Залежно від конструкції крана гідравлічний механізм може працювати від акумулятора або бути ручним насосом.

Підйомний механізм гідравлічного стрілового крана має максимальну вантажопідйомність в одну тону, коли стріла втягнута, і 500 фунтів, коли стріла повністю висунута.

Крім мобільної версії, гідравлічні крани можуть бути встановлені на підлозі з можливістю повороту на 360°. Так само, як і мобільні версії, підлогові гідравлічні крани можуть бути оснащені електричним підйомником або ручним насосом.

Кран настінний мостовий

Козловий кран переміщується по рейках, встановлених на стінах будівлі або опорній конструкції. Він призначений для максимального використання будівельного простору для переміщення, підйому і транспортування вантажів. Стінові мостові крани спеціально розроблені для бічного переміщення вантажів, використовуючи механізм вертикального підйому крана.

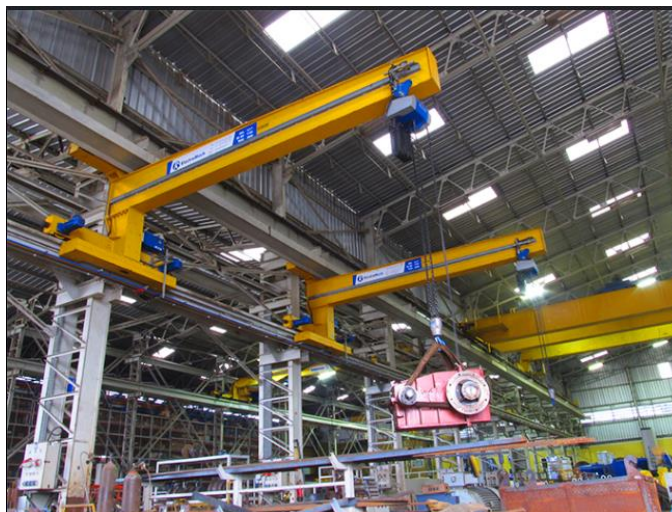


Рис 1.10 Кран настінний мостовий

Основна мета пристінних стрілових кранів - оптимізувати використання наявного робочого простору, підвищити ефективність і зменшити потребу в додатковій робочій силі.[6] Їх вантажопідйомність коливається від півтонни до десяти тонн, і вони можуть бути налаштовані відповідно до конкретних потреб. Як і інші стрілові крани, пристінні крани можуть служити додатковою функцією або аксесуаром до мостових кранів.

Консольні крани призначені для спрощення та полегшення повторюваних вантажопідйомних робіт[5], зменшуючи залежність від ручної праці. Їх різноманітні моделі можуть бути адаптовані для задоволення різноманітних потреб у підйомі та перенесенні вантажу.

Консольні крани виділяються як універсальні, високопродуктивні інструменти з економічно ефективною конструкцією.

Завдяки своїй здатності переміщувати і точно позиціонувати важкі, незручні вантажі, стрілові крани мають широкий спектр застосування. Вони широко використовуються в автомайстернях для обслуговування двигунів і на складальних лініях для переміщення великих компонентів. Постійний розвиток і вдосконалення їхньої конструкції продовжує підвищувати їхню функціональність і надійність.

Застосування консольних кранів[1,5]

Консольні крани на виробництві

Консольні крани відіграють вирішальну роль у складальних процесах, будучи встановленими на робочих місцях для підтримки складальних завдань, а також поблизу виробничих ліній для ефективного переміщення та транспортування матеріалів. Вони значно зменшують навантаження на робітників і підвищують продуктивність праці. Простота управління стріловим краном забезпечує легкий доступ до матеріалів, що робить робочий процес більш плавним і ефективним.

На виробничих лініях, де збирається велике обладнання, стрілові крани полегшують переміщення компонентів між різними складальними ділянками. Завдяки простоті управління вони забезпечують швидке та безперебійне переміщення.

Крани для морських перевезень

Крани вже давно стали невід'ємною частиною судноплавних операцій, полегшуючи завантаження і розвантаження кораблів і вантажівок. Хоча багато з цих кранів є великими і міцними, здатними працювати з кількома тоннами, стрілові крани також відіграють вирішальну роль.

Вони особливо ефективні при виконанні таких завдань, як завантаження і розвантаження човнів і транспортування матеріалів з дока або на вантажівки.

Будівельна галузь

Будівельна галузь[6] часто стикається з проблемою транспортування важких матеріалів у важкодоступні місця, такі як підземні фундаменти або багатоповерхові будівлі. Консольні крани особливо добре підходять для цих завдань, дозволяючи ефективно розміщувати матеріали у важкодоступних місцях. Зменшуючи ручну працю та заощаджуючи час, стрілові крани значно підвищують продуктивність на будівельних майданчиках.

Складування та зберігання запасів

Крани, які часто зустрічаються на складах і в місцях зберігання запасів, - це козлові та мостові крани, які можуть переміщатися по всій довжині комплексу і піднімати величезні вантажі. Надпотужні та потужні крани необхідні для таких операцій, оскільки вони підвищують ефективність і швидкість обробки матеріалів. На багатьох складах стрілові крани використовуються як доповнення до більш потужних і надійних кранів. Вони забезпечують точність і акуратність, необхідні для завантаження матеріалів на вантажівки або розміщення їх на виробничій лінії. Консольні крани призначені для спрощення та полегшення повторюваних вантажопідйомних робіт, зменшуючи залежність від ручної праці. Їх різноманітні моделі можуть бути адаптовані для задоволення різноманітних потреб у підйомі та перенесенні

вантажу. Консольні крани виділяються як універсальні, високопродуктивні інструменти з економічно ефективною конструкцією.

Завдяки своїй здатності переміщувати і точно позиціонувати важкі, незручні вантажі, стрілові крани мають широкий спектр застосування. Вони широко використовуються в автомайстернях для обслуговування двигунів і на складальних лініях для переміщення великих компонентів.

1.2. Будова стрілового крану

Конструкція стрілових кранів проста і складається, головним чином, з балки і стріли, до яких додаються різні компоненти для підвищення функціональності і зручності використання. Залежно від призначення, стрілові крани можуть бути оснащені візками та електричним управлінням або управлятися за допомогою канатів, важелів і ланцюгів.

При проектуванні[7] та конструюванні стрілових кранів враховуються численні фактори, кожен з яких спрямований на підвищення продуктивності та забезпечення безпеки робітників. Починаючи з базової конструкції, стрілові крани проектуються і налаштовуються для виконання різноманітних вантажопідйомних робіт.

Компоненти консольного крана

Компоненти щогли

Щогла - це вертикальна балка, яка підтримує компоненти стрілового крана. Вона є загальною особливістю більшості стрілових кранів, за винятком настінних, пересувних, колонних і стельових типів. Виготовлена з високоміцної сталі, щогла надійно кріпиться до підлоги або стін будівлі. Вона забезпечує достатній зазор, щоб не заважати іншим процесам, і може бути інтегрована з мостовими кранами або скоординована з іншими операціями.

Стрілові крани з щоглою зазвичай бувають консольного типу з можливістю повороту на 360°. Основні відмінності між цими кранами полягають у способах їх кріплення до підлоги або стін, які можуть бути фундаментними, втулковими або пластинчастими болтовими кріпленнями.

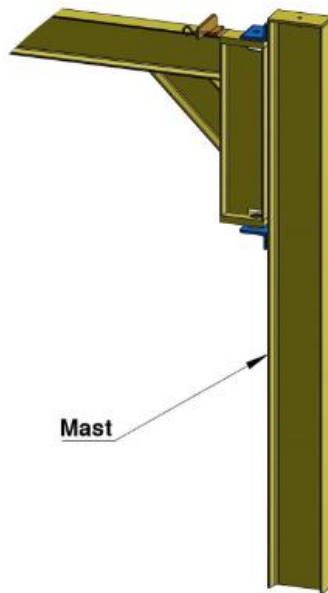


Рис. 1.11 Щогла

Стріла стрілового крана

Стріла - це основний несучий компонент будь-якого стрілового крана. Вона простягається горизонтально від щогли, стіни, стелі або колони і перпендикулярно до підлоги. На стрілі монтується таль, яка використовується для підйому і переміщення вантажу. У деяких конструкціях консольних кранів стріла також служить колією, по якій рухається візок для транспортування вантажу.

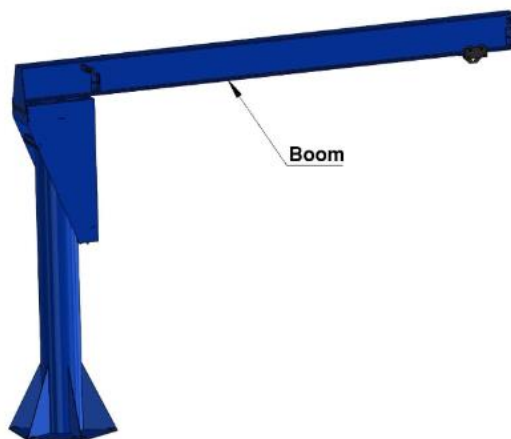


Рис. 1.12 Стріла стрілового крана

Таль в крані

Таль - це механізм, прикріплений до стріли стрілового крана, який виконує операцію підйому вантажу. Тип талі визначається її вантажопідйомним середовищем і джерелом живлення. Існує велика різноманітність талів, призначених для задоволення конкретних потреб застосування, включаючи ланцюгові талі, канатні талі, а також важільні або храпові талі. Крім того, талі можуть приводитися в дію вручну, електрично або пневматично, залежно від вимог операції.

Ланцюгові талі

Ланцюгові талі використовують металевий ланцюг для підйому, при цьому ланцюг проходить через зірочки і зберігається в контейнері. Серед різних типів талів перевага надається ланцюговим талям через їх економічну ефективність і мінімальні вимоги до обслуговування. Вони можуть приводитися в рух ручним, електричним або пневматичним способом. Однак їхня вантажопідйомність обмежена, що робить їх придатними переважно для легких підйомних завдань.



Рис. 1.13 Ланцюгові талі

Канатна таль

Канатні талі піднімають вантажі за допомогою каната, який під час роботи намотується на рифлений барабан. Ці талі мають високу швидкість підйому і можуть піднімати вантажі вагою 10 тонн і більше. Відомі своєю безшумною роботою, канатні талі ідеально підходять для складних і важких умов експлуатації зі стріловими кранами.

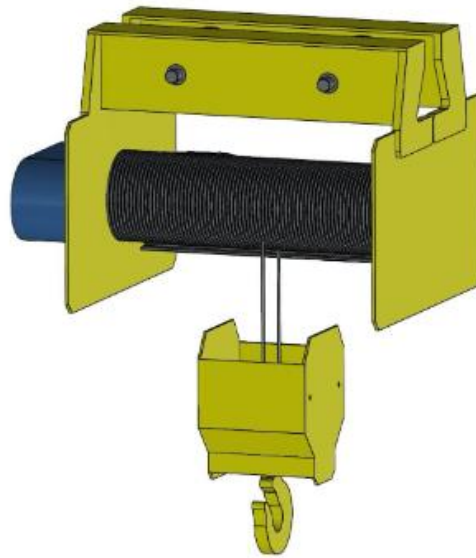


Рис. 1.14 Канатна таль

Ручні талі

Ручні талі, які можуть бути як канатними, так і ланцюговими, призначені для нечастих підйомів, коли швидка швидкість не є важливою. У таких талях один ланцюг використовується для підйому вантажу, тоді як інший ланцюг приводиться в дію вручну для забезпечення ручного приводу. Тягнувши за ланцюг, ви обертаєте шестерні всередині талі, що змушує підйомний ланцюг рухатися вгору. Коли вантаж піднімається, ланцюг збирається в накопичувальному кошику всередині механізму підйому.

Важільний підйомник

Важільний підйомник - це тип ручного підйомника, в якому оператор використовує важіль для запуску підйомного механізму, а не тягне за ланцюг. Коли важіль рухається вгору і вниз, він змушує ланцюг намотуватися в кошик для зберігання, подібно до того, як працює ручний ланцюговий підйомник.

Крановий візок

Візок - це моторизований пристрій, який використовується для горизонтального переміщення талі вздовж верхньої або нижньої частини стріли. На візках можуть розміщуватися як канатні, так і ланцюгові талі, оснащені гаками. Вони проходять по всій довжині стріли і залишаються нерухомими, поки таль виконує підйомні операції. Управління силовими кабелями на візку полегшує система фестонів, яка складається з роликів або тримачів, що підтримують і направляють силові кабелі вздовж шляху руху візка.

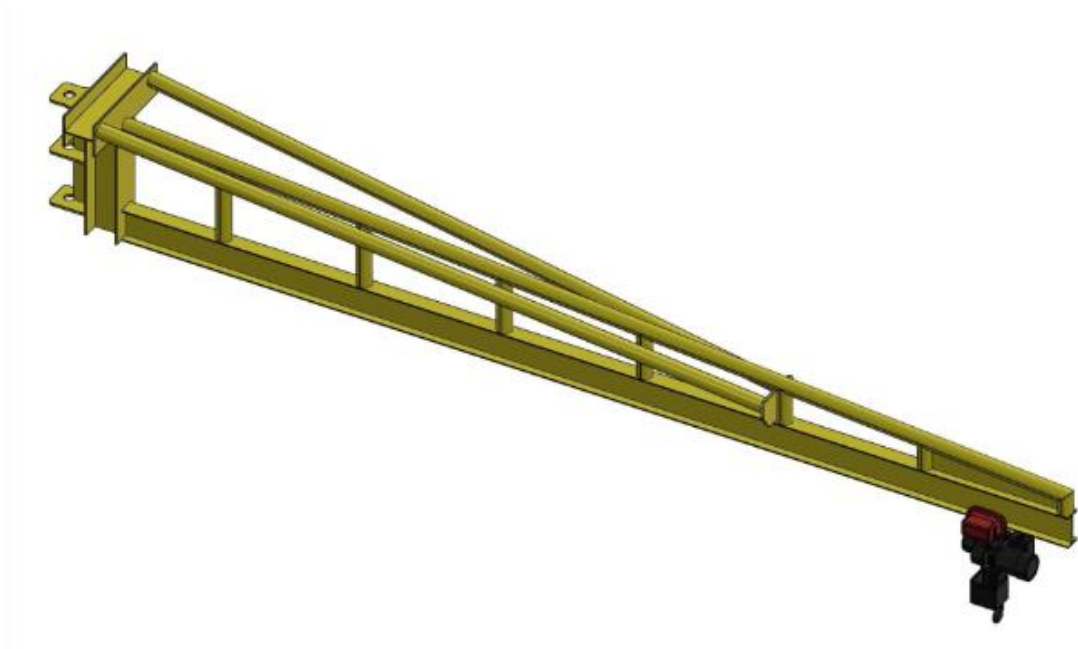


Рис. 1.15 Крановий візок

Система фестонів[8]

Система фестонів використовується для транспортування кабелів і живлення до візка вздовж стріли. Різні типи систем фестонів забезпечують безпечне і контрольоване управління силовими кабелями. Ці системи можуть бути встановлені на С-образних, квадратних або двотаврових рейках, причому двотаврові балки є найбільш поширеними для стрілових кранів. Вони захищають кабелі від пошкоджень і забезпечують надійне з'єднання компонентів стрілового крана. Системи Festoon особливо корисні для стрілових кранів з довгими стрілами і важкими візками.

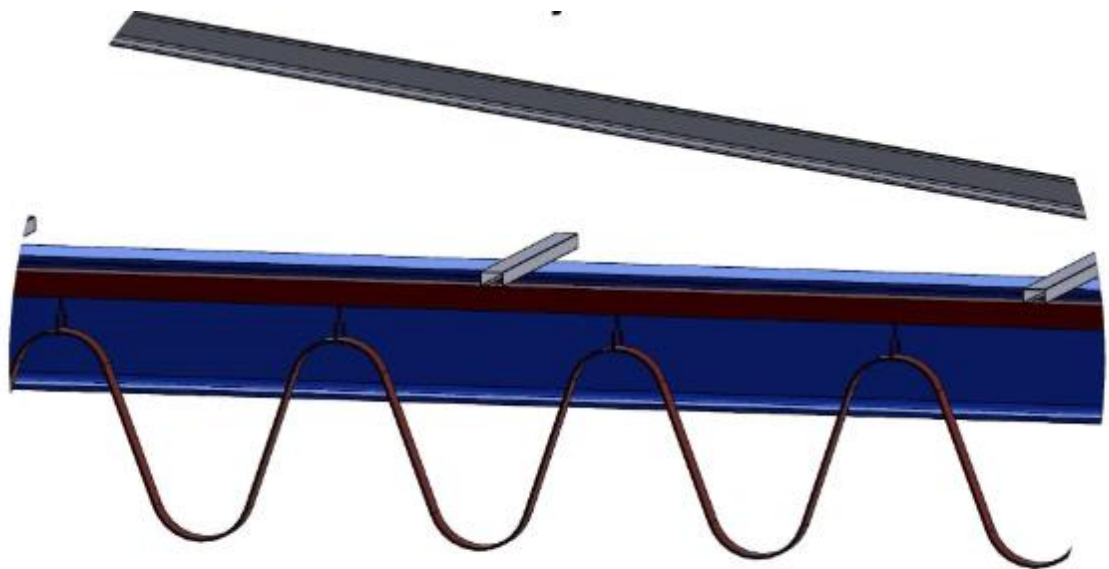


Рис. 1.16 Система фестонів

Живлення для стрілових кранів[9]

Кран може працювати як від електричного, так і від пневматичного джерела, при цьому силові або повітряні лінії зазвичай розташовуються на верхівці щогли для живлення талі, візка і обертання стріли.

Залежно від конструкції крана, оператори використовують або підвісний кнопковий пульт, або бездротову систему управління. Обидва типи управління дозволяють операторам керувати підйомом, позиціонуванням і опусканням вантажу, гарантуючи при цьому, що вони залишаються безпечно поза зоною падіння вантажу. Ці системи управління призначені для полегшення використання та точного переміщення вантажу.

Зупинка обертання[10]

Обмежувачі обертання є важливими механізмами безпеки, призначеними для запобігання зіткненню стрілового крана з розташованими поруч об'єктами або конструкціями. Ці обмежувачі необхідні, коли кран розташований біля стін або колон. Зазвичай обмежувачі повороту постійно приварюються до щогли крана, щоб обмежити його рух. На додаток до фіксованих обмежувачів, доступні регульовані обмежувачі обертання, що дозволяють операторам налаштовувати обмеження на основі близькості оточуючого обладнання.

Фактори навколишнього середовища

Для забезпечення функціональності стрілового крана в залежності від умов експлуатації можуть бути застосовані різні захисні заходи. До них відносяться використання оцинкованих матеріалів для запобігання іржі, встановлення огорожень для застосування з вибухонебезпечними матеріалами, а також забезпечення екранування та огороження.

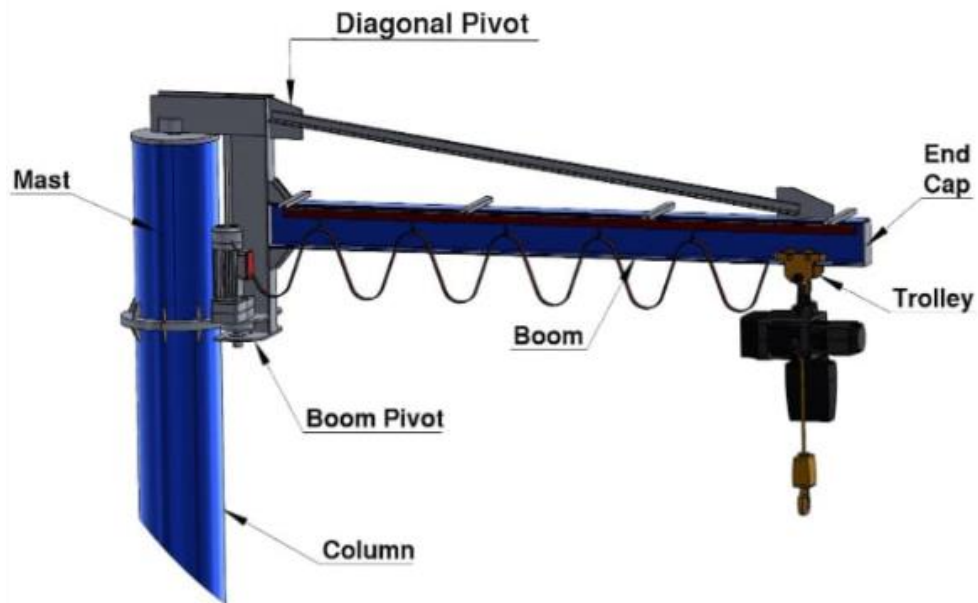


Рис. 1.17 Загальна збірка

1.3. Механізм повороту стрілового крана

Типи механізмів повороту для крана:

Гідравлічний механізм обертання: Гідравлічний привід є найпоширенішим видом механізму повороту кранів. Він складається з гідравлічного насоса, гідророзподільників і гідроциліндрів. Гідравлічний насос створює тиск, який через гідроклапани передається на гідроциліндри. Потім ці циліндри обертають стрілу крана.

Електричний механізм обертання: Електропривод - менш поширений вид механізму повороту кранів. Він включає в себе електродвигун, коробку передач і гальма. Електродвигун обертає редуктор, який згодом обертає стрілу крана. Для зупинки руху стріли використовуються гальма.

Ручний механізм обертання: Ручний привід є найпростішим видом механізму повороту кранів. Він складається з ручної лебідки та ланцюга. Ручна лебідка використовується для повороту ланцюга, який, у свою чергу, обертає стрілу крана.[11]

Пневмопривід - незвичайний вид поворотного пристрою стріли крана. Він складається з пневматичного насоса, пневматичних клапанів і пневматичних

циліндрів. Пневматичний насос створює тиск, який через пневматичні клапани подається в пневматичні циліндри. Потім пневматичні циліндри обертають стрілу крана.

Гідростатичний привід - це новий вид поворотної системи для крана. Має гідростатичний насос, гідростатичні клапани та гідромотори. Гідростатичний насос створює тиск, який передається через клапани до двигунів. Потім двигуни повертають стрілу крана.[12]

Гідродинамічний привід - це ще одна нова система повороту для крана. Ця система має гідродинамічний насос, гідродинамічні клапани та гідродинамічні двигуни. Гідродинамічний насос також створює тиск, який надходить через клапани до двигунів. Ці двигуни обертають стрілу крана.

Гідростатичний привід змінного струму — це новий тип поворотної системи, яка також використовується в кранах. Він включає гідростатичний насос змінного струму, гідростатичні клапани та гідростатичні двигуни. Насос змінного струму створює тиск, який через клапани надсилається до двигунів. У свою чергу, ці двигуни обертають стрілу крана.[12]

Гідравлічний привід обертання стріли крана використовує змінний струм. Ця система є новим механізмом повороту стріли крана. Він має гідравлічний насос, клапани та двигуни. Гідравлічний насос створює тиск, який передається через клапани до двигунів. Потім двигуни рухають стрілу крана.

Гідростатичний привід для зміни швидкості обертання стріли крана також новий тип.[13] Ця установка складається з гідростатичного насоса, клапанів і двигунів, які можуть змінювати швидкість. Гідростатичний насос створює тиск, який потім через клапани надходить до двигунів. У свою чергу, ці двигуни обертають стрілу крана.

1.4. Попередні дослідження з оптимізації

Одним із критичних чинників, що суттєво впливають на ефективність та безпеку роботи вантажопідйомної техніки, зокрема стрілових кранів, є явище коливань вантажу на гнучких підвісах. Ці коливання, як правило, виникають під час динамічних режимів роботи крана, таких як розгін, гальмування чи зміна напрямку руху. Враховуючи значну довжину підвісів, коливальні процеси мають тривалий характер, що ускладнює виконання вантажопідйомних операцій. Постійний контроль амплітуди та фази коливань суттєво відволікає оператора, знижуючи ефективність його праці.

Це призводить до збільшення випадків аварій під час вантажопідйомних робіт. Зменшення динамічних навантажень у перехідних режимах роботи може значно поліпшити характеристики гнучкого підвісу, зокрема в механізмах зміни вильоту та підйому вантажу різних типів кранів. Серед найзначніших внесків варто відзначити дослідження таких науковців, як Петренко О. Г., Головка С. І. [6]

Більш того, згідно з вимогами нормативних документів, пов'язаних з безпекою виконання робіт на висоті, вантажні стропи можуть бути зняті лише за умови надійної фіксації вантажу. Наявність коливань суттєво ускладнює виконання цієї вимоги, оскільки створює ризик падіння, сповзання або перекидання вантажу. Таким чином, можна констатувати, що коливання вантажу становлять серйозну загрозу безпеці працівників, що беруть участь у вантажопідйомних операціях.

Робочий процес механізмів вантажопідйомних машин, таких як механізми підйому, повороту стріли або зміни вильоту вантажу, складається з циклічних етапів: розгону, усталеного руху та гальмування. Кожен з цих етапів супроводжується динамічними навантаженнями, які впливають на елементи приводу та конструкцію крана. Як наслідок, це може призводити до зменшення строку служби окремих деталей і підвищеного ризику виходу з ладу всієї

конструкції, що, в свою чергу, збільшує ймовірність аварій під час вантажопідйомних робіт. Мінімізація динамічних навантажень у перехідних режимах роботи може значно покращити показники надійності як окремих механізмів, так і техніки загалом [14].

Динамічні процеси в механізмах вантажопідйомних машин привертати увагу багатьох дослідників. Багато хто з них детально досліджував коливання вантажу на гнучкому підвісі, зокрема у механізмах зміни вильоту та підйому вантажу різних типів кранів. Серед найвагоміших внесків можна відзначити роботи таких вчених, як Ковальчук П. М., Савченко І. О., Романенко В. А. [7] Поляков В. П., Зінченко С. О. [8]. У їхніх дослідженнях значну увагу приділяли як динаміці руху механізмів [7], так і конструкційним особливостям стрілових кранів [8].

Кожен із дослідників запропонував свої підходи до вдосконалення роботи механізмів. Це стосувалося як конструктивних змін [6], так і чисельних методів аналізу динамічних навантажень та оптимізації режимів руху або керування приводом [6]. Проте, незважаючи на значний обсяг досліджень, присвячених різним механізмам вантажопідйомних машин, механізм повороту баштових кранів отримав найменшу увагу. У зв'язку з активним розвитком будівельної галузі це питання залишається актуальним і вимагає подальших досліджень для підвищення ефективності та надійності цих механізмів.

Одним з методів, що використовується для вирішення цієї проблеми, є метод оптимізації рою частинок, зокрема алгоритм оптимізації рою частинок (PSO), який імітує поведінку бджіл у пошуку найбільшого кластера кілець [14]. У роботі [15] проведено порівняльний аналіз генетичного алгоритму, алгоритму бджолиного рою та нейронно-генетичного підходу для вирішення різноманітних проблем. Підхід рою частинок широко використовується в задачах керування, проектування штучних нейронних мереж, обробки сигналів тощо.

Сучасні дослідження, присвячені розробці та впровадженню прикладних методів комбінаторної оптимізації, а також питанням формалізації, класифікації

та оцінки обчислювальної складності таких задач, демонструють значний прогрес. Основна увага приділяється метаевристичним методам. Підтверджено, що ці методи можуть бути ефективно застосовані для вирішення різноманітних практичних завдань у науці, техніці, біології, економіці та на виробництві. Оптимізаційні підходи, засновані на природних (біологічних) методах, стають все більш популярними в багатьох сферах діяльності.

Одним із шляхів розв'язання задачі оптимізації режимів роботи поворотного механізму поворотного крана може бути використання хмарних технологій, зокрема методу «вулика» [17] або інших подібних методів мінімізації нелінійних функцій. Вирішення цієї проблеми призведе до широкого застосування методів оптимізації режимів руху нелінійних механічних систем, зокрема механізму повороту стрілового крана.

Складність оптимізаційних задач зумовлює необхідність подальшого розвитку методів комбінаторної оптимізації та розробки нових математичних моделей оптимізаційних задач, які могли б бути використані в сучасних інформаційних технологіях для розв'язання задач удосконалення режимів руху кранових механізмів [18,19].

Новий підхід, заснований на «оптимізації рою частинок». Основна ідея цього підходу полягає в повторній ініціалізації рою, який досяг стагнації через низьку ефективність пошуку оптимальних рішень. Як показує практика, використання хмарних технологій, алгоритму бджолиного рою або інших подібних методів, а також їх модифікацій дозволяє значно покращити процес оптимізації режимів роботи нелінійних механічних систем. Одним із способів усунення варіації навантаження гнучкого підвісу може бути включення в конструкцію крана системи керування. Відомі схеми автоматичного керування, які використовуються для таких задач [20].

Крім того, коливання можна зменшити шляхом введення заздалегідь спланованої траєкторії, керованої регулятором зі зворотним зв'язком на основі нелінійної кінематичної та динамічної моделі крана з урахуванням обмежень на привід [19]. Також однією з запропонованих стратегій, запропоновано

робастну стратегію керування з нечіткими законами керування для нестійких режимів, яка дозволяє відстежувати траєкторію та уникати коливань у відкритому просторі під час роботи крана. У роботі [20] Fang Y. та ін. проаналізували динаміку морського стрілового крана та запропонували ефективний нелінійний регулятор, а Qian et al. В [21] розроблено частково обернений лінійний метод на основі стратегії навчання для усунення періодичних збурень, що діють на морський кран.

Інтеграція гнучкої та універсальної архітектури системи управління з нелінійним регулятором зі зворотним зв'язком з чотирма ступенями свободи (4-DOF) для суднових баштових кранів для ефективного керування динамікою крана в умовах нестабільних зовнішніх впливів.

Проте, на думку авторів даного дослідження, питанням оптимізації (мінімізації динамічних навантажень) режимів руху вантажопідійомних механізмів, що функціонують у перехідних (швидкоплинних) умовах, приділено недостатню увагу дослідників. Ці проблеми, задачі слід розв'язувати, використовуючи сучасні, науково обґрунтовані методи (наприклад, методи математичної фізики та класичного варіаційного числення), постійно уточнюючи й вдосконалюючи розрахункові схеми вказаних вище механізмів з наявними у них пружними елементами (канатами), які й приводять до виникнення небажаних коливних процесів у елементах вантажопідійомних кранів і, як наслідок, до динамічних перевантажень цих елементів й інших вузлів [21].

Динаміка руху кранів, зокрема механізмів повороту, була предметом дослідження багатьох науковців. Серед них можна виділити такі імена, А. А. Вайнсон, М. М. Гохберг та інші. Їхні роботи зробили значний внесок у розуміння фізичних процесів, що відбуваються під час роботи кранів.

У цій галузі дослідження динаміки, працювали такі вчені, як В. Ф. Гайдамака, Р. П. Герасим'як, Я. Л. Геронімус, Л. Д. Черноуська, М. М. Перельмутер, Loveikin, V., Romasevych, Y., Kadykalo [21] та інші. Їхні

дослідження спрямовані на підвищення ефективності роботи кранів за рахунок розробки оптимальних алгоритмів управління.

Окремо слід відзначити роботи [20] зарубіжних вчених, таких як Fang Yihai, Tomasz Haniszewski, Damian Gaska, Cho Yong K, F. Ju, Y. S. Choo, L. Wei, W. Yang та інших. Їхні дослідження охоплюють широкий спектр питань, пов'язаних з динамікою та керуванням кранами, і доповнюють роботи вітчизняних науковців.

Операції з переміщення матеріалів породжують сили Ейлера та Кориоліса, вплив яких необхідно мінімізувати вже на етапі вибору параметрів системи та структури механізму. Ефективна оптимізація, підтверджена динамічним аналізом, дозволяє значно зменшити значення динамічних перевантажень на етапі проектування сталевих конструкцій, що сприяє створенню легшої та дешевшої конструкції. На основі математичної моделі критерії оптимізації було сформульовано у вигляді квадратичних функціоналів для кожного механізму крана. Розв'язання функціоналів для знаходження мінімальних значень дозволяє визначити оптимальні параметри механізмів, що забезпечують їх оптимальну взаємодію. Інноваційною особливістю представленого рішення є комплексний підхід до оптимізації систем з багатьма приводами, що має на меті зменшення вібрацій вантажу, підвішеного на гаку, і мінімізацію сил, які діють у тросах. Завдання оптимізації мають виконуватися незалежно, у зазначеному порядку, який впливає з взаємозв'язку зворотних зв'язків між відповідними механізмами. Такий підхід у поєднанні з методом селективного аналізу структури механізмів буде розвинуто до методу синтезу глобально оптимальних конфігурацій взаємодіючих механізмів [18].

Раніше проведені дослідження з оптимізації систем кранових стріл були зосереджені на розробці методів, що дозволяють знизити рівень вібрацій під час маневрування [19]. Значна частина цих досліджень присвячена використанню налаштовувачів нульових вібрацій, а також налаштовувачів нульових вібрацій із похідними. Особливу увагу було приділено як системам без підйому вантажу, так і системам з підйомом.

Для випадків без підйому вдалося отримати точні аналітичні розв'язки, тоді як для систем з підйомом застосовувалися напіваналітичні методи. У деяких роботах також пропонувалися налаштовувачі з вибіркоvim часом маневрування, що дозволяло враховувати обмеження й характеристики системи, зокрема максимальні зміщення, швидкість та прискорення.

Експериментальні дослідження [19] підтвердили ефективність цих підходів, особливо при зміні природної частоти та часу маневрування в реальних умовах експлуатації кранових систем. Було оцінено чутливість налаштовувачів до зміни початкової довжини кабелю, що свідчить про здатність цих налаштувань зменшувати вплив зовнішніх чинників на стабільність системи. Додатково аналізувався вплив варіацій кроку часу на продуктивність та кінцеві параметри системи. Порівняння із класичними налаштовувачами показало, що сучасні методи забезпечують більшу ефективність та точність в умовах змінного часу маневрування, що особливо важливо для систем з підйомом вантажу, де традиційні налаштовувачі часто не мають точних аналітичних розв'язків.

У будівельній галузі крани часто використовують для підйому та транспортування вантажів. Одним із найпростіших типів є консольний (Jib) кран, який широко застосовується в будівництві. Основним компонентом консольного крана є підйомний механізм, який забезпечує вертикальне переміщення вантажів, а також механізм пересування, що дозволяє горизонтальні переміщення. Важливо, щоб балка крана проєктувалась відповідно до норм, щоб забезпечити достатню жорсткість та міцність для витримування навантажень.

Балки таких кранів зазвичай мають І-подібний поперечний переріз, а латерально-торсіонний вигин є критичним для загальної стабільності конструкції.

У цьому дослідженні [20] виконано аналіз методом скінченних елементів консольної балки І-профілю S10@25.4 lb/ft з прольотом 2.54 м для визначення поведінки при втраті стійкості під дією вертикального навантаження на

вільному кінці, а також власної ваги. Моделі цих балок створювалися в AutoCAD та аналізувалися в програмному забезпеченні ANSYS з використанням множника навантаження. Крім того, запропоновано новий підхід до проектування, який передбачає дослідження латерально-торсійної поведінки I-профілю крана шляхом впровадження трапецієподібної гофрованої структури у стінці балки. Для цього аналізу було створено 32 моделі з трапецієподібною гофрованою стінкою з різними варіаціями кутів, товщини та ширини гофр. Визначено критичну навантажувальну здатність балки для оцінки її впливу на стійкість.

Результати аналізу[20] методом скінченних елементів показали, що кут гофра значно впливає на критичну стійкість балки. Також у роботі виконано порівняльний і економічний аналіз традиційної балки без гофрування та гофрованої балки. З'ясовано, що гофрована балка є більш економічною, оскільки має меншу вагу та більшу стійкість до вигину порівняно з плоскою балкою.

В іншому дослідженні [21] запропоновано новий варіант конструкції стріли і поворотної платформи автомобільного крана, що відрізняється від існуючих збільшеною кількістю шарнірних опор. Це дозволяє рівномірніше розподілити навантаження в металевій конструкції стріли та платформи, що дозволяє знизити вагу стріли без втрати міцності. Для п'ятишарнірної конструкції стріли та поворотної платформи було розроблено геометричну схему, на основі якої створено математичні моделі для визначення координат шарнірів. Розрахунки для трьох найнавантажених конфігурацій крана з п'ятишарнірною конструкцією, результати яких наведені в таблиці, підтвердили ефективність і доцільність такого підходу. Це підтверджує, що п'ятишарнірна конструкція стріли та поворотної платформи є перспективною для автомобільних кранів, оскільки забезпечує рівномірний розподіл навантажень та дозволяє оптимізувати масу конструкції.

У роботі [23] аналізуються поточні недоліки в управлінні протирозгойдуванням суднових стрілових кранів з високим ступенем свободи

(DOF) та пропонується вдосконалена динамічна модель і система керування для суднового колінчастого стрілового крана з високим ступенем свободи, що встановлений на борту судна з аналогічним ступенем свободи. Запропонована модель, як зазначено в [23], відзначається підвищеною точністю завдяки врахуванню маси й інерційних характеристик гідравлічних приводів, шківів та лебідки, а також внутрішньої динаміки приводів та реалістичного кута нахилу троса. Автори використовують кінематику стрілового крана на основі стандартних матриць перетворення і подвійних кватерніонів, а рівняння руху отримують за допомогою підходу Лагранжа. Для ефективного протидії розгойдуванню, як зазначено в дослідженні [23], застосовується модифікатор траєкторії, що самоналаштовується, у поєднанні з нелінійним контролером режиму ковзання і нелінійним оптимізатором траєкторії.

За результатами моделювання, виконаного на судні з шістьма ступенями свободи при морському стані 6, система управління без самоналаштування знизилася середню середньоквадратичну похибку (RMSE) між бажаним і фактичним положенням вантажу на 64%, тоді як увімкнення самоналаштувального модифікатора траєкторії дозволило зменшити цю похибку на 74%. Крім того, під впливом зовнішньої сили збурення 5 кН система без самоналаштування досягла зниження RMSE на 58%, тоді як з активованим самоналаштуванням цей показник становив 77% [23]. Дослідження показало, що система самоналаштування протидії розгойдуванню є стійкою до помилок у параметрах системи: похибки до $\pm 20\%$ у змодельованому стріловому крану призвели до зростання RMSE не більше ніж на 6,3%.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ СТРІЛОВОГО КРАНА

2.1. Розрахунок механізму повороту стрілового крана

Конструкція стрілового крана (рис. 2.1) складається із нерухої колони 1, стріли 2, вантажного поліспасти 3, розтяжки стріли 4, верхньої опори 5, розтяжки 6 противагової консолі, баласта 7, механізму підйому 8, механізму повороту 9 із приводом, опорної плити 10, яка закріплена на фундаменті 11.

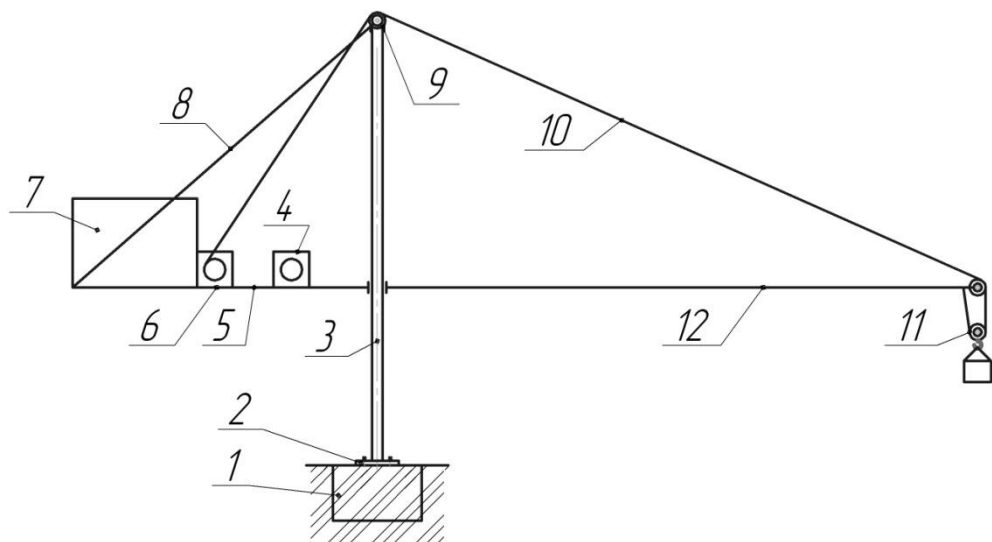


Рис. 2.1 Схема стрілового поворотного крана з нерухою колоною

Нижня опора (рис.2.2) являє собою обойму 1 з роликми 2, на якій шарнірно закріплена стріла і противагова консоль. Ролики під час обертання стріли перекочуються навколо колони. Сама колона встановлена у гнізді опорної плити, яка анкерними болтами закріплена на фундаменті. За конструкцією колони бувають литі, гратчасті зварні або ковани. Противага, яка є обов'язковим елементом цього крана, призначена для зменшення згинального моменту, що діє на колону.

Механізм піднімання та повороту крана конструктивно подібні до механізмів крана із поворотною колоною.

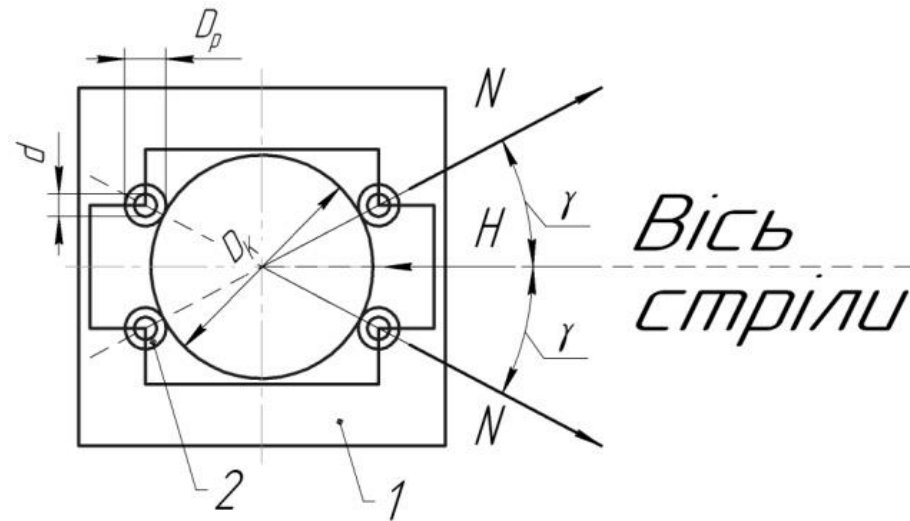


Рис. 2.2. Схема нижнього опорно-поворотного вузла

Розрахункова схема та вихідні дані до розрахунку механізму повороту стрілового крана

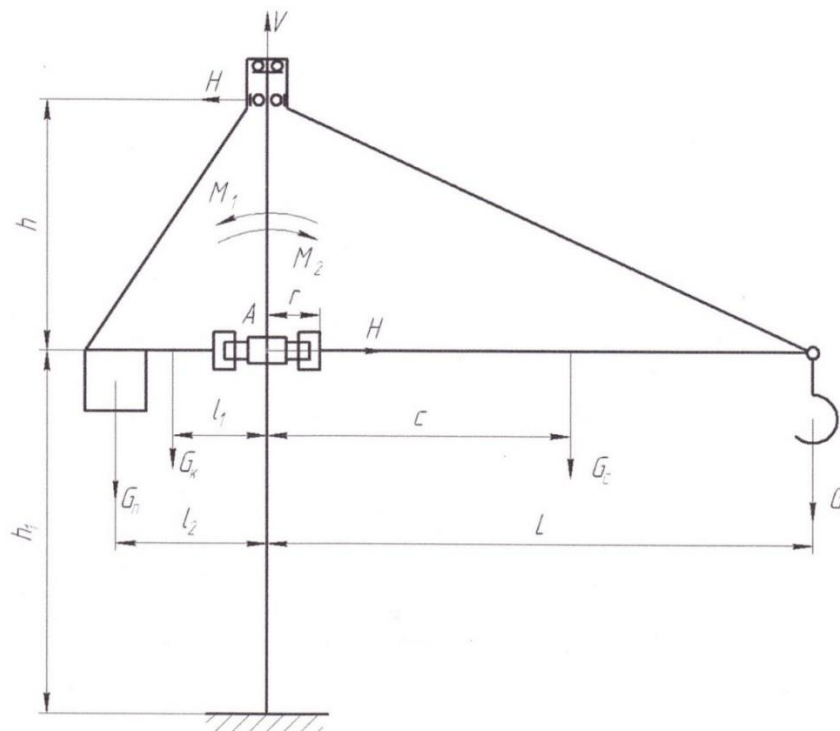


Рис. 2.3. Розрахункова схема механізму повороту крана із нерухомою колоною

Геометричні та вагові параметри крана визначаються з наступних співвідношень:

$$h = (0,45 \dots 0,6) L;$$

$$h_1 = H + (0,5 \dots 0,6) m;$$

H – висота підйому;

$$C = (0,5 \dots 0,55) L;$$

$$l_1 = (0,35 \dots 0,38) L;$$

$$l_2 = (0,42 \dots 0,45) L;$$

$$G_c = (0,10 \dots 0,15) G;$$

$$G_k = (1,4 \dots 1,5) G_c;$$

Вихідні дані для розрахунку механізму повороту крана:

$G = 63$ кН – вага вантажу; $L = 32$ м- довжина стріли; $C = 16,6$ м; $l_1 = 11,6$ м; $l_2 = 14$ м; $h = 17$ м; $G_k = 13,23$ кН – вага консолі; $H = 40$ м – висота піднімання вантажу;

частота обертання крана – $n_k = 1,0$ об/хв; режим роботи – 4 (середній), $T_B = 25\%$ робота на відкритому майданчику.

Струм трифазний 380 В.

Вагові параметри крана:

$$G_c = 0,15 \cdot G = 0,15 \cdot 63 = 9,45 \text{ кН};$$

$$G_k = 1,4 \cdot G_c = 1,4 \cdot 9,45 = 13,23 \text{ кН}.$$

Параметри нижнього опорно-поворотного вузла:

Максимальний діаметр колони $D_k = 300 \dots 360$ мм.

Конічний хвостовик колони $\alpha = 2,2 \dots 3,4^\circ$ (підшипники ковзання).

Довжина конічного хвостовика $l_x = (0,9 \dots 1,5) d_{cp}$;

Середній діаметр хвостовика колони – d_{cp} .

Матеріал колони – Ст. 3

Діаметр осі ролика визначається такою залежністю:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{H \cdot l_p}{2 \cdot \cos \alpha \cdot 0.8 \cdot [\sigma]}}; \text{ мм}, \quad (2.1)$$

де H – максимальне радіальне навантаження, Н;

$l_p = (100 \dots 150)$ мм – довжина ролика, мм;

$\alpha = 30^\circ$ – кут між роликами та віссю дії радіального навантаження;

$[\sigma] = 100$ МПа – допустиме навантаження осі ролика на згин для Сталь 45;

Вісь ролика перевіряють на питомий тиск за таким виразом:

$$q = \frac{H}{2 \cdot \cos \alpha \cdot d_0 \cdot l_p} \leq [q], \quad (2.2)$$

де $[q] = (8,0 \dots 12,0)$ МПа – допустимий питомий тиск;

Орієнтовно діаметр ролика визначається наступною залежністю:

$$D_p = (2,5 \dots 3,0)d_0; \quad D_p = (0,4 \dots 0,5)R_k, \quad (2.3)$$

де R_k – радіус колони крана.

Розрахунок механізму повороту крана

1. Вертикальне зусилля, що діє на упорний підшипник верхньої опори, дорівнює сумі ваги кожної з елементів обертової частини крана:

$$V = G + G_C + G_K + G_{II}, \quad (2.4)$$

де G_{II} – вага противаги, яку визначають із умови рівноваги крана: рівності симетричних моментів, що діють на кран у навантаженому M_1 та ненавантаженому M_2 стані. У більшості випадків вантаж піднімають не завжди

максимальний та кран більшу частину часу перебуває у ненавантаженому стані, тоді умова рівноваги має такий вид:

$$M_1 = -1,5 M_2. \quad (2.5)$$

Така умова забезпечує дію на колону найменшого згинального моменту.

Сума моментів усіх сил з вантажем:

$$M_1 = G \cdot L + G_C \cdot C - G_k \cdot l_1 - G_{\Pi} \cdot l_2; \quad (2.6)$$

$$M_1 = 63 \cdot 32 + 9,45 \cdot 16,6 - 13,23 \cdot 11,6 - G_{\Pi} \cdot 14 = 2016 + 156,87 - 153,468 - G_{\Pi} \cdot 14 = 2019,402 - G_{\Pi} \cdot 14.$$

Сума моментів усіх сил без вантажу:

$$M_2 = G_C \cdot C - G_k \cdot l_1 - G \cdot l_2; \quad (2.7)$$

$$M_2 = 9,45 \cdot 16,6 - 13,23 \cdot 11,6 - G_{\Pi} \cdot 14 = 156,87 - 153,468 - 13,44 G_{\Pi} = 3,402 - 13,44 G_{\Pi};$$

$$M_1 = -1,5 M_2.$$

Після підстановки значень моментів у рівняння визначаємо величину ваги G_{Π} противаги:

$$2019,402 - 14 G_{\Pi} = -1,5(3,402 - 13,44 G_{\Pi});$$

$$2019,402 - 14 G_{\Pi} = -5,103 + 20,16 G_{\Pi};$$

$$35 G_{\Pi} = 2023,938;$$

$$G_{\Pi} = 57,83 \text{ кН};$$

$$L = 32 \text{ м};$$

$$l_1 = 11,6 \text{ м}; \quad l_1 = (0,35 \dots 0,38)L = 11,2 \dots 12,16 \text{ м};$$

$$l_2 = 14,0 \text{ м}; \quad l_2 = (0,42 \dots 0,45)L = 13,44 \dots 14,4 \text{ м};$$

$$h = 17,0 \text{ м}; \quad h = (0,45 \dots 0,6)L = 14,4 \dots 19,2 \text{ м};$$

Тоді:

$$V = G + G_C + G_k + G_{II}; \quad (2.8)$$

$$V = 63 + 9,45 + 13,23 + 57,83 = 143,51 \text{ кН.}$$

2. Горизонтальну реакцію знаходимо із рівняння моментів для навантаженого крана при $\sum MA = 0$

$$H = \frac{G \cdot L + G_C \cdot C - G_{II} \cdot l_2 - G_k \cdot l_1}{h}; \quad (2.9)$$

$$\begin{aligned} H &= \frac{63 \cdot 32 + 9,45 \cdot 16,6 - 57,83 \cdot 14 - 13,23 \cdot 11,6}{17} = \\ &= \frac{2016 + 156,87 - 809,62 - 153,468}{17} = 71,164 \text{ кН} \end{aligned}$$

3. Розрахункове навантаження на упорний підшипник механізму повороту визначається за такою формулою:

$$R_{VP} = K_G \cdot V; \quad (2.10)$$

$$R_{VP} = K_G \cdot V = 1,4 \cdot 143,510 = 200,914 \text{ Н.}$$

$K_G = 1,4$ – коефіцієнт безпеки.

За розрахунковим навантаженням вибираємо упорний кульковий підшипник №8311 з параметрами: статична вантажопідйомність якого $C_0 = 212870 \text{ Н}$; $d_B = 55 \text{ мм}$; $D = 105 \text{ мм}$; $H = 35 \text{ мм}$.

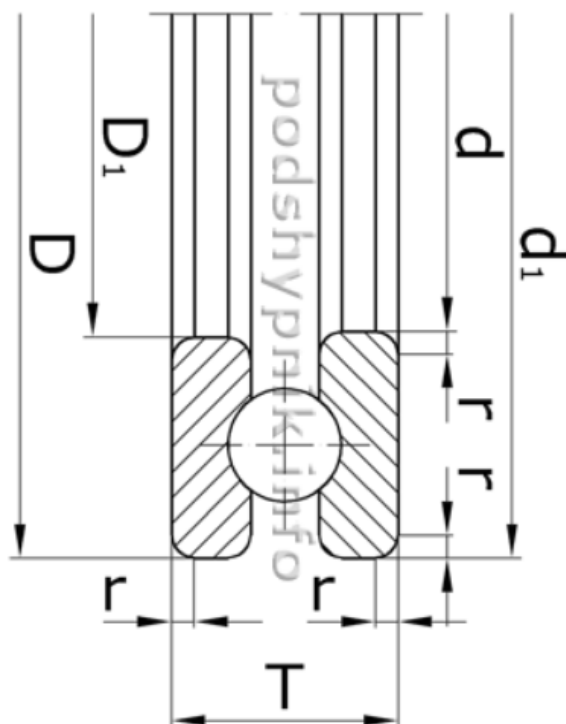


Рис. 2.4. Підшипник 8311

Таблиця 2.1. Характеристики підшипника

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці вимірювання
Діаметр отвору тугого кільця	d	55	мм
Зовнішній діаметр тугого кільця	d ₁	105	мм
Зовнішній діаметр вільного кільця	D	105	мм
Діаметр отвору вільного кільця	D ₁	55,2	мм
Висота підшипника	T	35	мм
Радіус монтажної фаски підшипника	r	2,0	мм
статична вантажопідйомність	C ₀	17600 0	Н
динамічна вантажопідйомність	C	10200 0	Н

маса підшипника	m	1,34	
-----------------	---	------	--

Розрахункове навантаження на радіальний підшипник визначається за формулою:

$$G_p = K_G \cdot H = 1,4 \cdot 71164 = 99629,6 \text{ Н.}$$

За розрахунковим навантаженням вибираємо сферичний роликовий підшипник №3611з параметрами: статична вантажопідйомність якого $C_0 = 120000\text{Н}$; $d_w = 55 \text{ мм}$; $D = 120 \text{ мм}$; $B = 43 \text{ мм}$.

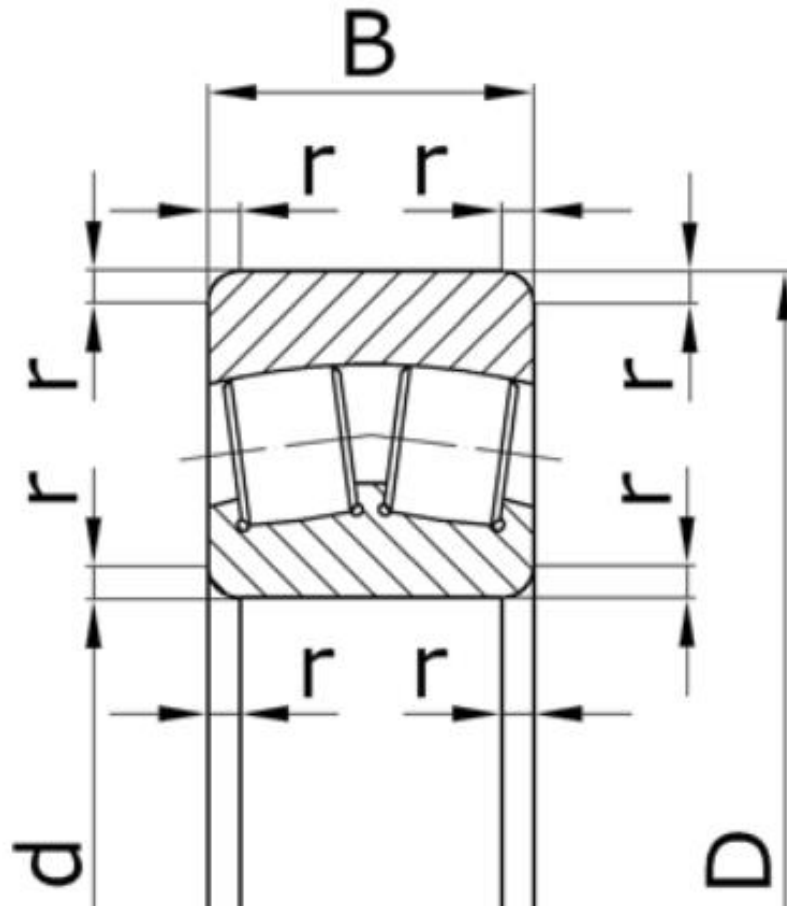


Рис. 2.5. Підшипник 3611

Таблиця 2.2. Характеристики підшипника

Параметр	Позначення	Значення	Одиниці вимірювання
Внутрішній діаметр підшипника	d	55	мм
Зовнішній діаметр підшипника	D	120	мм
Ширина підшипника	B	43	мм
Радіус монтажної фаски підшипника	r	3,0	мм
статична вантажопідйомність	C0	11800 0	Н
динамічна вантажопідйомність	C	17000 0	Н
Маса підшипника	m	2,40	кг

4. Визначаємо загальний статичний момент опору повороту крана, який дорівнює сумі моментів сил тертя у підшипниках; вітрового навантаження та нахилу колони за наступною формулою

$$M_{ст} = \sum M_T + \sum M_B + M_{\beta}. \quad (2.11)$$

$\sum M_T$ – сума моментів сил тертя у верхній опорі та нижньому опорно-поворотному пристрою має такий вид

$$\sum M_T = M_T(d_1) + M_T(d_2) + M_{т.н.о}. \quad (2.12)$$

Момент тертя у радіальному підшипнику верхньої опори визначається за формулою:

$$M_T(d_1) = H \cdot f \frac{d_1}{2}; \quad (2.13)$$

$$M_T(d_1) = 71164 \cdot 0,018 \frac{0,087}{2} = 55,72 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

$f = 0,015 \dots 0,02$ – зведений коефіцієнт тертя роликового підшипника;

$D_1 = (d+D)/2 = (55+120)/2 = 0,087 \text{ м}$ – середній діаметр підшипника;

Момент тертя в упорному підшипнику має такий вигляд

$$M_T(d_2) = V \cdot f \frac{d_2}{2}; \quad (2.14)$$

$$M_T(d_2) = 143510 \cdot 0,015 \frac{0,08}{2} = 86,106 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Зусилля, що діє на один ролик кожної опори визначається за формулою

$$N = H \frac{1}{2 \cdot \cos \gamma}; \quad (2.15)$$

$$N = 71164 \frac{1}{2 \cdot \cos 30^\circ} = 71164 \frac{1}{2 \cdot 0,866} = 41087,76 \text{ Н}.$$

Момент сили тертя у нижньому опорно-поворотному пристрої приймає наступний вигляд

$$M_{T.H.O} = 2N \left[\frac{fd_0}{D_p} + \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_k} \right) \cdot K \right] \frac{D_k}{10^3}; \quad (2.16)$$

$$M_{T.H.O} = 2 \cdot 41087,76 \left[\frac{0,2 \cdot 40}{120} + \left(\frac{1}{120} + \frac{1}{300} \right) \cdot 0,3 \right] \frac{300}{10^3} = 1738,012 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

де $f_k = 0,2$ – коефіцієнт тертя ковзання;

$D_k = 300 \text{ мм}$ – діаметр колони; $l_p = 100 \text{ мм}$ – довжина ролика; $\alpha = 30^\circ$;

$[\sigma] = 100 \text{ МПа}$; $K = 0,3 \text{ мм}$ - коефіцієнт тертя кочення ролика по колоні;

Діаметр осі ролика:

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{H \cdot l_p}{2 \cdot \cos \alpha \cdot 0.8 \cdot [\sigma]}}; \quad (2.17)$$

$$d_0 = \sqrt[3]{\frac{71164 \cdot 0.1}{2 \cdot 0.86 \cdot 0.8 \cdot 100 \cdot 10^6}} = \sqrt[3]{\frac{7116.4}{137.6 \cdot 10^6}} = 0.037 \text{ м.}$$

Приймаємо $d_0 = 40$ мм.

Діаметр ролика:

$$D_p = (2,5 \dots 3,0)d_0 = (2,5 \dots 3,0)40 = 100 \dots 120 \text{ мм};$$

Приймаємо діаметр ролика $D_p = 120$ мм.

Перевіряємо вісь ролика на питомий тиск за формулою:

$$q = \frac{H}{2 \cdot \cos \alpha \cdot d_0 \cdot l_p} \leq [q]; \quad (2.18)$$

$$q = \frac{71164}{2 \cdot 0.86 \cdot 0.04 \cdot 0.1} = 10.34 \text{ МПа.}$$

Умова міцності виконується.

При потребі зменшення моменту сил тертя в опорно-поворотному вузлі необхідно використати у роликах підшипники кочення. При цьому $f' = 0,02$ – коефіцієнт тертя у підшипнику кочення (замість $f = 0,2$ – у попередньому випадку – підшипник ковзання). Після чого будемо мати

$$M'_{\text{т.н.о}} = 2N \left[\frac{f'd_0}{D_p} + \left(\frac{1}{D_p} + \frac{1}{D_k} \right) \cdot K \right] \frac{D_k}{10^3}; \quad (2.19)$$

$$M'_{\text{т.н.о}} = 2 \cdot 41087,76 \left[\frac{0,02 \cdot 53,5}{120} + \left(\frac{1}{120} + \frac{1}{300} \right) \cdot 0,3 \right] \frac{300}{10^3} = 305,69 \text{ Н}\cdot\text{м.}$$

Приймаємо для роликів підшипник 207, для якого: $d = 35$ мм; $D = 72$ мм; $B = 17$ мм; $d'_0 = d + D/2 = 35 + 72/2 = 53,5$ мм – середній діаметр підшипника.

Отже:

$$\Sigma M_T = 55,72 + 86,106 + 305,69 = 447,516 \text{ Н}\cdot\text{м}.$$

Момент від сили вітру, що діє на кран і вантаж визначається наступним чином :

$$\Sigma M_{\text{в}} = M_K + M_G \quad (2.20)$$

Момент від сил вітру , що діє на кран розраховується за наступною залежністю:

$$M_k = A_c \cdot q \cdot k \cdot c \cdot \psi \cdot \frac{L}{2} - A_n \cdot q \cdot k \cdot c \cdot \psi \cdot \frac{l_2}{2}; \quad (2.21)$$

$$M_k = 54.4 \cdot 125 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 0,1 \frac{32}{2} - 68 \cdot 125 \cdot 1,0 \cdot 1,25 \cdot 0,1 \frac{14}{2} = 6162,5 \text{ Н}\cdot\text{м}$$

де: $A_c = 0.2 \cdot L \cdot \frac{h}{2} = 0.2 \cdot 32 \cdot \frac{17}{2} = 54.4 \text{ м}^2$ – площа стріли та гакової підвіски ;

$q = 125 \text{ Па}$ – швидкісний тиск для робочого стану крана;

$k = 1,0$ – коефіцієнт, що враховує висоту елемента;

$c = 1,25$ – аеродинамічний коефіцієнт;

$\psi = 0.1$ – коефіцієнт перевантаження ;

$A_n = 1.25 \cdot 54,4 = 68 \text{ м}^2$ – площа противагової консолі по контуру з урахуванням баласту і механізмів на ній ;

Момент від сил вітру, що діє на вантаж :

$$M_G = A_B \cdot q \cdot k \cdot c \cdot L; \quad (2.22)$$

$$M_G = 10 \cdot 125 \cdot 1 \cdot 1,25 \cdot 32 = 50000 \text{ Н}\cdot\text{м} .$$

$A_B = 10 \text{ м}^2$ – повітряна площа вантажу (див. нижче)

Тоді:

$$\Sigma M_B = 6162,5 + 50000 = 56162,5$$

Момент сил від можливого відхилення колони від вертикалі визначається залежністю

$$M_\beta = [GL + G_c \cdot C - G_K \cdot l_1 - G_\Pi \cdot l_2] \sin \beta; \quad (2.23)$$

$$M_\beta = [63 \cdot 32 + 9,45 \cdot 16,6 - 13,23 \cdot 11,6 - 57,83 \cdot 14] 0,02 = 24.195 \text{ кН} \\ = 24195 \text{ Н}$$

де $\beta = (1 \dots 1.5)$ кут нахилу крана (приймаємо $\beta = 1.12'$)

У розрахунках міцності й стійкості вантажопідіймальних машин, які працюють на відкритих майданчиках, враховують вітрове навантаження, яке поділяють на вітрове навантаження робочого стану (у разі дії навантаження такого рівня кран має нормально працювати) та неробочого стану (описаний розрахунковою комбінацією III).

Вітрове навантаження на елемент конструкції або вантаж визначають за наступною формулою:

$$F_B = pA, \quad (2.24)$$

де p – розподілене (по площі) вітрове навантаження, Па на елемент конструкції або вантаж з навітряною площею A , м², на певній висоті перебування їх визначається за формулою:

$$p = qkc(1 + \beta); \quad (2.25)$$

q – динамічний тиск вітру, Па, на висоті до 10 м над поверхнею землі, що зумовлений густиною повітря $\rho = 1.225 \text{ кг/м}^3$ та його швидкістю v , м/с:

$$\rho = \rho \frac{v^2}{2}. \quad (2.26)$$

$$\rho = 1.225 \frac{v^2}{2} \cong 0.613v^2$$

k – коефіцієнт, що враховує підвищення динамічного тиску вітру залежно від збільшення висоти розміщення крана над поверхнею землі:

Висота, м, до	10	20	40	60	100	200	350 і більше
k	1,0	1,25	1,55	1,75	2,1	2,6	3,1

c – аеродинамічний коефіцієнт, який враховує характер обтікання елемента конструкції чи вантажу повітряним потоком і залежить від геометричної форми цих елементів (вантажів): $c = 0,6 \dots 0,8$ – для конструкцій із труб великого діаметра ($D \geq 700$ мм), $1,2$ – для кабін, канатів, противаг, розтяжок, вантажів, $1,4 \dots 1,6$ – для металоконструкцій коробчастого типу, $1,3 \dots 1,6$ – для ферм (решітчастих конструкцій) тригранного типу, виготовлених з труб, $1,5 \dots 1,8$ – те саме для ферм чотиригранного типу, $2,0 \dots 2,5$ – кутових профілів, $c = 2,3 \dots 2,8$ – те саме для ферм чотиригранного типу; $\psi_B = 1 + \beta = 1 + m_{\Pi} \varepsilon$ – динамічний коефіцієнт, що враховує пульсацію вітрового потоку m_1 і коефіцієнт динамічності ε власне конструкції крана або його елемента, який є функцією періоду власних коливань системи, тобто $\varepsilon = \varepsilon(T)$

В нормальних умовах експлуатації для робочого стану крана $1 + \beta = 1 + m_n \approx 1,2 \dots 1,3$

Розрахункова навітряна площа A , m^2 , елементів металоконструкцій визначається залежно від конфігурації та розміщення цих елементів, а вантажу – залежно від його розмірів або наближено за масою (вантажністю) Q :

Маса вантажу $Q, т$	0,5	1,0	2,0	5,0	10	16	20	32	50	100
Навітряна площа A, m^2	2,0	2,8	4,0	7,1	10	14	16	20	28	36

Загальний статичний момент опору повороту крана

$$M_{CT} = 447,516 + 56162,5 + 24195 = 80805,016 \text{ Н}$$

5. Статична потужність електродвигуна механізму повороту визначається наступною формулою:

$$P_p = \frac{M_{CT}\omega_k}{\eta_M}; \quad (2.27)$$

$$P_p = \frac{80805.16 \cdot 0.105}{0.889} = 9543,9 \approx 9.54 \text{ кВт},$$

де $\omega_k = 0,105 \text{ с}^{-1}$ ($n_k = 1,0 \text{ об/хв}$ – частота обертання крана)

$\eta_M = 0,889$ – загальний к.к.д. привода механізму повороту крана (див. попередній розділ).

Із врахуванням можливих інерційних навантажень вибираємо асинхронний електродвигун МТФ 312-6 :

$P_{ном} = 17,5 \text{ кВт}$, $n = 945 \text{ об/хв}$. ($\omega_n = 98,91$); $M_{пmax} = 480 \text{ Н} \cdot \text{м}$ максимальний пусковий момент; $I_p = 0.3125 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ - момент інерції ротора.

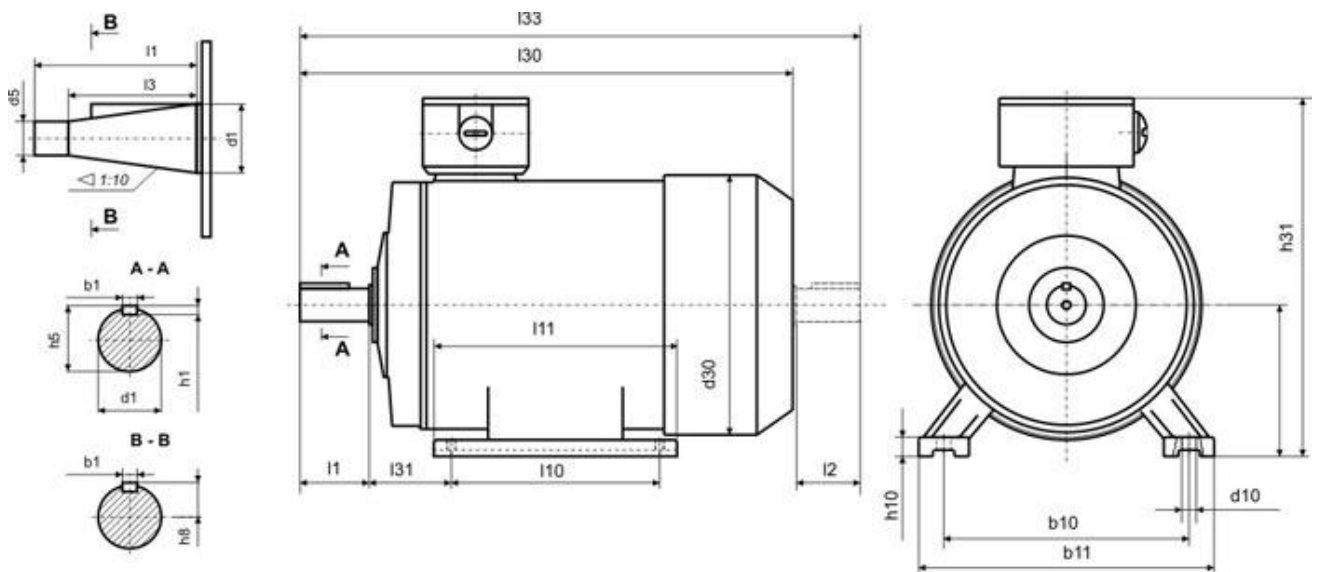


Рис. 2.6. Електродвигун МТФ 312-6

Таблиця 2.3. Технічні характеристики

Двигун	Потужність, кВт	Номінальна частота обертання, об/мин	ККД, %	Номінальний струм статора при 220/380В, А	Номінальний струм ротора, А	Напруження ротора, В	Номінальний крутний момент, Н*м	Ммакс/Мном	Маса, кг
МТН 211-6**	7,5	940	79,4	31 / 18	26,5	185	76,2	2,5	140

Габаритні, установчі та приєднувальні розміри

$d_1 = 50$ мм – діаметр валас

Загальне передаточне число механізму:

$$U_{\text{заг}} = \frac{n_{\text{ном}}}{n_k} = \frac{945}{1,0} = 945 ;$$

$U_{\text{заг}} = U_{\text{ред}} \cdot U_{\text{ц}}$ де $U_{\text{ред}} = 160$ передаточне число редуктора

$U_{\text{ц}} = \frac{U_{\text{заг}}}{U_{\text{ред}}} = \frac{945}{160} = 5,9$ - передаточне число відкритої циліндричної передачі.

6. Перевірка вибраного електродвигуна на нагрів.

Зведений до вала електродвигуна загальний момент статичного опору повороту крана визначається так:

$$M_c = \frac{M_{ст}}{U_{заг} \cdot \eta_M}; \quad (2.28)$$

$$M_c = \frac{111694,391}{945 \cdot 0,889} = 132,95 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Номінальний момент визначається за такою формулою

$$M_{ном} = \frac{P_{ном}}{\omega_{ном}}; \quad (2.29)$$

$$M_{ном} = \frac{17500}{98,91} = 176,93 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Коефіцієнт перевантаження електродвигуна при повороті крана визначається так:

$$\psi = \frac{M_c}{M_{ном}}; \quad (2.30)$$

$$\psi = \frac{132,95}{176,93} = 0,75.$$

Згідно графіка (рис 2.1) приймаємо криву, оскільки, $M_{max} = 250\%$, бо $M_{ntmax} = 480 \text{ Н} \cdot \text{м}$, а $M_{ном} = 176,93 \text{ Н} \cdot \text{м}$, $\psi = 0,939$, знаходимо відносну тривалість пуску $t_{п.в.} = 1,5$

Тривалість пуску при повороті з номінальним вантажем визначається за формулою :

$$t_{п} = t_{п.в} \frac{I_{зв} \cdot \omega}{M_{ном}}, \quad (2.32)$$

де $I_{зв}$ – зведений до валу двигуна момент інерції обертових мас механізму повороту крана, мас вантажу, стріли, консолі і противаги у період пуску та гальмування :

$$I_{зв} = I_M + I_e + I_c + I_k + I_n; \quad (2.33)s$$

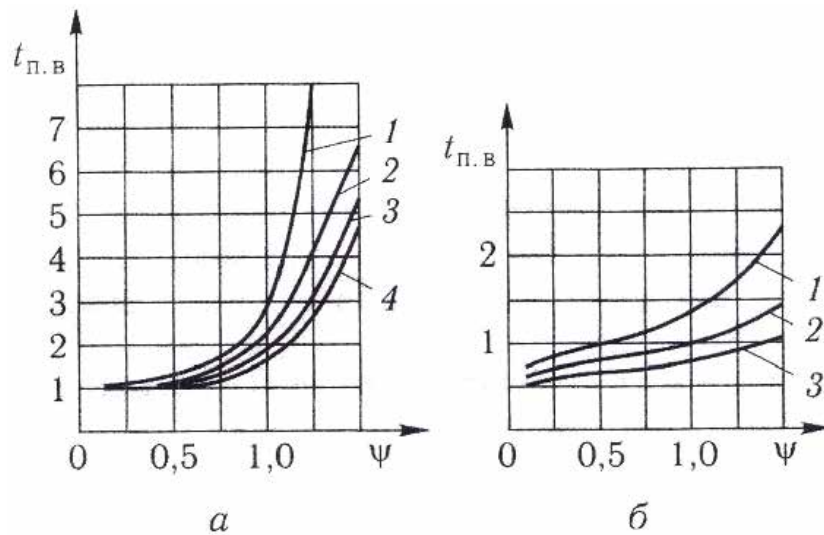


Рис. 2.7 Графік для визначення відносної тривалості пуску приводів із двигунами : а – з фазовим ротором ($1 - M_{max} = 200\%$; $2 - 250\%$; $3 - 275\%$; $4 - 300\%$) б – з коротко замкнутим ротором ($1 - M_{max} = 200\%$; $2 - 250\%$; $3 - M_{max} = 300\%$)

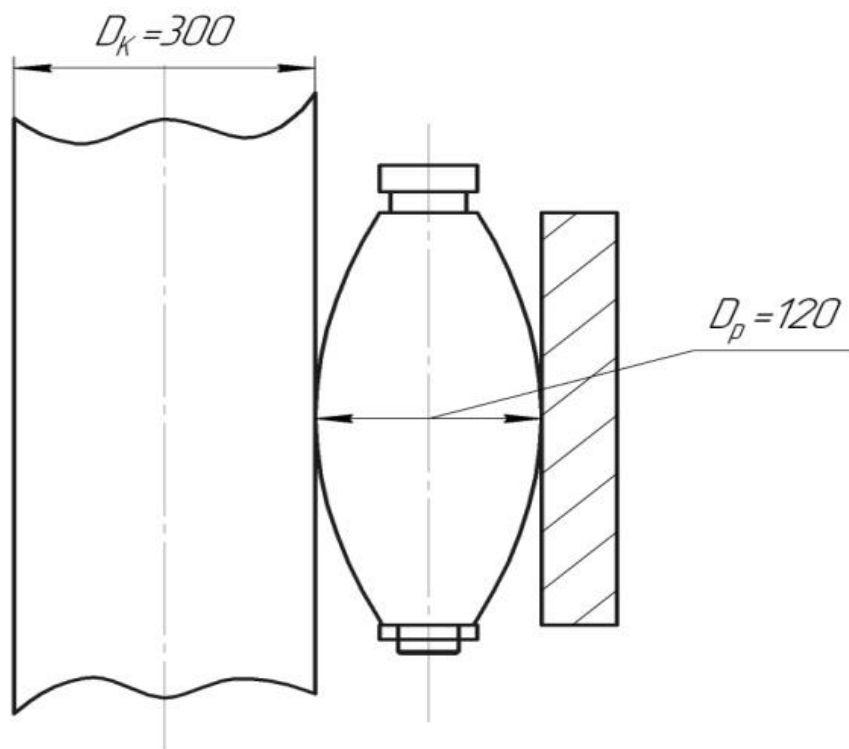


Рис. 2.8. Визначення радіусу поверхні кочення нижньої опори.

де $\delta=1,2$ – коефіцієнт безпеки; $I_p=0,3125$ кг·м² – момент інерції ротора електродвигуна дод. (Е1-Е11); $I_{м.г.}=0,075$ кг·м² – момент інерції муфти із

гальмівним шківом (див. попередній розділ); $m_B=6300$ кг – маса вантажу; $m_C=945$ кг – маса стріли; $m_D=1323$ кг – маса консолі; $m_H=5783$ кг – маса противаги; $r=0,27$ м – радіус нижньої опори ($r = D_K/2 + D_P$), ($D_K=300$ мм – діаметр колони; $D_P=120$ мм – діаметр ролика); $L = 32$ м; $l_1 = 11,6$ м; $l_2 = 14$ м;

$U_{заг} = 945$; $\eta_M=0,889$ – загальний к.к.д. приводу механізму повороту:

$$I_{зв} = \delta(I_p + I_{M.r}) + (m_B \cdot L^2 + m_C \frac{r^2+rL+L^2}{3} + m_K \cdot l_1^2 + m_H \cdot l_2^2) \cdot \frac{1}{U_{заг}^2 \cdot \eta_M}; (2.35)$$

$$I_{зв} = 1,2(0,3125 + 0,075) + \left(6300 \cdot 32^2 + 945 \frac{0,27^2 + 0,27 \cdot 32 + 32^2}{3} + 1323 \cdot 11,6^2 + 5783 \cdot 14^2 \right) \frac{1}{945^2 \cdot 0,889} = 0,465 + 10,188 = 10,653 \text{ кг} \cdot \text{м}^3$$

Тривалість пуску приводного механізму повороту приймає таке значення:

$$t_{п} = 1,5 \frac{10,653 \cdot 98,91}{176,93} = 8,93 \text{ с.}$$

Середня тривалість робочої операції при середньому куті повороту

$$\alpha_n = 90^\circ \text{ (1/4 оберта);}$$

$$t_p = \frac{60}{4 \cdot 4n_k} = \frac{60}{4 \cdot 1} = 15 \text{ с.}$$

Відношення

$$\frac{t_{п}}{t_p} = \frac{8,93}{15} = 0,595.$$

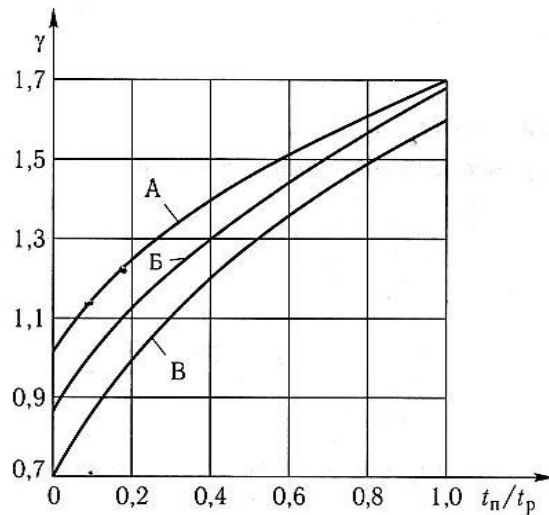


Рис. 2.9. Графіки впливу пускових режимів на еквівалентну потужність; А- механізм пересування та повертання; Б- механізм пересування візка; В- механізму підйому.

За графіком (рис. 2.9), для кривої А (механізми повороту стріли) знаходимо коефіцієнт $\gamma = \frac{P_e}{P_{н.в}} = 1,5$ (P_e – еквівалентна потужність; $P_{н.в}$ – необхідна потужність двигуна механізму повороту крана із номінальним вантажем).

Необхідна потужність двигуна визначається за формулою

$$P_{н.в} = \frac{M_c \cdot \omega}{1000}; \quad (2.36)$$

$$P_{н.в} = \frac{132,95 \cdot 98,91}{1000} = 13,15 \text{ кВт.}$$

Еквівалентна потужність двигуна приймає значення

$$P_e = P_{н.в} \cdot \gamma; \quad (2.37)$$

$$P_e = 13,15 \cdot 1,5 = 19,725 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність двигуна становить

$$P_{e25} = 0,75 \cdot P_e = 0,75 \cdot 22,355 = 14,79 \text{ кВт.}$$

Отже, вибраний електродвигун МТФ 312-6 потужністю 17,5 кВт задовольняє умови нагрівання.

Якщо електродвигун вибрано правильно, тоді повинна виконуватися така умова:

$$\psi = \frac{M_{II}}{M_{ном}} \leq [\psi]; \quad (2.38)$$

де $M_{II} = M_{c.o} + M_o$ - пусковий момент; $M_c = 132,95$ Н·м – зведений до вала двигуна статичний момент опору повертанню; M_d – динамічний момент від сил інерції мас механізму та обертових частин крана визначається залежністю:

$$M_d = M'_d + M''_d = \frac{I_{зв} \cdot \omega}{t_n}; \quad (2.39)$$

$$M_d = \frac{10.653 \cdot 98.91}{8.93} = 117.99 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

Тоді

$$M_{II} = 132,95 + 117,99 = 250,94;$$

$$\psi = \frac{250,94}{176,93} = 1,4 [\psi] = \frac{M_{IImax} + M_{ном}}{2 \cdot M_{ном}} = \frac{480 + 176.93}{2 \cdot 176.93} = 1.8.$$

Умова виконується

8. Визначення гальмівного моменту та вибір гальма.

Приймаємо тривалість гальмування $t_r = 5$ с. Тоді лінійне уповільнення кінця стріли можна визначити так:

$$a = \varepsilon_{\Gamma} \cdot L, \quad (2.40)$$

де $\varepsilon_{\Gamma} = \frac{\omega_{\kappa}}{t_{\Gamma}} = \frac{0,105}{5} = 0,021 \text{ с}^{-1}$ - кутове уповільнення стріли крана;

$L = 32\text{м}$ – виліт стріли.

Тоді $a = 0.021 \cdot 32 = 0.672 \text{ М/с}.$

Потрібний гальмівний момент на валу двигуна визначається за формулою

$$M_{\Gamma} = M_{B_{\Gamma}} + M_{\beta_{\Gamma}} + M_{дг} \cdot M'_{\tau}, \quad (2.41)$$

де $M_{B_{\Gamma}} + M_{\beta_{\Gamma}} = \frac{M_B + M_{\beta}}{U_3 \cdot \eta_M} = \frac{9551,875 + 24195}{945 \cdot 0,889} = 40,17 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – сумарний момент від

сил вітру та нахилу крана; $M_B = 9551,875 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – момент від сили вітру, що діє на кран і вантаж; $M_{\beta} = 24195 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – момент сил від можливого відхилення колони від вертикалі;

$$M_{дг} = \frac{I_{зв} \cdot \omega}{t_{\Gamma}}; \quad (2.42)$$

$$M_{дг} = \frac{10,653 \cdot 98,91}{5} = 210,74 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

$$M'_{\tau} = M_{\tau} \frac{1}{U_3 \cdot \eta_M}; \quad (2.43)$$

$$M'_{\tau} = 447,516 \frac{1}{945 \cdot 0,889} = 0,5327 \text{ Н} \cdot \text{м}.$$

$M_{\tau} = 447,516 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – сумарний момент тертя у підшипниках опорно-поворотного пристрою

Тоді $M_{\Gamma} = 40,17 + 210,74 \cdot 0,5327 = 152,43 \text{ Н} \cdot \text{м}$

Приймаємо гальмо ТКГ-200 із гальмівним моментом 200 Н·м дод. (Е1-Е3) і регулюємо на розрахунковий момент. Після гальмування електродвигуном та повної зупинки механізму повороту крана вмикаються гальма.

2.2. Кінематичний розрахунок приводу механізму повороту

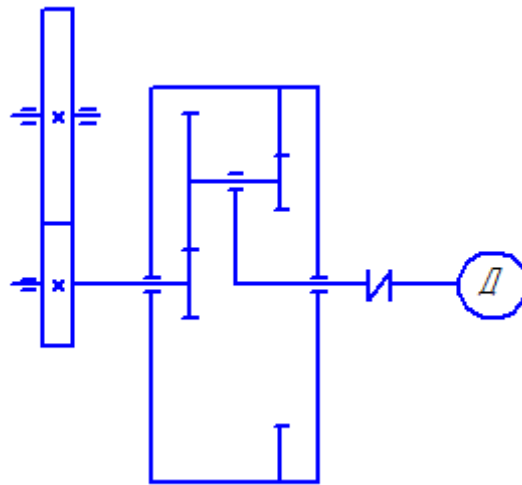


Рис. 2.10. Кінематична схема приводу механізму повороту

Межі зміни кутової швидкості електродвигуна механізму повороту:

$$\omega_{\text{дв п}} = \omega_{\text{д}} \cdot u_{\text{м}} = 0,105 \cdot (20 \dots 4000) = (2,1 \dots 420) \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

Визначаємо потрібну кутову швидкість механізму повороту за наступною залежністю:

$$n_{\text{дв п}} = \frac{\omega_{\text{дв п}} \cdot 30}{\pi} = \frac{(2,1 \dots 420) \cdot 30}{3,14} = (20 \dots 4012,7) \frac{\text{об}}{\text{хв}};$$

$$u_{\text{заг}} = \frac{\omega_{\text{ном}}}{\omega_{\text{к}}} = \frac{98,91}{0,105} = 942;$$

$$\omega_{\text{ном}} = \frac{\pi \cdot n_{\text{ном}}}{30} = \frac{3,14 \cdot 945}{30} = 98,91 \frac{\text{р}}{\text{с}};$$

Виберемо попередньо редуктор механізму повороту:

ЗП-50 з $u_{\text{р}} = 160$

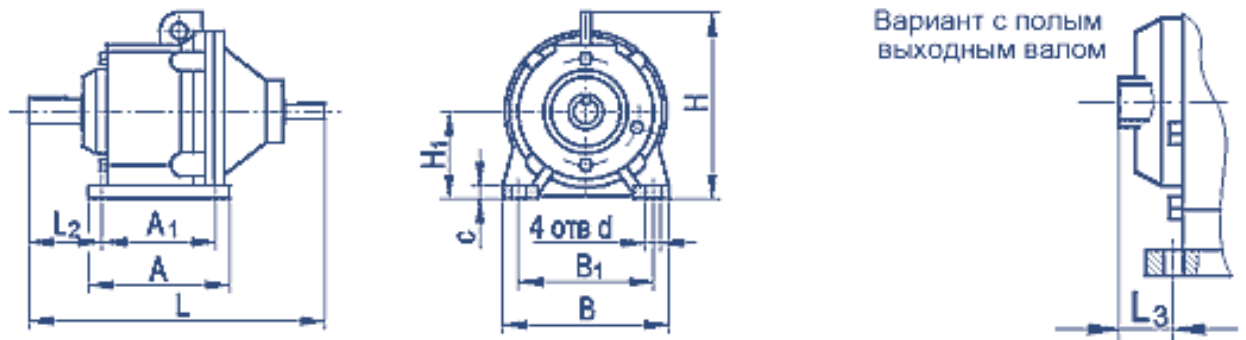


Рис. 2.11. Редуктор ЗП-50

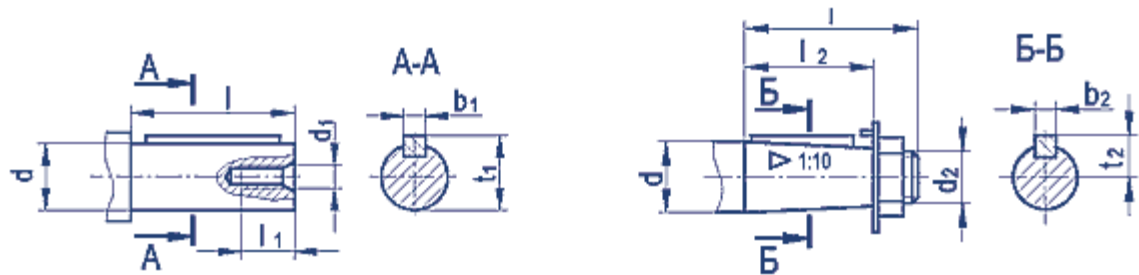


Рис. 2.12 Розміри вхідного та вихідного валів редуктора

Передаточне число циліндричної передачі механізму повороту приймає таке значення:

$$u_{\text{ц}} = \frac{u_{\text{заг}}}{u_{\text{р}}} = \frac{942}{160} = 5,89.$$

Визначаємо вихідні дані для розрахунку передач механізму повороту крана

I вал;

$$P_{\text{I}} = P_{\text{дв II}} = 13,15 \text{ кВт};$$

$$\omega_{\text{I}} = \omega_{\text{дв II}} = 98,91 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$T_{\text{I}} = \frac{P_{\text{I}}}{\omega_{\text{I}}} \cdot 10^3 = \frac{13,15}{98,91} \cdot 10^3 = 132,95 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

II вал;

$$P_{II} = P_I \cdot \eta_M = 13,15 \cdot 0,985 = 12,953 \text{ кВт};$$

$$\omega_{II} = \omega_I = 98,91 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$T_{II} = \frac{P_{II}}{\omega_{II}} \cdot 10^3 = \frac{12,953}{98,91} \cdot 10^3 = 130,957 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

III вал;

$$P_{III} = P_{II} \cdot \eta_p = 12,953 \cdot 0,93 = 12,046 \text{ кВт};$$

$$\omega_{III} = \frac{\omega_{II}}{u_p} = \frac{98,91}{160} = 0,618 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

IV вал;

$$P_{IV} = P_{III} \cdot \eta_{ц} = 12,046 \cdot 0,97 = 11,685 \text{ кВт};$$

$$\omega_{IV} = \frac{\omega_{III}}{u_p} = \frac{0,618}{5,9} = 0,1 \frac{\text{рад}}{\text{с}};$$

$$T_{IV} = \frac{P_{IV}}{\omega_{IV}} \cdot 10^3 = \frac{11,685}{0,1236} \cdot 10^3 = 94538,8 \text{ Н} \cdot \text{м};$$

Вихідні дані для розрахунку передач та вибору муфт

Назва	Потужність на ведучому валу, кВт	Кутова швидкість на ведучому валу, рад/с	Крутний момент на ведучому валу, Нм	Передаточне число
Муфта	13,15	98,91	132,95	-
Циліндрична передача	12,046	0,618	19491,9	5,9

РОЗДІЛ 3. ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ПОВОРОТУ

3.1. Побудова динамічної моделі механізму повороту

Відомо, що при обертанні стріли та переміщенні вантажу в елементах приводу механізму повороту, а також і в несучій конструкції мають місце небажані процеси, які приводять до виникнення динамічних навантажень. Проблема мінімізації динамічних навантажень у приводі та металоконструкції, зумовлена зростанням швидкостей робочих рухів і є досить актуальною на даний час. Суть цієї проблеми полягає в зменшенні впливів, які заважають роботі (експлуатації), зумовлених динамічними перевантаженнями конструкції або її руйнуванням від «втоми» матеріалу.

Слід відзначити, що найбільші динамічні навантаження виникають в процесах пуску та гальмування механізму повороту стрілового крана, а також і в інших механізмах. Вони приводять систему до циклічних перевантажень та пошкоджень від «втоми» матеріалу. Також коливання вантажу, що виникає при повороті крана, сприяє зростанню динамічних навантажень, котрі впливають на роботу стрілового крана. Таким чином, при цьому зменшується продуктивність крана, його надійність і, як наслідок, підвищується можливість виникнення під час роботи аварійних ситуацій. З позиції динамічного розрахунку стріловий кран являє собою єдину динамічну систему, що складається з механізмів, несучих металоконструкційта приводів. Урахувати все різноманіття взаємодіючих елементів крана в динамічному розрахунку досить складно. При переході від реальної машини до її розрахункової динамічної схеми нехтують тими фізичними факторами, які для даного розрахунку мають не суттєве значення. У кожному конкретному випадку динамічного розрахунку одні фізичні фактори є головними, визначальними, а інші другорядними.

Розрахункова динамічна схема, тобто модель реальної системи, повинна задовольняти двом головним вимогам:

- 1) вона повинна бути в достатній мірі адекватна реальній системі;
- 2) вона повинна бути не дуже складною, щоб рішення динамічного завдання виявилось не занадто трудомістким.

Критерієм достовірності прийнятої розрахункової схеми механізму повороту стрілового крана є відповідність результатів, отриманих теоретичним і експериментальним шляхами. При зростаючих швидкостях робочих рухів на сучасних кранах актуальною є проблема зменшення динамічних навантажень. В процесах розгону і гальмування при повороті кранів і виникають значні динамічні навантаження, як в системі приводу, так і в несучій конструкції. Ці навантаження приводять до багатократних пошкоджень елементів від втоми матеріалу. Розгойдування вантажу при повороті крана сприяє підвищенню динамічних навантажень, які діють на елементи крана.

При цьому продуктивність крана зменшується та підвищується ймовірність виникнення аварійних ситуацій. Тому актуальною є задача вивчення динамічних процесів, які мають місце під час повороту стрілового крана. Отже, задача по вивченню динаміки руху елементів приводу під час повороту стрілового крана є досить актуальною. Було розглянуто низку марок кранів та їх виробників, з яких для дослідження було обрано стріловий кран QTZ-80 китайського виробництва, загальний вигляд якого зображено на рис. 3.1.

Для динамічного аналізу механізму повороту стрілового крана обґрунтовано тримасову динамічну модель (рис.3.2). В цій моделі вважається, що всі елементи крана є абсолютно тверді тіла, крім елементів передавального механізму приводу та гнучкого підвісу вантажу.

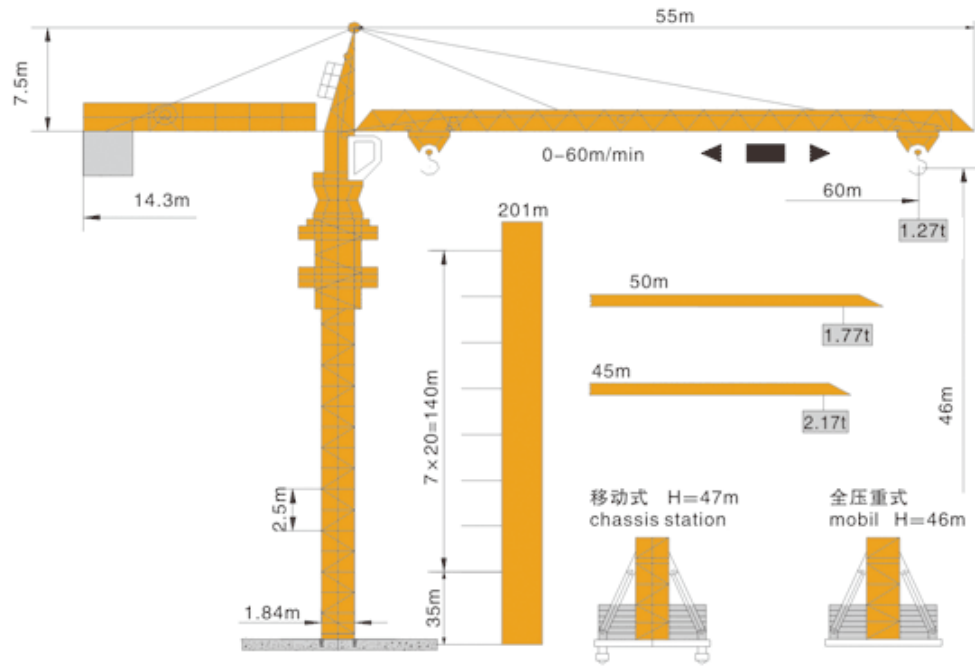


Рис.3.1. Загальний вигляд крана QTZ-80

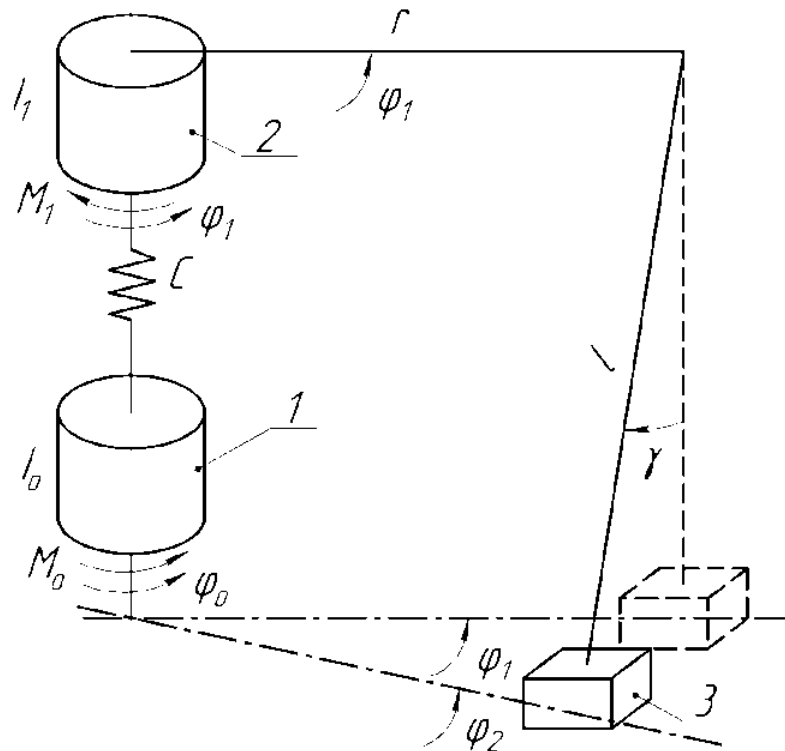


Рис. 3.2. Динамічна модель механізму повороту крана: 1 – привод;
2 – поворотна частина; 3 – вантаж

В цій моделі прийняті наступні позначення:

I_o – момент інерції приводного механізму, зведений до осі повороту крана;
 I_1 – момент інерції башти та стріли, зведений до осі повороту крана;
 M_o – рушійний момент на валу приводного електродвигуна, зведений до осі повороту крана;
 M_1 – момент сил статичного опору, зведений до осі повороту крана;
 l – довжина гнучкого підвісу вантажу;
 r – виліт вантажу;
 C – коефіцієнт жорсткості приводного механізму, зведений до осі повороту крана.

За узагальнені координати динамічної моделі прийняті кутові координати повороту зведеної до осі поворота крана маси елементів приводу φ_0 , поворотної башти зі стрілою відносно власної осі обертання φ_1 та вантажу φ_2

3.2. Математична модель механізму повороту крана.

На основі отриманої динамічної моделі формальними методами може бути побудована математична модель будь-якої механічної системи. Математичні моделі механічних систем становлять, як правило, диференціальні рівняння руху або взаємодії окремих елементів.

Для отримання диференціального рівнянь руху механічної системи при відомій динамічній моделі механізму повороту можуть бути використані різні методи: принцип д'Аламбера; принцип можливих переміщень; рівняння Лагранжа другого роду тощо.

Дана система має три ступені вільності. За узагальнені координати прийняті кутові координати повороту зведеної до осі поворота крана маси елементів приводу φ_0 , поворотної башти зі стрілою відносно власної осі обертання φ_1 та повороту вантажу φ_2 .

На основі обраної динамічної моделі (рис.3.2) за допомогою рівнянь Лагранжа другого роду побудовано математичну модель, яка являє собою систему трьох диференціальних рівнянь другого порядку [1]:

$$\begin{cases} I_o \ddot{\varphi} = M_o - C(\varphi_o - \varphi_1); \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 = C(\varphi_o - \varphi_1) - mr^2 g(\varphi_1 - \varphi_2)/l - M_1; \\ \ddot{\varphi}_2 = g(\varphi_1 - \varphi_2)/l, \end{cases} \quad (3.1)$$

де I_o – момент інерції приводного механізму, зведений до осі повороту крана; I_1 – момент інерції башти та стріли, зведений до осі повороту крана; m – маса вантажу; M_o – рушійний момент на валу приводного електродвигуна, зведений до осі повороту крана; M_1 – момент сил статичного опору, зведений до осі повороту крана; l – довжина гнучкого підвісу вантажу; r – виліт вантажу; C – коефіцієнт жорсткості приводного механізму, зведений до осі повороту крана; g – прискорення вільного падіння.

В системі рівнянь (1) рушійний момент приводного механізму визначається зі статичної механічної характеристики за допомогою формули Клосса

$$M_o = \frac{2M_{кр} \cdot u \cdot \eta}{\frac{s}{s_{кр}} + \frac{s_{кр}}{s}}, \quad (3.2)$$

де $M_{кр}$ – критичний момент на валу електродвигуна; u – передаточне число приводного механізму; η – коефіцієнт корисної дії приводного механізму;

s , $s_{кр}$ – відповідно ковзання і критичне ковзання асинхронного електродвигуна, які визначаються залежностями:

$$s = 1 - \frac{\dot{\phi}_1 u}{\omega_o}; \quad s_{кр} = s_n \left(\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1} \right). \quad (3.3)$$

Тут: $s_n = 1 - \omega_n / \omega_o$ – номінальне ковзання електродвигуна; ω_n , ω_o – відповідно номінальна і синхронна кутові швидкості ротора електродвигуна; $\lambda = M_{кр} / M_n$ – перевантажувальна здатність електродвигуна; M_n – номінальний момент на валу електродвигуна.

Підставивши залежності (3.2) і 3.(3) в систему рівнянь (3.1), отримаємо кінцевий вигляд математичної моделі для дослідження динаміки руху механізму повороту стрілового крана, яка являє собою систему нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Такі рівняння не вдається аналітично розв'язати, тому для їхнього розв'язування необхідно використовувати чисельні методи, наприклад, з використанням програмного продукту «Mathematica».

3.3. Результати динамічного аналізу механізму

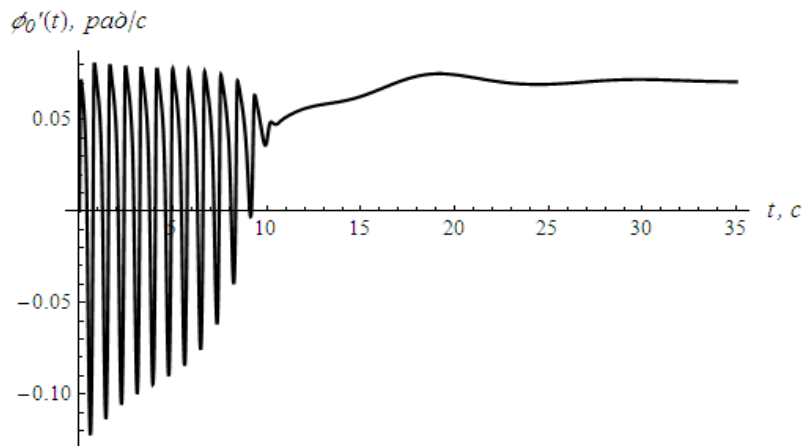
Розрахунки побудованої математичної моделі механізму повороту стрілового крана (3.1), які представлені у вигляді графічних залежностей

(рис. 3.1-3.5) [1,9], проводились у програмному середовищі «Wolfram Mathematica 9» за наступними параметрами механізму повороту стрілового крана:

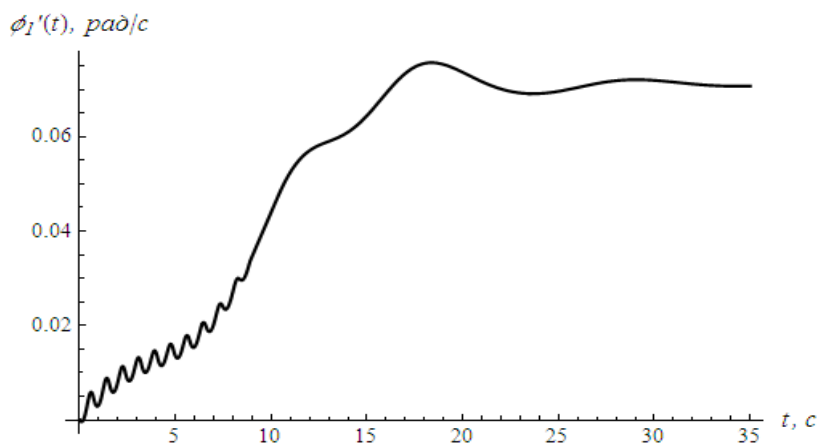
$$I_0 = 71626,115 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad I_1 = 4920738,85 \text{ кг} \cdot \text{м}^2; \quad C = 6626669,045 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад};$$

$$m = 2000 \text{ кг}; \quad r = 40 \text{ м}; \quad l = 30 \text{ м}; \quad M_{кр} = 85 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad M_H = 36,8 \text{ Н} \cdot \text{м}; \quad u = 1355,2; \quad \eta = 0,86;$$

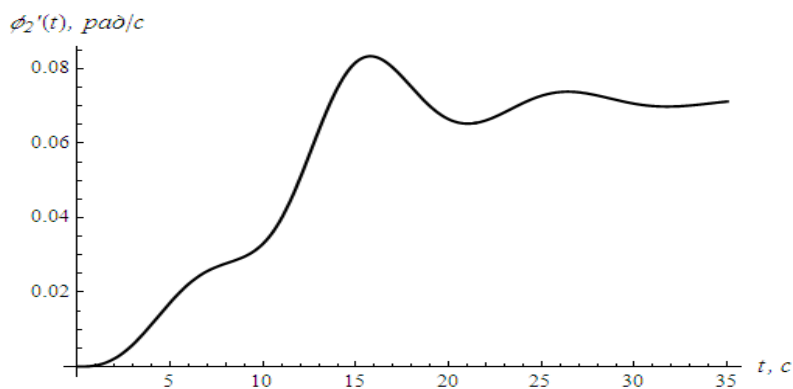
$$\omega_0 = 104,67 \text{ рад} / \text{с}; \quad \omega_H = 95,04 \text{ рад} / \text{с}; \quad \lambda = 2,8; \quad g = 9,81 \text{ м} / \text{с}^2$$



а)

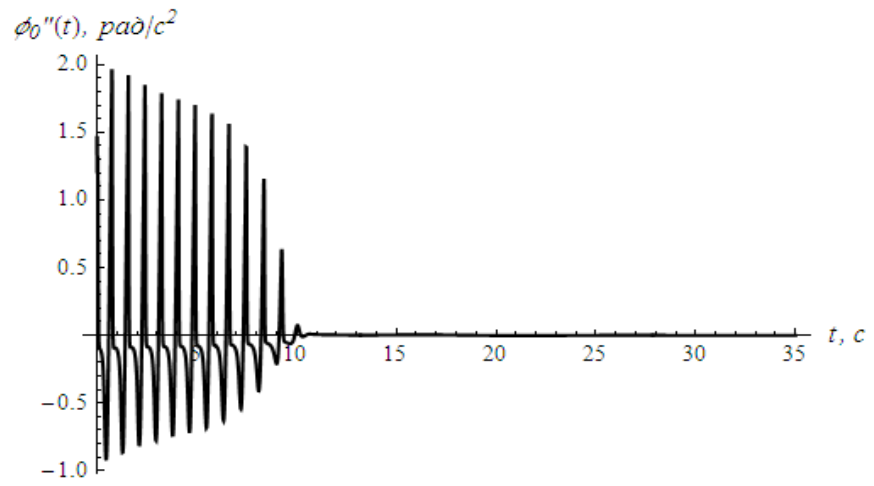


б)

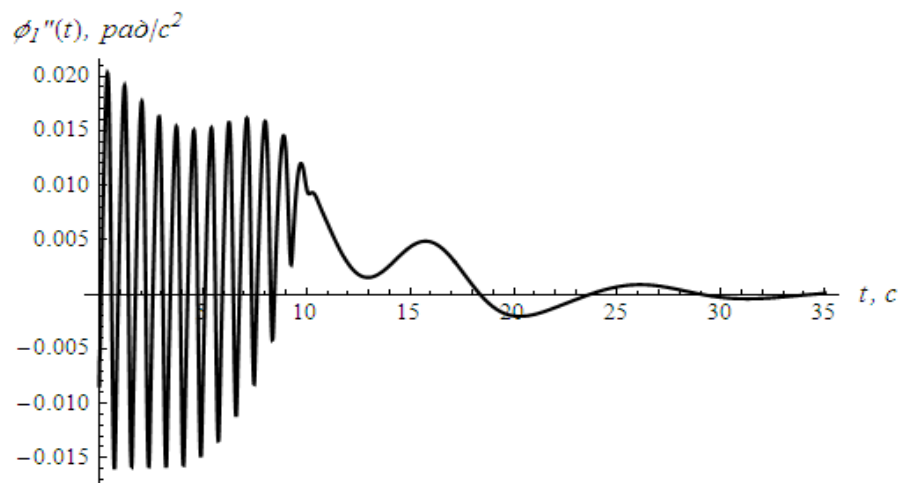


в)

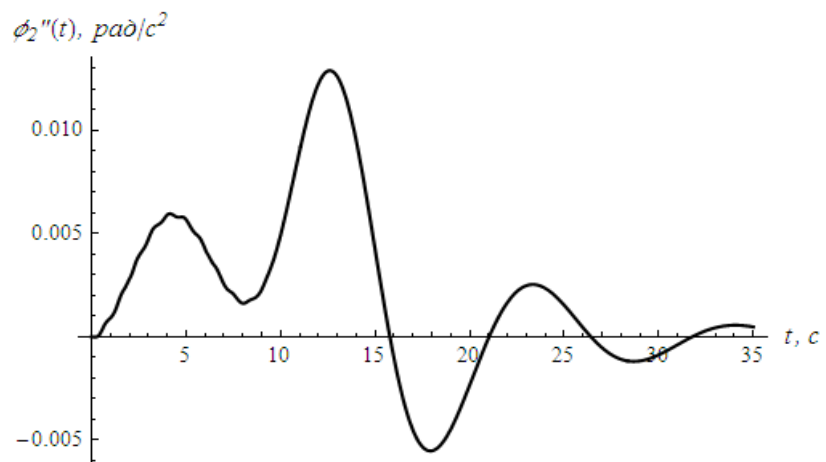
Рис. 3. 3. Графіки зміни кутової швидкості: а) – приводу; б) – поворотної башти; в) – вантажу.



а)



б)



в)

Рис. 3.4 . Графіки зміни кутового прискорення: а) – приводу; б) – поворотної башти; в) – вантажу.

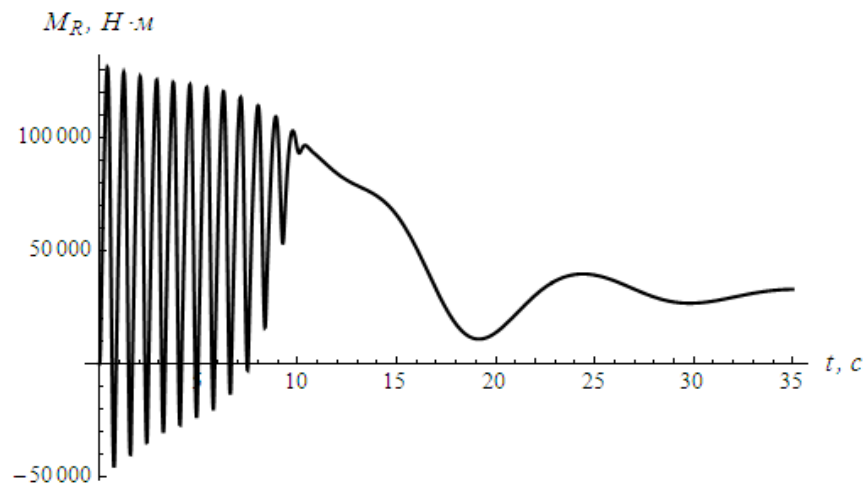


Рис. 3.5. Графік зміни пружного моменту в приводі від часу

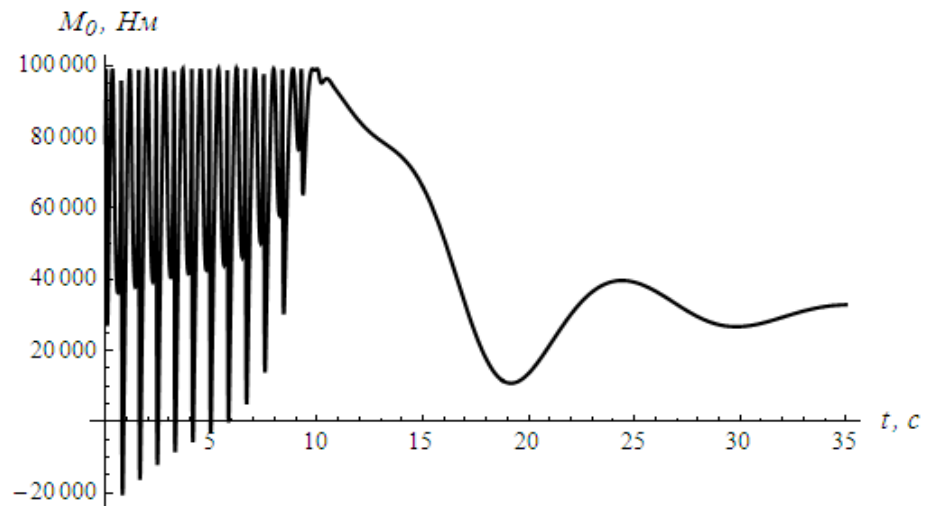


Рис. 3.6. Графік зміни рушійного моменту приводу від часу

Проаналізуємо отримані графічні залежності кінематичних характеристик при тривалості руху $t=35c$. Графіки функції кутової швидкості: а) – приводу; б) – поворотної башти; в) – вантажу (рис. 3.3) показують, що система виходить на усталений рух починаючи з $t = 25c$, а початок руху характеризується значними коливальними процесами кутової швидкості приводу механізму повороту, поворотна башта плавніше набирає швидкість, однак коливні процеси присутні на стадії розгону, вантаж також набирає плавно швидкість і слідує за стріловою системою.

Графіки кутового прискорення: а) – приводу; б) – поворотної башти; в) – вантажу (рис. 3.4), характеризуються значними коливними процесами на початку руху, котрі в момент зародження у 2 рази перевищують усталені значення, які в приводі стабілізуються починаючи з $t \approx 12c$, а прискорення поворотної частини стабілізується лише на $t \approx 25c$, а вантаж в свою чергу маючи відносно невелику частоту коливань, яка становить $t \approx 5c^{-1}$, має значну амплітуду відхилень, яка з часом загасає.

Аналізуючи графічну залежність зміни динамічного зусилля в пружному елементі (рис. 3.5), видно, що значні динамічні навантаження набирають силу на початку руху системи. Коливні процеси в пружному елементі досягають свого пікового значення $M_{R\max} \cong 130000 \text{ Н} \cdot \text{м}$ і протягом $t = 10 \text{ с}$ незначно зменшуються. Потім протягом наступних $t = 10 \text{ с}$ момент плавно зменшує своє значення і наближається до номінального, яке становить $M_R \cong 30000 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Отже динамічні зусилля в пружному елементі в 4,3 рази перевищують номінальні навантаження.

Рушійний момент на валу приводного електродвигуна, зведений до осі повороту крана (рис. 3.6), має схожий характер зміни з моментом, що описує динамічне зусилля в пружному елементі (рис. 3.5). Відзначимо, що максимальне значення приведенного моменту у 2,9 разів перевищує усталене значення.

РОЗДІЛ 4. ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ ПУСКУ МАХАНІЗМУ ПОВОРОТУ

4.1. Оптимізація режиму пуску механізму повороту стрілового крана за критерієм середньоквадратичного значення пружного

Для проведення досліджень прийнято тримасову динамічну модель механізму повороту крана (рис. 4.1) [21].

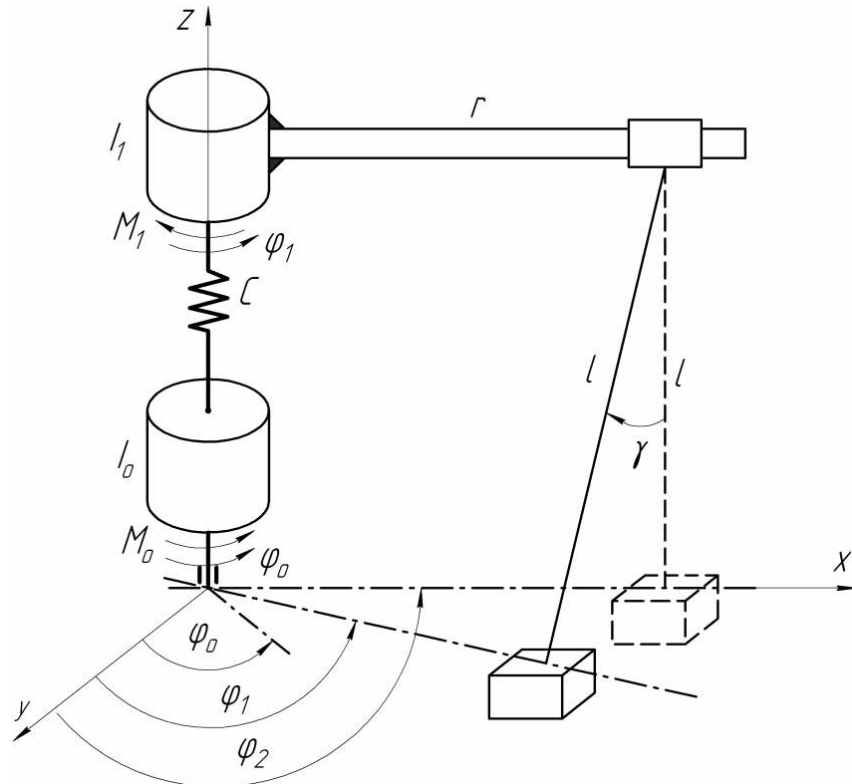


Рис. 4.1. Динамічна модель механізму повороту стрілового крана

В цій моделі прийняті наступні припущення:

- підвішений вантаж подібний до вільно висячого маятника;
- припускаємо відцентрові коливання вантажу в порівнянні з радіальними незначними і їх дію не враховуємо;
- усі елементи механізму повороту вважаємо абсолютно твердими тілами, окрім передавального механізму приводу.

Перераховані припущення дають досить малу похибку, що підтверджується практичними дослідженнями конструкцій механізму повороту реальних кранів [34].

Для динамічної моделі, представленої на рис. 4.1, отримані рівняння руху, які складаються з трьох диференціальних рівнянь другого порядку:

$$\begin{cases} I_o \ddot{\varphi} = M_o - C(\varphi_o - \varphi_1); \\ I_1 \ddot{\varphi}_1 = C(\varphi_o - \varphi_1) - mr^2 g(\varphi_1 - \varphi_2) / l - M_1; \\ \ddot{\varphi}_2 = g(\varphi_1 - \varphi_2) / l, \end{cases} \quad (4.1)$$

З рівнянь системи (4.1) знаходимо кінематичні характеристики башти, виражені через характеристики вантажу:

$$\begin{cases} \varphi_1 = \varphi_2 + \frac{l}{g} \ddot{\varphi}_2; \\ \dot{\varphi}_1 = \dot{\varphi}_2 + \frac{l}{g} \ddot{\varphi}_2; \\ \ddot{\varphi}_1 = \ddot{\varphi}_2 + \frac{l}{g} \cdot \varphi_2. \end{cases} \quad (IV) \quad (4.2)$$

Тоді пружний момент в привідному механізмі визначається за такою формулою

$$M_{o1} = I_1 \frac{l}{g} \cdot \varphi_2 + (I_1 + mr^2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + M_1. \quad (4.3)$$

За критерій оптимізації процесу пуску механізму повороту крана прийнято середньоквадратичне значення пружного моменту в приводі, оскільки саме цей момент в значній мірі визначає динамічні навантаження [34]:

$$M_{o1ck} = \left[\begin{array}{cc} 1 & t_1 \\ t_1 & 0 \end{array} \int M_{o1}^2 dt \right]^{1/2} \rightarrow \min; \quad (4.4)$$

$$f = M_{o1}^2 = \left[I_1 \frac{l}{g} \cdot \overset{(IV)}{\varphi}_2 + (I_1 + mr^2) \cdot \ddot{\varphi}_2 + M_1 \right]^2. \quad (4.5)$$

Умова мінімуму критерію (4.4) з урахуванням виразу (4.5) визначається із рівняння Ейлера-Пуассона:

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi_2} - \frac{d}{dt} \frac{\partial f}{\partial \dot{\varphi}_2} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial \ddot{\varphi}_2} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\partial f}{\partial \overset{(IV)}{\ddot{\varphi}_2}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial f}{\partial \overset{(IV)}{\varphi}_2} = 0. \quad (4.6)$$

Для механізму повороту крана складові рівняння (4.6) мають наступний вигляд:

$$\frac{\partial f}{\partial \varphi_2} = \frac{\partial f}{\partial \dot{\varphi}_2} = \frac{\partial f}{\partial \ddot{\varphi}_2} = 0;$$

$$\frac{\partial f}{\partial \overset{(IV)}{\ddot{\varphi}_2}} = 2(I_1 + mr^2) \left[I_1 \frac{l}{g} \overset{(IV)}{\varphi}_2 + (I_1 + mr^2) \overset{(IV)}{\ddot{\varphi}_2} + M_1 \right];$$

$$\frac{\partial f}{\partial \overset{(IV)}{\varphi}_2} = 2I_1 \frac{l}{g} \left[I_1 \frac{l}{g} \overset{(IV)}{\varphi}_2 + (I_1 + mr^2) \overset{(IV)}{\ddot{\varphi}_2} + M_1 \right];$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \frac{\partial f}{\partial \overset{(IV)}{\ddot{\varphi}_2}} = 2(I_1 + mr^2) \left[I_1 \frac{l}{g} \overset{(VI)}{\varphi}_2 + (I_1 + mr^2) \overset{(IV)}{\varphi}_2 \right];$$

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{\partial f}{\partial \varphi_2} = 2I_1 \frac{l}{g} \left[I_1 \frac{l}{g} \varphi_2^{(VIII)} + (I_1 + mr^2) \varphi_2^{(VI)} \right]. \quad (4.7)$$

Після підстановки виразів (4.7) в рівняння (4.6) маємо

$$\left(I_1 \frac{l}{g} \right)^2 \varphi_2^{(VIII)} + 2I_1 \frac{l}{g} (I_1 + mr^2) \varphi_2^{(VI)} + (I_1 + mr^2)^2 \varphi_2^{(IV)} = 0. \quad (4.8)$$

Розділяємо всі члени рівняння (4.8) на коефіцієнт біля найстаршої похідної, в результаті чого отримуємо

$$\varphi_2^{(VIII)} + 2 \cdot k^2 \cdot \varphi_2^{(VI)} + k^4 \cdot \varphi_2^{(IV)} = 0, \quad (4.9)$$

де $k = \sqrt{\frac{(I_1 + mr^2)}{I_1 l/g}}$ – частота власних коливань системи.

Для розв'язку диференціального рівняння (4.9) складаємо характеристичне рівняння:

$$r^4 \cdot (r^4 + 2 \cdot k^2 \cdot r^2 + k^4) = 0; \quad (4.10)$$

$$r^4 = 0 \rightarrow r_1 = r_2 = r_3 = r_4 = 0; \quad (4.11)$$

Зробимо заміну

$$r^2 = p. \quad (4.12)$$

Тоді

$$p^2 + 2 \cdot k^2 \cdot p + k^4 = 0;$$

$$p_{1,2} = -k^2 \pm \sqrt{k^4 - k^4} = -k^2;$$

$$r_{5,6} = \sqrt{-k^2} = \pm k_i, \quad (4.13)$$

$$r_{7,8} = \sqrt{-k^2} = \pm k_i, \quad (4.14)$$

Відповідно до розв'язку (4.11), (4.13) і (4.14) характеристичного рівняння (4.10) розв'язок диференціального рівняння (4.9) має вигляд

$$\varphi_2 = C_1 + C_2 t + C_3 t^2 + C_4 t^3 + (C_5 + C_6 t) \cdot \sin kt + (C_7 + C_8 t) \cdot \cos kt \quad (4.15)$$

де C_1, C_2, \dots, C_8 – постійні, які визначаються з крайових умов руху. Для процесу пуску ці умови мають вигляд:

$$\begin{cases} t = 0: & \varphi_2 = \varphi_1 = 0; \quad \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1 = 0; \\ t = t_1: & \varphi_2 = \varphi_1 = \omega_y t_1 / 2; \quad \dot{\varphi}_2 = \dot{\varphi}_1 = \omega_y. \end{cases} \quad (4.16)$$

Виразимо крайові умови φ_1 і $\dot{\varphi}_1$ через координату φ_2 та її похідні за часом. Для цього скористаємося виразами (4.2), які дають:

$$\begin{cases} t = 0: & \varphi_2 = 0, \quad \dot{\varphi}_2 = 0, \quad \ddot{\varphi}_2 = 0, \quad \ddot{\ddot{\varphi}}_2 = 0; \\ t = t_1: & \varphi_2 = \omega_y t_1 / 2; \quad \dot{\varphi}_2 = \omega_y, \quad \ddot{\varphi}_2 = 0, \quad \ddot{\ddot{\varphi}}_2 = 0. \end{cases} \quad (4.17)$$

Для визначення постійних C_1, C_2, \dots, C_8 візьмемо похідні від залежності (4.15) включно до третього порядку, в результаті чого отримаємо:

$$\begin{aligned}\dot{\varphi}_2 &= C_2 + 2 \cdot C_3 t + 3 \cdot C_4 t^2 + (C_6 - C_7 k - C_8 kt) \cdot \sin kt + (C_8 + C_5 k + C_6 kt) \cdot \cos kt; \\ \ddot{\varphi}_2 &= 2 \cdot C_3 + 6 \cdot C_4 t - (2C_8 + C_5 k + C_6 kt) \cdot k \cdot \sin kt + (2C_6 - C_7 k - C_8 kt) \cdot k \cdot \cos kt; \\ \ddot{\varphi}_2 &= 6 \cdot C_4 - (3C_6 - C_7 k - C_8 kt) \cdot k^2 \sin kt - (3C_8 + C_5 k + C_6 kt) \cdot k^2 \cdot \cos kt\end{aligned}\quad (4.18)$$

Після підстановки крайових умов (4.17) в залежності (4.15) і (4.18) будемо мати:

$$\left\{ \begin{array}{l} C_1 + C_7 = 0; C_2 + C_8 + C_5 k = 0; \\ 2C_3 + (2C_6 - C_7 k)k = 0; 6C_4 - (3C_8 + C_5 k)k^2 = 0; \\ C_1 + C_2 t_1 + C_3 t_1^2 + C_4 t_1^3 + (C_5 + C_6 t_1) \sin kt_1 + \\ + (C_7 + C_8 t_1) \cos kt_1 = \frac{\omega_y t_1}{2}; \\ C_2 + 2C_3 t_1 + 3C_4 t_1^2 + C_4 t_1^3 + (C_6 - C_7 k - C_8 kt_1) \cdot \\ \cdot \sin kt_1 + (C_8 + C_5 k + C_6 kt_1) \cos kt_1 = \omega_y; \\ 2C_3 + 6C_4 t_1 - (2C_8 + C_5 k + C_6 kt_1) \cdot \\ \cdot k \sin kt_1 + (2C_6 - C_7 k - C_8 kt_1)k \cos kt_1 = 0; \\ 6C_4 - (3C_6 - C_7 k - C_8 kt_1)k^2 \sin kt_1 - \\ - (3C_8 + C_5 k + C_6 kt_1)k^2 \cos kt_1 = 0.\end{array} \right. \quad (4.19)$$

Розв'язавши систему (4.19), знайдемо постійні C_1, C_2, \dots, C_8 . Підставивши їх в (4.15) та (4.18), отримаємо оптимальний режим повороту крана. Після цього за допомогою залежності (4.2) може бути визначений оптимальний режим повороту крана.

З системи (4.1) може бути визначений режим руху привідного механізму, який відповідає оптимальному режиму повороту крана:

$$\left\{ \begin{array}{l} \varphi_o = \varphi_1 + \frac{I_1}{C} \ddot{\varphi}_1 + \frac{mr^2}{C} \ddot{\varphi}_2 + \frac{M_1}{C}; \\ \dot{\varphi}_o = \dot{\varphi}_1 + \frac{I_1}{C} \dot{\ddot{\varphi}}_1 + \frac{mr^2}{C} \dot{\ddot{\varphi}}_2; \\ \ddot{\varphi}_o = \ddot{\varphi}_1 + \frac{I_1}{C} \ddot{\varphi}_1 + \frac{mr^2}{C} \ddot{\varphi}_2. \end{array} \right. \quad (4.20)$$

Для механізму повороту стрілової системи крана QTZ – 80 з параметрами $I_o = 71626,115 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $I_1 = 4920738,85 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$; $C = 6626669,045 \text{ Н} \cdot \text{м} / \text{рад}$; $m = 2000 \text{ кг}$; $r = 40 \text{ м}$; $l = 30 \text{ м}$; $M_{кр} = 85 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $M_n = 36,8 \text{ Н} \cdot \text{м}$; $u = 1355,2$; $\eta = 0,86$; $\omega_o = 104,67 \text{ рад} / \text{с}$; $\omega_n = 95,04 \text{ рад} / \text{с}$; $\lambda = 2,8$; $g = 9,81 \text{ м} / \text{с}^2$ побудовано кінематичні характеристики повороту вантажу, крана та привідного механізму (рис. 4.2 - рис. 4.4), а також пружного та рушійного моментів приводу (рис. 4.5).

З побудованих графіків кінематичних характеристик приводу, поворотної башти та вантажу, а також пружного та рушійного моментів приводу, отриманих в результаті оптимізації за критерієм середньоквадратичного значення пружного моменту в приводі бачимо, що отриманий режим руху приводить до зниження динамічних навантажень в приводі та металоконструкції за рахунок того, що виконується плавний рух протягом перехідного процесу. Отриманий оптимальний закон керування буде у подальшому реалізований і експериментальним шляхом перевіреним для механізму повороту стрілового крана.

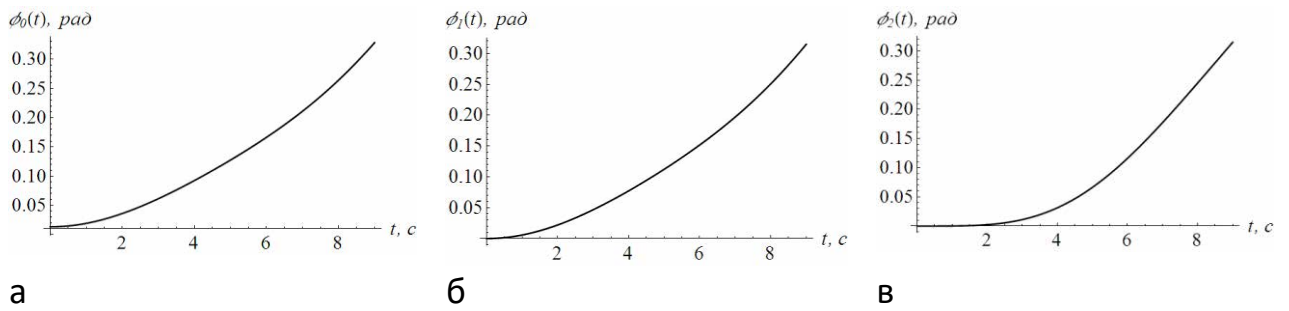


Рис. 4.2. Графіки зміни кутових координат ланок крана: а – приводу;
б – поворотної башти; в – вантажу

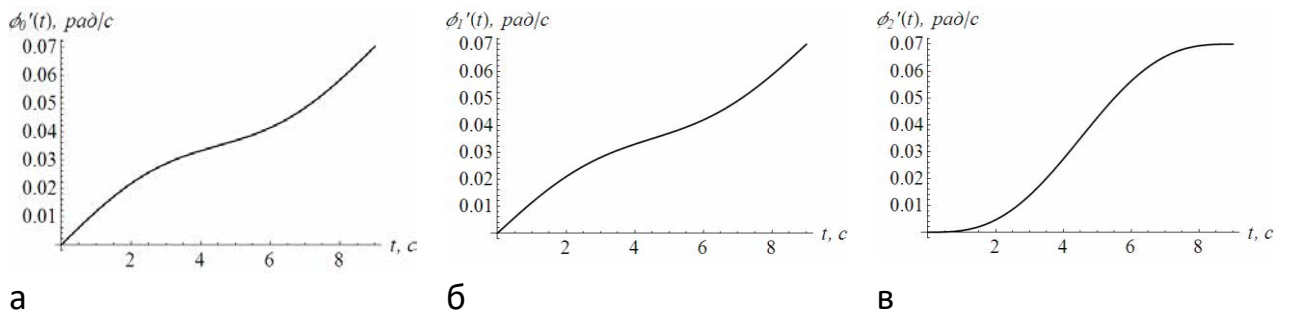


Рис. 4.3. Графіки зміни кутових швидкостей ланок крана: а – приводу;
б – поворотної башти; в – вантажа

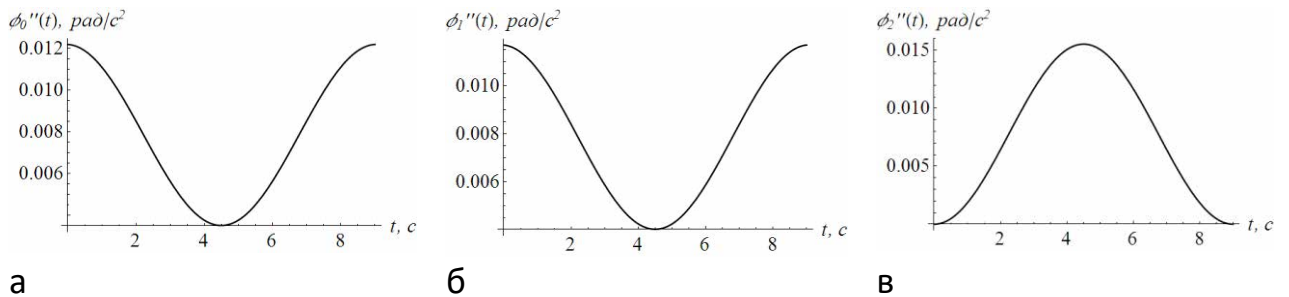


Рис. 4.4. Графіки зміни кутових прискорень ланок крана: а – приводу;
б – поворотної башти; в – вантажу

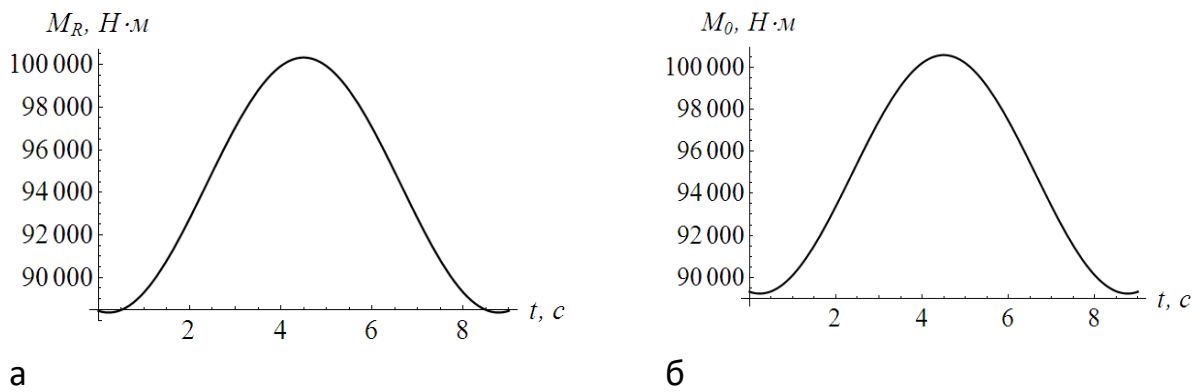


Рис. 4.5. Графіки зміни пружного моменту (а) та рушійного моменту (б) при оптимальному режимі пуску

В результаті проведеного дослідження на основі тримасової динамічної моделі та математичної моделі руху стрілового крана була проведена оптимізація перехідних режимів руху за критерієм середньоквадратичного значення пружного моменту в приводі.

Встановлено, що задачу зменшення коливань вантажу на гнучкому підвісі доцільно вирішувати шляхом варіаційного числення, оскільки знайдена керуюча дія на механізм повороту задовольняє умови поставленої задачі.

Обраний критерій оптимізації режиму руху механізму повороту дозволяє зменшити динамічні навантаження в приводі та конструкції за рахунок плавного прикладання пускового моменту при перехідних режимах руху. Реалізувати отримані оптимальні закони руху можна за допомогою мехатронної системи керування механізмом повороту стрілового крана.

РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Загальні вимоги до охорони праці на об'єктах з експлуатації стрілових кранів

Завдання охорони праці – забезпечення безпечних, нешкідливих і сприятливих умов праці через вирішення багатьох складних завдань. Вирішальне значення в розв'язанні цих завдань має науково-технічний прогрес. Використання досягнень науки та техніки сприяє підвищенню рівня безпеки праці, культури та організації виробництва, дозволяє полегшити працю, підсилити її привабливість[27].

Аналіз виробничих травм доводить, що вони виникають головним чином внаслідок втрати міцності та надійності промислових агрегатів, засобів захисту, порушень правил безпечної експлуатації та ряду інших організаційних і технічних факторів.

Охорона праці при експлуатації стрілових кранів є надзвичайно важливим аспектом безпеки на будь-якому будівельному майданчику або промисловому підприємстві. Недотримання правил може призвести до серйозних травм і навіть смертельних випадків.[28]

Вимоги безпеки до підйомного обладнання є сукупністю правил та стандартів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час використання такого обладнання. Ці вимоги охоплюють широкий спектр аспектів, від проектування та виробництва до експлуатації та технічного обслуговування.

Чому так важлива безпека підйомного обладнання?

Збереження життя та здоров'я людей: Неправильна експлуатація підйомного обладнання може призвести до серйозних травм, інвалідності та навіть смерті.

Запобігання матеріальним збиткам: Порушення правил безпеки може спричинити пошкодження обладнання, будівель та інших матеріальних цінностей.

Додержання законодавства: Дотримання вимог безпеки є обов'язковим згідно з чинним законодавством.

Основні вимоги безпеки[28]

Проектування та виробництво:

Міцність конструкцій: Обладнання має бути спроектоване з запасом міцності, щоб витримувати передбачувані навантаження.

Матеріали: Використання матеріалів, які відповідають вимогам безпеки та мають необхідну міцність і довговічність.

Захисні пристрої: Наявність таких пристроїв, як обмежувачі ходу, кінцеві вимикачі, аварійні кнопки тощо.

Монтаж та встановлення:

Дотримання інструкцій: Монтаж має здійснюватися відповідно до інструкцій виробника.

Перевірка міцності кріплень: Після монтажу необхідно провести ретельну перевірку міцності всіх кріплень.

Заземлення: Електричне обладнання має бути правильно заземлено.

Експлуатація:

Кваліфікований персонал:[29] Обслуговування обладнання повинні здійснювати тільки кваліфіковані працівники, які пройшли відповідний інструктаж.

Регулярний технічний огляд: Обладнання має підлягати регулярним технічним оглядам для виявлення та усунення несправностей.

Дотримання правил безпеки: Працівники, які працюють з підйомним обладнанням, повинні суворо дотримуватися правил безпеки.

Маркування:[27]

Вантажопідйомність: На обладнанні має бути чітко вказана його вантажопідйомність.

Інші параметри: Можуть бути додаткові маркування, що вказують на особливості експлуатації.

Захисні пристрої:

Огородження: Рухомі частини обладнання повинні бути огорожені.

Блокування: Системи блокування мають запобігати випадковому запуску або зупинці обладнання.

Сигналізація: Звукові та світлові сигнали мають попереджати про небезпеку.

Основні види підйомного обладнання та їх особливості

Вантажопідйомні крани: Мостові, козлові, баштові, автомобільні та інші.

Підйомники: Будівельні, щоглові, платформові.

Талі: Електричні, ручні.

Лебідки: Для підйому вантажів та людей.

Відповідальність за забезпечення безпеки

Роботодавець: Обов'язковий до забезпечення безпечних умов праці, проведення інструктажів, забезпечення обладнанням та інструментами.

Працівники: Повинні дотримуватися правил безпеки, пройти відповідний інструктаж і повідомляти про будь-які виявлені несправності.

Постачальники обладнання: Відповідають за якість та безпеку виготовленого обладнання.

Нормативно-правова база[28-34]

Вимоги безпеки до підйомного обладнання визначаються національними стандартами, правилами та іншими нормативними документами.

Дотримання вимог безпеки при експлуатації підйомного обладнання є запорукою безпеки праці та запобігання нещасним випадкам.

Основні вимоги, які необхідно дотримуватися:[30]

Допуск до роботи

Медичний огляд: Кожен працівник, який бере участь у роботах зі стріловим краном, повинен пройти періодичний медичний огляд. Це необхідно для оцінки його фізичного та психічного стану, придатності до виконання даної роботи.

Підготовка та інструктаж: Працівники повинні пройти спеціальну підготовку та інструктаж з охорони праці, який включає в себе теоретичну

частину (вивчення правил, нормативних документів) та практичну (навчання на симуляторах або реальному крані).

Кваліфікація: Машиністи кранів повинні мати відповідну кваліфікацію та допуск до управління конкретним типом крана.

Технічний стан крана[31]

Періодичні огляди: Кран повинен регулярно проходити технічний огляд для виявлення та усунення несправностей.

Обслуговування: Всі системи крана повинні бути в належному технічному стані і регулярно обслуговуватися.

Маркування: На крані мають бути чіткі маркування, що вказують на його вантажопідйомність, дату наступного огляду та інші важливі параметри.

Організація робіт

Робоча зона: Робоча зона крана повинна бути огорожена і позначена відповідними знаками безпеки.

Співробітництво: Машиніст крана повинен чітко взаємодіяти з іншими працівниками на майданчику, використовуючи встановлені сигнали.

Погода: Роботи з краном забороняються під час негоди (сильний вітер, ожеледь, гроза тощо).

Вантажі: Вантажі повинні бути правильно строповані і закріплені. Маса вантажу не повинна перевищувати вантажопідйомність крана.

Захисні засоби[29]

Індивідуальні засоби захисту: Працівники, які працюють з краном, повинні використовувати індивідуальні засоби захисту (каска, рукавички, захисне взуття тощо).

Колективні засоби захисту: На майданчику повинні бути встановлені колективні засоби захисту (огороження, сигналізація тощо).

Основні нормативні документи, які регулюють правила безпечної експлуатації кранів:

НПАОП 0.00-1.01-07: Правила будови і безпечної експлуатації вантажопідіймальних кранів.

Дотримання вищезазначених вимог є запорукою безпечного проведення робіт з використанням стрілових кранів.

Будь-яке відхилення від правил може призвести до нещасних випадків. Безопасність на робочому місці - це відповідальність кожного працівника.

Правила поширюються на всі суб'єкти господарювання, незалежно від їхніх організаційно-правових форм та власності, які займаються монтажем, демонтажем, експлуатацією, модифікацією, технічним обслуговуванням, ремонтом, а також перевіркою технічного стану вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв та відповідного обладнання. Ці правила визначають мінімально допустимі норми безпеки під час використання такого обладнання.

До сфери дії цих правил належать вантажопідіймальні крани всіх типів, крани-екскаватори, призначені для роботи з гаком або магнітом, талі, кранові колії, кранові підйомники, лебідки, колиски, вантажозахоплювальні органи, тара (за винятком спеціальної тари в металургії, морських та річкових портах), мобільні підйомники, будівельні підйомники, щоглові підйомники, скіпові підйомники, спеціалізовані перевантажувальні комплекси, підіймальні вантажні платформи, підйомні платформи для осіб з інвалідністю, приводні засоби підмоцвання та інші стаціонарні підіймальні пристрої.

Водночас правила не поширюються на лісозаготівельні крани-маніпулятори, маніпулятори в робототехнічних системах, крани та машини для шахт, морських та річкових суден, екскаватори з землерийним обладнанням або грейфером, крани для спеціального навісного обладнання, вантажопідіймальні машини спеціального призначення, монтажні поліспасти, пожежні підйомники та обладнання військового призначення.

Виконання робіт підвищеної небезпеки та експлуатація обладнання підвищеної небезпеки повинні здійснюватися відповідно до загальних вимог законодавства про охорону праці.[33]

Обладнання, що надається працівникам та використовується ними за призначенням, має бути технічно справним і відповідати:

1) вимогам технічних регламентів, якщо обладнання виготовлене після дати набуття обов'язкового застосування відповідних технічних регламентів, що поширюються на це обладнання;

2) щонайменше загальним мінімальним вимогам безпеки до обладнання, зазначеним у главі 2 цього розділу, в розділах VIII-X цих Правил і в нормативно-правових актах з охорони та гігієни праці, якщо обладнання виготовлене до дати набуття обов'язкового застосування відповідних технічних регламентів, що поширюються на це обладнання.

Якщо обладнання, що надане працівнику та використовується ним за призначенням, не відповідає загальним мінімальним вимогам безпеки, зазначеним у розділах VIII-X цих Правил і в нормативно-правових актах з охорони та гігієни праці, таке обладнання має бути щонайменше приведене у відповідність не пізніше ніж через чотири роки після набрання чинності цими Правилами. Протягом цього строку роботодавець вживає необхідних заходів щодо безпечного використання працівниками такого обладнання.

Роботодавцю необхідно вживати необхідних заходів для забезпечення виконання робіт обладнанням відповідно до вимог безпеки, зазначених, у нормативно-правових актах з охорони та гігієни праці та в експлуатаційних документах на конкретне обладнання, виробник якого надає разом з обладнанням (настанова з експлуатації; журнал нагляду чи його зміст, наведений у настанові з експлуатації, а також за потреби інструкція з технічного обслуговування; інструкція з монтажу, пуску, регулювання та обкатки тощо).

Роботодавець повинен вживати необхідних заходів для забезпечення того, щоб протягом строку своєї експлуатації обладнання утримувалося на рівні відповідно до вимог експлуатаційних документів на обладнання, наприклад, настанови (інструкції) з експлуатації, інструкції з технічного обслуговування, інструкції з монтажу, пуску, регулювання та обкатки.

Роботодавцю необхідно здійснювати моніторинг і оцінку технічного стану обладнання шляхом проведення перевірок (первинний, періодичний, позачерговий технічні огляди, експертне обстеження).

Основні види небезпеки, небезпечних ситуацій та небезпечних випадків, що можуть виникнути під час нормальної експлуатації та у разі порушення умов нормальної експлуатації обладнання і які становлять небезпеку для обслуговувального і ремонтного персоналу.

5.2. Види потенційних небезпек при експлуатації стрілового крана

Використання стрілових кранів пов'язане з багатьма небезпеками, зокрема механічними, тепловими та електричними.[33]

Механічні небезпеки, пов'язані з підйомними операціями та обладнанням, можуть бути спричинені

- Падіння вантажу, зіткнення та перекидання обладнання
- недостатня стійкість обладнання
- Неконтрольовані моменти навантаження, перевантаження і перекидання вантажів;
- Неконтрольована амплітуда руху частин механізму або обладнання;
- Несподіваний або непередбачуваний рух вантажу;
- Невідповідні вантажозахоплювальні пристрої, обладнання або контейнери;
- Зіткнення між декількома кранами або машинами;
- Падіння працівників на вантажозахоплювальні пристрої, обладнання, контейнери або полози
- Сходження з рейок обладнання;
- Недостатня механічна міцність компонентів або деталей;
- Неправильна конструкція роликів або барабанів;

- Неправильний підбір ланцюгів, канатів, вантажозахоплювальних пристроїв, інструментів, контейнерів або полозів; Неправильне кріплення до обладнання (петлі);
- Необмежене опускання вантажу фрикційними гальмівними механізмами;
- Невідповідні умови встановлення, монтажу, демонтажу, регулювання, випробування, експлуатації, технічного обслуговування, ремонту, реконструкції та модернізації;
- Вплив вантажу на працівників (зіткнення з вантажем або противагою).

Механічні небезпеки включають компоненти обладнання; вантажі, що підлягають переміщенню, наприклад, геометрія (гострі леза, ріжучі елементи, деталі з гострими краями тощо); положення, маса, стійкість (позиційна енергія частин, здатних переміщатися під впливом ваги); маса і швидкість (переміщення частин під час контрольованої або неконтрольованої роботи тощо) маса і енергія), [29,34] прискорення, недостатня механічна міцність, що призводить до небезпечного виходу з ладу або руйнування, накопичення енергії всередині пристрою (еластичні елементи, рідини під тиском, газу, умови вакууму), порушення безпечних відстаней:

- Дроблення
- Розрізання;
- Ампутація.
- Захоплення, витягування або прикріплення частин одягу, кінцівок тощо;
- Розбризування рідини під високим тиском.
- Дестабілізація деталей;
- Послизання, спотикання та падіння (на обладнанні або поза ним).

Небезпека ураження електричним струмом
 Небезпека ураження електричним струмом може призвести до травми або смерті від ураження електричним струмом чи опіків, а також до падіння працівника (або падіння інструментів, предметів чи матеріалів) внаслідок несподіваного ураження електричним струмом:

- Дотик працівників до струмоведучих частин (прямий контакт);
- Працівники, які контактують зі струмоведучими частинами через несправність (непрямий контакт);
- наближення працівників до струмоведучих частин під високою напругою;
- Ізоляція, непридатна для використання за призначенням;
- Електростатичні процеси, такі як контакт працівника із зарядженими компонентами;
- Хімічні процеси, такі як коротке замикання та перевантаження;
- Удари блискавки.

Термічні небезпеки, що спричиняють опіки, обмороження або інші травми.

Контакт працівника з дуже гарячими або холодними предметами чи матеріалами (тиглі з розплавленим металом, що переміщуються краном, гарячі плити, що переміщуються роликівими конвеєрами).

- Полум'я або вибухи
- Випромінювання від джерел тепла
- Робота в гарячих або холодних виробничих умовах
- Шумовий вплив
- Довготривала втрата слуху
- Шум у вухах
- Втома, стрес тощо.
- Інші ефекти, наприклад, порушення рівноваги, погіршення концентрації уваги
- Інше

Небезпеки, пов'язані з вібрацією, можуть призвести до серйозних проблем зі здоров'ям (наприклад, розлади судин і нервової системи, порушення кровообігу, захворювання суглобів). Небезпеки, пов'язані з матеріалами і речовинами (та їх компонентами), що використовуються або виділяються працюючим краном і вантажами, які він переміщує. Вдихання, проковтування, контакт зі шкірою, очима та слизовими оболонками, а також проникнення

рідин, газів, аерозолів, парів і пилу є небезпечними для здоров'я обслуговуючого та ремонтного персоналу;

Пожежо- та вибухонебезпечність.

Небезпеки, що виникають через нехтування ергономічними вимогами та принципами при проектуванні обладнання:

Незручні робочі пози; надмірні або повторювані фізичні навантаження на організм працівника;

нехтування засобами індивідуального захисту;

недостатнє місцеве освітлення;

Психічне перевантаження, стрес тощо, що виникають під час робочих процесів, процесів управління обладнанням або його обслуговування в межах використання за призначенням;

помилки; неналежна поведінка працівників

Невідповідна конструкція, розташування або відображення контрольно-вимірювальних приладів;

Невідповідна конструкція або розташування контрольно-вимірювальних приладів.

Небезпеки, пов'язані з несподіваним пуском, перевищенням швидкості тощо через несправність або неправильну роботу контрольних пристроїв.

Несправність або неправильна робота системи управління;

Перебої в електропостачанні та відновлення електропостачання після перебоїв в електропостачанні;

Зовнішні впливи на електрообладнання;

Інші зовнішні впливи (наприклад, вага, вітер);

Помилки програмного забезпечення.

Помилки оператора обладнання (через недостатню адаптацію обладнання до здібностей і навичок оператора).

Небезпеки, пов'язані з помилками (дефектами) при складанні або монтажі обладнання.

Небезпеки, пов'язані з несправностями під час експлуатації:

Втомне руйнування;

Неприпустима величина деформації;

Перевтома;

корозія.

Небезпеки, пов'язані з падінням предметів (наприклад, інструментів, частин обладнання, предметів обслуговування, обслуговуючого персоналу).

Небезпеки, пов'язані з поступальними рухами механізму, машини або візка:

Рух під час роботи двигуна;

Рух, коли оператор не сидить на місці;

Рух, коли всі компоненти або деталі не закріплені надійно;

Надмірно високі швидкості механізмів, машин або візків, якими керують з рівня землі;

Надмірна вібрація під час руху (крана, стріли або вантажу);

Недостатня здатність сповільнити, вимкнути, зупинити або утримати обладнання.

Небезпеки, пов'язані з робочим місцем оператора машини (включаючи кабінку):

Падіння при вході або виході з робочого місця;

Викиди газу або нестача кисню на робочому місці;

Пожежа (займистість в кабінці, відсутність засобів пожежогасіння);

Механічні небезпеки на робочому місці (контакт з колесами, зіткнення, падіння предметів, потрапляння предметів всередину, пошкодження деталей, що швидко обертаються, контакт працівників з деталями або частинами обладнання);

Погана видимість з робочого місця;

Недостатнє освітлення

Незручне розташування сидіння;

Шум на робочому місці;

Вібрація на робочому місці;

Неадекватні процедури евакуації або аварійні виходи.
Небезпеки, пов'язані з системами управління
Невідповідне розташування контрольних пристроїв;
Неправильна конструкція контрольних пристроїв; Неправильна експлуатація контрольних пристроїв.

Супутні небезпеки.

Джерела та передача енергії;

Двигуни та акумулятори;

Передача енергії між компонентами обладнання;

Підключення та тяга Небезпеки, пов'язані з третіми особами.

Несанкціонований запуск або експлуатація;

Відсутність або неадекватність візуальних або звукових попереджувальних сигналів.

Небезпеки, пов'язані з природними явищами

Вітрове навантаження

Снігові навантаження

Лід і льодовики

Навантаження від землетрусів

розряди блискавки

Неадекватні інструкції з експлуатації та охорони праці для операторів.

Ризик впливу на працівників основних видів небезпек, що загрожують працівникам, які можуть виникнути за нормальних умов експлуатації та при недотриманні нормальних умов експлуатації обладнання, повинен бути усунутий або зведений до мінімуму шляхом застосування профілактичних заходів, спрямованих на усунення передбачуваних ризиків і забезпечення безпеки під час експлуатації обладнання.

5.3. Технічні заходи з безпеки при роботі крана

Технічні заходи безпеки при роботі крана – це сукупність заходів, спрямованих на забезпечення безпечних умов праці під час експлуатації

кранового обладнання. Вони охоплюють широкий спектр заходів, починаючи від проектування та виробництва кранів і закінчуючи їх експлуатацією та технічним обслуговуванням.

Вимоги щодо монтажу та демонтажу обладнання:

Монтаж, налагодження та демонтаж вантажопідіймального обладнання повинні виконуватися згідно з вимогами правил безпеки та проектом виконання робіт (ПВР). Проект враховує документацію виробника, інструкції з монтажу та експлуатації. Якщо обладнання є серійним або самовстановлюється, для його монтажу можуть використовуватися типові ПВР або технологічні карти.

Перед початком монтажу підрядник повинен перевірити металеві конструкції, механізми та кріпильні вироби на відповідність технічній документації. За результатами огляду складається акт, який підписується виконавцями та затверджується керівником організації.

Фундамент для стаціонарних кранів встановлюється за проектною документацією, яка має враховувати вимоги до встановлення обладнання. Документи на приховані роботи зберігаються разом з проектом протягом усього часу експлуатації крана.

Після завершення монтажу та налагодження обладнання складається акт, який підтверджує відповідність робіт вимогам документації. В акті зазначаються: інформація про підрядника, дані про обладнання, використані матеріали, деталі про зварювання та висновки про відповідність робіт. Такі акти складаються кожного разу при встановленні обладнання на новому місці.

У випадках, коли експлуатаційна документація виробника обладнання не містить вимог щодо його встановлення або ці вимоги є недостатніми, застосовуються положення, наведені в цьому розділі.

Проектна документація має визначати порядок встановлення вантажопідіймальних кранів та машин у спорудах, на естакадах, відкритих робочих майданчиках та інших постійних місцях експлуатації.

Крани, талі, однорейкові візки та мобільні підйомники, оснащені гаком, повинні бути встановлені таким чином, щоб вантаж піднімався без підтягування,

коли вантажний канат знаходиться під нахилом. Також необхідно забезпечити піднімання вантажу на висоту не менше ніж 500 мм вище обладнання, штабелів вантажів, бортів рухомого складу або інших об'єктів на шляху переміщення. При керуванні краном або пересувним талем з підлоги обов'язково передбачається вільний прохід для оператора. Крани та машини з вантажопідіймальними магнітами не допускається встановлювати над виробничими або іншими приміщеннями.

Якщо крани, однорейкові візки чи талі використовуються для підйому вантажів через люк, розташований в перекритті між двома приміщеннями, необхідно облаштувати перила навколо люка, а також встановити світловий сигнал, що попереджає про переміщення вантажу.

Установлювати стаціонарні талі або лебідки над виробничими приміщеннями для підймання вантажів через люк заборонено.

При проектуванні установа кранів необхідно передбачити місця для розміщення вантажів, які будуть використовуватися під час статичних і динамічних випробувань. Якщо це неможливо, потрібно дотримуватися відповідних вимог для забезпечення безпеки.

Також висуваються вимоги щодо мінімальних відстаней між елементами вантажопідіймальних кранів і навколишніми конструкціями: до стелі, до предметів, що виступають, до людей, які можуть перебувати поблизу під час експлуатації обладнання. Це гарантує безпечні умови праці та переміщення вантажів. Зокрема, відстань між частинами крана і конструкціями споруди повинна бути не менше 100 мм, а між виступаючими частинами обладнання і стінами — не менше 60 мм.

Для підйомників з автоматичним або напівавтоматичним керуванням, де оператор не супроводжує процес підймання, необхідно передбачити додаткові заходи для запобігання зачепленню вантажем конструкцій споруди або іншого обладнання.

Вимоги до встановлення кранів для монтажних робіт та стрілових самохідних кранів також детально регламентуються, зокрема з огляду на

підготовку робочих майданчиків, ухил поверхні, тип ґрунту та інші характеристики.

Оператори, які експлуатують обладнання, повинні забезпечити, щоб забезпечувати утримання обладнання в належному стані та його безпечну експлуатацію шляхом організації нагляду, технічного обслуговування, технічного огляду та ремонту. Забезпечувати утримання обладнання в належному стані та його безпечну експлуатацію шляхом організації нагляду, технічного обслуговування, технічного огляду та ремонту

Забезпечувати утримання обладнання в належному стані та його безпечну експлуатацію шляхом організації нагляду, технічного обслуговування, технічного огляду та ремонту підтримувати в належному стані шляхом організації нагляду, технічного обслуговування, технічного огляду та ремонту або шляхом укладення договорів з іншими організаціями та відповідно до вимог організація повинна:

1) Призначити працівника для нагляду за технічним обслуговуванням та безпечною експлуатацією обладнання. Працівник повинен бути призначений;

2) Призначити працівника, відповідального за підтримання обладнання в належному стані; та призначити працівника, відповідального за утримання обладнання в належному стані;

3) Призначити працівника, відповідального за утримання обладнання в належному стані;

4) Призначити працівника, відповідального за утримання обладнання в належному стані

5) призначити працівника, відповідального за безпечну експлуатацію обладнання;

Призначення персоналу з технічного обслуговування та ремонту(водіїв, помічників, механіків, механіків, електриків, електриків, електриків помічників, механіків, електриків, електриків та наладчиків; працівників, які керують краном з землі /з підвішеного положення/ по радіо / або з фіксованого положення.[32-36] Або працівники, які керують підйомником/по радіо/або з фіксованого пульта.

Працівники, які керують підйомником з пульта управління, встановленого на робочій платформі; Працівники, які працюють з робочих платформ, таких як підйомники, люльки і т.д. тощо), стропальники;

Забезпечення необхідних умов для виконання відповідальними працівниками своїх обов'язків, забезпечити необхідні умови для виконання своїх обов'язків відповідальними працівниками; обслуговуючим та ремонтним персоналом; забезпечити виконання своїх обов'язків стропальниками;

Визначати процедури регулярного технічного обслуговування, налагодження та ремонту обладнання відповідно до інструкцій з експлуатації

Проведення технічних оглядів обладнання у встановлені строки у випадках, передбачених пунктом 1 частини 1 цієї статті, проводити технічний огляд обладнання у встановлений строк.

Забезпечувати проведення робіт відповідно до плану робіт або технічної карти на проведення робіт з обладнанням

Ознайомити відповідального працівника з цим правилом та забезпечити іншим працівникам вільний доступ до цього правила.

Працівникам, які відповідають за безпечне виконання робіт обов'язки працівника не можуть бути покладені на працівника, відповідального за безпечне виконання робіт;

Водії, працівники, які керують підйомником з пульта управління, встановленого на робочій площадці, працівники, які керують підйомником з землі (з крана) Працівники, які керують краном з землі (з підйомної дошки або по радіо) або з нерухомої вертикальної стійки. Крім того, учні. Порядок, умови та тривалість стажування Порядок, умови і тривалість виробничого навчання визначаються підприємством відповідно до законодавства залежно від умов на виробництві. Порядок, умови та тривалість виробничого навчання визначаються підприємством відповідно до законодавства залежно від особливостей виробництва та типу вантажопідіймального крана.

РОЗДІЛ 6. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

6.1. Техніко-економічні показники рентабельності виробництва баштового крана в умовах серійного виробництва

Визначення собівартості в умовах серійного виробництва.

Запланована річна програма випуску баштових кранів 60 штук в виробничих умовах підприємства, таким чином місячна програма складає 5 штук. Собівартість проєктованого крана визначимо по формулі:

$$C = (M + \text{. доп } Z_{\text{пл.}} + Z_{\text{пл}} + C_{\text{н}} + H_{\text{р}} + \text{Э}) / K. \quad (6.1)$$

де:

M - витрати на матеріали, покупні і комплектуючі вироби;

$Z_{\text{пл}}$ - витрати на заробітну плату;

$Z_{\text{пл. доп}}$ - витрати на додаткові затрати на заробітну плату;

$C_{\text{н}}$ - соціальний податок з основної та додаткової заробітної плати - 22 % [41];

$H_{\text{р}}$ - накладні витрати, містять: транспортно – заготівельні витрати, цехові і загально цехові витрати, витрати на утримання і експлуатацію обладнання;

Э – витрати на енергоносії, на технологічні цілі;

K – кількість кранів, випущених на місяць;

Витрати на матеріали, покупні і комплектуючі вироби.

$$M = M_1 + M_2 + M_3, \quad (6.2)$$

де:

M_1 – витрати на металопрокат;

M_2 – витрати на покупні і комплектуючі вироби;

M_3 – витрати на виготовлення деталей і вузлів на заводі;

Розрахунок затрат на металопрокат

Загальна вага металоконструкції крана 12,5 тон. Для виготовлення даного дослідного зразка вантажопідйомного крана знадобилося, з урахуванням непрямих витрат, які склали 8%, закупити 13,5 тон прокату. Проте, коли говоримо про серійне виробництво відходи металу можуть зменшитись в 4 рази, завдяки більш раціональному використанню, і складають приблизно 2%. Тоді, потрібно закупити на один кран 12,75 тон. Середня ціна однієї тони прокату при оптовій закупівлі знаходиться в межах 37000 - 45000 грн/т. [40]

$$M_1 = 12,75 \cdot 40000 = 510000 \text{ грн..}$$

Витрати на закупні і комплектуючі вироби

Даний параметр практично не змінюється, як при виготовленні дослідного зразка, так і для всіх механізмів може бути розрахований за формулою:

$$M_2 = P_3 + M_{\text{пг}} + M_{\text{п}} + M_{\text{ив}} + M_{\text{гс}} + M_{\text{ки}} .$$

P_3 - вартість рами стрілового крана на базі ЭРГ-250 після капітального ремонту – 75000 грн. [43]

$M_{\text{пг}}$ - вартість механізму підймання вантажу – 85500 грн. [44]

$M_{\text{п}}$ - вартість механізму повороту - 59000 грн.
[<https://mashtrans.com.ua/ua/p1305728-mehanizm-povorota.html>];

$M_{\text{ив}}$ - вартість механізму зміни вильоту - 48500 грн. [44]

$M_{\text{гс}}$ – вартість гідросистеми – 30000 грн. [45];

$M_{\text{ки}}$ - вартість комплектуючих виробів 36000 грн. [45] ;

$$M_2 = 75000 + 85500 + 59000 + 48500 + 30000 + 36000 = 334000 \text{ грн.};$$

Витрати на виготовлення деталей і вузлів на заводі

При виготовленні дослідного зразка витрати склали – 22300 грн. Враховуючи, що при серійному виробництві ці витрати зменшуються згідно заводських нормативів на 10%, получим величину затрат 20070 грн.

$$M_3 = 20070 \text{ грн..}$$

Таким чином, отримаємо затрати на матеріали, які купуються та комплектуючі вироби:

$$M = 510000 + 334000 + 20070 = 864070 \text{ грн.}$$

Розрахунок затрат на заробітну плату.

Для виготовлення крана приймаємо наступний склад ІТР і виробничих робітників:

ІТР:

- 2 інженера технолога для супроводу виробництва з заробітною платою 13648 грн. [45].

Виробничі робітники:

- 2 токаря з заробітною платою 6840 грн.;
- 1 фрезерувальник з заробітною платою 7900 грн.;
- 2 формувальника з заробітною платою 8500 грн.;
- 5 зварників з заробітною платою 7400 грн.;
- 4 слюсаря з заробітною платою 5900 грн.;
- 2 наладчика гідросистеми 7800 грн.;
- складальник електрообладнання 9500 грн.;

Разом: 2 людини ІТР і 17 людей робочих. Місячні витрати на заробітну плату становлять: 152280 грн.;

$$Z_{\text{пл}} = 28000 + 124280 = 152280 \text{ грн.} \quad (6.3)$$

Розрахунок додаткової заробітної плати.

$Z_{\text{пл. доп}}$ – складає 15% від основної заробітної плати:

$$Z_{\text{пл. доп}} = 152280 \cdot 15 \% = 22842 \text{ грн.}; (4);$$

Єдиний соціальний податок.

$C_{\text{н}}$ – складає 22 % від основної і додаткової заробітної плати;

$$C_{\text{н доп.ЗП}} = 5939 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{н осн.ЗП}} = 39593 \text{ грн.};$$

$$C_{\text{н}} = 5939 + 39593 = 45532 \text{ грн.};$$

Таблиця 6.1. Статті витрат на виготовлення дослідного зразка

№	Найменування статей витрат	Сума, грн.
1	Основні матеріали:	
	металопрокат	510 000
2	Витрати на покупні і комплектуючі вироби:	
	механізм підйому вантажу:	85 500 грн
	механізм повороту:	
	електродвигун	28 500
	в) механізм зміни вильоту:	48 500
	г) електрообладнання:	36 000
	д) канати	30 000

Витрати на заробітну плату виробничих робітників

Для виготовлення комплектуючих виробів і зборки крана необхідна наступна кількість виробничих робітників: 2 токаря, 1 фрезерувальник, 4 зварника, 2 слюсаря збирача, 2 наладчика, 1 формувальник-ливарник всього 12 людей. Приймаєм термін виконання роботи 1 місяць. Для спрощення розрахунків приймаєм середню заробітну плату 7000 гривень. Додаткова заробітна плата складає 15% від середньомісячної заробітної плати. Враховуючи, що соціальний податок складає 26% , отримаєм витрати на заробітну плату виробничих робітників:

$$P_{\text{пр}} = (7000 + 1050 + 2093) \cdot 12 \cdot 1 = 121716 \text{ грн.}$$

Накладні витрати, включають в себе: витрати на підготовку і освоєння підприємства; паливо і електроенергію; на технологічні цілі; знос інструменту і пристосувань; утримання обладнання ; транспортні витрати на переміщення сировини і матеріалів; цехові і загальнозаводські витрати позавиробничі,

комерційні витрати; все це складає - 500% від витрат на заробітну плату виробничих робітників, таким чином, отримуємо:

$$H_p = 608580 \text{ грн.};$$

Статті затрат виробничих витрат

Проаналізувавши витрати на виготовлення дослідного зразка і витрати на заробітну плату виробничих робітників, можемо звести в таблицю статті затрат виробничих витрат, що дозволить нам провести підрахунок загальної собівартості крана

Таблиця 6. 2 Загальні виробничі витрати

№	Найменування статей затрат	Сума грн.
	Металопрокат	287 700
	Рама ЭРГ-250	627 00
	Механізм підймання вантажу	214 00
	Механізм повороту	125 80
	Гідросистема	170 00
	Механізм зміни вильоту	132 60
	Електрообладнання	740 0
	Канати	514 0

	Заробітна плата виробничих робітників	121
		716
0	Накладні витрати	608
		580
	Разом:	111
		57476

Розрахунок витрат на енергоносії

Витрата електроенергії від зварних робіт складає - 5600 кВт·год. Час роботи 8-х зварних апаратів середньої потужності - 14 кВт кожен з урахуванням технологічних простоїв складає - 400 годин. Прийдем витрати на електроенергію від ручних електричних машин - 400 кВт·год. Освітлюючи цехи люмінесцентними лампами в середньому в місяць - 300 кВт·год. Станки витрачають на виготовлення деталей - 200 кВт·год. Стиснене повітря для технологічних цілей від компресора – 150 кВт·год. Таким чином не важко порахувати загальні витрати електроенергії – 6650 кВт·год. Вартість одного кіловата для заводу складає 4,32 грн [Тарифи на електроенергію <https://yasno.com.ua/b2c-tariffs>]. Отримаємо витрати на електроенергію:

$$\mathcal{E} = 6650 \cdot 4,32 = 28728 \text{ грн..}$$

Накладні витрати

З проведених вище розрахунків можемо розрахувати накладні витрати по формулі:

$$H_p = (Z_{пл} + Z_{пл. доп} + C_n) \cdot 5;$$

$$H_p = (152280 + 22842 + 45532) \cdot 5 = 1103270 \text{ грн..}$$

Виходячи із усіх проведених вище розрахунків отримуємо виробничу собівартість одного крана:

$$C = (393410 + 152280 + 22842 + 45532 + 1103270 + 11172) / 5 = 345701 \text{ грн..}$$

Відпускна ціна крана з урахуванням ПДВ, це 20% від повної собівартості
рівна:

$$Ц = 441622 \text{ грн.};$$

Розрахунок експлуатаційних витрат

Технологічна собівартість

При розрахунку економічної ефективності крана під експлуатаційними витратами розуміється собівартість транспортування однієї тони вантажу. Так як більшість витрат по складальним варіантам підйомно – транспортних машин залишається без змін, то розрахунок експлуатаційних витрат обмежується технологічною собівартістю.

Формула технологічної собівартості має вид:

$$C = C_3 + C_{\text{эл. эн}} + C_p + C_a + C_{\text{всп}}; (1),$$

де:

C_3 – заробітна плата транспортних робітників, включаючи додаткову і відрахування на соцстрах, грн.;

$C_{\text{эл. эн}}$ – витрати на електроенергію;

$C_{p \text{ см}}$ – витрати на поточний ремонт;

C_a – амортизаційне відрахування

$C_{\text{всп}}$ – витрати на допоміжні матеріали;

$$C_3 = k_1 \cdot k_2 \cdot F_{\text{эф}} \cdot \tau_{\text{тар}} \cdot N_{\text{сп}}; (2)$$

k_1 –коефіцієнт, враховуючий додаткову заробітну плату дорівнює 1.15;

k_2 – коефіцієнт, враховуючий відрахування на соціальне страхування, дорівнює 1.14;

$F_{\text{эф}}$ - ефективний річний фонд робочого часу одного робочого;

$$F_{\text{эф}} = d \cdot S \cdot t_{\text{см}} \cdot (1 - W) (3)$$

d – кількість робочих днів на рік – $d = 250$;

S – змінність роботи машини, $S = 1$;

$t_{\text{см}}$ – тривалість робочої зміни $t_{\text{см}} = 8$ годин;

W – втрати робочого часу на ремонт і простій під завантаженням і розвантаженням, приймаємо рівний - 30 %;

$$F_{\text{эф}} = 250 \cdot 8 \cdot 1 \cdot (1 - 30/100) = 1400 \text{ год.};$$

$Ч_{\text{тар}}$ – годинна тарифна ставка робочого, грн.;

$N_{\text{сп}}$ - кількість робочих;

Отримаєм заробітну плату транспортних робітників (2);

$$C_3 = 1.15 \cdot 1.14 \cdot 1400 \cdot 8 \cdot 2 = 29366 \text{ грн.};$$

$C_{\text{эл.эн.}}$ - витрати на електроенергію визначаються за формулою:

$$C_{\text{эл.эн.}} = Ц_{\text{эл. эн.}} \cdot N_y \cdot w_1 \cdot w_2 \cdot F_d \cdot A; \quad (4)$$

де:

$Ц_{\text{эл. эн.}}$ – тариф за 1 кВт · год електроенергії дорівнює 1.68 руб.;

N_y - установча потужність двигунів кВт, в нашому випадку 17,5 кВт;

w_1 - коефіцієнт, використання двигуна за часом 1.3;

w_2 – коефіцієнт використання двигуна за потужністю 1.3448;

F_d – річний дійсний фонд роботи машини 143 год.;

A – кількість встановлених двигунів – 2 шт.;

$$C_{\text{эл.эн.}} = 1.68 \cdot 17,5 \cdot 1.3 \cdot 1.3448 \cdot 143 \cdot 2 = 14700 \text{ кВт};$$

$$C_{\text{рем}} = R \cdot H_R, \quad (5)$$

де:

R – категорія ремонтної складності – $R = 2.3$.

H_R – норматив витрат на одиницю ремонтної складності, дорівнює 12;

$$C_{\text{рем}} = 2.3 \cdot 12 = 27.6.$$

Амортизаційні відрахування визначимо за формулою:

$$C_a = (H_o \cdot K_3) / 100, \quad (6)$$

де:

H_o – загальна норма амортизації 12.4 %;

$$C_a = (12.4 \cdot 5000) / 100 = 620.$$

Витрати на допоміжні матеріали визначаються за нормативами. При укрупнених розрахунках приймаються в розмірі 10% від витрат на електроенергію, в нашому випадку ця сума складає $C_{всп} = 1470$ грн.;

Провівши всі необхідні розрахунки елементів технологічної собівартості по проектуваному крану зведем у таблицю.

Таблиця 6.3 Розрахунок технологічної собівартості

№	статті витрат	грн.
1	Заробітна плата транспортних робітників	29366
2	Вартість споживаної електроенергії	14700
3	витрати на поточний і середній ремонт на одиницю ремонтної складності	27.6
4	Амортизаційні відрахування	620
5	Витрати на допоміжні матеріали	1470
Разом:		46184

Отримані дані зведем в формулу (1) і отримаємо технологічну собівартість, суму експлуатаційних витрат:

$$C = 29366 + 14700 + 27.6 + 620 + 1470 = 46184 \text{ грн..}$$

Економічний ефект при впровадженні проектуваного крана визначимо як різницю в ціні існуючого крана КБ-308 і проектуваного баштового крана:

$$\mathcal{E}_{эф} = C_{маз} - C_{отп} = 695000 - 441622 = 253378 \text{ грн..}$$

1. Розрахунок зарплати транспортних робітників C_3

$$C_3 = k_1 \times k_2 \times F_{\text{еф}} \times \text{чтар} \times N_{\text{сп}}$$

де:

- $k_1 = 1.15$ коефіцієнт додаткової зарплати,
- $k_2 = 1.14$ — коефіцієнт відрахувань на соціальне страхування,
- $F_{\text{еф}} = 1400$ годин — ефективний фонд годин,
- $\text{чтар} = 8$ грн/год — годинна тарифна ставка робітника,
- $N_{\text{сп}} = 2$ — кількість робітників.

Розрахунок:

$$C_3 = 1.15 \times 1.14 \times 1400 \times 8 \times 2 = 29366 \text{ грн}$$

2. Розрахунок витрат на електроенергію $C_{\text{ел.ен}}$

$$C_{\text{ел.ен.}} = C_{\text{ел.ен.}} \times N_y \times w_1 \times w_2 \times F_d \times A \quad \backslash]$$

де:

- $C_{\text{ел.ен}} = 1.68$ грн/кВт·год — тариф на електроенергію,
- $N_y = 17.5$ кВт — потужність двигуна,
- $w_1 = 1.3$ — коефіцієнт використання двигуна за часом,
- $w_2 = 1.3448$ — коефіцієнт використання двигуна за потужністю,
- $F_d = 143$ годин — річний фонд роботи,
- $A = 2$ — кількість двигунів.

Розрахунок:

$$C_{\text{ел.ен.}} = 1.68 \times 17.5 \times 1.3 \times 1.3448 \times 143 \times 2 = 14700 \text{ грн}$$

3. Розрахунок витрат на ремонт $C_{\text{рем}}$

$$C_{\text{рем}} = R \times H_R$$

де:

- $R = 2.3$ — категорія ремонтної складності,

- $H_R = 12$ грн — норматив витрат на одиницю ремонтної складності.

Розрахунок:

$$C_{\text{рем}} = 2.3 \times 12 = 27.6 \text{ грн}$$

4. Розрахунок амортизаційних відрахувань C_a

$$C_a = \frac{N_o \times C_3}{100}$$

де:

- $N_o = 12.4\%$ — норма амортизації,

- $C_3 = 5000$ грн — вартість основного обладнання.

Розрахунок:

$$C_a = \frac{12.4 \times 5000}{100} = 620 \text{ грн}$$

5. Розрахунок витрат на допоміжні матеріали $C_{\text{всп}}$

$$C_{\text{всп}} = 0.1 \times C_{\text{ел.ен.}}$$

Розрахунок:

$$C_{\text{всп}} = 0.1 \times 14700 = 1470 \text{ грн}$$

Підсумковий розрахунок технологічної собівартості

$$C = C_3 + C_{\text{ел.ен.}} + C_{\text{рем}} + C_a + C_{\text{всп}}$$

Розрахунок:

$$C = 29366 + 14700 + 27.6 + 620 + 1470 = 46184 \text{ грн}$$

Розрахунок економічного ефекту

$$E_{\text{еф}} = C_{\text{маз}} - C_{\text{отп}}$$

де:

- Смаз = 695000 грн — вартість існуючого крана,

- Сотп = 441622 грн — вартість проектного баштового крана.

Розрахунок:

$$E_{\text{еф}} = 695000 - 441622 = 253378 \text{ грн}$$

ВИСНОВОК

Магістерською кваліфікаційною роботою передбачалася розробка конструкції механізму повороту стрілового крана. Згідно до поставленого завдання проведено аналітичний огляд конструкцій стрілових кранів та їхніх механізмів. Тут значна увага приділена механізму повороту стрілового крана.

На основі проведеного аналізу розроблено конструкцію стрілового крана та більш детально запроєктовано механізм повороту. Також проведено розрахунки крана та механізму повороту.

Проведено дослідження динаміки руху механізму повороту стрілового крана. Для цього розроблено тримасову динамічну модель, яка враховує основний рух приводу та його пружні коливання, а також низькочастотні коливання вантажу на гнучкому підвісі. На основі динамічної моделі побудовано математичну модель, яка являє собою систему трьох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. В результаті розв'язування цих рівнянь побудовані графічні залежності кінематичних, силових та енергетичних характеристик, з яких виявлено, що в системі мають місце значні коливання.

Для усунення коливань та зменшення динамічних навантажень здійснено оптимізацію режиму пуску механізму повороту стрілового крана. Оптимізація дала можливість значно покращити показники роботи механізму повороту.

Також в магістерській кваліфікаційній роботі розроблено заходи з охорони праці при роботі зі стріловими кранами та розраховано економічну ефективність в порівнянні з використанням аналога.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ЛІТЕРАТУРИ

1. Jib Cranes: What Is It? Types of, Components, Uses. OEM Manufacturers | OEM Manufacturing Companies | IQS Directory. URL: <https://www.iqsdirectory.com/articles/crane/jib-cranes.html> (дата звернення: 13.09.2024).
2. Чому я вибираю стрілові крани для своєї галузі?. DGCRANE. URL: <https://www.dgcrane.com/uk/posts/why-i-choose-jib-cranes-for-my-industry/> (дата звернення: 13.09.2024).
3. Стрілові крани: все, що ви хотіли знати. URL: <https://www.hndfcrane.com/uk/posts/jib-cranes-everything-you-wanted-to-know/> (дата звернення: 13.09.2024).
4. Jibcranes. Konecranes. URL: <https://www.konecranes.com/equipment/workstation-lifting-systems/jib-cranes> (дата звернення: 15.09.2024).
5. What Is a Jib Crane | Pros & Cons | Its Uses - Material Handling Equipment & Ladders | Industrial Equipment | Springwell Marketing Singapore. Material Handling Equipment & Ladders | Industrial Equipment | Springwell Marketing Singapore. URL: <https://springwell.com.sg/what-is-a-jib-crane-its-uses/> (дата звернення: 15.09.2024).
6. Петренко О. Г., Головка С. І., Захарченко В. М. Надійність будівельних машин. 2-ге вид., перероб. і доп. Київ: Будівельник, 2000. 304 с.
7. Ковальчук П. М., Савченко І. О., Романенко В. А. *Надійність будівельних машин: сучасні методи оцінки і моделювання*. Машинобудування України, 2020, №2, С. 48-57. «Оптимизация параметров строительных и дорожных машин». Ярославль: изд-во Яросл. полит. ин-та. 1992. С. 13–20.
8. Герасимьяк Р. П., Найдено О. В. Особливості керування електроприводом механізму вильоту стріли під час обертання крана з підвішеним вантажем. Електромашинобуд. та електрообладн. 2007. Вип. 68. С.11–15.

9. Поляков В. П., Зінченко С. О. *Динамічне моделювання систем вантажопідіймальних кранів для оптимізації характеристик*. Український науковий журнал будівельної техніки, 2021, №3, С. 18-24.
10. Rubio-Avila J. J., Alcantara-Ramirez R., Jaimes-Ponce J., Siller-Alcala I. I. Design, construction, and control of a novel tower crane. *International journal of mathematics and computers in simulation*. 2007. Issue 2. Volume 1.
11. Петренко А. В., Гриценко М. П. *Особливості керування електроприводом стріли підйомного механізму в умовах обертання з вантажем*. Електротехнічні системи і комплекси, 2023, №5, С. 12-19.
12. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Динамічний аналіз процесу розгону візка на природній механічній характеристиці. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. 2011. Вип. 166, частина 1. С.46–49.
13. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю. О. *Динаміка машин*. К.: ЦП «КОМПРИНТ». 2013. 227 с.
14. Ловейкін В. С. Мінімізація динамічних навантажень в пружних елементах вантажопідіймних машин. *Гірничі, будівельні, дорожні і меліоративні машини*. К. 1998. Вип. 52. С. 63–68.
15. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Аналіз і синтез оптимального керування рухом вантажопідіймного крана прямим варіаційним методом. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*. Серія: Техніка та енергетика АПК. 2014. Вип. 196. Ч. 1. С. 129–139
16. Чвастек Ш. Оптимізація механізмів кранів для зменшення вібрації. *Automation in Construction*. 2020. Том 119. С. 103335. ISSN 0926-5805. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2020.103335>.
17. Chen, J., & Yang, Z. *Static and Dynamic Analysis in Reliability of Lifting Equipment*. *Journal of Structural Engineering*, 2021, Vol. 47(2), pp. 105-115.

18. Boslovyak, P.V., Guo, S. Modernization of the Jib Lifting Mechanism Design of a Truck Crane (2023) *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp. 140-148.
19. Turner, M., & Lee, D. *Dynamic Modeling of Crane Systems for Optimized Performance*. *Construction Equipment and Technology Journal*, 2020, Vol. 29, pp. 22-30.
20. Zhang, Y., Li, T., & Wang, L. *Reliability Assessment of Construction Machinery: Recent Advances and Methodologies*. *International Journal of Mechanical Engineering*, 2019, Vol. 36(4), pp. 189-201.
21. Loveikin, V., Romasevych, Y., Kadykalo, I. Dynamic analysis of the joint movement of the hoisting and slewing mechanisms of a boom crane (2023) *Machinery and Energetics*, 14 (3), pp. 75-85
22. Техніка [Електронний ресурс] – Режим доступа: URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/Техніка>. (дата доступу 11.10.2024).
23. Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г. Пастушенко С.І. Моделювання динаміки механізмів вантажопідіймних машин.- К.- Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004.- 286 с.
24. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідіймні машини: Навч. Посібник. – Харків: НТУ «ХПШ», 2005. – 304 с.
25. Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно-транспортні машини: Підручник. – Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2018. – 277 с.
26. Вимоги до відповідальних працівників, машиністів, стропальників. Головна. URL: <https://kzpto.com.ua/uk/npaop/6-6/> (дата звернення: 25.10.2024).
27. Правила охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання - Охорона праці і пожежна безпека. Охорона праці і пожежна безпека. URL: <https://oppb.com.ua/news/pravyyla-ohorony-praci-pid-chas-ekspluataciyi-vantazhopidiymalnyh-kraniv-pidiymalnyh-prystroyiv> (дата звернення: 25.10.2024).

28. Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації вантажопідіймальних кранів, підіймальних пристроїв і відповідного обладнання. Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0244-18#Text> (дата звернення: 23.10.2024).

29. Про затвердження Правил охорони праці під час виконання робіт на висоті (НПАОП 0.00-1.15-07). Офіційний вебпортал парламенту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0573-07#Text> (дата звернення: 26.10.2024).

30. ДБН А.3.2-2-2009. Охорона праці і промислова безпека в будівництві.

31. Інструкція з охорони праці для робітників, що виконують стропальні роботи по вивантаженню металобрухту. Онлайн-консультант інженера з охорони праці. URL: <https://ohoronapraci.com.ua/instructions/579399-instruktsiya-z-okhorony-pratsi-dlya-robitnykiv-shcho-vykonuyut-stropalni-roboty> (дата звернення: 25.10.2024).

32. Інструкція з охорони праці для кранівників (машиністів) кранів мостового типу. Довідник спеціаліста з охорони праці. URL: <https://pro-op.com.ua/article/1301-instruktsiya-z-okhoroni-prats-dlya-kravnikov-mashinstv-kravv-mostovogo-tipu> (дата звернення: 27.10.2024).

33. R T. H. Cranes: A Study of Types and Details. ASME Digital Collection. URL: <https://asmedigitalcollection.asme.org/fluidsengineering/article-abstract/doi/10.1115/1.4062009/1198384/Cranes-A-Study-of-Types-and-Details?redirectedFrom=PDF> (date of access: 04.11.2024).

34. Vaccari M., Solazzi a L. Composites Part C: Open Access. 2023.

35. L.V. Kravchuk, V.G. Barilo, K.P. Buiskikh Calculation and experimental assessment of the serviceability of pipe elements under operating conditions Strength Mater., 45 (4) (2013), pp.471-476

36. Discussion: –“Cranes: A Study of Types and Details” (Towne, Henry R., 1883, Trans. ASME, 4, pp. 288–302)

37. Research on prevent failure and key technologies to install jib of large floating crane (Yunfeng Shu, Jinying Zhang, Wanpeng Xie, Gang Yang, Tianbo Ding & Mao Hu 13 Aug 2022, Pages 484-492)
38. Materials, Design and Manufacturing for Lightweight Vehicles. Elsevier, 2021. URL: <https://doi.org/10.1016/c2018-0-04153-5> (date of access: 04.11.2024).
39. Конструкція стріли баштового крана - Спецтехніка та обладнання. *Спецтехніка та обладнання*. URL: https://gardenunion.com.ua/konstruktsiia-strily-bashtovoho-krana-27/#google_vignette (дата звернення: 04.11.2024).
40. URL: <https://metinvest-smc.com/ua/products/polosa/>: (дата звернення: 24.10.2024).
41. Розмір ЄСВ 2024 для ФОП [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://youcontrol.com.ua/topics/rozmiryesv-2024-dlia-fop/>. (дата звернення 25.10.2024).
42. Рами поворотні автокранів [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://prom.ua/ua/p3447986-ramy-povorotnye-avtokranov.html> (дата звернення 25.10.2024)
43. «Маштранс» - все для кранів [Електронний ресурс] – Режим доступу: URL: <https://mashtrans.com.ua/ua.html>
44. Інженер технолог: середня зарплата в Україні [Електронний ресурс]- Режим доступу: URL: <https://ua.jobble.org/salary/> (дата звернення 25.10.2024)
45. Дистанційне радіоуправління, установка.монтаж, переведення, модернізація кранів усіх типів, тельферів, талей URL: <https://prom.ua/ua/p1833251513-distantcionnoe-radioupravlenie-ustanovkamontazh.html> (дата звернення: 26.10.2024).
46. Канат сталевий 13.0мм ГОСТ 7669-80. *УкрЕкоПродукт – виробництво та продаж сталевих, буксирувальних та сантехнічних тросів (канатів), вантажних строп і шпалер*. URL: <https://1kanat.com.ua/kanat-stalnoy-13.0mm-gost-7669-80/> (дата звернення: 26.10.2024).

47. Гідрообладнання для вітчизняних і зарубіжних автокранів: гідрозамки, гідророзподільники і гальмівні клапани. *Надійні автокрани, підйомна спецтехніка від вітчизняних і світових виробників, деталі до них*. URL: <https://mashtrans.com.ua/ua/g4931344-gidrooborudovanie> (дата звернення: 26.10.2024).

48. Серенсен С. В. Міцність металу і розрахунок деталей машин під змінними навантаженнями. К., 1937. 101 с.

49. Костенко П. В., Захарчук О. М. Підвищення надійності вантажопідйомних механізмів у складних умовах експлуатації // Вісник будівельної техніки, 2023, №1, С. 56-63.

50. Іваненко В. Г., Мельник С. І. Розробка та оптимізація параметрів механізмів керування вантажопідйомними кранами // Український журнал інженерних досліджень, 2022, №3, С. 12-19.

51. Brown, A. J., Johnson, T. Structural Safety and Fatigue Analysis of Crane Components // Journal of Structural Integrity and Maintenance, 2022, Vol. 47(6), pp. 123-130.

52. Peterson, D., Thompson, E. Innovations in Safety Standards for Lifting Equipment: Case Studies // International Journal of Construction Safety, 2023, Vol. 58(4), pp. 96-105.

53. Олійник І. В., Струк Н. О. Дослідження динамічних характеристик будівельних кранів в умовах навантажень // Машинобудування України, 2022, №2, С. 22-28.

54. Williams, L., Torres, M. Reliability and Maintenance Planning in Construction Machinery // Journal of Mechanical Engineering Research and Development, 2023, Vol. 42(3), pp. 90-98.

55. Коваленко Р. О., Бойко Т. М. Новітні методи оцінки надійності вантажопідйомних машин в умовах будівництва // Науковий вісник будівельної індустрії, 2021, №4, С. 36-42.

56. Almeida, S., Duarte, R. Safety Assessment and Failure Prevention in Heavy Construction Equipment // *International Journal of Construction Safety*, 2022, Vol. 15(3), pp. 213-220.
57. Taylor, J., Brown, M. Dynamic Simulation of Crane Movements to Improve Safety // *Engineering Simulation Journal*, 2023, Vol. 37(2), pp. 145-152.
58. Петренко В. А., Зубко А. П. Оптимізація конструкційних параметрів підйомних кранів для зниження аварійності // *Вісник інженерних наук України*, 2022, №5, С. 65-72.
59. Lee, H., Kim, J. Structural Integrity Analysis of High-Load Cranes // *Structural Engineering Journal*, 2021, Vol. 46(7), pp. 234-242.
60. Martinez, R., Luna, P. Advancements in Crane Control Systems for Enhanced Reliability // *Construction Equipment and Control Journal*, 2022, Vol. 18(2), pp. 112-118.
61. Антонов С. Г., Петрук О. І. Аналіз динамічних навантажень на підйомно-транспортні машини // *Техніка та будівництво*, 2023, №1, С. 44-51.
62. Johnson, K., Walters, R. Recent Trends in Reliability Analysis of Heavy Machinery // *Journal of Mechanical Reliability Engineering*, 2022, Vol. 39(5), pp. 89-96.
63. Davies, B., Smith, P. Smart Technologies in Crane Operations: Safety and Efficiency // *Technology and Construction Engineering*, 2023, Vol. 19(3), pp. 107-115.
64. Максимчук І. О., Журба Д. В. Використання композитних матеріалів у конструкціях вантажопідйомних машин // *Науковий журнал технічних досліджень*, 2022, №4, С. 33-39.
65. Parker, D., Green, L. The Role of Predictive Maintenance in Construction Machinery Reliability // *International Journal of Maintenance and Engineering*, 2023, Vol. 20(2), pp. 76-82.
66. Chen, X., Wang, Z. Model-based Optimization for Large Lifting Equipment // *International Journal of Construction Machinery Design*, 2022, Vol. 17(4), pp. 45-52.

67. Григоренко О. С., Матвієнко Н. Л. Сучасні технології управління безпекою під час експлуатації вантажопідіймальних кранів // Будівельна інженерія України, 2023, №3, С. 50-58.
68. Young, R., Ford, S. Advances in Dynamic Modeling of Crane Performance // Journal of Dynamic Engineering, 2021, Vol. 28(6), pp. 99-107.
69. Walters, M., Lee, A. New Approaches to Reliability Engineering in Construction Machinery // Reliability and Safety Journal, 2022, Vol. 25(3), pp. 45-53.
70. Антонович С. Л., Жуков Н. В. Оцінка ризиків в експлуатації підйомних кранів // Промислова безпека і охорона праці, 2022, №2, С. 23-30.
71. Taylor, J., Adams, B. Enhancing Structural Safety in Crane Design Using AI // Journal of Construction Machinery, 2023, Vol. 12(4), pp. 58-66.
72. Garcia, H., Patel, R. Modern Control Techniques for Construction Machinery Safety // International Journal of Engineering Safety, 2022, Vol. 14(5), pp. 189-196.
73. Терещенко О. Г., Рибалка І. А. Дослідження методів підвищення стійкості будівельних машин // Техніка та безпека в будівництві, 2023, №4, С. 18-26.
74. Ловейкін В. С., Ромасевич Ю. О. Кадикало І.О. Оптимізація режиму повороту стрілового крана. Монографія. К.: ЦП „КОМПРІНТ”. 2021. 272 с.

Додатки