

**НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ**
Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

УДК 631.361.022

ПОГОДЖЕНО

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

_____ **Зіновій РУЖИЛО** _____
(підпис) (ПІБ)
“ ___ ” _____ 20__ 24 р.

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ

Завідувач кафедри
конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

_____ **Вячеслав ЛОВЕЙКІН** _____
(підпис) (ПІБ)
“ ___ ” _____ 20__ 24р.

МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему Оптимізація режиму видовження руки захвату машинобудівного
робота _____

Спеціальність _____ **133 – Галузеве машинобудування** _____
(код і назва)

Освітня програма - Робототехнічні системи і комплекси сільськогосподарського
виробництва

Магістерська програма _____
(назва)

Орієнтація освітньої програми _____ **освітньо-професіна**

Гарант освітньої програми
Д.т.н., професор

Юрій РОМАСЕВИЧ

Керівник магістерської роботи

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

_____ (підпис)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Данііл Юрійович ДЕЙНЕКО
(ПІБ студента)

КИЇВ – 2024

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
БІОРЕСУРСІВ І
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) КОНСТРУЮВАННЯ ТА ДИЗАЙНУ

ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри конструювання
машин і обладнання**

д.т.н., проф. Вячеслав ЛОВЕЙКІН

(науковий ступінь, вчене звання) (підпис)(ПІБ)

“ _____ ” _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ

ДО ВИКОНАННЯ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ СТУДЕНТУ

Дейнеко Данілу Юрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Освітня програма «Робототехнічні системи і комплекси сільськогосподарського
виробництва

(назва)

(назва)

Орієнтація освітньої програми освітньо-професійна

(освітньо-професійна або освітньо-наукова)

Тема магістерської роботи Оптимізація режиму видовження руки захвату
машинобудівного робота

затверджена наказом ректора НУБіП України від “ 29 ” грудня _____ 2023 р. №2400 «С»

Термін подання завершеної роботи на кафедру 15.11.2024 р.

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до магістерської роботи машинобудівний робот, загальний вигляд,

конструкція приводний механізм Перелік питань, що підлягають дослідженню:

1. Аналіз існуючих конструкцій роботів і маніпуляторів

2. Розрахунок механізму висування руки робота

3. Розробка математичної моделі динаміки руху механізму висування руки робота

4. Дослідження динаміку руху механізму висування руки робота

5. Оптимізація режиму пуску механізму висування руки робота

6. Заходи з охорони праці

7. Економічні розрахунки

Дата видачі завдання “ 11 ” лютого _____ 2024 р.

Керівник магістерської роботи _____

Вячеслав ЛОВЕЙКІН

(підпис)

(прізвище та ініціал)

Завдання прийняв до виконання _____

Данііл ДЕЙНЕКО

ЗМІСТ

Вступ
РОЗДІЛ 1.

Аналітичний огляд конструкцій і методів розрахунку роботів-маніпуляторів

РОЗДІЛ 2

Розробка конструкції і розрахунок механізму висування руки робота

РОЗДІЛ 3

Динамічний аналіз механізму висування руки робота

РОЗДІЛ 4

Оптимізація режиму руху механізму висування руки робота

РОЗДІЛ 5

Охорона праці

РОЗДІЛ 6

Економічний розрахунок

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....

ВСТУП

Підвищення ефективності виробництва обумовлює інтенсифікацію промислового виробництва на базі науково-технічного прогресу і впровадження ефективних методів керування машинами і механізмами. Це приводить до необхідності розглядати процеси промислового виробництва як системи. Особливо це відноситься до процесів створення нових і модернізації існуючих технічних систем, зокрема роботів-маніпуляторів у машинобудівному виробництві із забезпеченням їх ефективного функціонування.

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблений механізм висування руки робота-маніпулятора та проведено дослідження його роботи.

На базі теорії систем розв'язані задачі моделювання, аналізу, синтезу і керування механізмом висування руки робота-маніпулятора.

Для сучасного машинобудування характерні тенденції до підвищення продуктивності робототехнічних систем, яка пропорційно пов'язана зі збільшенням швидкодії та скороченням тривалості перехідних процесів, а також зростанням робочих навантажень, точності позиціонування, виконання операцій, надійності роботи та економічності. Тому висуваються підвищені вимоги до методів розрахунку окремих елементів і систем, що використовуються при конструюванні та проектуванні роботів-маніпуляторів.

Широко розповсюджені статичні методи розрахунку в одних випадках ведуть до невиправданого підвищення коефіцієнту запасу міцності і, як наслідок, до збільшення габаритних розмірів та маси роботів, а в інших – приводить до створення недостатньо надійних конструкцій роботів-маніпуляторів, які виходять з ладу при динамічних перевантаженнях. Тому дуже важливо знати дійсні навантаження, які виникають в елементах конструкції та приводного механізму висування руки робота-маніпулятора.

Для дослідження динамічних процесів в механізмі висування руки робота-маніпулятора запропоновано розробити його динамічну модель, яка відображає динамічні процеси в механізмі. На основі динамічної моделі будується математична модель механізму висування руки робота маніпулятора. В результаті розрахунку математичної моделі для конкретних конструктивних, кінематичних та силових параметрів механізму висування руки робота-маніпулятора визначаються динамічні навантаження, що діють на його елементи конструкції. Результати динамічного аналізу дозволяють визначити характер зміни навантажень і встановити доцільність оптимізації режиму руху механізму висування руки робота-маніпулятора.

РОЗДІЛ 1.

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД КОНСТРУКЦІЙ ТА МЕТОДІВ РОЗРАХУНКУ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

1.1 Класифікація роботів- маніпуляторів

Робот-маніпулятор - це програмований механізм, призначений для виконання різноманітних завдань у промислових умовах. Він складається зі змонтованих на основі різних механізмів і сенсорів елементів, які забезпечують його здатність до руху та взаємодії з предметами в навколишньому середовищі.

Робот-маніпулятор може бути використаний для виконання різних завдань, таких як дослідження, складання деталей, завантаження та розвантаження, матеріалів, переміщення важких предметів, зварювання, фарбування, обробка та різання матеріалів, а також виконання складних операцій в промисловому виробництві.

Робот-маніпулятор може працювати як самостійно, так і у взаємодії з оператором або системою керування. Він може бути програмований для виконання різних завдань з використанням спеціальних програм, або ж керуватися оператором в режимі реального часу за допомогою дистанційного керування. Роботи-маніпулятори можуть бути задіяні в різноманітних галузях виробництва, зокрема машинобудівного, таких як автомобільна промисловість, сільськогосподарське виробництво, логістика, медицина, наука тощо.

Для управління рухом ланок робота-маніпулятора використовуються сервоприводи моделей SG-90 та MG 996R, а контроль за їх роботою забезпечує контролер Arduino Uno. Для керування роботом-маніпулятором використовується спеціальний пульт, який функціонує на базі смартфона.

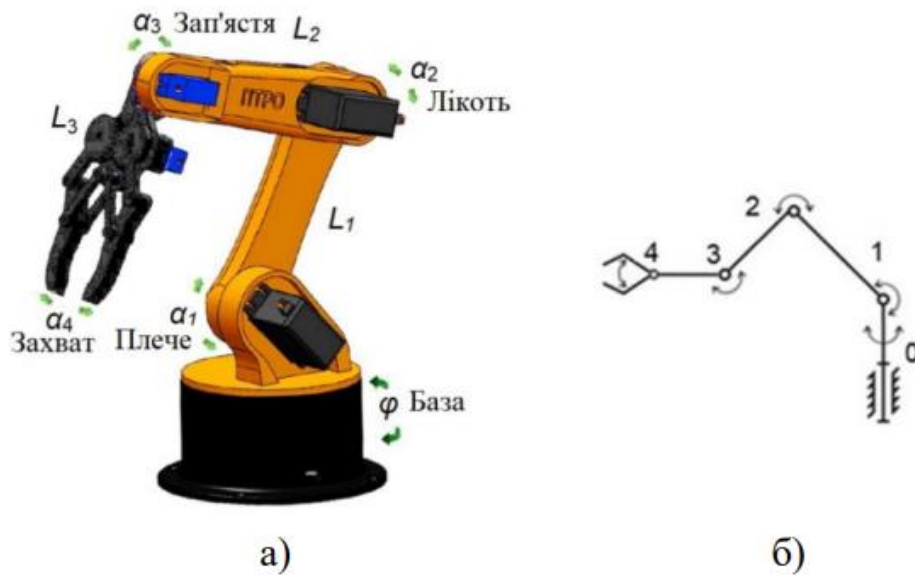


Рис.1.1– Маніпулятор для дослідження алгоритмів керування переміщенням робота: а) загальний вигляд маніпулятора; б) його кінематична схема.

Встановимо такі позначення для сервоприводів, що здійснюють поворот ланок маніпулятора: база (сервопривод 0) здійснює поворот усієї руки на кут φ , плече (сервопривод 1) здійснює поворот ланки L1 на кут α_1 , лікоть (сервопривод 2) здійснює поворот ланки L2 на кут α_2 , зап'ястя (сервопривод 3) здійснює поворот ланки L3 (захват) на кут α_3 , захват (сервопривод 4) здійснює поворот на кут α_4 (відкриває та закриває захват).

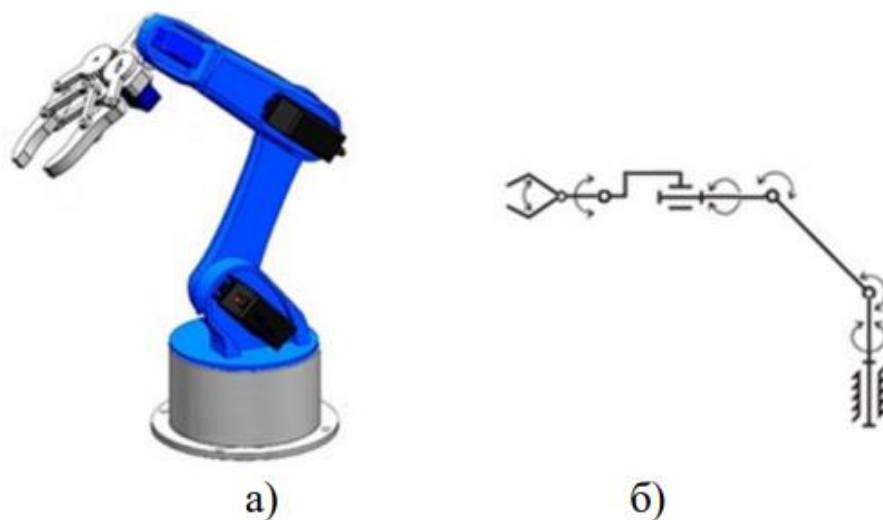


Рис. 1.2 – Маніпулятор виготовлений за допомогою 3D-принтераі:

а) загальний вигляд маніпулятора; б) його кінематична схема

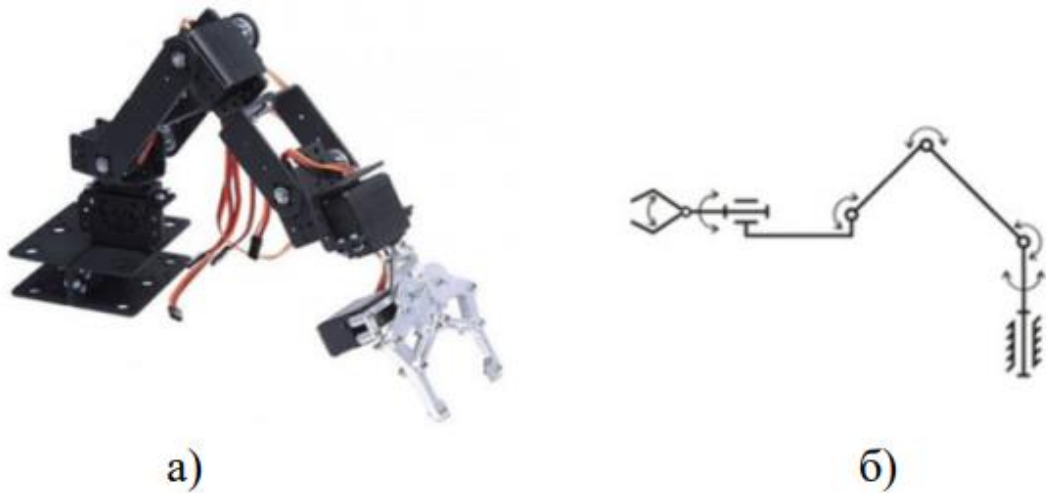


Рис. 1.3 – Маніпулятор 6 DOF Robotic Arm: а) загальний вигляд маніпулятора; б) його кінематична схема

Для переміщення ланок цього маніпулятора використовуються сервоприводи MG 996R, що забезпечують поворот валу від 0 до 180° та пусковий момент до 12 кг * см (при 6 В напруги живлення).



Рис. 1.4 – Маніпулятор 4DOF DIY MiniArm

Для керування переміщенням ланок маніпулятора використовуються сервоприводи SG-90. Керування відбувається за допомогою контролера Arduino Nano. Для зручності підключення можна використовувати модуль розширення для Arduino Nano (зображений на рис. 1.3, а) або плату розширення з чотирма

потенціометрами для ручного керування маніпулятором (зображена на рис.1. 3, б).

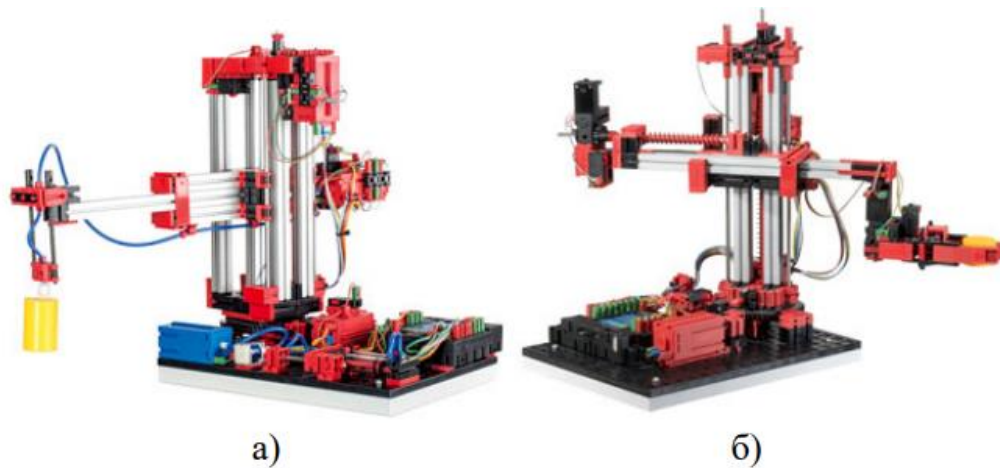


Рис. 1.5 – Діючі макети промислового 3-D робота з вакуумним (а) та затискним (б) захоплюючим пристроєм

Для вивчення маніпуляційних систем часто використовують стенди, які можуть бути діючими макетами маніпуляторів або зменшеними зразками промислових роботів. Рисунок 1.5 демонструє діючий макет промислового 3-D робота від компанії fischertechnik з вакуумним та затискним захоплюючим пристроєм фірми. У цьому стенді використовуються 4 двигуни, контактні датчики та контролер для керування роботом.



Рис. 1.6 – Мехатронні системи навчання фірми Festo Didactic

Системи навчання компанії Festo Didactic часто включають у себе навчання з маніпулювання промисловими системами, що дозволяє студентам навчитись різним режимам руху, та способам

переміщення об'єктів, механізмів та машин такими як прямолінійний, криволінійний, циклічний, тощо. Також включають в себе режими зупинки, пришвидшення, сповільнення, рівномірного руху зі сталою швидкістю, зміну напрямку руху тощо. Вибір певного режиму руху залежить від характеру завдання та вимог, які пред'являються до переміщення об'єктів. Правильний вибір режиму руху може забезпечити більш точне та ефективне виконання завдання, зменшення витрат на енергію та збільшення терміну експлуатації механізму або машини.

- Маніпулятори з більше 6 DOF: ці маніпулятори можуть виконувати більше шести незалежних рухів. Вони застосовуються в складних наукових та технічних дослідженнях, таких як космічні місії або розробка нових матеріалів. На рис.1.7 наведено конструкцію та схему зварювального робота з шістьма ступенями вільності.

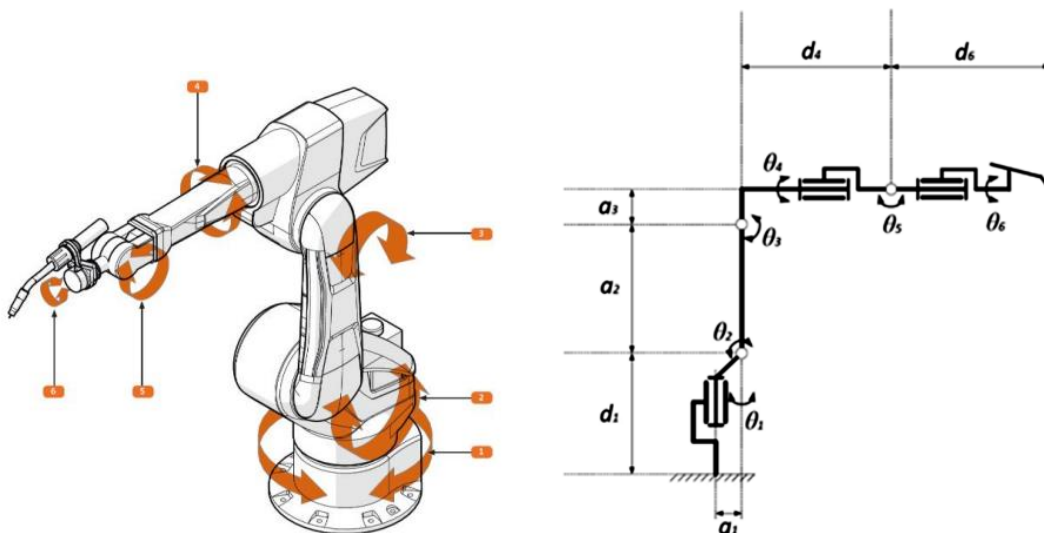


Рис. 1.7 – Зварювальний 6 DOF робот-маніпулятор та його кінематична схема

Серійні маніпулятори складаються з ланок, розташованих послідовно, зв'язаних між собою суглобами та забезпечують високу маневреність. Гібридні маніпулятори поєднують у собі різні елементи конструкції різних типів маніпуляторів. На рис.1.1 показана конструкція руки робота-маніпулятора.



Рис.1.8 – Рука маніпулятора

Характеристиками навантаження: роботи можуть виконувати різні види завдань з різними характеристиками навантаження, наприклад, підйом важких вантажів, переміщення дрібних предметів, робота з різноманітними матеріалами тощо. На рис.1.2 наведені різноманітні типи маніпуляторів.



Рис. 1.9 – Різноманітні типи маніпуляторів

Ще один спосіб класифікації маніпуляторів - за кількістю ступенів вільності (DOF). DOF визначається кількістю незалежних рухів, які

може виконати маніпулятор. Зазвичай, чим більше DOF, тим більше можливостей маніпулятора, але це також призводить до більш складної конструкції та програмування.

Промислові роботи відносяться до класу маніпуляційних та є роботами **I-го покоління**. Промислові роботи I-го покоління можуть переміщувати будь-які предмети за заданою траєкторією, швидкістю та точністю. Переміщення робочого органу виконується в межах зони обслуговування промислового робота (рис. 1.17), а програмування здійснюють методом навчання. Такі системи, як правило, не мають датчиків зворотного зв'язку та не можуть реагувати на зміну зовнішнього середовища. Вважається, що навколишнє середовище є суворо організованим, детермінованим та незмінним. Роботи I-го покоління ефективно застосовувати для автоматизації транспортних, зварювальних та ливарних операцій.

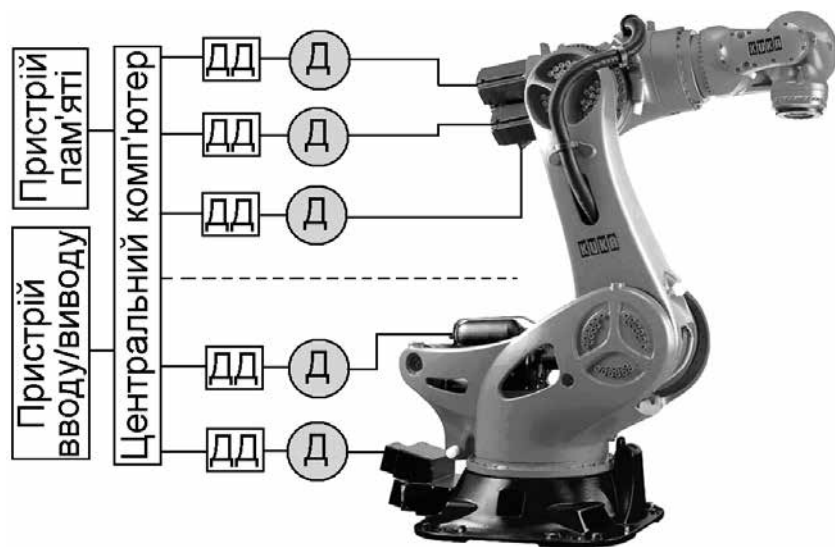


Рис. 1.10. Промисловий робот KUKA: Д – двигун; ДД – драйвер двигуна

Мобільні, інформаційні та промислові адаптивні роботи відносяться до роботів **II-го покоління** (рис. 1.11). Такі роботи обладнані датчиками зворотного зв'язку, що дає можливість коректувати його програму в залежності від зміни параметрів зовнішнього середовища. Спектр датчиків таких роботів нараховується декілька десятків типів, починаючи від простих контактних електромеханічних та закінчуючи

стереоскопічними телевізійними.

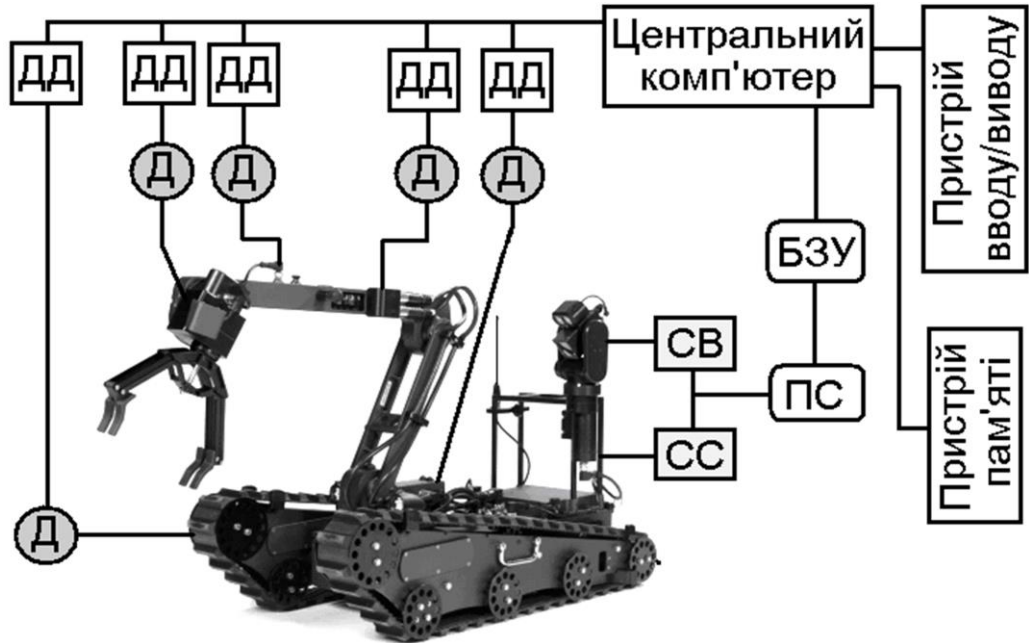


Рис. 1.11. Мобільний робот Digital Vanguard ROV: Д – двигун; ДД – драйвер двигуна; СВ – система візуалізації; СС – система сприйняття; ПС – перетворювач сигналів аналог-цифра; БЗУ – буферний пристрій пам'яті

Роботи III-го покоління обладнують сучасними потужними комп'ютерами зі складним математичним забезпеченням. До пам'яті робота необхідно

обов'язково додавати математичну модель зовнішнього середовища та

загальну мету, яку він повинен виконати. Шляхи пошуку розв'язку поставленої задачі робот визначає самостійно на основі побудови моделі зовнішнього середовища, загальної мети та інформації, отриманої від його власної інформаційної системи. Вважається, що робот обладнано засобами, які дозволяють здійснювати безперервний зв'язок з людиною (рис. 1.12).

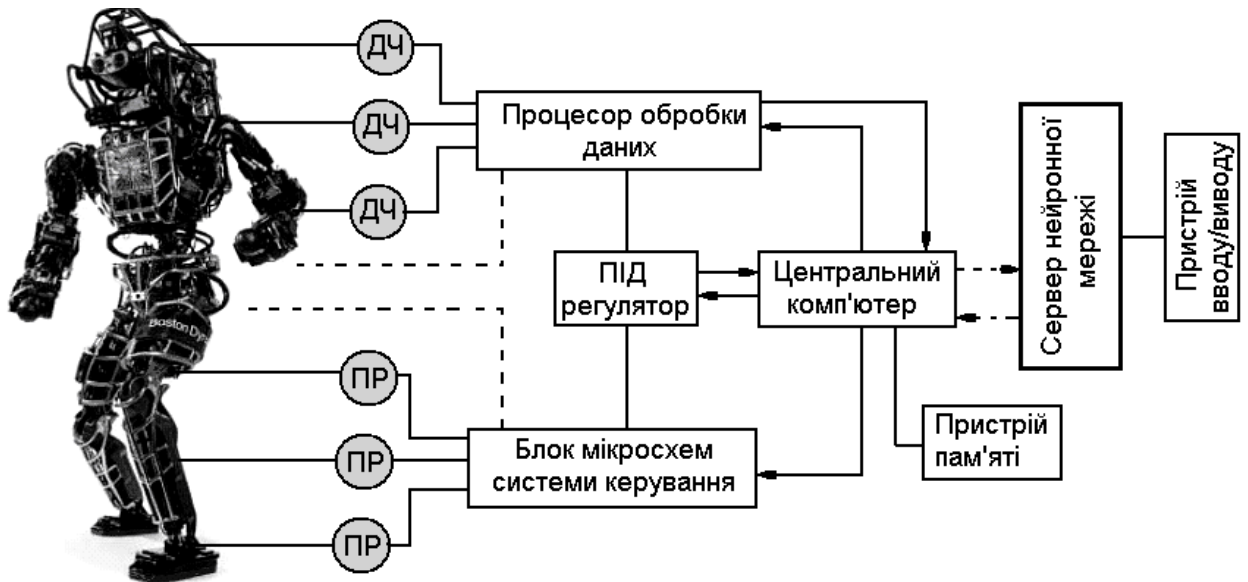


Рис. 1.12. Робот ATLAS зі штучним інтелектом: ПР – привід механізмів робота; ДЧ – датчики

Роботи зі штучним інтелектом мають широку область застосування, зокрема дослідження дна океанів, поверхні інших планет та зон із радіоактивним забрудненням. Використання роботів III-го покоління, здатних виконувати ціле направлених дій в даних областях, здійснювати пошукові, аварійні, будівельні та ремонтні операції, дозволить людству широко розширити межі свого існування.

1.2. Вибір траєкторії руху роботів-маніпуляторів

Вибір траєкторії роботів та маніпуляторів може бути здійснений на основі різноманітних факторів, таких як геометрія робочого простору, характеристики маніпулятора, вимоги до точності та швидкості виконання роботи, а також умови довкілля та безпеки праці.

Одним з найважливіших критеріїв вибору траєкторії є досяжність робочого простору маніпулятора. Це означає, що рухи маніпулятора повинні бути здійснені таким чином, щоб маніпулятор зміг дістатися до всіх точок робочого простору з потрібною точністю та швидкістю. Для цього можна використовувати різні траєкторії руху, наприклад, лінійні, криволінійні, циклічні та інші.

Іншим важливим критерієм є точність та швидкість виконання

роботи. Для досягнення максимальної точності можна використовувати траєкторії зі зменшеною швидкістю руху, а для досягнення максимальної швидкості - траєкторії зі збільшеною швидкістю.

Також необхідно враховувати умови довкілля та безпеки праці. Для цього можна використовувати такі траєкторії, які не зіткнуться з перешкодами на шляху руху, та такі, які не створюють небезпеки для оператора та оточуючих людей.

У виборі траєкторій руху роботів та маніпуляторів можна використовувати математичні методи, такі як обчислювальна геометрія, оптимізаційні алгоритми та інші методи, що дозволяють забезпечити максимальну точність та швидкість руху, а також враховувати умови безпеки праці та довкілля.

Крім математичних методів, можна використовувати спеціальне програмне забезпечення для вибору траєкторій руху. Ці програми дозволяють створювати візуальне представлення робочого простору маніпулятора, визначати оптимальні траєкторії руху з урахуванням всіх необхідних параметрів, таких як швидкість, точність та безпека праці, і відображати результати в реальному часі.

Також вибір траєкторій може залежати від конкретної задачі та типу маніпулятора. Наприклад, для маніпуляторів з багатьма ступенями вільності можуть бути використані складні траєкторії, які дозволяють досягти максимальної точності та швидкості руху. А для маніпуляторів з меншою кількістю ступенів вільності можуть бути використані більш прості траєкторії.

Узагальнюючи, вибір траєкторії руху роботів та маніпуляторів є складним процесом, який вимагає урахування багатьох факторів. Використання математичних методів та програмного забезпечення дозволяє забезпечити максимальну точність та швидкість руху, а також врахувати умови безпеки праці та довкілля.

1.3. Оптимізація режимів руху роботів-маніпуляторів

Оптимізація режиму руху маніпулятора передбачає визначення таких параметрів, як швидкість, точність та безпека праці, і розробку алгоритмів управління, які дозволяють досягти максимальної ефективності роботи маніпулятора.

Першим кроком у визначенні оптимального режиму руху маніпулятора є аналіз вимог до конкретної задачі. Наприклад, якщо необхідно підняти важкий вантаж, то важливо забезпечити достатню міцність і стабільність робочого механізму.

Після визначення вимог до режиму руху, необхідно врахувати фізичні обмеження маніпулятора, такі як максимальна швидкість, максимальна сила та момент, які він може розвивати, а також дозволений діапазон відхилень від заданої траєкторії.

Після врахування цих обмежень можна перейти до розробки алгоритмів управління маніпулятором, які дозволяють досягти максимальної точності та швидкості руху. Для цього можна використовувати різні методи, такі як алгоритми зворотного управління, методи оптимального керування, а також методи нейронних мереж.

Крім того, важливо враховувати умови безпеки праці та довкілля. Наприклад, якщо маніпулятор працює у небезпечному середовищі або поряд з людьми, то необхідно обмежити швидкість руху та використовувати додаткові заходи безпеки, такі як датчики руху, які можуть зупинити маніпулятор у разі небезпеки.

Узагальнюючи, оптимізація режиму руху маніпулятора є складним процесом, який вимагає детального аналізу вимог до задачі, врахування фізичних обмежень маніпулятора, розробки ефективних алгоритмів управління та забезпечення безпеки праці. Від оптимізації режиму руху маніпулятора залежить не тільки швидкість та точність виконання роботи, але й ефективність та безпека праці всього робочого процесу.

Для досягнення максимальної ефективності та точності роботи маніпулятора, можна використовувати різні технології та методи, такі як:

- Алгоритми зворотного управління - вони дозволяють визначити потрібні значення швидкості, прискорення та моменту на основі вимог до точності та швидкості руху маніпулятора. Ці алгоритми забезпечують стабільний режим руху маніпулятора та можуть бути використані для різних типів маніпуляторів.
- Методи оптимального керування - вони дозволяють визначити оптимальну траєкторію руху маніпулятора з урахуванням вимог до точності та швидкості, а також фізичних обмежень маніпулятора. Ці методи забезпечують максимальну точність та швидкість руху маніпулятора.
- Методи нейронних мереж - вони можуть бути використані для навчання маніпулятора виконувати певні рухи з максимальною точністю та швидкістю. Ці методи дозволяють досягти високої точності та швидкості руху маніпулятора.

Використання сучасних датчиків та систем управління - це дозволяє забезпечити безпеку праці та довкілля, а також забезпечити максимальну ефективність та точність роботи маніпулятора. Системи управління можуть бути програмовані для автоматичного відключення маніпулятора у випадку перешкод або небезпечних ситуацій, таких як випадання предметів або перегрів мотора.

Використання симуляційного програмного забезпечення - це дозволяє віртуально тестувати режими руху маніпулятора та оптимізувати їх, не використовуючи реальні обладнання. Це зменшує ризики пошкодження обладнання та забезпечує економію часу та ресурсів.

Використання систем відеоспостереження - це дозволяє оператору контролювати роботу маніпулятора та вчасно реагувати на можливі

небезпечні ситуації. Системи відеоспостереження можуть також бути використані для моніторингу стану машини та виявлення можливих дефектів або несправностей.

Усі ці технології та методи можуть бути використані для оптимізації режиму руху маніпулятора та забезпечення ефективності та безпеки праці у процесі ремонту та обслуговування сільськогосподарської техніки.

1.4.Зворотні задачі кінематики та динаміки роботів-маніпуляторів

Зворотна задача кінематики - це процес визначення значень кутів кожного з сегментів маніпулятора для досягнення певної точки в просторі або заданої траєкторії руху. Іншими словами, це процес визначення змінних кутів, що контролюють рух сегментів маніпулятора з урахуванням координат точки або траєкторії, яку потрібно досягти.

Зворотна задача кінематики є важливою складовою робототехніки і використовується в багатьох важливих застосуваннях, таких як автоматичне керування маніпуляторами, програмовані рухи роботів та автоматизовані системи виробництва.

Розв'язання зворотної задачі кінематики можна досягти за допомогою різних методів, включаючи чисельне розв'язування, символний розв'язок та аналітичні методи.

Чисельні методи використовуються для знаходження розв'язку шляхом використання ітераційних алгоритмів, таких як методи Ньютона або методи градієнтного спуску. Вони дозволяють отримати чисельну оцінку розв'язку з заданою точністю, але можуть бути витратними з обчислювальної точки зору.

Символьний розв'язок використовує аналітичні методи для отримання точного розв'язування задач кінематики, але можуть бути складним у виконанні через велику кількість математичних обчислень.

Аналітичні методи використовуються для знаходження

аналітичного виразу для кутів маніпулятора на основі відомих координат точки або траєкторії руху. Ці методи використовують математичні формули та рівняння для знаходження кутів кожного з сегментів маніпулятора.

Зворотна задача кінематики має важливе значення для розв'язання багатьох завдань робототехніки, таких як автоматичне керування маніпуляторами, планування траєкторій руху роботів та вирішення завдань обробки даних від датчиків.

Один з методів розв'язання зворотної задачі кінематики - це метод Денавіта-Гартенберга, який базується на принципі трансформацій матриць. Цей метод дозволяє визначити кути кожного з сегментів маніпулятора, використовуючи відомі координати точки, яку потрібно досягти. Процес розв'язання зворотної задачі кінематики за методом Денавіта-Гартенберга може бути складним через велику кількість обчислень, які потрібно виконати.

Інший метод - це метод клієнт-сервер, який базується на розбитті задачі на дві частини: клієнт відправляє запит на знаходження кутів маніпулятора для вказаної точки, а сервер відповідає на запит, використовуючи розрахункову мережу. Цей метод дозволяє зменшити обчислювальні витрати на клієнтській стороні, але вимагає наявності розрахункової мережі на сервері.

Зворотна задача кінематики є важливою складовою багатьох різних типів маніпуляторів, від роботів виробничої лінії до хірургічних роботів. Розв'язання цієї задачі дозволяє визначити кути кожного з сегментів маніпулятора, що дозволяє досягнути заданої точки в просторі або виконати задану траєкторію руху.

Зворотна задача динаміки пов'язана з визначенням сил і моментів, що діють на рухомий об'єкт, який може бути механічною системою або роботом. Ця задача дозволяє визначити, які сили і моменти потрібно застосувати до системи, щоб отримати задані значення руху,

наприклад, швидкості, прискорення або моменту.

Зворотна задача динаміки є важливою для розв'язання багатьох завдань, пов'язаних з робототехнікою, включаючи планування руху роботів, проектування систем управління та розробку алгоритмів управління.

Один з методів розв'язання зворотної задачі динаміки - це метод Лагранжа, який базується на законі збереження енергії та рівнянні Лагранжа другого роду. Цей метод дозволяє визначити сили і моменти, які необхідно застосувати до системи, щоб отримати задані значення руху.

Інший метод - це метод Ньютона-Ейлера, який базується на законах Ньютона та Ейлера. Цей метод дозволяє визначити сили та моменти, що діють на кожний елемент системи, використовуючи прості формули, що відображають зміну руху об'єкта.

Зворотна задача динаміки є важливою складовою в системах управління роботами та визначення оптимального керування, особливо в роботах, які працюють у складних середовищах або виконують складні завдання. Вирішення цієї задачі дозволяє покращити точність та ефективність руху робота, знизити ризик пошкодження системи та забезпечити безпеку працівників.

РОЗДІЛ 2.

РОЗРАХУНОК МЕХАНІЗМУ ВИСУВАННЯ РУКИ РОБОТА

2.1. Розробка конструкції механізму висування руки робота

Метою розроблення механізму висування руки робота-маніпулятора є підвищення ефективності маніпуляційних систем роботів при виконанні технологічних та транспортних операцій.

Запропонована конструкція механізму висування руки робота-маніпулятора, що складається з прямокутної рамної конструкції, на якій

механізм висування руки робота маніпулятора із захватним пристроєм. Приводний механізм складається з приводного електродвигуна, муфти, редуктора та гвинтової передачі. Механізм висування руки робота складається із гвинта, який горизонтально прикріплений відносно руки робота та гайки, що розміщена на напрямному кронштейні. Гвинт приводиться в рух за допомогою електродвигуна і редуктора. У нижній частині кронштейна встановлено повзун на якому закріплюється рука робота.

На кронштейні нерухомо закріплено гайку, що взаємодіє з горизонтальним гвинтом механізму пересування руки робота. Горизонтальне пересування повзуна забезпечується нижньою напрямною та втулкою, які з'єднані шарнірно між собою. Привод механізму висування руки робота-маніпулятора складається із електродвигуна, муфти, редуктора та гвинтової передачі. Механізм висування оснащено вимірювальними засобами, які здійснюють контроль показників процесу руху.

2.2. Розрахунок механізму висування руки робота-маніпулятора

Використаємо наступні вихідні дані для розрахунку гвинта:

Гвинт із трапецевидною різью $T_{пан. 8x(4x2)}$ ГОСТ 9484-73 з параметрами:

діаметр гвинта $d=8$ мм; крок гвинта $p = 2$ мм; $z = 4$ – кількість заходів гвинта; матеріал гвинта- Сталь 45.

4. Орієнтовне визначення зусиль у передачі гвинт-гайка.

В розрахунках використовуються зусилля стиску F_{cm} та зусилля зсуву $F_{зс}$.

Приймають такі показники для розрахунку:

- міцність матеріалу основи закріплення зразків (цей матеріал пластик) визначається з наступних умов і виразів:

$$\sigma_{cm} = \frac{F_{cn}}{A} \leq [\sigma]_{cm}; [\sigma]_{cm} = \frac{\sigma_s}{n};$$

- умову обмеження тиску, при якому руйнується масляна плівка

$$p = \frac{F_{cm}}{\pi d_2 H_1 \cdot z} \leq [p],$$

де $[p] = 6 \dots 12$ МПа – допустимий тиск в контактi з масляною плівкою.

Із врахуванням зазначеної міцності пластикових пластин та невеликих габаритів пристрою, приймаємо $F_{cmmax} = 150$ Н, тоді при $f_0 = 0,5$ отримаємо зусилля зсуву $F_{zc} = 150 \cdot 0,5 = 75$ Н. Тут зсувна сила дорівнює силі тертя, тобто $F_{zc} = F_{mp}$ - зсувна сила (сила тертя).

5. Внутрішній діаметр різі визначається з умови міцності на стиск. Тут допустиме напруження на стиск для сталі 45 становить $[\sigma]_{cm} = 60 \text{ кг/см}^2 = 600 \text{ Н/см}^2$. В результаті проведених розрахунків знаходимо діаметр різі за наступною формулою

$$d_3^p = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4F}{\pi \cdot [\sigma]_{cm}}} = \sqrt{\frac{1,3 \cdot 4 \cdot 7,5}{3,14 \cdot 60}} = 0,45 \text{ см} = 4,5 \text{ мм}.$$

Виходячи з наступної умови, знайдене значення відповідає умовам розрахунку, тобто:

$$d_3^p = 4,5 \text{ мм} < d_3 = 5,5 \text{ мм}.$$

6. Кут підйому гвинтової лінії визначається наступною залежністю і приймає таке значення

$$\psi = \arctg \frac{D_z}{D \cdot d_2} = \frac{8}{3,14 \cdot 7,0} = \arctg 0,3639; \psi = 20^\circ,$$

де $P_2 = P \cdot z = 2,0 \cdot 4 = 8$ мм – хід гвинта.

6. Приведений кут тертя (сталь по сталі) визначається наступною залежністю і приймає таке значення

$$\rho' = \arctg \frac{f}{\cos \alpha / 2} = \frac{f}{\cos 30^\circ / 2} = \frac{0,15}{0,965} = 0,1554,$$

де $f = 0,15$ – коефіцієнт тертя ковзання; $\alpha = 30^\circ$ - кут профілю трапецевидної різі; $\rho' = 8^\circ 51'$ - приведений кут тертя.

Виходячи з умови $\psi > \rho$ - умова руху гайки (гвинта) самогальмування буде відсутнє.

7. К.К.Д. передачі визначається таким виразом і його значення становить

$$\eta_{z.n} = \frac{\operatorname{tg} \psi}{\operatorname{tg}(\psi + \rho')} = \frac{\operatorname{tg} 20^{\circ}}{\operatorname{tg}(20^{\circ} + 8^{\circ} 51')} = 0,66$$
$$\eta_{z.n} = 0,66$$

8. Момент сил тертя у різі та на торці гайки визначається таким виразом і становить таке значення

$$T_{\text{заг}} = F_{\text{зс}} \frac{d_2}{2} \operatorname{tg}(\psi + \rho') + \frac{1}{3} f \cdot F \cdot d_n = 7,5 \cdot 0,35 \cdot 0,5508 + \frac{1}{3} \cdot 0,15 \cdot 7,5 \cdot 0,45 = 1,61 \text{ кгс} \cdot$$

см = 16,1 Н.см.

$$d_n = d_3 - 1 = 5,5 - 1 = 4,55 \text{ мм.}$$

Для горизонтального ходового гвинта зусилля зсуву становить $F_{\text{см}} = 15 \text{ кг} = 150 \text{ Н}$.

Тоді момент сил тертя на гайці прийме таку величину

$$T'_{\text{заг}} = 32,2 \text{ Н.см.}$$

9. Перевіримо гвинт на поздовжній згин при довжині гвинта $l = 0,35 \text{ м}$.

Довжина гвинта визначалась конструктивно зі схеми робота-маніпулятора.

Умова міцності гвинта механізму висування руки робота-маніпулятора має такий вигляд

$$\sigma = \frac{4F}{\pi \cdot d_1^2} \leq \varphi[\sigma_{\text{см}}].$$

Жорсткість гвинта механізму висування руки робота-маніпулятора визначається так і її величина становить

$$\lambda = \frac{M \cdot e}{i} = \frac{4 \cdot 250}{11,25} = 88,8$$

$M = 4$ – шарнірне кріплення гвинта;

$$i = \frac{d_3}{4} = \frac{45}{4} = 11,25 - \text{ радіус інерції стержня гвинта.}$$

За такої жорсткості горизонтального гвинта коефіцієнт зменшення напруження дорівнює $\varphi = 0,30$.

Дійсні напруження в матеріалі гвинта становлять такі значення:

$$\sigma = \frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 45^2} = \frac{1800}{6358,5} = 0,28 \text{ МПа};$$

$$\varphi \cdot [\sigma_{cm}] = 0,30 \cdot 12 = 3,6 \text{ МПа (1,8 МПа)}.$$

Згідно отриманих результатів умови жорсткості і міцності виконуються.

10. Знайдемо кількість витків гайки виготовленої із бронзи за умови зносостійкості:

Кількість витків гайки визначається за виразом і приймає таке значення

$$z = \frac{4F}{\pi(d^2 - d_3^2) \cdot [q]} = \frac{4 \cdot 900}{3,14(8^2 - 5,5^2)} = \frac{3600}{847,8} = 4,3$$

де $[q] = 8 \text{ Н/мм}^2$ допустиме значення тиску між гайкою та гвинтом.

Приймаємо кількість витків гайки, яке дорівнює $z = 8$.

Висота гайки визначається такою залежністю і приймає значення

$$H = z \cdot p = 8 \cdot 2 = 16 \text{ мм}.$$

11. Знайдемо зовнішній діаметр гайки з умови міцності на розтяг за такою формулою:

$$D = \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_p]} + d^2},$$

де $[\sigma_p]$ - допустиме напруження розтягу для бронзи Бр.ОФ 10-1, яке визначається таким виразом і становить

$$[\sigma_p] = \frac{\sigma_s}{S} = \frac{180}{2,5} = 72 \text{ МПа}.$$

Тут $\sigma_s = 180 \text{ МПа}$ – межа міцності матеріалу гайки; $S = 2,5$ – коефіцієнт запасу міцності гайки.

Після чого зовнішній діаметр гайки становить таку величину

$$D = \sqrt{\frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 72} + 8^2} = 8,48 \text{ мм.}$$

Приймаємо діаметр гайки рівним $D = 18 \text{ мм}$

Діаметр буртику гайки визначається таким виразом

$$D_1 = \sqrt{\frac{4F}{\pi[\sigma_{зм}]} + D^2} = \sqrt{\frac{4 \cdot 450}{3,14 \cdot 55} + 18^2} = 18,2 \text{ мм;}$$

Тут $[\sigma_{зм}] = 55 \text{ МПа}$ – допустимі напруження на зминання буртику гайки гвинтової передачі.

Приймаємо діаметр буртика гайки рівним $D_1 = 20 \text{ мм}$.

Висота буртика гайки з умови міцності на зріз визначається таким виразом

$$h = \frac{F}{\pi D [\tau_{зр}]} = \frac{450}{3,14 \cdot 18 \cdot 27} = 0,58 \text{ мм.}$$

Приймаємо висоту буртика $h = 5 \text{ мм}$.

2.3. Розрахунок на міцність основних елементів механізму висування руки робота-маніпулятора

1. Для приводу механізму переміщення механізму висування руки робота-маніпулятора приймаємо серводвигуни типу 86ВНН76 – 380Р – 40 МР; $U = 1,52 \text{ В}$ – напруга; $T = 3,5 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – крутний момент; $L = 94 \text{ мм}$ – довжина; $m = 2,3 \text{ кг}$ – маса; $d_e = 18 \text{ мм}$ – діаметр валу.

2. Вибір підшипників механізму висування руки робота-маніпулятора

Для встановлення гвинта механізму висування руки робота-маніпулятора використовуємо підшипники типу N1008, сферичний кульковий, радіальний; $d = 8 \text{ мм}$ – внутрішній діаметр; $D = 22 \text{ мм}$ – зовнішній діаметр; $B = 8 \text{ мм}$ – ширина, $C = 2060$; $C_0 = 670$ – динамічна та статична вантажопідйомність підшипника.

Вихідні дані до розрахунку механізму висування руки робота-маніпулятора: діаметр валу $d = 8 \text{ мм}$; кутова швидкість валу $\omega = 1,0 \text{ с}^{-1}$, строк служби $L_h = 8000 \text{ год}$, допустима температура $t \leq 100^\circ \text{ С}$.

Радіальне навантаження на підшипник визначається таким чином

$$P_{2I} = P_{2II} = \frac{F_{cm}}{2} = \frac{900}{2} 450 \text{ Н}.$$

Колова сила F_t визначається таким виразом

$$F_t = \frac{2T}{a_2} = \frac{2 \cdot 3,5}{0,007} = \frac{7,0}{0,007} = 100 \text{ Н};$$

$$F_t = F_a \operatorname{tg}(\varphi + \rho) - \text{колове зусилля.}$$

Осьове зусилля визначається за формулою і приймає значення

$$F_a = \frac{F_t}{\operatorname{tg}(\varphi + \rho')} = \frac{100}{\operatorname{tg}(20^\circ + 8^\circ 51')} = 117,6 \text{ Н.}$$

3. Визначення типу підшипника

Визначаємо тип підшипника, виходячи із такої залежності

$$\frac{F_a}{P_z} = \frac{117,6}{450} = 0,26.$$

За результатами розрахунків вибираємо кульковий радіальний підшипник.

4. Визначимо потрібну статичну вантажопідйомність підшипника за наступною формулою

$$C_0 = 0,1 \cdot f_c \cdot P_0,$$

де $f_c = 1,2$ – коефіцієнт надійності.

Еквівалентне статистичне навантаження визначається за такою залежністю

$$P_0 = X_0 P_2 + Y_0 \cdot F_{a2}.$$

Тут $X_0 = 1,0$ – коефіцієнт радіального навантаження;

$Y_0 = 0,44 \cdot \operatorname{ctg} \beta = 0,44 \cdot 8,14 = 3,5$ – коефіцієнт осьового навантаження;

$P_{2I} = 450 \text{ Н}$ – радіальне навантаження;

$F_a = 117,6 \text{ Н}$ – осьове навантаження, яке приймає таку величину

$$P_0 = 1,0 \cdot 450 + 3,5 \cdot 117,6 = 861,6 \text{ Н.}$$

Необхідна статична вантажопідйомність підшипника приймає таку величину

$$C_{нст} = 0,1 \cdot 1,2 \cdot 861,6 = 103.$$

$C_{нст} = 103 < C_0 = 670$ – умова виконується, тому підшипник задовольняє умовам роботи конструкції механізму висування руки робота-маніпулятора.

ВИБИРАЄМО ПІДШИПНИК N1008 З ПАРАМЕТРАМИ: ДІАМЕТР ВНУТРІШНЬОГО КІЛЬЦЯ $D = 8$ ММ; ДІАМЕТР ЗОВНІШНЬОГО КІЛЬЦЯ $D = 22$ ММ; ШИРИНА ПІДШИПНИКА $B = 8$ ММ.

РОЗДІЛ. 3

ДИНАМІЧНИЙ АНАЛІЗ МЕХАНІЗМУ ВИСУВАННЯ РУКИ РОБОТА

3.1. Загальні відомості про динаміку та моделювання роботів-маніпуляторів

При роботі роботів-маніпуляторів на ділянках перехідних процесів (пуск, гальмування, зміна швидкості руху) в елементах конструкцій, приводних механізмах та захватних пристроях виникають значні динамічні навантаження. Вони негативно впливають на їхню точність позиціонування, продуктивність, надійність та енергетичні витрати. Для зменшення негативного впливу динамічних навантажень на роботу роботів-маніпуляторів виникає потреба у виявленні причин появи цих навантажень і встановлення напрямків їхнього зменшення. Тому виникає необхідність в дослідженні динамічних процесів при русі роботів-маніпуляторів. Для проведення динамічних досліджень необхідно побудувати динамічну модель робота-маніпулятора з вантажем, який треба переміщувати.

При переході від реальної механічної системи робота-маніпулятора до його динамічної моделі нехтують характеристиками, які несуттєві для даного розрахунку або дослідження [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**]. В загальному випадку при побудові динамічної моделі механічної системи робота-маніпулятора необхідно враховувати зосереджені маси, пружність елементів, залежності рушійних та гальмівних сил двигуна від частоти обертання його ротора, зміну приведених мас тощо. У кожному конкретному випадку одні характеристики є головними, а інші – несуттєвими. Динамічна модель робота-маніпулятора не повинна бути громіздкою, вона повинна відображати суттєві елементи механічної системи та їхні механічні властивості, бути нескладною для спрощення розрахунків [**Ошибка! Источник ссылки не найден.**].

Розв'язування задач динаміки роботів-маніпуляторів починається зі збору фактів та даних наукових спостережень про їхню роботу. На їхній базі проводиться формалізація руху роботів-маніпуляторів і будується їх

динамічна модель, тобто виділяються їх найбільш суттєві характеристики й проводиться їх опис та графічне зображення. Динамічна модель робота-маніпулятора повинна задовольняти такі вимоги:

- бути в необхідній мірі адекватною реальній системі робота-маніпулятора й, наскільки це можливо, відобразити його основні фізичні властивості;
- бути не дуже складною, щоб розв'язування задачі динаміки не було досить трудомістким.

3.2. Побудова динамічної моделі висування руки робота-маніпулятора

На рис.3.1 представлено кінематичну схему приводного механізму висування руки робота-маніпулятора із захватним пристроєм та вантажем.. На цій схемі прийняті такі позначення: 1 – приводний електродвигун; 2 – муфта зчеплення; 3 – гвинт; 4 – гайка; 5 – рука робота-маніпулятора; 6 - захватний пристрій з вантажем.

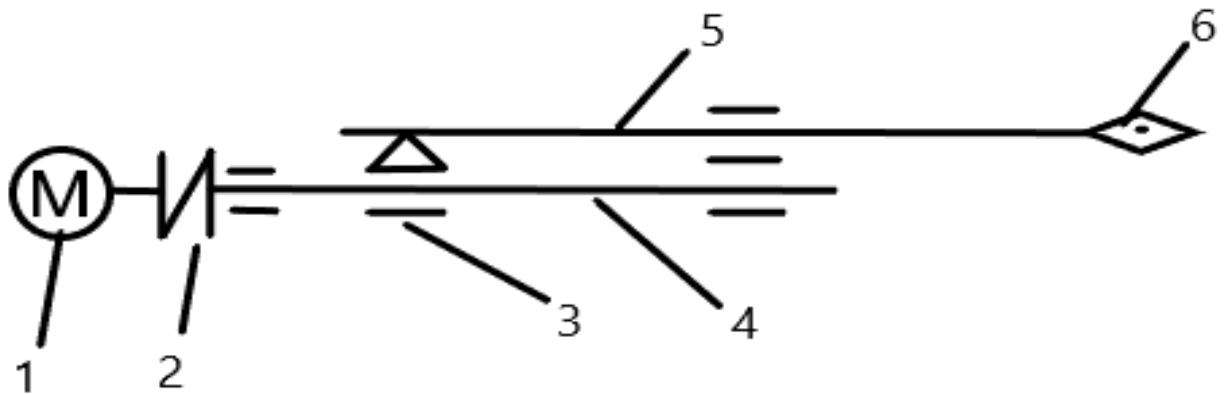


Рис. 3.1 – Кінематична схема механізму висування руки робота-маніпулятора

При побудові динамічної моделі розділимо механізм висування руки робота-маніпулятора на дві частини. До першої частини віднесемо приводний механізм з елементами 1, 2, 3 і 4, а до другої - руку робота-маніпулятора з елементами 5, 6 та 7.. Будемо вважати, що всі елементи

механізму висування руки робота є абсолютно твердими тілами, окрім елементів передавального механізму, які володіють пружними властивостями і зведені до переміщення руки маніпулятора. Тоді механізм висування руки робота-маніпулятора можна представити у вигляді двомасової динамічної моделі, яка наведена на рис.3.2.

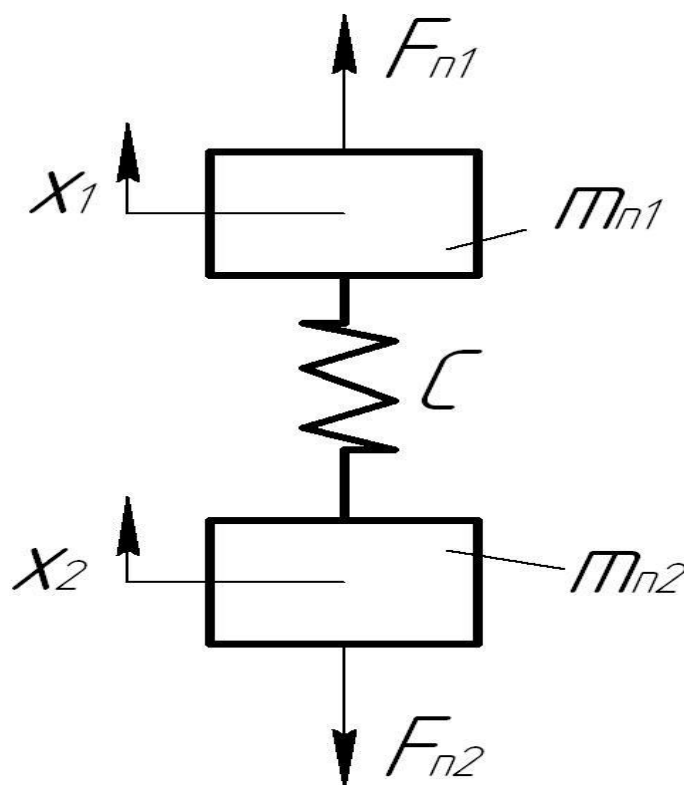


Рис. 3.2. Динамічна модель механізму висування руки робота

В цій моделі прийняті такі позначення: C – коефіцієнт жорсткості пружного елемента, що з'єднує зведені маси; m_{n1} і m_{n2} відповідно зведені маси першої і другої частин динамічної моделі; F_{n1} і F_{n2} - зведені сили, які прикладені відповідно до першої та другої зведених мас; x_1 і x_2 відповідно узагальнені координати першої і другої зведених мас системи.

Зведена маса m_{n1} визначається з умови рівності кінетичних енергій першої частини реального механізму висування руки робота-маніпулятора T_{PI} (див. кінематичну схему – рис.3.1) і першої частини його динамічної моделі T_{M1} (рис.3.2), тобто

$$T_{PI} = T_{M1} \quad (4.1)$$

T_{PI} – кінетична енергія першої частини реальної системи механізму висування руки робота-маніпулятора;

T_{MI} - кінетична енергія першої частини динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора.

Кінетична енергія першої частини динамічної моделі визначається такою залежністю

$$T_M = \frac{1}{2} m_{П1} * \dot{x}_1^2. \quad (3.2)$$

Кутова швидкість електродвигуна визначається за такою формулою:

$$\omega_{дв} = \frac{2\dot{x}_1}{D} u.$$

Кінетична енергія першої частини реальної системи механізму висування руки робота визначається такою залежністю

$$T_P = \frac{1}{2} (J_P + J_{M-\Gamma}) \omega_{дв}^2 \delta + \frac{1}{2} J_K \omega_K^2 + \frac{1}{2} m_B \dot{x}_1^2 = \frac{1}{2} \delta (J_P + J_{M-\Gamma}) \frac{4\dot{x}_1^2}{D^2} u^2;$$
$$T_P = \frac{\dot{x}_1^2}{2} [\delta (J_P + J_{M-\Gamma}) \frac{4u^2}{D^2}]. \quad (3.3)$$

Прирівнявши вирази (3.2) і (3.3), отримаємо таке рівняння

$$\frac{1}{2} m_{П1} \dot{x}_1^2 = \frac{\dot{x}_1^2}{2} [4\delta (J_P + J_{M-\Gamma}) \frac{u^2}{D^2}].$$

З отриманого рівняння знайдемо першу приведену масу динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора, яка виражається такою залежністю

$$m_{п1} = \left[4\delta(J_P + J_{M-\Gamma}) \frac{u^2}{D^2} \right], \quad (3.4) \quad 3$$

де $\delta = 1,1$ – коефіцієнт який враховує інерційність елементів передавального механізму приводу;

J_P – момент інерції ротора електродвигуна, який приймає таке числове значення

$$J_P = 0,12 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

$J_{M-\Gamma}$ – момент інерції муфти, який приймає таке числове значення

$$J_{M-\Gamma} = 0,059 \text{ кг} \cdot \text{м}^2;$$

D – діаметр зубчастого колеса;

x_1, x_2 – координати центрів мас першої та другої зведених мас моделі відповідно;

m – маса вантажу.

Рушійна сила електродвигуна $F_{п1}$, яка зведена до руки маніпулятора, визначається з умови рівності потужності сил реального механізму висування руки робота-маніпулятора і сил його динамічної моделі.

$$P_M = P_P. \quad (3.5)$$

Потужність сил першої частини моделі визначається залежністю

$$P_M = F_{п1} \cdot \dot{x}_1. \quad (3.6)$$

Потужність сил першої частини реальної системи механізму висування руки

робота-маніпулятора становить

$$P_P = M_{дв} \cdot \omega_{дв} = M_{дв} \cdot \frac{2\dot{x}_1}{D} u. \quad (3.7)$$

Прирівнявши вирази (3,6) і (3.7), в результаті чого отримаємо

$$F_{п1} \dot{x}_1 = M_{дв} \frac{2\dot{x}_1}{D} u.$$

З отриманого рівняння знаходимо зведену силу першої маси динамічної моделі механізму висування руки робота

$$F_{п1} = \frac{2M_{дв}u}{D}\eta \quad (3.8)$$

де η – ККД від двигуна до руки робота-маніпулятора, який приймає таке значення

$$\eta = 0,93.$$

Зведена сила другої маси динамічної моделі механізму висування руки робота

$$F_{п2} = (m_p + m + m_{з.п.})g * f, \quad (3.9)$$

де f - коефіцієнт тертя руки маніпулятора по напрямній;

$$f = 0,01; \quad .$$

Момент на валу електродвигуна визначається за формулою Клосса:

$$M_{дв} = \frac{2M_{кр}}{\frac{S}{S_{кр}} + \frac{S_{кр}}{S}}. \quad (3.10)$$

Номінальний момент на валу електродвигуна визначається залежністю:

$$M_H = \frac{P_H}{\omega_H}.$$

Номінальна кутова швидкість електродвигуна має вигляд:

$$\omega_H = \frac{\pi n_H}{30}.$$

Критичний момент електродвигуна визначається наступним виразом

$$M_{кр} = M_H \lambda,$$

λ – коефіцієнт перенавантаження електродвигуна, який становить

$$\lambda = 2,5;$$

$S = 1 - \frac{\omega_{дв}}{\omega_H}$ – ковзання електродвигуна;

S_H – номінальне ковзання електродвигуна, яке визначається залежністю

$$S_H = 1 - \frac{\omega_{дв}}{\omega_0};$$

$S_{кр}$ – критичне ковзання електродвигуна, яке визначається залежністю

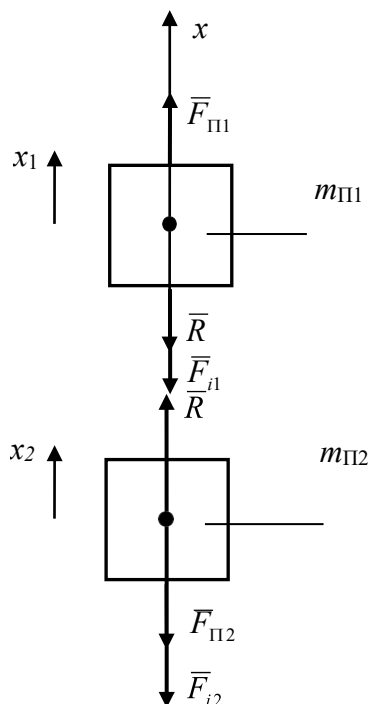
$$S_{кр} = S_H (\lambda + \sqrt{\lambda^2 - 1}).$$

3.3. Побудова математичної моделі динаміки механізму висування руки робота-маніпулятора

На основі побудованої динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора побудуємо його математичну модель, для цього використаємо найбільш простий метод динамічної рівноваги. Побудуємо математичну модель динаміки руху механізму висування руки робота-маніпулятора методом Даламбера, суть якого полягає в тому, що розглядається динамічна рівновага кожної зі зведених мас динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора і для них складаються рівняння динамічної рівноваги.

Розчленуємо дві маси динамічної моделі на окремі маси і замінимо в'язь³ пружного елемента реакцією в'язі. Крім того, до кожної з мас прикладемо сили інерції. В результаті таких перетворень динамічна модель механізму висування руки робота-маніпулятора (рис.3.2) набуде вигляду, який представлено на рис.3.3.

Після цього розглянемо динамічну рівновагу кожної з виділених мас. Для цього спроектуємо всі сили, що діють на кожну з мас на вертикальну вісь, оскільки всі сили діють вздовж вертикальної осі, тому наведемо для них рівняння рівноваги.



В результаті чого будемо мати:

– для першої маси

$$F_{П1} - R - F_{i1} = 0 ; \quad (3.11)$$

– для другої маси

$$R - F_{П2} - F_{i2} = 0 . \quad (3.12)$$

Розв'язуючи спільно рівняння (3.11) та (3.12), знайдемо закон руху електротрактора для динамічної моделі, що наведена на рис. 3.2.

У рівняннях (3.11) та (3.12) вирази реакції та сил інерції мають такий вигляд

$$R = c_{П}(x_1 - x_2) \quad (3.13)$$

$$F_{i1} = m_{П1} \cdot \ddot{x}_2 ; \quad (3.14)$$

$$F_{i2} = m_{П2} \cdot \ddot{x}_2 , \quad (3.15)$$

Рис. 3.3

– прискорен

Після підстановки виразів (3.13), (3.14), (3.15) у рівняння (3.11) та (3.12) отримаємо систему диференціальних рівнянь, які будуть представляти математичну модель динаміки руху механізму висування руки робота-маніпулятора

$$\begin{cases} F_{П1} - c_{П} \cdot (x_1 - x_2) - m_{П1} \cdot \ddot{x}_1 = 0 \\ c_{П} \cdot (x_1 - x_2) - F_{П2} - m_{П2} \cdot \ddot{x}_2 = 0 \end{cases}$$

Зробивши деякі перетворення, отримаємо кінцевий вигляд математичної моделі динаміки руху механізму висування руки робота-маніпулятора

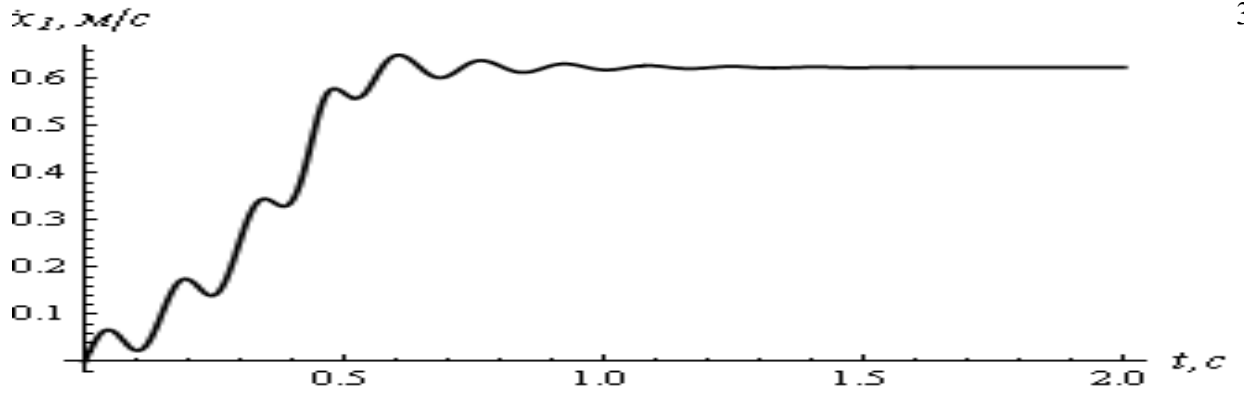
$$\begin{cases} m_{п1} \cdot \ddot{x}_1 = F_{п1} - c_{п} \cdot (x_1 - x_2) \\ m_{п2} \cdot \ddot{x}_2 = -F_{п2} + c_{п} \cdot (x_1 - x_2) \end{cases} \quad (3.16)$$

В систему рівнянь необхідно ввести вирази зведених мас $m_{п1}$ та $m_{п2}$, зведених сил $F_{п1}$ та $F_{п2}$ і коефіцієнта жорсткості $c_{п}$. В результаті розв'язку системи з урахуванням виразів $m_{п1}$, $m_{п2}$, $F_{п1}$, $F_{п2}$ і $c_{п}$ отримуємо закон динаміки руху механізму висування руки робота-маніпулятора.

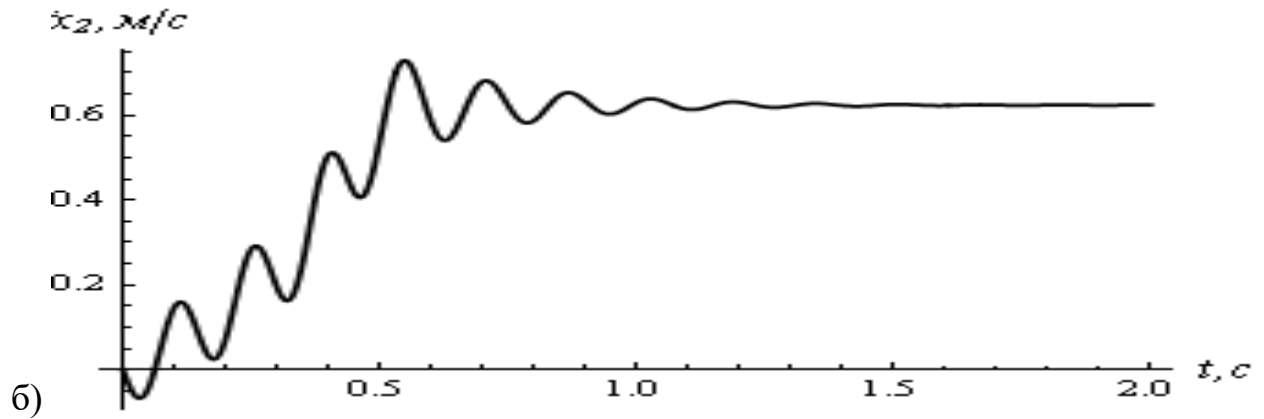
Оскільки представлена система диференціальних рівнянь руху (3.16) є нелінійною за рахунок нелінійності механічної характеристики приводного електродвигуна, то для їхнього розв'язування доцільно використати чисельні методи з використанням комп'ютерної техніки. Зокрема, тут може бути використана програма «Mathematica» або інші програми. На основі розв'язку системи диференціальних рівнянь руху механізму висування руки робота-маніпулятора визначити кінематичні, силові та енергетичні характеристики в ланках механізму. До таких характеристик можна віднести залежності переміщень, швидкостей та прискорень першої та другої зведених мас, рушійного моменту та потужності на валу приводного електродвигуна, зусилля в пружному елементі передавального механізму та швидкості його зміни в часі на ділянках пуску, усталеного руху та гальмування. Крім того, доцільно визначати абсолютні максимальні значення цих характеристик в процесі руху, а також побудувати фазові портрети коливань.

3.4.Результати динамічного аналізу режиму руху механізму висування руки робота-маніпулятора

В результаті проведеного динамічного аналізу динаміки руху механізму висування руки робота-маніпулятора побудовані графічні залежності кінематичних (рис.3.4 – 3.9), динамічних (рис.3.10 – 3.11) та енергетичних (рис. 3.12) характеристик.



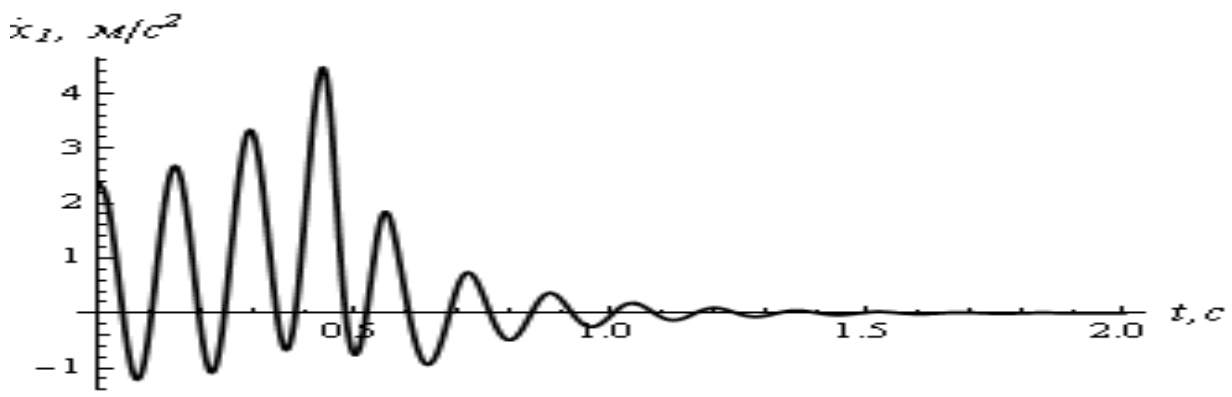
а)



б)

Рис. 3.4 - Графіки зміни лінійної швидкості першої (а) та другої (б) мас моделі

Графічна залежності швидкості першої та другої мас моделі показують, що система має коливання швидкості першої та другої мас, а також бачимо, на яких секундах двигун починає працювати в усталеному для нього режимі.



а)



б)

Рис.3.5 - Графіки зміни лінійного пришвидшення першої (а) та другої (б) мас моделі

Графік пришвидшення першої та другої мас показує зростання пришвидшення із збільшенням швидкості обертання двигуна, яке поступово виходить на розрахункове.

Максимальне пришвидшення першої маси $4,47 \text{ м/с}^2$, а другої маси максимальне пришвидшення становить $6,39 \text{ м/с}^2$.

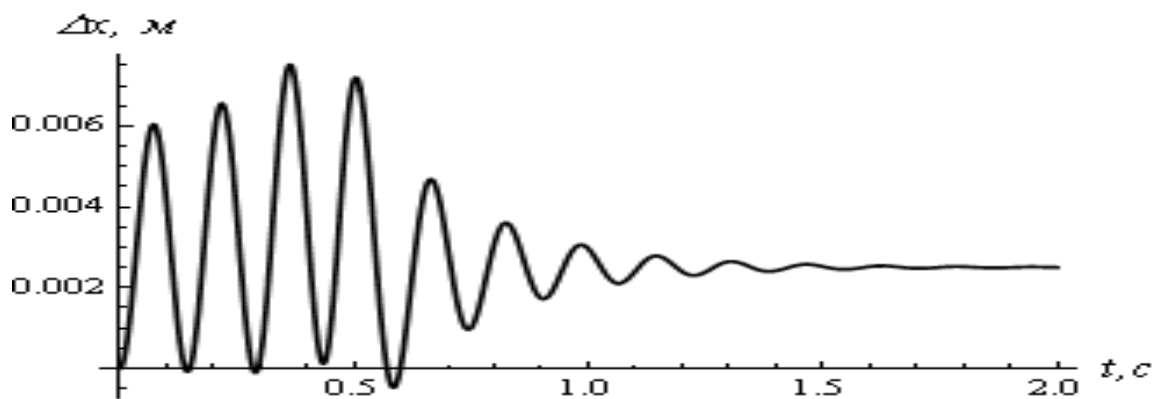
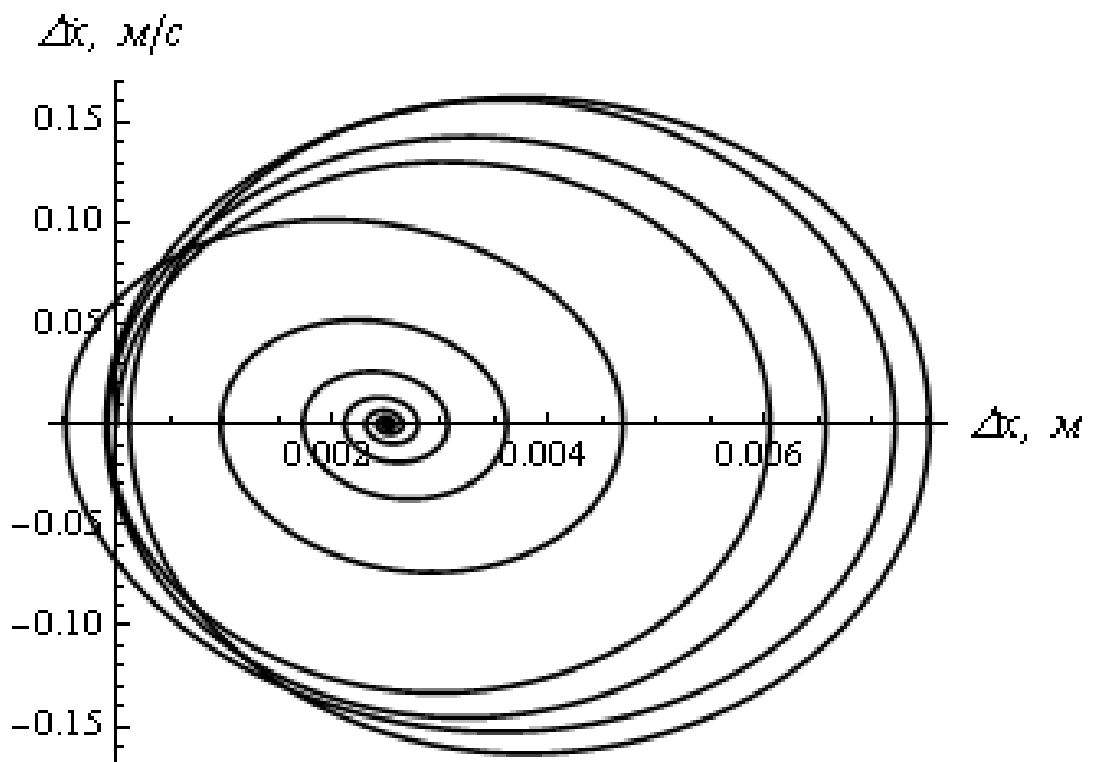


Рис. 3.6 - Графік деформації передавального механізму

Максимальне видовження механізму висування руки рівне 8 мм, а усталене — 3 мм.

Видовження руки здійснюється за рахунок пружності елементів приводу механізму висування руки робота-маніпулятора.



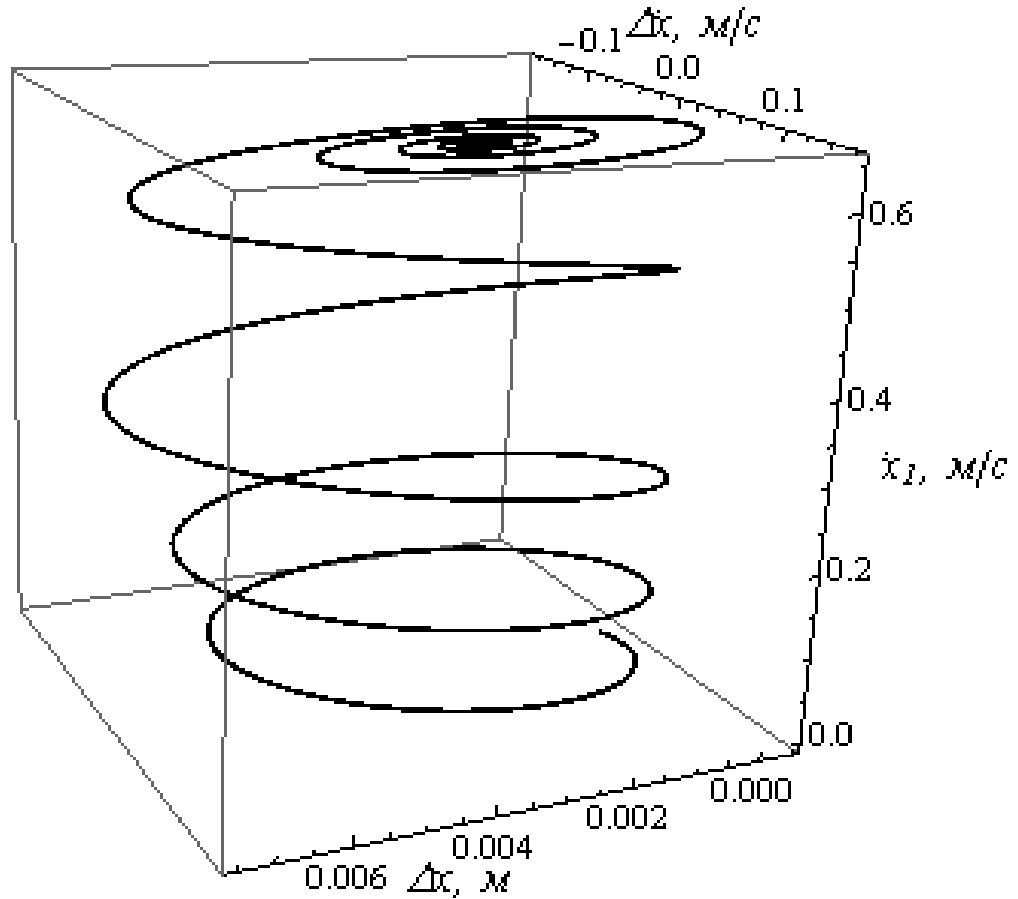


Рис. 3.9 - 3D фазовий портрет коливань

За допомогою графіків на рис. 3.8 та 3.9 можемо бачити коливання механізму висування руки робота- маніпулятора на площині та в 3D просторі.

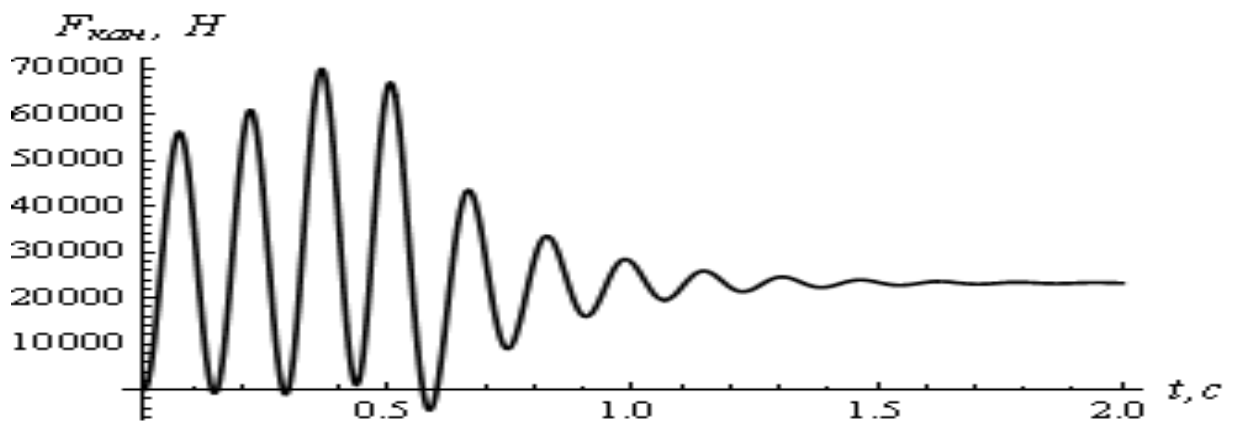


Рис. 3.10 - .Графік зміни зусилля в рейковій передачі

Графік зміни зусилля в рейковій передачі механізму висування руки робота відображає напруження в рейковій передачі під час пуску, яке в декілька разів перевищує номінальне розрахункове значення. Далі зусилля стабілізується.

коефіцієнт динамічності передавального механізму рівний 3,0012.

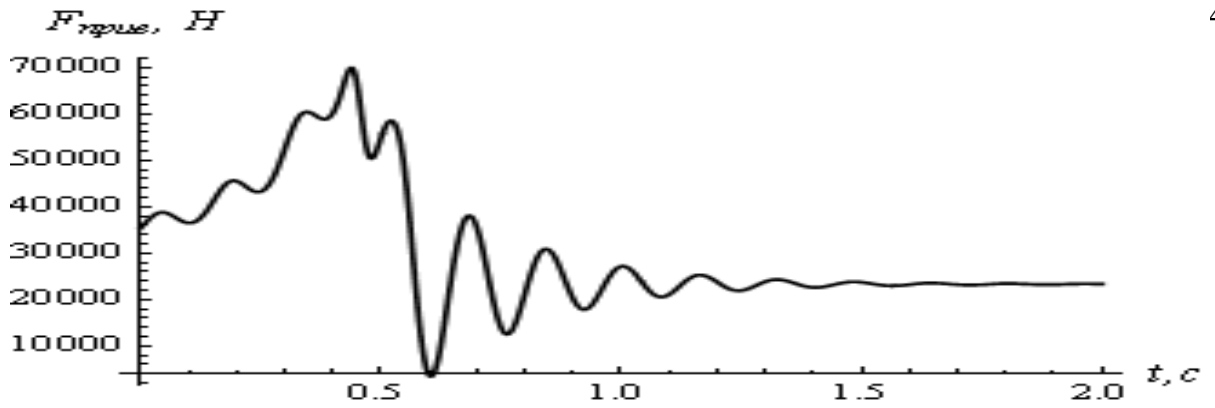


Рис. 3.11 - Графік рушійного зусилля в привіді

Графік рис.3.11 відображає процес зміни зусилля в пружному елементі приводу під час процесу пуску. На початку пуску зусилля в рази перевищує усталене навантаження, що є не бажаним процесом.

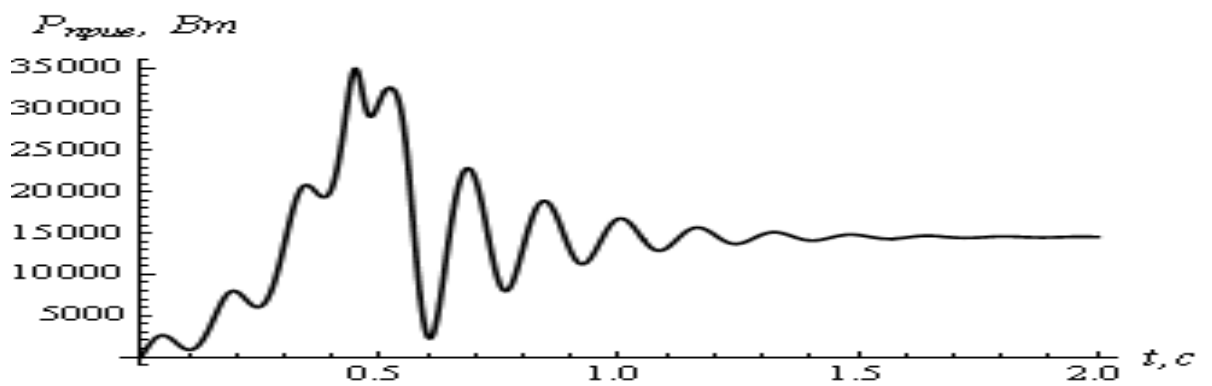


Рис. 3.12 - Графік зміни потужності приводу

Рис.3.12 вказує на те, що змінюється потужність електродвигуна в коливальному режимі під час розгону приводу механізму висування руки робота-маніпулятора. Перевантаження двигуна за потужністю 2,33.

З наведених графічних залежностей можна зробити висновок, що усі розглянуті характеристики змінюються з високочастотними коливаннями, які з часом затухають (рис.3.6). Одак на ділянці пуску ці коливання дають значні перевантаження механізму висування руки робота. Так, наприклад, максимальне значення швидкості руху другої зведеної маси майже вдвічі перевищує усталене значення швидкості руху першої маси (рис.3.4). Крім того, максимальне значення пришвидшення другої маси вдвічі перевищує максимальне пришвидшення першої маси (рис.3.5). Максимальне

значення зусилля в пружному елементі в 2,7 разів перевищує усталене ⁴ значення (рис.3.7). Максимальне значення потужності приводу в 2,1 рази перевищує його усталене значення.

РОЗДІЛ. 4

ОПТИМІЗАЦІЯ РЕЖИМУ РУХУ МЕХАНІЗМУ ВИСУВАННЯ РУКИ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

4.1. Вибір критерію оптимізації режиму руху

Важливою характеристикою механізму висування руки робота-маніпулятора є забезпечення необхідного зусилля приводу при переміщенні вантажів. Більше того, при використанні робота-маніпулятора в інтенсивному режимі в його елементах та приводному механізмі виникають динамічні навантаження, які мають суттєвий вплив на його точність позиціонування, продуктивність, надійність та енергетичні витрати. Зусилля в приводі при висуванні руки робота та величина динамічних

навантажень в значній мірі залежать від величини та характеру зміни ⁴ рушійного моменту приводного електродвигуна висування руки. В зв'язку з цим виникає потреба в керуванні рушійним зусиллям приводу механізму висування руки робота-маніпулятора. Найбільшу ефективність від такого керування можна отримати, якщо використовувати методи оптимального керування рухом механізму висування руки робота-маніпулятора.

Найбільш доцільним є розв'язання задачі оптимального керування рухом механізму висування руки робота-маніпулятора, якщо обрати в якості параметра керування рушійне зусилля приводного механізму. Рушійне зусилля обмежується, однак воно має більш природний характер, в порівнянні з обмеженням пришвидщення механізму висування руки робота-маніпулятора. Це пришвидщення визначається потужністю приводного електродвигуна та вимогами міцності елементів конструкції робота. Це означає, що швидкість та пришвидщення руки робота змінюватимуться залежно від рушійного зусилля та сили опору при його переміщенні. Це призведе до ускладнення розв'язання задачі керування, проте режим руху, який буде отримано, можна вважати оптимальним з точки зору швидкодії, тобто підвищення продуктивності механізму висування руки робота-маніпулятора при виконанні технологічних чи транспортних операцій. Звідси можна зробити висновок, що основу критерію оптимального керування рухом механізму висування руки робота-маніпулятора повинно складати рушійне зусилля приводного механізму. Причому це зусилля повинно відображати рух механізму висування руки робота-маніпулятора протягом всієї ділянки руху і представлятись в квадратичному вигляді, щоб не було можливості компенсації додатних значень зусиль їхніми від'ємними значеннями.

Тому за критерій оптимізації режиму руху механізму висування руки робота-маніпулятора доцільно обрати середньоквадратичне значення рушійного зусилля приводного механізму за час перехідного процесу руху (пуск, гальмування, зміна швидкості руху тощо), яке визначається такою залежністю

$$F_{\text{пуск}} = \left[\frac{1}{t_1} \int_0^{t_1} F_{\text{п1}}^2 dt \right]^{\frac{1}{2}} \rightarrow \min, \quad (4.1)$$

де t - час; t_1 - тривалість перехідного процесу руху механізму висування руки робота-маніпулятора.

Для розв'язання задачі оптимального керування рухом механізму висування руки робота-маніпулятора використаємо двомасову динамічну модель у вигляді, який розглянуто в третьому розділі магістерської роботи. Така динамічна модель описується системою диференціальних рівнянь (3.17).

З другого рівняння системи (3.17) виразимо координату першої маси динамічної моделі через координату другої маси, в результаті чого будемо мати:

$$\begin{aligned} x_1 &= x + \frac{ml}{mg} x^{\text{II}}; \\ x_1 &= x + \frac{l}{g} x^{\text{II}}. \end{aligned} \quad (4.2)$$

Взявши похідні за часом від виразу (4.2), знайдемо швидкість та пришвидшення першої маси динамічної моделі, які визначаються так:

$$x_1^{\text{I}} = x^{\text{I}} + \frac{l}{g} x^{\text{III}}; \quad (4.3)$$

$$x_1^{\text{II}} = x^{\text{II}} + \frac{l}{g} x^{\text{IV}}. \quad (4.4)$$

Після підстановки виразів (4.2)...(4.4) в перше рівняння системи (3.17) отримаємо наступне рівняння

$$m_{\text{п1}} \left(x^{\text{II}} + \frac{l}{g} x^{\text{IV}} \right) = F_{\text{п1}} - mx^{\text{II}} - F_{\text{п2}}. \quad (4.5)$$

З рівняння (4.5) визначимо рушійне зусилля приводного механізму висування руки робота-маніпулятора

$$F_{\text{п1}} = (m_{\text{п1}} + m)x^{\text{II}} + m_{\text{п1}} \frac{l}{g} x^{\text{IV}} + F_{\text{п2}}. \quad (4.6)$$

Після чого отримаємо підінтегральний вираз для критерію (4.1)

$$f = F_{\text{п1}}^2 = \left[(m_{\text{п1}} + m)x^{\text{II}} + m_{\text{п1}} \frac{l}{g} x^{\text{IV}} + F_{\text{п2}} \right]^2. \quad (4.7)$$

В результаті чого побудовано інтегральний динамічний критерій, який

дозволяє визначити оптимальний режим руху механізму висування руки⁴ робота-маніпулятора під час проходження перехідного процесу. Оскільки отриманий динамічний критерій відображає небажані властивості (дію рушійного зусилля) механізму висування руки робота-маніпулятора, тому його необхідно мінімізувати.

4.2. Оптимізація режиму руху механізму висування руки робота-маніпулятора

Умовою мінімуму інтегрального функціоналу (4.1), з урахуванням виразу (4.7), є рівняння Ейлера-Пуассона

$$\frac{\delta f}{\delta x} - \frac{d}{dt} \frac{\delta f}{\delta x^I} + \frac{d^2}{dt^2} \frac{\delta f}{\delta x^{II}} - \frac{d^3}{dt^3} \frac{\delta f}{\delta x^{III}} + \frac{d^4}{dt^4} \frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 0. \quad (4.8)$$

Провівши необхідні для рівняння (4.8) операції диференціювання над виразом (4.7), отримаємо такі вирази:

$$\frac{\delta f}{\delta x} = 0; \quad \frac{\delta f}{\delta x^I} = 0; \quad \frac{\delta f}{\delta x^{III}} = 0;$$

Тоді

$$\frac{\delta f}{\delta x^{II}} = 2 \left[(m_{п1} + m)x^{II} + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{п2} \right] (m_{п1} + m);$$

$$\frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 2 \left[(m_{п1} + m)x^{II} + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + F_{п2} \right] m_{п1} \frac{l}{g};$$

$$\frac{d^2}{dt^2} \frac{\delta f}{\delta x^{II}} = 2 \left[(m_{п1} + m)x^{IV} + m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} + 0 \right] (m_{п1} + m);$$

$$\frac{d^4}{dt^4} \frac{\delta f}{\delta x^{IV}} = 2 \left[(m_{п1} + m)x^{IV} + m_{п1} \frac{l}{g} x^{VIII} + 0 \right] m_{п1} \frac{l}{g}.$$

Підставивши знайдені залежності у рівняння Ейлера-Пуассона (4.8), отримаємо диференціальне рівняння восьмого порядку:

$$(m_{п1} + m)^2 x^{IV} + 2(m_{п1} + m) \left(m_{п1} \frac{l}{g} x^{IV} \right) + \left(m_{п1} \frac{l}{g} \right)^2 x^{VIII} = 0. \quad (4.9)$$

Розділимо всі члени в рівнянні (4.9) на коефіцієнт біля найстаршої похідної, тоді будемо мати таке рівняння

$$x^{VIII} + 2 \frac{(m_{п1} + m)}{\left(m_{п1} \frac{l}{g} \right)} x^{VI} + \frac{(m_{п1} + m)^2}{\left(m_{п1} \frac{l}{g} \right)^2} x^{IV} = 0. \quad (4.10)$$

В рівнянні (4.10) зробимо наступну заміну

$$k = \sqrt{\frac{m_{n1} + m}{m_{n1} l}} g, \quad (4.11) \quad 4$$

після чого будемо мати лінійне однорідне диференціальне рівняння восьмого порядку з постійними коефіцієнтами, яке можна розв'язати аналітично

$$x^{VIII} + 2k^2 x^{VI} + k^4 x^{IV} = 0, \quad (4.12)$$

де k – частота власних коливань елементів динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора.

Для розв'язування диференціального рівняння (4.12) використаємо характеристичне рівняння і знайдемо його корені:

$$\begin{aligned} r^8 + 2k^2 r^6 + k^4 r^4 &= 0; \\ r^4(r^4 + 2k^2 r^2 + k^4) &= 0; \\ r^4 = 0 \rightarrow r^1 = r^2 = r^3 = r^4 &= 0; \\ r^4 + 2k^2 r^2 + k^4 &= 0. \end{aligned}$$

Зробимо заміну $r^2 = p$, будемо мати квадратне рівняння

$$p^2 + 2k^2 p + k^4 = 0,$$

розв'язок якого має вигляд :

$$p_{1,2} = -k^2 \pm \sqrt{k^2 - k^2} = -k^2 \pm 0 \rightarrow p_1 = -k^2; \quad p_2 = -k^2;$$

$$r_{5,6} = \sqrt{p_1} = \sqrt{-k^2} = \pm ki;$$

$$r_{7,8} = \pm ki.$$

Отриманим кореням характеристичного рівняння відповідає розв'язок рівняння (4.12), який представляється залежністю

$$x = c_1 + c_2 t + c_3 t^2 + c_4 t^3 + (c_5 + c_6 t) \sin kt + (c_7 + c_8 t) \cos kt, \quad (4.13)$$

де c_1, c_2, \dots, c_8 постійні, які знаходяться з крайових умов руху механізму висування руки робота-маніпулятора:

$$\begin{cases} t = 0: x = 0, x_1 = 0, x^I = 0, x_1^I = 0; \\ t = t_1: x^I = v, x_1^I = v, x^{II} = 0, x_1^{II} = 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

Виразимо крайові умови (4.14) через координату другої зведеної маси динамічної моделі робота-маніпулятора

$$\begin{cases} t = 0: x = 0, x^I = 0, x^{II} = 0, x^{III} = 0; \\ t = t_1: x^I = v, x^{II} = v, x^{III} = 0, x^{IV} = 0 \end{cases} \quad (4.15)$$

Взявши похідні за часом від виразу (4.13), отримаємо залежності

швидкості, пришвидшення та більш високих похідних за часом другої зведеної маси динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора:

$$x^I = 0 + c_2 + 2c_3t + 3c_4t^2 + c_6 \sin kt + (c_5 + c_6t)k \cos kt + c_8 \cos kt - (c_7 + c_8t)k \sin kt;$$

$$\dot{x}^I = c_2 + 2c_3t + 3c_4t^2 + (c_6 - c_7k - c_8kt) \sin kt + (c_8 + c_5k + c_6kt) \cos kt;$$

$$x^{II} = 0 + 2c_2 + 2 \cdot 3c_4t^{(2-1)} - c_8k \sin kt + (c_6 - c_7k - c_8kt)k \cos kt + c_6k \cos kt - (c_8 + c_5k + c_6kt)k \sin kt;$$

$$\dot{x}^{II} = 2c_3 + 6c_4t - (2c_8 + c_5k + c_6kt)k \sin kt + (2c_6 - c_7k - c_8kt)k \cos kt;$$

$$x^{III} = 0 + 6c_4 - c_6k^2 \sin kt - (2c_8 + c_5k + c_6kt)k^2 \cos kt - c_8k^2 \cos kt - (2c_6 - c_7k - c_8kt)k^2 \sin kt;$$

$$\dot{x}^{III} = 6c_4 - (3c_6 - c_7k - c_8kt)k^2 \sin kt - (3c_8 + c_5k + c_6kt)k^2 \cos kt;$$

$$x^{IV} = 0 + c_8k^3 \sin kt - (3c_6 - c_7k - c_8kt)k^3 \cos kt - c_6k^3 \cos kt + (3c_8 + c_5k + c_6kt)k^3 \sin kt;$$

$$= (4c_8 + c_5k + c_6kt)k^3 \sin kt - (4c_6 - c_7k - c_8kt)k^3 \cos kt. \quad (4.16)$$

Після підстановки умов (4.15) в залежностей (4.16) отримаємо систему лінійних рівнянь для визначення постійних c_1, c_2, \dots, c_8 ,

при $t=0$ отримаємо такі рівняння:

$$0 = c_1 + c_7;$$

$$0 = c_2 + c_5k + c_8;$$

$$0 = 2c_3 + (2c_6 - c_7k)k;$$

$$0 = 6c_4 - (3c_8 + c_5k)k^2;$$

при $t=t_1$:

$$V = c_2 + 2c_3t_1 + 3c_4t_1^2 + (c_6 - c_6k - c_8kt_1) \sin kt_1 + (c_8 + c_5k + c_6kt_1) \cos kt_1;$$

$$0 = 2c_3 + 6c_4t_1 - (2c_8 + c_5k + c_6kt_1)k \sin kt_1 + (2c_6 - c_7k - c_8kt_1)k \cos kt_1;$$

$$0 = 6c_4 - (3c_6 - c_7k - c_8kt_1)k^2 \sin kt_1 - (3c_8 + c_5k + c_6kt_1)k^2 \cos kt_1;$$

$$0 = (4c_8 + c_5k - c_6kt_1)k^3 \sin kt_1 - (4c_6 + c_7k + c_8kt_1)k^3 \cos kt_1. \quad (4.17)$$

Після розв'язування системи рівнянь (4,17) визначимо постійні і підставимо їх в залежності (4.16). Після чого знайдемо кінематичні характеристики другої зведеної

маси динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора.⁴ Далі за допомогою виразів (4.2) – (4.4) знайдемо кінематичні характеристики першої маси динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора. Після проведених розрахунків у програмному середовищі Wolfram Mathematica побудовані графічні залежності кінематичних характеристик динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора. На основі кінематичних характеристик визначаються силові та енергетичні характеристики динамічної моделі механізму висування руки робота-маніпулятора.

4.3. Результати оптимізації режиму руху механізму висування руки робота

В результаті проведених розрахунків побудовані графічні залежності кінематичних (рис.4.1- 4.2), силових (рис.4.3) та енергетичних (рис.4.4) характеристик механізму висування руки робота-маніпулятора при оптимальному динамічному режимі пуску.

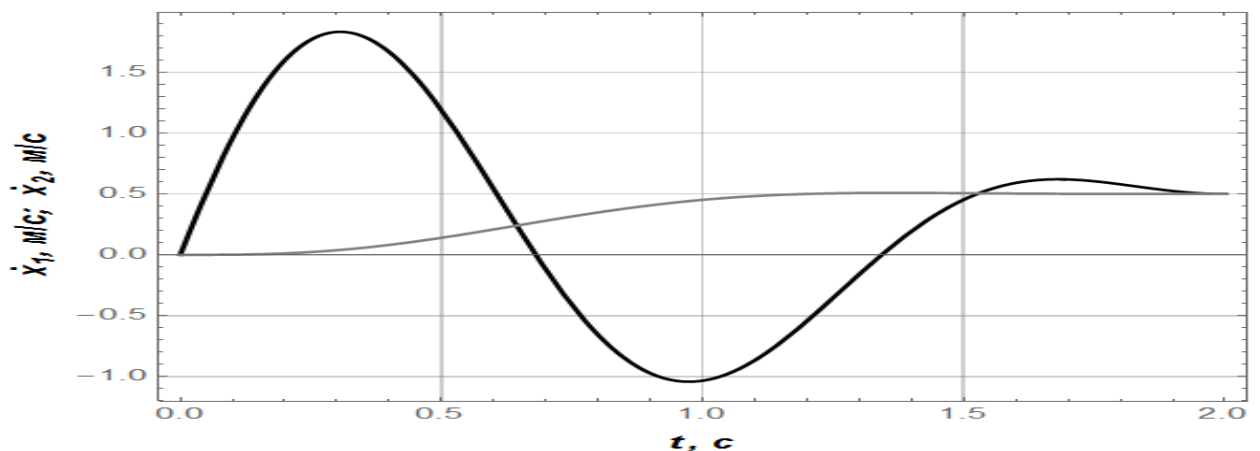


Рис.4.1. Графіки швидкостей першої та другої зведених мас динамічної моделі

Оптимальний режим зміни швидкостей першої та другої мас динамічної моделі (рис. 4.1) показує, що швидкість приводного механізму змінюється плавно, а швидкість самого трактору має значну амплітудою коливань, які затухають до закінчення процесу пуску.

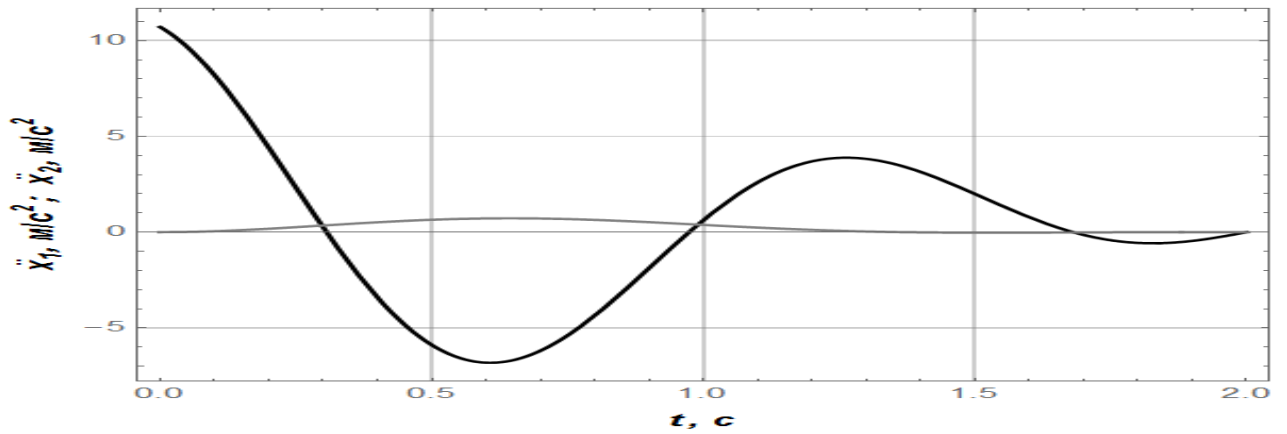


Рис. 4.2. Графіки прискорень першої та другої мас динамічної моделі

З рис. 4.2 видно, що прискорення приводного механізму змінюється плавно і має досить мале максимальне значення, прискорення трактора має значну величину максимального значення при наявності коливань, які затухають до кінця процесу пуску.

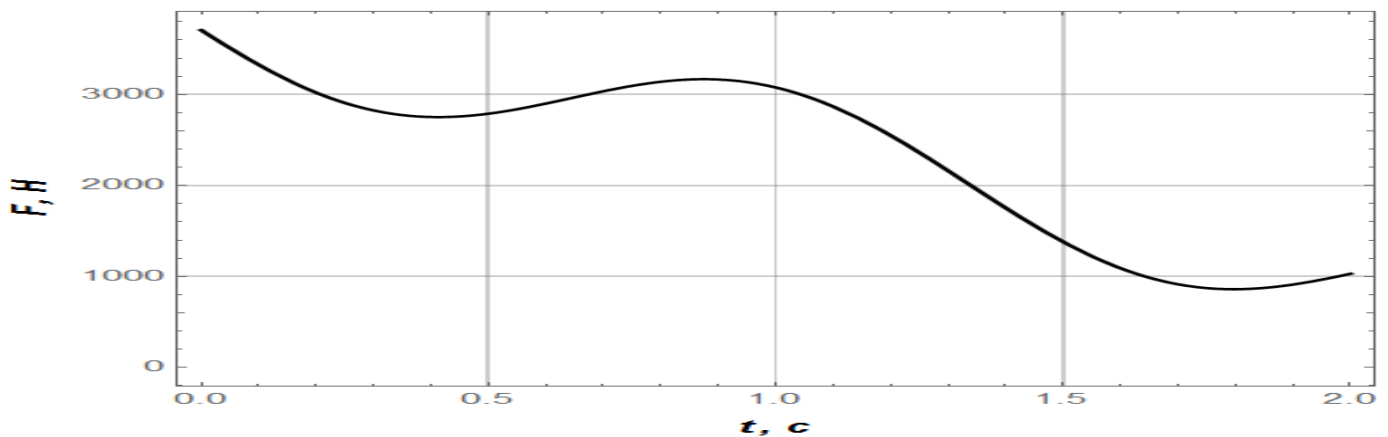


Рис.4.3. Графік зміни рушійного зусилля приводу

З рис. 4.3 можна бачити, що залежність рушійного зусилля приводу механізму переміщення електротрактора при оптимальному режимі пуску досягає

максимального значення на початку руху, яке складає 3,8 кН і до кінця пуску зменшується до 1,0 кН. При цьому мають місце низькочастотні коливання.

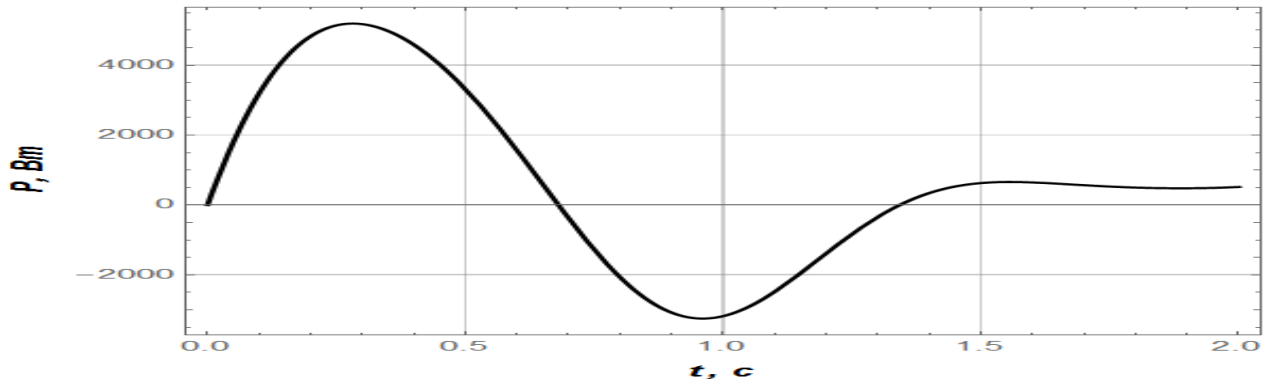


Рис. 4.4. Графік зміни потужності приводного механізму електротрактора

На рис.4.4 наведено залежність потужності приводного електродвигуна механізму переміщення електротрактора при оптимальному режимі пуску, з якого видно, що потужність зростає від нульового значення до максимального, а потім спадає до усталеного значення. При цьому спостерігаються коливання потужності приводу на ділянці пуску.

На рис. 4.1 - 4.4 графіки темного кольору відносяться до першої маси динамічної моделі, яка моделює привод, а графіки сірого кольору відповідають другій масі динамічної моделі, яка моделює рух руки робота з вантажем. З отриманих графічних залежностей можна зробити висновок, що привод на початку руху має незначні коливання, які повністю затухають протягом 1,5 с. Рука робота-маніпулятора разом із захватом та вантажем рухається плавно і вже через 1,0 с виходить на усталений режим руху (див. графіки швидкості та пришвидшення на рис.4. і 4.2).

Відсоток техногенних катастроф в світі зростає, незважаючи на те, що посилюються екологічні обмеження і технологічні нормативи, які поповнюються все новими стандартами безпеки. Причина цього криється не тільки в старінні технічної бази промисловості або в бажанні деяких власників заощадити на моніторингу загроз, набагато більш частою причиною різних аварій є елементарна необізнаність власника про знос устаткування, будівель, споруд або будь-яких інших складових матеріально-технічної бази підприємства.

Здавалося б щодня працює обладнання і відповідний персонал, технічний стан машин і споруд теж знаходиться в постійному полі зору, та й сервісне обслуговування проводиться регулярно. Тим часом, обладнання на зразок великого робота-маніпулятора чи стрілового крана, знаходиться у всіх на виду, але дати точний висновок про їх технічну справність неспеціалісту вкрай важко.

Загальні правила техніки безпеки при роботі з роботами

Для уникнення пошкодження робота та периферійного обладнання або ж травмування робітників, які працюють поруч при використанні промислового робота необхідно дотримуватися наступних правил техніки безпеки:

- не використовувати роботів загального призначення у вогнебезпечних та вибухонебезпечних умовах;
- не використовувати робота в умовах інтенсивних випромінювань;
- для використання роботів під водою або в умовах високої вологості застосовують спеціальні системи з вологозахистом;
- заборонено використовувати промислові роботи для перенесення людини або тварини;
- промислові роботи загального застосування повинні бути обладнані огорожею. Захисну огорожу потрібно встановлювати так, щоб діапазон переміщень робота був оточений повністю. Контролер також повинен знаходитися за межами захисної огорожі.

Персонал, який працює з роботом, повинен носити спецодяг, відповідно⁵ до виконуваної роботи, захисне взуття та шолом. Персонал, зайнятий в програмуванні та технічному обслуговуванні, повинні пройти відповідний курс навчання з робототехніки та програмування роботів.

Справний стан - це стан робота, при якому він відповідає всім вимогам нормативних та конструкторських документів.

Для того, щоб отримати точний висновок необхідна експертиза промислової безпеки.

Експертиза промислової безпеки - це оцінка відповідності об'єкта експертизи ставляться до нього вимогам промислової безпеки, результатом якого є висновок. Вона проводиться групою фахівців, які оцінюють стан тих чи інших матеріально-технічних засобів і виносять на підставі цього висновок про технічну безпеку обладнання і комунікацій, Серйозною проблемою великих промислових комплексів є неминуча вироблення проектного ресурсу обладнання, подальша експлуатація якого може призвести до великої аварії і, навіть, до техногенної катастрофи.

Ресурс (ІСО 11994) – це сумарне напрацювання виробу від початку його експлуатації чи її поновлення після ремонту до переходу в граничний стан.

Важливу роль при рішенні цієї задачі відіграє питання проведення експертизи промислової безпеки на небезпечних виробничих об'єктах. Підвищення якості експертизи є основою виходу на науково обґрунтований прогноз безпеки таких об'єктів, що дозволить підвищити ефективність превентивних заходів щодо попередження аварійності та травматизму.

Якість проведення експертизи залежить від багатьох факторів. В якості основних можна виділити:

- виконання ліцензійних вимог;
- своєчасність проведення експертизи;
- правильність оцінки обсягу робіт і сукупності об'єктів проведення експертизи;
- організація проведення експертизи;

- компетентність, рівень кваліфікації і правильний підбір складу експертної групи;
- повнота і точність проведення інструментального контролю, використання сучасного контрольно-діагностичного обладнання при проведенні експертизи;
- повнота використання діючих нормативно-технічних документів при проведенні експертизи;
- правильність оформлення висновку експертизи.

.Метою експертизи є встановлення фактичного технічного стану та умов експлуатації об'єкта експертизи, їх відповідності чинним Нормам і Правилам промислової безпеки з встановленням можливості, параметрів і строку подальшої безпечної експлуатації об'єкта експертизи.

Експертиза виконується спеціалізованою експертною організацією, що має відповідну ліцензію на право проведення робіт і має в своєму штаті експертів, атестованих встановленим порядком.

Відповідно до Положення щодо проведення експертизи промислової безпеки небезпечних виробничих об'єктів, на яких використовуються підйомні експертне обстеження вантажопідйомних машин, зокрема роботів-маніпуляторів рекомендується проводити в наступних випадках:

- по закінченні терміну служби;
- після аварії робота-маніпулятора;
- при виявленні в процесі експлуатації робота-маніпулятора дефектів, що викликають сумнів у міцності конструкції або дефектів, причини яких встановити важко.

Експертне обстеження - оцінка відповідності робототехніки вимогам нормативних технічних і експлуатаційних документів, результатом якої є висновок про можливість або неможливість її подальшої експлуатації.

Технічне діагностування - оцінка технічного стану робота, є складовою частиною експертного обстеження.

Термін служби робота-маніпулятора встановлюється заводом⁵ виробником і вказується в його паспорті. Термін служби робота обчислюється з дати його випуску. При відсутності в паспорті робота відомостей про терміні служби машини рекомендується керуватися довідковим документом.

Передбачаються наступні види експертного обстеження роботів-маніпуляторів з вичерпаним терміном служби:

- первинне;
- повторний;
- позачергове.

Первинне експертне обстеження роботів-маніпуляторів проводиться після вироблення терміну служби, установленого виробником і занесеного в паспорт роботів-маніпуляторів.

Повторне експертне обстеження роботів-маніпуляторів проводиться в терміни, встановлені експертною організацією і внесені до ув'язнення.

Позачергове експертне обстеження роботів-маніпуляторів може проводитись незалежно від строку експлуатації роботів-маніпуляторів:

- на вимогу за заявою замовника;
- у випадках виявлення небезпечних дефектів у металоконструкціях роботів-маніпуляторів, що викликають перехід її в граничний стан;
- при підготовці дубліката паспорта;
- після модернізації, реконструкції, ремонту, монтажу, аварії.

Кількість повторних обстежень визначається типом, призначенням і умовою експлуатації роботів-маніпуляторів і може бути обмежено або її технічним станом і вимог безпеки, або економічною доцільністю.

Період, на який подовжується термін служби роботів-маніпуляторів, встановлюється експертною організацією згідно з рекомендаціями нормативної документації. Періодичність обстеження залежить від:

- технічного стану роботів-маніпуляторів на момент експертизи;

- відповідності фактичного режиму експлуатації роботів-маніпуляторів⁵ паспортного ;

- ступеня агресивності навколишнього середовища;

- кількості та якості ремонтів базових конструкцій;

- величини зносу, в тому числі корозії, елементів конструкції;

- наявності залишкових деформацій несучих металоконструкцій;

- результатів розрахунку залишкового ресурсу та ін.

Перераховані факти можуть служити підставою для скорочення періодичності обстежень, рекомендованої нормативної документацією.

Оцінка залишкового ресурсу за бальною системою проводиться для всіх роботів-маніпуляторів які відпрацювали нормативний термін служби.

Розрахунок базових конструкцій роботів-маніпуляторів на опір утомним руйнувань для визначення можливості та строку подальшої експлуатації її з паспортними роботів-маніпуляторів характеристиками виконує спеціалізована організація, що має фахівців III рівня з технічної діагностики. В цілях забезпечення гарантії безпечної експлуатації роботів-маніпуляторів розрахунок залишкового ресурсу потрібно виконувати для роботів-маніпуляторів:

термін служби яких після встановленого заводом-виробником в;

технічний стан базових конструкцій яких потребує капітального ремонту або заміни елементів;

режими роботи яких перевищують паспортні;

якщо навколишнє середовище експлуатації агресивна;

яким потрібно проводити реконструкцію або модернізацію під нові технології.

Розрахунок залишкового ресурсу роботів-маніпуляторів може бути виконаний і незалежно від терміну її експлуатації для будь-яких обставин, що потребують даних про технічні можливості роботів-маніпуляторів.

За результатами розрахунків залишкового ресурсу роботів-маніпуляторів, відпрацювала нормативний строк служби, експертна організація може продовжити термін її експлуатації. Запис про продовження терміну служби вноситься до паспорта роботів-маніпуляторів на підставі висновку експертної організації.

Експертного обстеження повинні піддаватися роботів-маніпуляторів, знаходяться в робочому стані.

Експертне обстеження на предмет продовження терміну служби рекомендується поєднувати з монтажем роботів-маніпуляторів, проведенням поточного ремонту або технічного огляду. У цих цілях терміни до початку проведення обстежень роботів-маніпуляторів, встановлених на відкритому повітрі або в неопалюваних приміщеннях, можуть збільшитися до 3 місяців.

Експертному обстеженню підлягають роботів-маніпуляторів імпортного виробництва незалежно від дати їх випуску з метою:

- встановлення відповідності їх конструкції і технічної документації нормам і вимогам;
- внесення змін і доповнень в частині безпечної експлуатації роботів-маніпуляторів;
- підготовки експлуатаційної документації згідно з вимогами стандартів;
- отримання дозволу на експлуатацію імпортної техніки на території України.

Експертне обстеження імпортної техніки виконують спеціалізовані організації, що мають у своєму складі фахівців-експертів та рекомендації ФСТН на право проведення цих робіт.

Термін служби імпортної роботів-маніпуляторів відповідає запису, зробленої в паспорті заводом-виготовлювачем. У разі відсутності такого запису строк служби роботів-маніпуляторів оцінюється згідно з стандартом.

Рекомендації не скасовують вказівок експлуатаційної документації на роботів-маніпуляторів, інформаційних листів заводів-виготовлювачів, проектних організацій та головних інститутів, наказів і розпоряджень ФСТН.

Експертні організації і власники роботів-маніпуляторів при підготовці і проведенні експертних обстежень роботів-маніпуляторів повинні керуватися Правилами, державними і міжнародними стандартами, положеннями, методичними вказівками, даними Рекомендаціями та іншими документами, затвердженими в установленому порядку .

Експертна організація, яка проводить обстеження роботів-маніпуляторів, повинна:

мати статус юридичної особи;

мати повноваження, що включають наявність ліцензії на проведення експертизи об'єктів підвищеної небезпеки ФСТН;

бути незалежною, щоб персонал не зазнавав будь-якого адміністративного, фінансового або іншого виду тиску з боку власника роботів-маніпуляторів або контролюючих органів, здатних вплинути на технічні рішення;

володіти кваліфікованим кадровим персоналом, здатним оцінити працездатність роботів-маніпуляторів, якість виконаного ремонту і рівень безпеки робіт при її подальшій експлуатації;

володіти необхідними технічними засобами для проведення обстеження та оцінки технічного стану роботів-маніпуляторів до і після ремонту;

мати в користуванні враховані і інші нормативні документи, що відносяться до обстеження конкретних типів роботів-маніпуляторів.

Експертна організація може проводити експертне обстеження при наявності фахівців та експертів, які пройшли підготовку і атестацію згідно з Рекомендаціями по підготовці та атестації фахівців і експертів, які здійснюють експертизу промислової безпеки підйомних споруд.

Експертна організація перед початком обстеження видає наказ про призначення експертної комісії з обстеження конкретного об'єкта, в якому призначається голова

комісії та члени комісії, відповідальна особа за ТБ на об'єкті,⁵ зазначаються строки проведення обстеження (згідно з договором), кількість і типи робіт-маніпуляторів.

До комісії повинно входити не менше трьох фахівців. Голови комісії рекомендується призначати з числа осіб, які мають II або III рівень (і вище) кваліфікації з технічної діагностики робіт-маніпуляторів, членів комісії-з числа фахівців I або II рівня. Всі члени комісії крім атестації з технічної діагностики робіт-маніпуляторів повинні мати посвідчення про підготовку і перевірку знань правил з промислової безпеки та як особа, відповідальна за безпечне виробництво робіт-маніпуляторів.

Прилади та інструменти, використовувані в ході обстеження, повинні пройти метрологічну повірку.

Експертна організація проводить в установленому законодавством порядку страхування відповідальності на випадок виникнення аварії (поломки, тріщин, вигину, які потребують виконання ремонту або заміни несучих елементів металевих конструкцій в період, на який продовжено строк служби робіт-маніпуляторів. Страхування відповідальності на випадок виникнення аварій несучих елементів металевих конструкцій повинно проводитись на підставі положень (правил) страхування.

Власник робіт-маніпуляторів які підлягає експертному обстеженню, перед початком експертизи видає наказ по підприємству про передачу на обстеження (первинне, повторне або позачергове) даної групи робіт-маніпуляторів, про призначення відповідальних осіб за техніку безпеки на об'єкті, за організацію і контроль якості проведення робіт при обстеженні робіт-маніпуляторів.

Власник робіт-маніпуляторів повинен підготувати до обстеження:

робіт-маніпуляторів, випробувальні вантажі, а також виділити досвідченого кранівника (машиніста, оператора) на період проведення обстеження;

обладнання та засоби для обстеження металевих конструкцій і механізмів; акт перевірки опору ізоляції та заземлення;

документи, акти проведеного ремонту (реконструкції), а також⁵ сертифікати металу, використаного при проведенні ремонту, реконструкції (якщо ці роботи проводилися);

довідку про характер робіт, виконуваних роботів-маніпуляторів;

журнал технічних обслуговувань (або вахтовий журнал) з записами про проведених технічних обслуговуючих і поточних ремонтах;

паспорт, керівництво з експлуатації та інші експлуатаційні та проектно-конструкторські документи (при необхідності);

актів та експертний висновок раніше проведених експертних обстежень (технічне діагностування) роботів-маніпуляторів.

За результатами обстеження роботів-маніпуляторів експертна організація складає висновок експертизи та передає його власнику роботів-маніпуляторів для реєстрації в територіальному органі ФСТН. Висновок після реєстрації є невід'ємною частиною паспорта роботів-маніпуляторів.

Експертне обстеження проводиться на підставі заявки власника роботів-маніпуляторів або інших документів відповідно до узгоджених експертною організацією та замовником умовами. Документи на проведення експертного обстеження роботів-маніпуляторів складаються після узгодження договірними сторонами:

типів роботів-маніпуляторів і їх кількості;

технічних характеристик та умов експлуатації роботів-маніпуляторів;

переліку інформації, необхідної для проведення експертного обстеження відповідно до діючої НТД;

вимог, обов'язкових для проведення експертизи;

термінів проведення робіт по експертному обстеженню і передачі укладення

власнику роботів-маніпуляторів;

інших організаційно-технічних питань.

Експертне обстеження роботів-маніпуляторів слід проводити у⁵ відповідності з програмою виконання робіт, розробленої експертною організацією на підставі НТД з урахуванням типу, конструкції, призначення і умов експлуатації роботів-маніпуляторів, погодженої із замовником.

Програма експертного обстеження, як правило, передбачає 3 етапи виконання робіт:

підготовчий;

робочий;

заключний.

Підготовчий етап включає:

підбір нормативно-технічної і довідкової документації, необхідної для технічної діагностики роботів-маніпуляторів;

ознайомлення з сертифікатами (на канати, гаки, метал, електроди тощо), з експлуатаційної, ремонтної, проектно-конструкторської та іншої документації на дані роботів-маніпуляторів;

підготовку виписок з паспорта роботів-маніпуляторів;

складання карти огляду роботів-маніпуляторів;

перевірку на відповідність довідки про характер роботи роботів-маніпуляторів;

перевірку умов і організації робіт з підготовки місця проведення експертного обстеження і випробувань роботів-маніпуляторів;

підготовку технічних засобів та приладів для обстеження;

проведення інструктажу по техніці безпеки членів комісії.

Робочий етап включає: обстеження технічного стану металоконструкцій;

обстеження механічного обладнання;

обстеження гідро - і пневматичного обладнання;

обстеження електрообладнання;

обстеження приладів безпеки;

взяття контрольних зразків з елементів металоконструкцій роботів-^бманіпуляторів для визначення хімічного складу і механічних властивостей металу (при необхідності);

розрахунок фактичного режиму роботи роботів-маніпуляторів;

проведення приладового контролю зварних з'єднань металоконструкцій і методами неруйнівного контролю (за рішенням комісії);

проведення випробувань (статичних, динамічних, спеціальних).

Якщо за результатами обстеження комісією встановлено, що потрібно провести ремонт до випробування роботів-маніпуляторів, то після ремонту проводиться перевірка відремонтованого сайту, після чого обстеження роботів-маніпуляторів здійснюється в тій же послідовності, що і до ремонту.

Заключний етап включає:

збір і аналіз результатів обстеження;

складання відомості дефектів;

оцінку залишкового ресурсу роботів-маніпуляторів;

оформлення актів (візуально-вимірювального контролю; перевірки опору ізоляції та заземлення; хімічного аналізу та механічних властивостей металу; вантажних випробувань роботів-маніпуляторів) тощо;

розрахунок фактичного режиму роботи роботів-маніпуляторів;

перевірочні розрахунки несучої здатності елементів конструкції, кріплення, зварних з'єднань (при необхідності і узгодження із замовником);

розрахунок залишкового ресурсу роботів-маніпуляторів;

вироблення рішення про можливість і доцільності продовження терміну експлуатації роботів-маніпуляторів;

рекомендації по забезпеченню безпечної експлуатації роботів-маніпуляторів;

оформлення актів обстеження;

оформлення висновку експертного обстеження;

передачу укладення власнику роботів-маніпуляторів для реєстрації в органах ФСТН.

При проведенні позачергового обстеження обсяг експертних робіт визначається комісією з урахуванням причин цього обстеження.

В процесі виконання робіт по експертному обстеженню комісії необхідно ознайомитися з наявними:

сертифікатами на канати, гаки, метал, електроди, кріплення тощо;

інструкціями з ТО та експлуатації роботів-маніпуляторів;

журналами: змінними, вахтами, обліку перевірки знань персоналу, інструктажів з техніки безпеки, кваліфікаційними даними обслуговуючого персоналу; огляду, технічного обслуговування і ремонту роботів-маніпуляторів кресленнями і розрахунками, виконаними при реконструкції або модернізації роботів-маніпуляторів;

матеріалами останнього повного технічного огляду;

попередніми висновками поданої роботів-маніпуляторів;

довідкою про характер роботи роботів-маніпуляторів;

документами по крановим рейковим шляхам (генплан, сертифікати на елементи шляху, паспорти на шляху і тупики, геодезичні виміри - планово-висотні зйомки, відомості про будівлі, територіях встановлення шляхів тощо);

актами перевірки опору ізоляції та заземлення;

актами перевірки приладів безпеки та вимірювальних приладів;

приписами органів ФСТН і служби технічного нагляду організації.

За результатами ознайомлення з документацією робляться виписки з паспортів, складається робоча карта огляду роботів-маніпуляторів, дається оцінка:

наявності та комплектності документації;

відповідності наявного устаткування та його технічних даних паспортним і сертифікаційним документів;

наявності системи контролю перевірки знань правил промислової безпеки, а також дотримання кваліфікаційних вимог до персоналу;

дотримання приписів органів контролю і експертних комісій;

рівня технічного обслуговування роботів-маніпуляторів і відповідності ТЕ вимогам інструкцій;

відповідності ремонтної документації вимогам ДСТУ та НТД ФСТН.

Місце установки роботів-маніпуляторів на період її обстеження повинно бути огорожене з відповідними попереджувальними знаками, освітлене і доступне для установки додаткових підйомних засобів, що використовуються при обстеженні. На рубильнику, що включає роботів-маніпуляторів, повинна бути табличка з написом: «Не вмикати, працюють люди».

В зоні обстеження власником роботів-маніпуляторів повинні бути підготовлені контрольні вантажі для випробувань роботів-маніпуляторів.

роботів-маніпуляторів повинна бути очищена від бруду, мастила, зледеніння тощо, кожуха-зняті, люки розкриті, кран знеструмлений.

Сходи, перила, огорожі, люки повинні бути справні і відповідати вимогам ТБ.

На роботів-маніпуляторів повинні бути таблички з зазначенням реєстраційного номера роботів-маніпуляторів, її вантажопідймальності і дати випробування. Написи на табличці повинні бути добре помітні з землі (з підлоги) і відповідати даним в паспорті роботів-маніпуляторів.

Слід звернути увагу на розташування рубильнику, що подає напругу на роботів-маніпуляторів, наявність вільного доступу до нього, пристрої для

замикання рубильника у відключеному положенні, наявність на ньому написи^б «Крановий», заземлення корпусу рубильника.

В зоні дії роботів-маніпуляторів повинні бути відсутні приміщення, в яких можуть перебувати люди. При наявності таких приміщень необхідно перевірити достатність заходів, прийнятих адміністрацією для забезпечення безпечного провадження робіт по переміщенню вантажів.

Зона обстеження роботів-маніпуляторів повинна перебувати поза зони повітряних ліній електропередачі.

Перевірка стану металоконструкцій роботів-маніпуляторів - основний за обсягом і значущістю вид робіт при експертному обстеженні. Вона включає:

зовнішній огляд несучих елементів металевих конструкцій;

перевірку елементів металевих конструкцій одним з видів неруйнівного контролю;

перевірку якості з'єднань елементів металевих конструкцій (зварних, болтових, шарнірних тощо);

вимірювання залишкових деформацій балок, стріл, ферм і окремих пошкоджених елементів;

оцінку ступеня корозії несучих елементів металевих конструкцій.

Перед обстеженням металеві конструкції, особливо місця їх можливого пошкодження, повинні бути очищені від бруду, корозії, снігу, надлишку вологи і змащення. Зовнішній огляд слід проводити із застосуванням найпростіших оптичних засобів і переносних джерел світла, при цьому особлива увага повинна приділятися наступним місцям можливої появи пошкоджень:

ділянок різкої зміни перерізів;

ділянок, прорізані шпонковими або шліцьовими канавками, а також мають

нарізану різьблення;

місцях, що зазнали пошкоджень або ударам під час монтажу та

перевезення;

місць, де при роботі виникають значні напруження, корозія або знос; ділянках, що мають ремонтні зварні шви.

При проведенні зовнішнього огляду необхідно звертати особливу увагу на наявність наступних дефектів:

тріщини в основному металі та зварних швах і біля шовній зоні, непрямими ознаками наявності яких є лушення фарби, місцева корозія, потьоки іржі і т. п.;

механічних пошкоджень;

розшарування основного металу;

неякісного виконання ремонтних зварних з'єднань;

люфтів шарнірних з'єднань, ослаблення болтових і заклепкових з'єднань.

При виявленні механічних пошкоджень металевої конструкції (вмятин, вигину, розривів тощо) заміряються їх розміри (довжина, ширина, висота або глибина). Потім розміри пошкодження слід порівняти з граничними розмірами подібного дефекту для металевої конструкції роботів-маніпуляторів даного типу та у разі перевищення нормативних значень, пошкодження зафіксувати у відомості дефектів.

Контроль з'єднувальних елементів металевої конструкції (осей, пальців тощо) слід починати з огляду стану фіксуючих елементів, що свідчать про наявність осьових чи крутних зусиль у з'єднанні, вісь (палець) демонтують і заміряють. Аналогічного огляду та замірів при цьому слід піддавати та посадочні гнізда осей.

Наявність люфтів в шарнірних з'єднаннях попередньо визначають візуально, а в процесі експлуатації крана за характерними ознаками (поштовхи, різкі удари, бовтанка тощо). За наявності характерних ознак точну кількісну оцінку люфту і його допустимості в сумнівних випадках встановлювати шляхом вимірювань.

Вимірювання залишкових деформацій балок, стріл, ферм і оцінку^б ступеня корозії елементів металевих конструкцій слід виконувати згідно зі спеціальними рекомендаціями головних інститутів.

При обстеженні металоконструкцій слід враховувати, що втомні тріщини виникають в першу чергу в зонах концентраторів місцевих напружень, а саме:

вузлах кріплення розкосів, стійок, косинок до поясів; елементах з різким перепадом поперечних перерізів; місцях закінчення накладок, ребер;

зонах отворів з необробленими, повними або звареними кромками;

місцях перетину зварних швів;

зонах перепадів товщини з'єднаних листів (з'єднань);

місцях повторної заварки тріщин в зварних швах і ін.

При виявленні тріщин у металоконструкціях роботів-маніпуляторів або в зварному шві зони їх утворення піддаються додатковій перевірці одним з видів неруйнівного контролю відповідно до НТД.

Вибір виду неруйнівного контролю для конкретної роботів-маніпуляторів визначає експертна комісія.

При оцінці деформації металоконструкцій необхідно звертати увагу на дефекти, що призводять до зниження несучої здатності конструкції:

відхилення від прямолінійності (веж, стріл, стійок елементів фермових конструкцій);

скручування (прогонових конструкцій, опор, тощо);

неспівпадіння осей сполучень;

наявність залишкових прогинів прогонових балок, кронштейнів, консолей тощо;

спотворення форми мосту елемента в плані.

Результати вимірювань деформацій, геометричних параметрів металоконструкцій оформляються у вигляді схем і таблиць із зазначенням і координацією місць вимірів і дефектів . Можливими місцями появи корозії є:

замкнуті простору (коробки) ходових рам, кільцевих балок, пояси і стійки порталів;

опорні вузли стріл, башт;

оцінку відповідності встановленого обладнання експлуатаційних документів;

зовнішній огляд в цілях аналізу загального стану, працездатності та необхідність проведення подальших вимірювань;

проведення необхідних вимірювань.

Перед проведенням обстеження механізми та інші піддаються огляду вузли роботів-маніпуляторів повинні бути очищені від бруду, корозії, снігу, надлишку вологи і мастила, кожуха та кришки редукторів-зняті, забезпечений доступ для огляду кожного вузла.

При зовнішньому огляді виявляють:

наявність й загальний стан всіх механізмів, наявність пошкоджень їх окремих вузлів і деталей;

відсутність деформацій, корозії та необхідність їх усунення;

відсутність витікання мастила;

наявність і якість затягування елементів кріплення механізмів;

відповідність установки вузлів механізмів (наприклад, гальм механізму пересування тощо) вимогам експлуатаційної та нормативної документації;

наявність і технічний стан запобіжних пристроїв (кожухів, кришок тощо).

Необхідність розбирання механізмів при огляді визначає комісія.

Пошкодження, близькі до граничних, виявлені в результаті зовнішнього огляду, повинні бути виміряні. Результат вимірювання порівнюють або з розміром, де дефект практично відсутня, або з розміром, зазначеним у кресленні.

Необхідність вимірювань може бути визначена в ході обкатки та^б випробувань за непрямими ознаками (шум, протікання мастила, підвищення температури вузла тощо).

Наявність мастила в редукторах перевіряється за допомогою щупа, пробок вказівника оливи, вічок або через люк у кришці. Рівень масла повинен бути між верхньою і нижньою відмітками вказівника оливи.

При перевірці механізмів слід звернути увагу на:

тріщини в кожухах редукторів, важелі гальм, шківів, колодках;

поломку пружин гальмівних;

зношування зубчастих зачеплень;

знос ходових коліс і їх позиціонування;

муфти в шарнірних і шпонкових з'єднаннях;

комплектність і кріплення болтових з'єднань, особливо опорно-поворотних пристроїв;

правильність установки гальм, муфт, барабанів тощо;

перекіс опорно-поворотного пристрою.

Основні дефекти і норми вибракування механізмів наведені в рекомендаціях по кожному конкретному типу крана.

Перевірку працездатності механізмів рекомендується поєднувати зі статичними і динамічними випробуваннями роботів-маніпуляторів. При цьому перевіряються: на плавність спрацьовування і надійність утримання гальма механізмів підйому і пересування, відсутність биття шківів, блоків і барабанів, опорно-поворотного пристрою, характер шуму і температура в редукторах, двигунах, правильність встановлення коліс на рейках, забіги опор і т. п.

Дефекти, виявлені в ході обстеження, вносяться у відомість дефектів із зазначенням місця дефекту і термінів усунення. Комісія може дати свої рекомендації щодо усунення дефектів.

Попередньо необхідно перевірити наявність і відповідність паспортним даним:

електродвигуни;

панелі управління;

пускорегулювальні резистори;

пульт управління і монтажний пульт;

гальмівні електромагніти та електродвигуни електрогідравлічних штовхачів;

кабелі, провідники;

заземлення і т. д.

Зовнішній огляд електрообладнання залежить від конкретного типу роботів-маніпуляторів, типу електропривода і роду напруги електричного струму. При даному виді огляду перевіряють:

наявність і комплектність електрообладнання, системи для підводу струму і системи управління і захисту роботів-маніпуляторів;

цілісність корпусу, клемних коробок, зон кріплення в місцях встановлення електрообладнання;

відсутність вологи усередині корпусу і клемних коробках, ящиках опору;

справність щіток, колекторів (контактних кілець), контактних реле, пускачів електромагнітів, приладів і апаратури управління;

правильність установки і підключення до живлячої мережі відповідно до паспортної документацією.

При огляді кабелю, проводів проводять замір опору ізоляції. Перевіряють правильність розведення, а також стан і кріплення коробів, запобіжних рукавів (труб), розподільних коробок і ін.

При огляді електричного освітлення, опалення та сигналізації⁶ перевіряють справність електричної апаратури, приладів, освітлювальних ламп.

Перевірці підлягає система заземлення роботів-маніпуляторів у відповідності з вимогами технічної документації та Правилами установки електроустаткування промислових установок.

За результатами зовнішнього огляду та змін проводиться перевірка працездатності електроустаткування під напругою без навантаження роботів-маніпуляторів, при статичних і динамічних вантажних випробуваннях.

Результати вимірювань опору ізоляції електричних ланцюгів оформляються у вигляді таблиці.

Обстеження приладів і пристроїв безпеки включає:

зовнішній огляд приладів і пристроїв безпеки;

контрольну перевірку їх працездатності.

При зовнішньому огляді приладів і пристроїв безпеки необхідно виконати перевірку:

наявності приладів і відповідності їх паспортним даним;

наявність пломб на електронних (релейних) блоках приладів.

Контрольна перевірка їх працездатності включає перевірку:

надійності спрацювання і відповідності показань індикаторів обмежувачів вантажопідйомності нормативними даними;

роботи кінцевих вимикачів, що обмежують переміщення вантажу, візки роботів-маніпуляторів тощо; роботи систем блокувань і спрацювання захистів, встановлених на роботів-маніпуляторів і наведених у її паспорті;

точності показань контрольно-вимірювальних приладів.

Методи перевірки конкретних приладів і пристроїв безпеки наведено в інших рекомендаціях.

При відсутності приладів безпеки подальша експлуатація роботів-маніпуляторів повинна бути припинена до погодження з органами ФСТН.

Результати перевірки працездатності приладів і пристроїв безпеки⁷ оформляються у вигляді таблиць.

При обстеженні роботів-маніпуляторів, встановлених на рейкових коліях, перевіряється ділянка рейкових шляхів, що знаходиться в зоні обстеження роботів-маніпуляторів, протяжністю не менше трьох баз робота.

перевірку комплектності та відповідності рейкового шляху типового проекту і вимогам експлуатаційної документації;

візуально-вимірювальний контроль всіх елементів шляху, включаючи заземлення, зіставлення вимірів з нормами ДСТУ.

Персонал, який працює з роботом, повинен носити спецодяг, відповідно до виконуваної роботи, захисне взуття та шолом. Персонал, зайнятий в програмуванні та технічному обслуговуванні, повинні пройти відповідний курс навчання з робототехніки та програмування роботів з рекомендацією по його рихтуванню при невідповідності відхилень параметрів нормативам; Низька якість рейкових шляхів та відсутність належного догляду за ними може служити однією з підстав для зменшення терміну обстеження роботів-маніпуляторів, який призначається комісією.

Статичні та динамічні випробування повинні виконуватись відповідно до вказівок експлуатаційної документації комісією з участю інженерно-технічних працівників з нагляду за безпечною експлуатацією роботів-маніпуляторів підприємства-власника.

роботів-маніпуляторів може бути піддана статичним при позачерговому (при необхідності);

при відсутності сертифікатів на метал, який використовується при ремонтах роботів-маніпуляторів.

Порядок відбору проб для перевірки хімічного складу та аналізу механічних властивостей металу слід здійснювати у відповідності з вимогами, наведеними в інших рекомендаціях.

Оцінка залишкового ресурсу роботів-маніпуляторів за сукупністю дефектів робиться для всіх, які відпрацювали нормативний термін служби.

Для кожного типу роботів-маніпуляторів значення дефектів у балах наведено⁷ у діючих рекомендаціях або головних інститутів. Результати підрахунку залишкового ресурсу за бальною системою включаються до ув'язнення.

Розрахунок залишкового ресурсу виконується за затвердженими рекомендаціями (методиками).

Вихідними даними для визначення залишкового ресурсу є:

результати обстеження роботів-маніпуляторів у відповідності з цими та іншими рекомендаціями;

дані, що характеризують використання роботів-маніпуляторів за весь термін їх експлуатації (число циклів, розподіл вантажів, що транспортуються по масам, ступінь агресивності середовища тощо);

дані про хімічний склад і механічні властивості металу розрахункових елементів металевих конструкцій в момент виконання оцінки залишкового ресурсу;

дані про геометрію розрахункових елементів металевої конструкції з урахуванням фактичної корозії, ремонтів, реконструкцій;

керівні документи і стандарти з оцінки залишкового ресурсу, з розрахунку металевих конструкцій даного типу, в тому числі на втомну міцність (при наявності);

результати тензометрування і методів неруйнівного контролю оцінюваних металевих конструкцій (при необхідності);

розрахунок металевої конструкції на міцність і опір утомним руйнувань.

Розрахунок залишкового ресурсу передається власнику роботів-маніпуляторів. Розрахунок повинен містити висновок щодо можливості та умов подальшої експлуатації роботів-маніпуляторів.

За результатами обстеження і випробувань роботів-маніпуляторів оформлюється акт обстеження. У разі проведення позачергового обстеження форма акту не регламентується.

Акт після його підписання всіма членами комісії, затверджується керівником організації, що проводила експертне обстеження.

Для роботів-маніпуляторів, що знаходиться при завершенні експертного⁷ обстеження в працездатному стані, комісія встановлює в акті строк, на час якого рекомендується продовження їх подальшої експлуатації.

Одночасно з актом може оформлятися звіт про проведене обстеження (за довільною формою). Допускається звіт про проведену обстеженні роботи зведеним на групу обстежених роботів-маніпуляторів однієї організації (дільниці, цеху тощо). Звіт є внутрішнім документом організації, що виконувала експертне обстеження, до висновку не приєднується і роботів-маніпуляторів не передається. У висновку даються оцінка технічного стану роботів-маніпуляторів (справний або несправний), рекомендації (або ні) до подальшої їх експлуатації та вказується (у разі позитивного рішення) термін наступного обстеження роботів-маніпуляторів. Висновок підписується експертною комісією і керівником експертної організації, завіряється печаткою, прошивається із зазначенням кількості зшитих сторінок і передається власнику роботів-маніпуляторів.

Власник роботів-маніпуляторів передає висновок територіальні органи ФСТН для розгляду та затвердження у встановленому порядку.

Підсумкове висновок про можливість продовження строку безпечної експлуатації роботів-маніпуляторів підписується керівником експертної організації, завіряється печаткою, прошивається із зазначенням кількості сторінок і передається замовнику, який передає висновок експертизи ФСТН.

Рішення, прийняті в ув'язненні, є обов'язковими для власника роботів-маніпуляторів. Висновок експертизи є невід'ємною частиною експлуатаційної документації роботів-маніпуляторів.

Члени комісії, які беруть участь в обстеженні, повинні дотримуватися вимоги безпеки і охорони праці відповідно до вимог правил та інструкцій з охорони праці, розробленими та затвердженими в установленому порядку.

Перед виходом на об'єкт в експертній організації для членів комісії проводиться інструктаж з техніки безпеки у відповідності з інструкцією з техніки безпеки для експертів промислової безпеки при проведенні обстеження підйомних споруд, погодженої в установленому порядку.

Для забезпечення безпеки праці в процесі проведення обстеження⁷ роботів-маніпуляторів на підприємстві члени комісії повинні пройти інструктаж по ТБ з урахуванням конкретних умов виробництва, де знаходиться об'єкт. Власник роботів-маніпуляторів повинен видати наряд-допуск на роботів-маніпуляторів і призначити особу, відповідальну за безпечне ведення робіт.

РОЗДІЛ 6.

ОБГРУНТУВАННЯ ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ

У даній частині магістерської кваліфікаційної роботи розглядається економічне обґрунтування автоматизації виробничих процесів за рахунок використання роботів-маніпуляторів.

У магістерській роботі пропонується розробити конструкцію робота-маніпулятора з висувним захватним пристроєм.

В результаті реалізації магістерської роботи очікується:

- зростання продуктивності праці і скорочення чисельності персоналу в результаті заміни ручної праці при виконанні технологічних операцій роботом-маніпулятором.;
- зниження поточних витрат на виконання технологічних та транспортних робіт.

При оцінці ефективності використання робота-маніпулятора при виконанні технологічних та транспортних робіт визначаємо економію за поточними витратами, пов'язаними з виробництвом продукції, а саме заробітну плату основних виробничих робітників з відрахуваннями і витрати на утримання та експлуатацію обладнання. Ефективність капітальних вкладень розраховуємо виходячи з прибутку підприємства від реалізації продукції.

Розрахунки ведуться на основі нормативно-довідкових матеріалів.

6.1. Розрахунок фонду заробітної плати на основних, підготовчих та допоміжних роботах

Розрахунок трудовитрат і фонду заробітної плати по кожному виду робіт ведеться в табл. 4.1.

Денні тарифні ставки приймаємо за даними підприємств відповідно до розрядів робітників. Фонд заробітної плати визначаємо як добуток тарифного

фонду на коефіцієнт перерахунку, який за табличними даними в середньому⁷ дорівнює 2,58.

Таблиця 4.1

Розрахунок трудовитрат і фонду заробітної плати

Вид робіт	Обсяг	Число робітників, які виконують операцію	Трудовитрати, люд.дн.	Деякі тарифи	Тарифний фонд, тис. грн.	Фонд заробітної плати, тис. грн. **
базовий варіант						
Трелювання	1132	2	2264	43,5	98,5	254,1
Варіант, що проектується						
Трелювання	860	1	860	65,7	56,5	145,8

6.2. Розрахунок потреби і вартості паливно-мастильних і допоміжних матеріалів

Потреба в паливі, мастильних і допоміжних матеріалах і їх вартість⁷ розраховується на основі плану використання машин і обладнання в табл. 4.2. Норми витрат палива і мастильних матеріалів приймаємо за даними технічних характеристик обладнання та по [15].

Ціни за паливно-мастильні та допоміжні матеріали приймаємо по даними підприємств.

Таблиця 4.2

Розрахунок потреби і вартості паливно-мастильних і допоміжних матеріалів

Паливо-мастильні матеріали	Об'єм роботи		Норма використання		Потреба		Ціна за од. без ПДВ, грн	Вартість, тис. грн.
	Од. вимір.	Кількість	Од. вимір.	Кількість	Од. вимір.	Кількість		
Базовий варіант								
Дизельне паливо	Тис. м ³	46	Кг/тис. м ³	745	кг	34270	10,9	373,5
Олива для двигуна	-	-	Відсоток від використання палива	3	кг	1028	15,0	15,1
Олива для гідродвигуна	-	-		2	кг	685	22,0	15,4
Пластичне мащення	-	-		0,9	кг	308	16,0	4,9
Трансмійна олива	-	-		0,2	кг	69	30,0	2,1
Стальні канати	Тис. м ³	46	Кг/тис. м ³	0,2	кг	2208	16,0	35,3
Всього								446,3
Запропонований варіант								

Дизельне паливо	Тис. м ³	46	Кг/тис. м ³	745	кг	34270	10,9	373,5 ⁷
Олива для двигуна	-	-	Відсоток від використання палива	3	кг	1028	15,0	15,1
Олива для гідродвигуна	-	-		1,8	кг	616	22,0	13,5
Пластичне мащення	-	-		0,8	кг	274	16,0	4,4
Трансмійна олива	-	-		0,2	кг	69	30,0	2,1
Стальні канати	Тис. м ³	46	Кг/тис. м ³	0,2	кг	2208	16,0	35,3
Всього								443

В магістерській кваліфікаційній роботі розроблено конструкцію механізму висування руки робота-маніпулятора і проведені необхідні розрахунки кінематичних, силових та динамічних характеристик. Більш детально розроблена конструкція приводу механізму висування руки робота-маніпулятора і проведені відповідні розрахунки на міцність.

Значна увага приділена дослідженню динамічних процесів при роботі механізму висування руки робота-маніпулятора. Для проведення динамічних розрахунків розроблено динамічну модель механізму висування руки робота-маніпулятора, яка представлена у вигляді двомасової динамічної моделі. На базі динамічної моделі побудовано математичну модель, яка представлена у вигляді системи двох нелінійних диференціальних рівнянь другого порядку. Розрахунок математичної моделі дозволив провести динамічний аналіз механізму висування руки робота-маніпулятора. В результаті проведеного динамічного аналізу виявлені коливальні навантаження, які діють на елементи конструкції механізму висування руки робота-маніпулятора. Встановлено, що ці навантаження мають суттєвий вплив на роботу механізму висування руки робота-маніпулятора, оскільки їхні максимальні значення значно перевищують усталені значення.

Для зменшення динамічних навантажень і коливань в елементах механізму висування руки робота-маніпулятора проведено оптимізацію процесу пуску. Для цього вибрано критерій оптимізації у вигляді середньоквадратичного значення рушійного зусилля приводу, мінімізація якого дала можливість отримати режим пуску, який зменшує динамічні навантаження в елементах механізму висування руки робота-маніпулятора. Це дало можливість значно підвищити ефективність роботи механізму висування руки робота-маніпулятора.

Передбачено заходи з охорони праці та безпеки в надзвичайних ситуаціях для роботи роботів і маніпуляторів. Наведена економічна доцільність розробки механізму висування руки робота-маніпулятора.

Список використаних джерел

1. Ostertag, M., Atanasov, N. & Rosing, T. Trajectory Planning and Optimization for Minimizing Uncertainty in Persistent Monitoring Applications. *J Intell Robot Syst* 106, 2 (2022).
2. Blank, A., Karlidag, E., Zikeli, L., Metzner, M., Franke, J. (2022). Adaptive Motion Control Middleware for Teleoperation Based on Pose Tracking and Trajectory Planning.
3. Gasparetto, A., Boscariol, P., Lanzutti, A. et al. Trajectory Planning in Robotics. *Math.Comput.Sci.* 6, 269–279 (2012).
4. Siciliano, B., & Khatib, O. (2016). Robotics: Modelling, Planning and Control.
5. Biagiotti, L., Melchiorri, C. (2008). Operations on Trajectories. In: Trajectory Planning for Automatic Machines and Robots.
6. Zhang, T., Zhang, M. & Zou, Y. Time-optimal and Smooth Trajectory Planning for Robot Manipulators. *Int. J. Control Autom. Syst.* 19, 521–531 (2021).

7. Richiedei, D., Boscariol, P. (2020) Optimization of Motion Planning and Control for Automatic Machines, Robots and Multibody Systems.
8. Siciliano, B. Kinematic control of redundant robot manipulators. J Intell Robot Syst 3, 201–212 (1990)
9. Khalil, W., Caenen, J.L., Enguehard, C. (1990). Identification and calibration of the geometric parameters of robots.
10. Chopra, N., Spong, M.W. (2006). Passivity-Based Control of Multi-Agent Systems. Advances in Robot Control.
11. Beeson, P., Ames, B. An open-source library for improved solving of generic inverse kinematics. pp 928–935. IEEE (2015)
12. Shiller, Z., Large, F., Sekhavat, S.: Motion planning in dynamic environments: Obstacles moving along arbitrary trajectories. In: Proceedings 2001 ICRA. IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 01CH37164), vol. 4, pp 3716–3721. IEEE (2001)
13. Zhao, L., Zhao, J. & Liu, H. Solving the Inverse Kinematics Problem of Multiple Redundant Manipulators with Collision Avoidance in Dynamic Environments. J Intell Robot Syst 101, 30 (2021).
14. Міщук Д. О. Роботи і маніпулятори: Підручник / Д. О. Міщук. – К.: 2020. – 268 с.: іл.
15. Ловейкін В. С. Оптимізація режиму зміни вильоту маніпулятора з гідроприводом / В.С. Ловейкін, Д.О. Міщук. – К: ЦП «Компринт», 2013. – 205 с.
16. Ловейкін В.С., Човнюк Ю.В., Діктерук М.Г. Пастушенко С.І. Моделювання динаміки механізмів вантажопідйомних машин.- К.- Миколаїв: РВВ МДАУ, 2004.- 286 с.
17. О.В. Григоров, В.С. Ловейкін. Оптимальне керування рухом механізмів вантажопідйомних машин: Навч. посібник. – К.:ІЗМН, 1997. – 264с.
18. Григоров О.В., Петренко Н.О. Вантажопідйомні машини: Навч. Посібник. – Харків: НТУ «ХП», 2005. – 304 с.
19. Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О., Матухно Н.В. Динамічний розрахунок машин і механізмів, які використовуються у сільському та лісовому

- 20.Козуб Ю.Г., Маслійов С.В. Підйомно-транспортні машини: Підручник. – Старобільськ: ДЗ «ЛНУ імені Тараса Шевченка», 2018. – 277 с.
- 21.Динаміка машин / В. С. Ловейкін, Ю. О. Ромасевич. – К.: ЦП „КОМПРИНТ”, 2013. – 227 с.
- 22.«Підйомно-транспортні машини»/ Укл.: І.В. Добров, В.М. Василенко, В.М. Рубан. - Дніпропетровськ: НМетАУ, 2013.- с.
- 23.Іванченко Ф.К. Підйомно – транспортні машини: Підручник. – К.: Вища школа, 1993 – 413 с.
- 24.Підйомно-транспортні машини: Розрахунки підймальних і транспортувальних машин / В. С. Бондарев, О. І. Дубинець, М. П. Колісник та ін. – Київ : Вища школа, 2009. – 198 с.
- 25.Теорія механізмів і машин / НТУУ «КПІ» ; уклад. В. П. Лукавенко, О. А. Кірієнко. – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – 76 с