

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ
ТЕХНОЛОГІЙ
КАФЕДРА АВТОМОБІЛІВ І ТРАКТОРІВ

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

другого (магістерського) рівня вищої освіти

на тему: **«Підвищення продуктивності вантажних автомобілів
шляхом розробки електронної системи управління
маніпуляторною установкою»**

Виконав: студент групи Ат-53

Спеціальності 274 „Автомобільний транспорт”

(шифр і назва)

Ігор КУЗЬМІНСЬКИЙ

(ім'я та прізвище)

Керівник: Георгій ХУДАВЕРДЯН

(ім'я та прізвище)

Дубляни 2024

УДК 629.06

Кузьмінський Ігор Іванович. «Підвищення продуктивності вантажних автомобілів шляхом розробки електронної системи управління маніпуляторною установкою». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024. 78 с.

Табл. 9; рис. 26; бібліогр. джерел 27.

В роботі розглянуто основні конструкції мобільних маніпуляторів, які за способом складання стріли маніпулятори поділяють на Z-подібні стрілові установки. Залежно від призначення у маніпуляторних установках використовують різноманітні типи захоплювачів. В якості приводу використовують, переважно, гідравлічні системи.

Виведено кінематичну схему маніпуляторної установки, виведено аналітичні залежності для розрахунку гідро динамічних параметрів елементів приводу.

Обґрунтовано раціональну модель електронної системи керування гідроприводом крана-маніпулятора з для використання в універсальних кран-маніпуляторних установках на автомобільних, самохідних та причіпних шасі. Це дає можливість підвищити ефективність навантажувально-розвантажувальних операцій, зменшуючи при цьому кількість техніки та працівників, залучених до вантажопереробки поза межами складів. Запропонована архітектура керування маніпуляторними установками з невисокою вартістю її реалізації та простим зрозумілим налаштуванням.

Встановлено, що експлуатація автомобіля, додатково оснащеного маніпуляторною установкою забезпечує річний економічний ефект становить 21900 грн, а термін окупності додаткового використання маніпуляторної установкою 1,37 років.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1.	
СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ.....	10
1.1. Галузі застосування маніпуляторних установок	10
1.2. Основні конструкції маніпуляторних установок	15
1.3. Вузли та елементи маніпуляторів	22
Висновки за розділом.....	27
РОЗДІЛ 2.	
РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАНІПУЛЯТОРНОЇ	
УСТАНОВКИ.....	
2.1. Кінематична схема маніпулятора.....	28
2.2. Розрахунок елементів гідроприводу	32
Висновки за розділом.....	38
РОЗДІЛ 3.	
РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ	
3.1. Обґрунтування цілей розробки.....	39
3.2. Обґрунтування принципової схеми маніпулятора	41
3.3. Реалізація електронної схеми керування маніпулятором	46
Висновки за розділом.....	50
РОЗДІЛ 4.	
ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ	
СИТУАЦІЯХ.....	
4.1. Аналіз небезпечних виробничих умов під час роботи з вантажними автомобілями	52
4.2. Заходи з охорони праці перед початком ремонтних робіт.....	53
4.3. Розрахунок системи вентиляції ремонтної дільниці.....	57
4.4. Заходи підвищення електробезпеки ремонтної дільниці.....	60
Висновки за розділом.....	62

РОЗДІЛ 5	
РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ	
ПРОРОКОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ.....	63
5.1. Розрахунок загального кошторису проекту	63
5.2. Розрахунок ефективності експлуатації удосконаленого	
автомобіля.....	69
Висновки за розділом.....	73
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	76

ВСТУП

Мобільні маніпулятори, що поєднують базову мобільність і гнучкість шарнірного маніпулятора отримали популярність у численних застосуваннях, починаючи від контролю у виробництві та інфраструктури та закінчуючи побутовим обслуговуванням. Галузеві рішення охоплюють низку завдань взаємодії з операційним середовищем, що складається з мінімальних завдань взаємодії таких як перевірка чи маніпуляція та більш складні завдання взаємодії, такі як логістика, поповнення та складування. Ця гнучкість, яку пропонують маніпулятори, необхідно ретельно використовувати для досягнення підвищеної продуктивності технологічних операцій.

Вже понад півстоліття розгортаються дослідження і виробництво роботизованих систем, щоб розширити можливості людей у виконанні одноманітних, важких, брудних та небезпечних завдань. Однак в епоху Індустрії 4.0 робототехніка встигла еволюціонувати, щоб забезпечити гнучку, реконфігуровану, інтелектуальну мобільність і можливості роботи у всіх галузях, включаючи автомобільну [1], [6], [15].

Мобільні маніпулятори пропонують еволюцію в архітектурі роботизованих систем, що полегшує їх вихід із від простих стаціонарних автоматизованих систем до автономних мобільних мультифункціональних рішень. Такі системи можуть поєднувати мобільність (пропоновану мобільною платформою) з можливостями маніпуляцій (наданими встановленими шарнірно руками), щоб створити необмежений робочий простір для переміщення. Мобільні маніпулятори стали популярними в багатьох галузях: промислових (заводи, склади), побутових (домогосподарствах), польові умови (технічне обслуговування доріг, земляні роботи/розкопки) через гнучкість, яку вони забезпечують у виконанні та допомозі в різноманітних завданнях [21].

Спираючись на поєднання мобільності та гнучкості, абстрактні завдання такі, як інспекція, комплектування деталей, перейшли до нескінченної різноманітності інтелектуальних мобільних маніпуляторів.

Застосування новітніх систем робототехніки (розуміти-думати-діяти в реальному часі) формує базову основу для втілення інтелекту в мобільних маніпуляторах, які стають все більш доступними. Виробник пропонують можливості, які допомагають у сенсорному сприйнятті роботизованої системи.

У всіх випадках мобільний маніпуляція тягне за собою базову використання кіберфізичної артикуляції та мехатронної системи для реалізації взаємодії інтелектуальної фізичної взаємодії усіх елементів.

Існує багато варіантів архітектури мобільного маніпулятора, виходячи з характеру мобільної бази (залізнична або ХУ-портальна система, колісна/гусенична платформа та інша) і характер встановленого маніпулятора (кількість ланок і тип артикуляції, їх активація, наприклад, серійна послідовна чи паралельна) [1], [6], [15].

Колісні мобільні маніпулятори складаються з колісно-мобільної основи з одним або декількома встановленими маніпуляторами [8]. Вони є важливою та популярною конфігурацією підкласу мобільних платформ, оскільки пропонують просту у використанні адаптовану архітектуру для численних застосувань, крім того вони також можуть змінювати відносні конфігурації (з використанням надлишкових ступенів свободи).

Зрештою, вільність виявляється вирішальною для підвищення їх здатності працювати автономно або напівавтономно, наприклад, допомагаючи людині-оператору під час динамічної взаємодії для досягнення максимальної продуктивності мобільних маніпуляторів необхідно:

- визначитись з архітектурою проектування: базова механічна архітектура системи з ступенями свободами, що має вирішальне значення – тип, кількість, розташування та активація приводів коліс, шарнірів, ланок та

модулів; визначення можливостей і загальної продуктивності системи з вибором топології, розмірів і конфігурації.

- структура планування-контролю: необхідна структура для використання «вільності конструкції» для реалізації планованої поведінки, подолання обмежень середовища; вирішити задачі кінематичної та динамічної взаємодії; мінімізувати одиничні конфігурації системи; модулювати взаємодії з зовнішнім середовищем (рухів і сил) під час виконання завдання, а також підвищити стійкість до збоїв локального контролера та збурень навколишнього середовища.

- людино-машинні інтерфейси: маніпуляції пропонують нові можливості для виконання людиною, , автономії контролю та унеможливлення помилок та збоїв.

З точки зору архітектури конструкції мобільних маніпуляторів важливо враховувати наявну колісну базу, тип руки маніпулятора, мобільність та керованість. Отже, необхідно чітко враховувати аспекти рішень щодо таких транспортних засобів, враховуючи дотримання умов кінематичної сумісності.

Кран-маніпуляторні установки - це машини, які в основному використовуються для підйому та переміщення важких вантажів з одного місця на інше. Оскільки багато видів промисловості потребують підйому важких вантажів, їх можна зустріти в різних галузях, таких як виробництво, будівництво та портовій інфраструктурі. Крани також бувають різних форм і розмірів залежно від середовища, де вони розгортаються і ваги вантажу, який потрібно підняти. Деякі встановлені у фіксованому положенні, наприклад, баштові крани, тоді як інші мають колеса і їх можна переміщатись, наприклад, порталні крани.

Кранами традиційно керують оператори, які також присутні на місці. Незважаючи на те, що цей режим роботи все ще є поширеним у наш час, було досягнуто значного прогресу, щоб дати можливість операторам працювати дистанційно відносно своїх установок. Перехід від роботи на місці до дистанційної роботи в основному обумовлений проблемами

безпеки, оскільки оператори не будуть наражатися на небезпечні ситуації, які можуть виникнути навколо їхніх машин Крім того, конструкція кабіни також має ергономічні проблеми, які можуть спричинити фізичні проблеми для операторів протягом тривалого періоду часу. Таким чином, здатність здійснювати дистанційну роботу є корисною не лише у випадку аварій, але й покращує візуального сприйняття операторів під час роботи.

Основний виклик дистанційного керування краном відкриває можливість для дослідження того, як програмний інтерфейс може допомогти працівникам виконувати дистанційне керування продуктивним і безпечним способом [8], [25].

Метою роботи є розробка ефективної системи керування кран-маніпуляторними установками з використанням уніфікованих апаратних рішень.

Для досягнення даної мети необхідно вирішити наступні задачі:

1. Провести аналіз конструкцій та основних схем реалізації кран-маніпуляторних установок, представлених на ринку
2. Дослідити напрями удосконалення та спрощення систем керування приводом маніпуляторних установок.
3. Запропонувати принципову та кінематичну схему приводу ланок маніпуляторної установки.
4. Провести оцінку економічної ефективності використання маніпуляторної установки під час використання вантажних автомобілів.

Об'єктами досліджень є маніпуляторна установка, система керування приводом, принципова схема маніпулятора.

Наукова новизна дослідження: обґрунтовано систему керування кран-маніпуляторними установками з використанням уніфікованих апаратних та програмних рішень.

РОЗДІЛ 1

СТАН ПИТАННЯ І ЗАВДАННЯ ДОСЛІДЖЕНЬ

1.1 Галузі застосування маніпуляторних установок

Останні досягнення в машинному навчанні загалом, підкріплені прогресом розвитку інтелектуальних систем та машинобудування забезпечують високу ефективність робототехнічних маніпуляторів. Проблеми роботизованої маніпуляції окреслені типом та контролем за захоплювачами. Хоча залишається багато проблем, синергії між робототехнікою та розвитком в автомобільній промисловості. Є багато галузей у яких використовуються спеціалізовані автомобілі та обладнання для вирішення виробничих завдань [1], [3], [8].

Лісове середовище є особливо неструктурованим і динамічно складним (рис. 1). Цьому сприяв порівняно повільний прогрес автоматизації протягом ХХ ст. у лісовій промисловості, однак за останні десятиліття, лісові машини забезпечують увесь процес лісозаготівлі, від вирубки дерев, сортування та транспортування деревини та її очищення. Ці машини оснащені гідравлічними, з кінематично надлишковим ступенями вільності, які використовуються для монотонних маніпуляційних завдань. Такі системи мають недостатню швидкість спрацювання, що збільшує складність керування порівняно з більшістю малих маніпуляторів (рис. 1.1).



Рисунок 1.1 – Умови використання машин лісового господарства

Широке розповсюдження систем автоматизації відбулось у промисловості сьогодні, однак органи керування лісових машини залишилися переважно ручними. Для людини-оператора, ручне керування лісогосподарським краном-маніпулятором може бути як розумово, так і фізично виснажливим завданням, що вимагає неінтуїтивної координації кількох приводів для багатьох ланок поспіль годин і піддавати оператора шкідливій концентрації [4].

Системи напівавтоматизації лісогосподарських машин були успішно впроваджені, підвищуючи продуктивність і зменшуючи безпосереднє навантаження на оператора [4], [19]. Системи автоматизації машин лісового господарства мають потенціал для впровадження інтелектуальних аналітичних контролерів низького рівня, а передові кранові маніпулятори сьогодні застосовують керування з використанням 6 DoF- кінематичних приводів. Окрім впливу на продуктивність є значні відмінності в поведінці та прискоренні крана, чутливості і стійкості впливу збурень і невизначеності навколишнього середовища.

Більшість лісогосподарських операцій передбачає маневрування важкими транспортними засобами по пересіченій місцевості та маніпулювання неструктурованими середовищем з кінцевим ефектором з гідравлічним приводом крана.

Транспортування - це операція завантаження, транспортування колод із місця вирубки для подальшого транспортування самостійно чи дорожніми транспортними засобами. Відповідальність оператора включає в себе як контроль низького рівня в плані маневру автомобіля так і маніпуляції краном, і високорівнева, координація та оптимізація виконання завдань, уникаючи будь-яких зіткнень (рис. 1.2).



Рисунок 1.2 - Послідовність захоплення вантажу

Крім того, робота крана вимагає планування руху і управління відповідно до фізичних обмежень крана, залежно від положення та нахилу автомобіля. Типовий кран-маніпулятор досягає до 10 метрів, має чотири ланки та гідравлічний привод, що забезпечує підйомний момент 100 кНм.

Динаміка крана схильна до коливань і це ускладнює процес захоплення та викликає надмірне навантаження і дискомфорт для оператора. Оператори проходять великі навчання з роботи перевезень, забезпечення енергоефективності, наскільки це можливо. Тим не менш, більше 80% активного часу оператора присвячується управлінню маніпулятором.

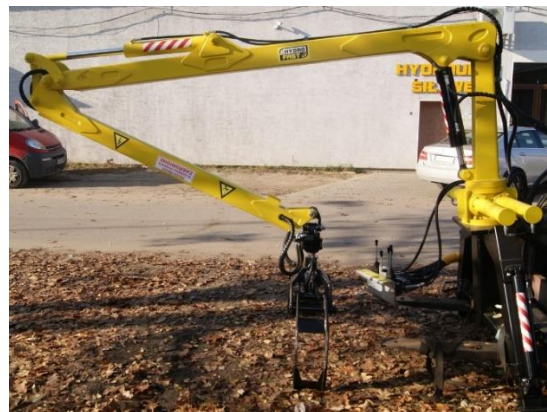


Рисунок 1.3 – Типи агрегування машин

Загалом машини даного призначення можуть бути повністю автономними, причіпними та у вигляді навісного обладнання (рис. 1.3, табл.1.1) [4].

Таблиця 1.1 – Характеристики причіпних та навісних машин, оснащених маніпулятором

Характеристики моделей	HYDROFAST H9	HYDROFAST H11
Вантажопідйомність причіпа	9000 кг	11000 кг
Ширина	2030 мм	2250 мм
Довжина загальна	6150 мм	6300 мм
Довж. вантажної площадки	4200 мм	4500 мм
Колеса	400/60-15,5	500/50-17
Довжина маніпулятора	<ul style="list-style-type: none"> • HFS 5,2м • HFL 7,0м 	<ul style="list-style-type: none"> • HFL 7,0м
Кількість лав/стійок	<ul style="list-style-type: none"> • 4/8 • 6/12 	<ul style="list-style-type: none"> • 6/12 • 8/16
Захват	<ul style="list-style-type: none"> • Стандарт 0,22 • Гілля 0,22 • 0,26 	<ul style="list-style-type: none"> • Стандарт 0,22 • Гілля 0,22 • 0,26
Блок клапанів	<ul style="list-style-type: none"> • Стандарт • Двофункційний електричний • Механічний 4/8 	<ul style="list-style-type: none"> • Стандарт • Двофункційний електричний • Механічний 4/8
Гідравлічна система	<ul style="list-style-type: none"> • Без гідравліки • Шестірна помпа • Поршнева помпа • Тільки масляний бак • Поршнева помпа без мультиплікатора 	<ul style="list-style-type: none"> • Без гідравліки • Шестірна помпа • Поршнева помпа • Тільки масляний бак • Поршнева помпа без мультиплікатора
Гальма	<ul style="list-style-type: none"> • Без гальм • Гідравлічні • Гідравлічно-пневматичні • Пневматичні 	<ul style="list-style-type: none"> • Без гальм • Гідравлічні • Гідравлічно-пневматичні • Пневматичні
Гальмівна система на колеса	<ul style="list-style-type: none"> • На 2 колеса • На 4 колеса • Гальма накату 	<ul style="list-style-type: none"> • На 2 колеса • На 4 колеса • Гальма накату
Привід на колеса 4WD	– не пропонується	Так / Ні

Використання універсальних кран-маніпуляторних установок на автомобільних, самохідних та причіпних шасі дають можливість підвищити ефективність навантажувально-розвантажувальних операцій, зменшуючи при цьому кількість техніки та працівників, залучених до вантажопереробки поза межами складів.

Для таких цілей використовують крани або ж маніпулятори які суттєво різняться габаритами та конструкцією. Автокран значно більший і масивніший адже призначений для підйому і переміщення важких вантажів на значну відстань. Маніпулятор, завдяки своїй універсальності, містить

вантажну платформу й може перевезти значну кількість вантажу, тому для перевезення немає потреби використовувати додатковий автомобіль (рис. 1.4).



Рисунок 1.4 – Застосування маніпуляторних установок на будівництві

Маніпулятори широко представлені на ринку України, їх ціна різниться залежно від вантажопідйомності та функціональних можливостей. Вартість найбільш технологічних маніпуляторів може перевищувати вартість самого автомобіля, тоді як простіші зразки можуть бути частково механізовані, а їх ціна буде невисокою [4].

У маніпуляторах використовується гідропривод, який може бути автономним, або ж використовувати штатну гідросистему автомобіля. Система управління таким маніпулятором, переважно, виконана у вигляді

моноблоку гідророзподільників з механічними важелями й розміщена на рамі автомобіля [19].

1.2 Основні конструкції маніпуляторних установок

Кран-маніпулятор включає в себе ключовий елемент - підйомний модуль, який зазвичай складається з опорної рами, стріли, вантажозахоплювального механізму або оснастки та системи керування. Вантажозахоплювальні пристрої, такі як гаки, стропи, захоплювачі чи грейфери, представлені для використання гідравлічним або електричним приводом.

Універсальні крани-маніпулятори на автомобільному шасі можуть знаходити застосування в різних галузях виробництва, тоді як спеціалізовані завдання можуть використовувати габаритні платформи з функціональними модулями. Порівняно з автокранами, вони не лише переміщують вантажі, але й перевозять їх [3], [4], [9].

За загальноприйнятою класифікацією, кран-маніпуляторні установки поділяють за типом підвішування (кріплення) вантажу:

- Жорстка конструкція, де механізм підвішування має гідравлічний або електричний привід і монтується жорстко на стрілі через шарнірні або поворотні з'єднання;
- Гнучке підвішування, де для переміщення вантажу використовується трос з гаком, стропи, петлі.

За методом складання їх можна розділити, наприклад, на Z-подібні стрілові установки. Щодо конструкції стріли, Z-подібні стріли в основному використовуються європейськими виробниками техніки. Така конструкція дозволяє компактно складати стрілу позаду водійської кабіни. Завдяки збільшеній кількості шарнірних з'єднань ця установка є більш гнучкою і точною у керуванні, але вона є складною у виготовленні та обслуговуванні (рис. 1.5а).



a)



б)



в)

Рисунок 1.5 – Способи складання кран-маніпуляторних установок

- L-подібні (рис. 1.5 б) стріли;
- телескопічні стріли (рис. 1.5в).

З іншого боку, L-подібна конструкція характерна для азіатських та північноамериканських компаній. Вона менш металомістка, і найбільш дорогим та конструктивно складним елементом є висувна телескопічна ланка механізму [4], [8].

Розвиток галузі робототехніки зазнає безперервної еволюції, пристрої стають дедалі універсальнішими та адаптивними, що робить їх використання в автомобілях раціональним. Для Те, як ЕОАТ взаємодіє з навколишнім середовищем, є визначальним фактором його бездоганної інтеграції в різноманітні робочі процеси. Захват - це один із таких кінцевих інструментів, який робить маніпулятор універсальною та ефективною для різних процесів, починаючи від переміщення вантажів, поводження з дрібними флаконами, маркування та маніпуляцій та поводження з камерою.

Захват з паралельними щелепами є одними з найпоширеніших і універсальних типів захватів, здатних рухатися паралельно одна одній, мають конструкцію, яка дозволяє ефективно хапати предмети різноманітних форм і розмірів. Будь то делікатне поводження з невеликими електронними компонентами чи надійне захоплення більших предметів неправильної форми, захвати з паралельними губками чудово виконують точні операції підбору та розміщення (рис. 1.6).



Рисунок 1.6 –Щелепний захват кран-маніпулятора

Однією з його особливостей, що заслуговує на увагу, є його здатність здійснювати ретельний контроль над силою захоплення, критичним аспектом при роботі з крихкими предметами або матеріалами. Відомі своєю швидкістю

та надійністю, ці захвати стали незамінними в роботі з упаковками, коробками тощо.

Вони можуть бути оснащені м'якими губками для роботи з делікатними предметами, не завдаючи шкоди, тоді як міцніші губки забезпечують стабільність під час захоплення важких предметів. Захвати з паралельними губками часто мають різноманітні конструкції губок і матеріали, адаптовані для різноманітних застосувань.

Широкого розповсюдження набули вакуумні захвати, вони особливо ефективні при роботі з плоскими предметами з гладкою поверхнею, такими як скло, пластик і металеві листи. Вакуумний захват складається з вакуумного насоса, який створює всмоктування через мережу каналів або отворів у подушці захвату (рис. 1.7).



Рисунок 1.7 – Вакуумний захват

На практиці захват прикріплюється до поверхні об'єкта за допомогою сили всмоктування, дозволяючи роботу піднімати його та маніпулювати ними. Ці захвати зазвичай використовуються в галузях, де потрібне точне позиціонування та мінімальний контакт з об'єктом, наприклад харчова промисловість (для пакування), доставка та подача скла на об'єктах.

Можливість адаптації вакуумних захватів дозволяє їм пристосовуватись до різних форм і розмірів колодок, дозволяючи їм обробляти широкий діапазон об'єктів та встановлюватись на різних типах

техніки. Деякі вакуумні захвати також оснащені датчиками для перевірки надійності їх захоплення, підвищуючи їх надійність під час роботи з делікатними предметами.

Для маніпуляції об'єктами неправильної форми або складної геометрії, захвати для пальців пропонують ідеальне рішення. Ці захвати оснащені кількома пальцями, які можуть відповідати формі об'єкта під час утримання. Ці пальці можуть бути виготовлені з жорстких матеріалів для стабільності або м'яких, пружних матеріалів для захисту делікатних предметів, залежно від конкретного застосування.



Рисунок 1.8 – Пальцевий захват

Захвати для пальців дуже універсальні та знаходять застосування в багатьох галузях промисловості. Вони зазвичай використовуються для таких завдань, як забір контейнерів, або ж коли необхідно вибрати об'єкти з ємності, наповненого змішаними предметами [3].

Адаптивність і гнучкість захватів для пальців роблять їх ідеальними для різноманітних завдань автоматизації, які вимагають високого рівня гнучкості та точності.

Пальцеві захвати можуть бути оснащені тактильними датчиками або системами зворотного зв'язку за силою, що дозволяє їм регулювати захоплення залежно від властивостей об'єкта. Ця здатність дозволяє роботам з точністю обробляти об'єкти різної форми та розміру.

Пневматичні захвати використовують стиснене повітря для керування рухом своїх захоплювачів. Вони переважають своєю швидкістю та здатністю

забезпечувати міцне зчеплення, що робить їх кращим вибором для високошвидкісних робіт. Ці захвати часто зустрічаються в таких галузях, як автомобілебудування та складання електроніки (рис. 1.9).



Рисунок 1.9 – Пальцевий захват

Пневматична система в цих захватах дозволяє швидко рухати пальці, що робить їх придатними для завдань, які вимагають швидких і точних дій. Крім того, пневматичні захвати є міцними та довговічними, що робить їх придатними для повторюваних і складних промислових середовищ.

Пневматичні захвати мають різні конфігурації, включаючи захвати з двома пальцями, трьома пальцями, кутові захвати та цангові, що дозволяє їм адаптуватися до різних вимог щодо захоплення. Деякі пневматичні захвати створені для забезпечення м'якості на дотик, що важливо при роботі з чутливими матеріалами чи компонентами.

Електромагнітні захвати використовують магнітні поля, щоб утримувати та маніпулювати об'єктами з чорних металів (магнітних), наприклад металеві елементи і конструкції. Ці захвати дуже ефективні, коли потрібне міцне та стабільне захоплення металевих предметів.

Електромагнітні захвати зазвичай використовуються у виробництві металу, у процесах переробки та в різних сферах обробки матеріалів. Електромагнітні захвати пропонують значну перевагу у своїй здатності перемикаати магнітне поле, полегшуючи звільнення утримуваного об'єкта без зусиль. Ця властивість значно підвищує їх універсальність і адаптивність,

роблячи їх ключовим інструментом у галузях, де відбувається робота чорними металами чи їх брухтом.



Рисунок 1.9 – Електромагнітний захват

Електромагнітні захвати оснащені вдосконаленими системами керування, які забезпечують точне тонке налаштування магнітної сили. Цей високий ступінь контролю гарантує здатність захвату захоплювати предмети незалежно від їх розміру чи ваги [3].

Грейферні захвати є найважчими робочими органами, вони використовують гідравлічну рідину для точного керування своїми щелепами, особливо вдаючись до завдань, які передбачають обробку великих і важких предметів, що потребують значної сили захоплення (рис. 1.10).



Рисунок 1.10 – Грейферний захват

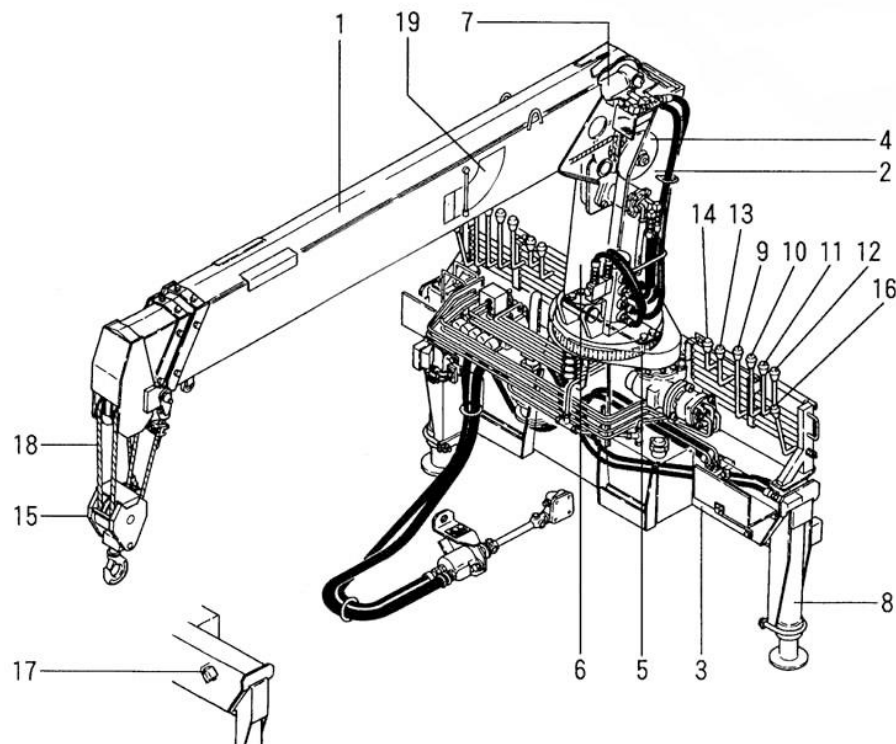
У таких галузях, як будівництво, сільське господарство та транспортування матеріалів, гідравлічні захвати покладаються на ефективне керування великими вантажами.

Гідравлічна система цих захватів забезпечує високу силу, необхідну для надійного утримання предметів на місці. Їх здатність ефективно працювати за високих навантажень і в суворих умовах навколишнього середовища робить їх ефективними для складних промислових завдань.

Ці захвати часто мають міцну конструкцію та надійні ущільнювальні механізми для запобігання витoku гідравлічної рідини. Вони пропонують універсальність завдяки різноманітним конфігураціям губок, включаючи паралельні, кутові та навіть індивідуальні конструкції, які відповідають точним вимогам конкретних застосувань.

1.3 Вузли та елементи маніпуляторів

Каркас крана складається з механічних ланок, а саме трьох балок і телескопічного механізму балки, яка ковзає всередині. В якості приводу використовується гідравлічна система, що складається з насоса, бака, фільтрів, окремих типів клапанів, гідравлічних циліндрів та шлангів між різними блоками [19], [21] (рис. 1.11).



1. Стріла забезпечує переміщення вантажу в робочій зоні. Висувається і засувається за допомогою гідроциліндрів.	11. Важіль керування телескопуванням стріли керує гідроциліндрами, даючи змогу висувати і складати стрілу.
2. Поворотна колона - це вертикальна частина кранової установки, на якій встановлена стріла, вантажна лебідка і гідроциліндр зміни кута нахилу стріли. Колона повертається поворотним механізмом.	12. Важіль керування поворотом колони керує гідромотором повороту колони, даючи змогу КМУ здійснювати обертальні рухи навколо своєї осі.
3. Основа КМУ - встановлюється на раму автомобіля.	13. Важелі керування аутригерами керують висуванням і втягуванням аутригерів.
4. Вантажна лебідка за допомогою гідромотора піднімає і опускає вантаж за допомогою каната.	14. Важелі керування аутригерами керують висуванням і втягуванням аутригерів.
5. Поворотний механізм повертає колону за допомогою гідромотора.	15. Гак призначений для закріплення вантажу.
6. Гідроциліндр підйому піднімає й опускає стрілу.	16. Важіль акселератора призначений для регулювання обертів двигуна.
7. Гідроциліндр телескопування висуває і втягує секції стріли.	17. Попереджувальний сигнал призначений для попередження людей, які перебувають у зоні роботи.
8. Аутригери (виносні опори) підтримують кран-маніпулятор у стійкому положенні під час роботи.	18. Вантажний канат призначений для підняття вантажу.
9. Важіль керування зміною кута нахилу стріли.	19. Індикатор вантажопідйомності показує вагу вантажу, що піднімається.
10. Важіль управління вантажною лебідкою керує лебідкою, даючи змогу піднімати й опускати гак	

Рисунок 1.11 – Конструктивна схема кран-маніпулятора

Насос подає потік масла під високим тиском. Контролюючи клапанами, потік рідини, що подається в обидві камери гідроциліндра залежно від потрібний напрямку руху, оскільки масло одночасно капає з іншого циліндра

У всій гідравліці встановлені додаткові фільтри тонкого очищення, ліній зливу та магнітні вловлювачі.

Таблиця 1.2 – Типи гідронасосів маніпуляторних установок

	<p>Шестеренні насоси зовнішнього зачеплення складаються з двох синхронних шестерень, які, обертаючись, переміщують рідину із зони всмоктування до зони нагнітання в западинах зубів. Незважаючи на простоту конструкції, цей тип насосів має свої недоліки. У місці зачеплення шестерень, коли насос працює, утворюються області замкненого об'єму, що може призводити до пульсації тиску на виході насоса.</p>
	<p>Шестеренні насоси внутрішнього зачеплення характеризуються низьким рівнем пульсацій і, відповідно, малою шумовою емісією. Ця особливість робить їх зручними для використання в стаціонарних машинах та обладнанні, яке працює в закритих просторах.</p>
	<p>Героторні насоси є різновидом шестереневого насоса із внутрішнім зачепленням. Основна відмінність від класичної конструкції шестереневого насоса з внутрішнім зачепленням полягає у відсутності серпоподібного роздільника порожнин всмоктування та нагнітання, який зазвичай присутній у звичайних шестереневого насосах.</p>
	<p>Аксіально-поршневі насоси мають головний блок циліндричної форми, в якому розташована система поршнів і шатунів, з'єднаних з колінчастим валом та деталлю зворотно-поступальної дії, збільшуючи або зменшуючи об'єм робочих камер. Цей процес дозволяє насосу всмоктувати і виштовхувати рідину, яка перекачується. Робочі камери насосів з'єднані з всмоктувальними та нагнітальними патрубками, через які здійснюється процес забору та віддачі перекачуваної рідини.</p>

Гідравлічні циліндри використовуються для того, щоб передати зусилля до елементів крана. Загалом, гідравлічні приводи набагато потужніші, ніж електричні порівняно аналогічного розміру завдяки високим

зусиллям приведення в дію та високій питомій потужності. Через їх просту конструкцію і низьку вартість, широко застосовуються гідроциліндри. Гідравлічний циліндр в основному складається з блоку циліндрів, поршня і прокладок, які розташовані на перетині поршня та циліндра (рис. 1.12). Результуюча сила виникає, коли стиснене масло заповнює один із проміжків між циліндрами і поршнем. Ця сила залежить від тиску масла всередині кожної камери та розміру площі, на яку діє тиск. Отже, потік і площі поперечного перерізу обох камер визначають швидкість переміщення поршня (рис. 1.12) [13], [19].

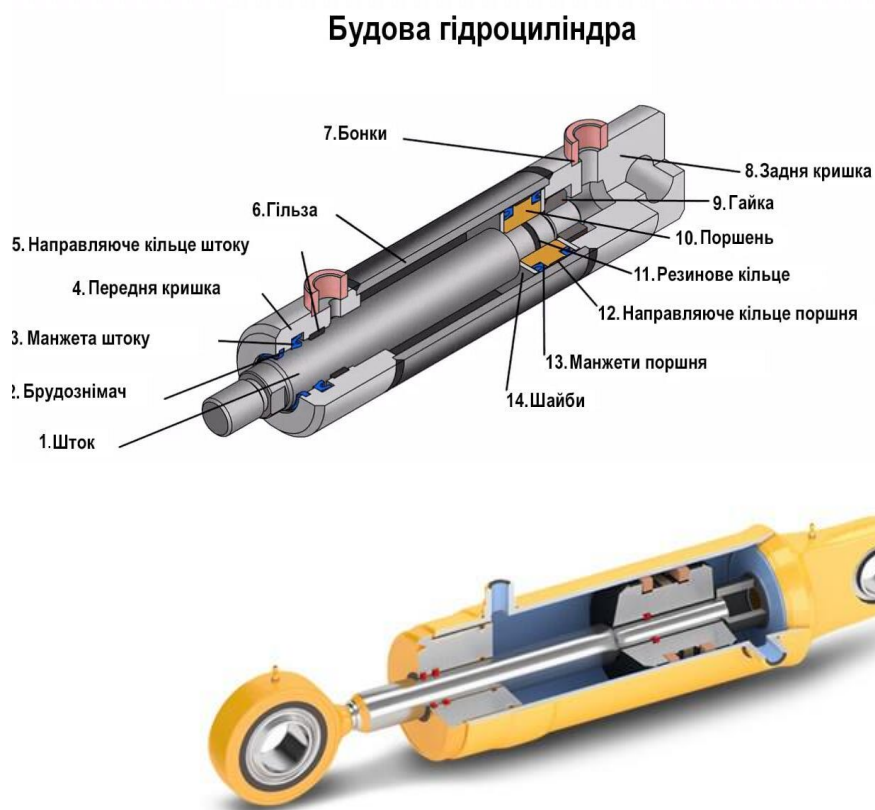


Рисунок 1.12 – Загальна будова гідроциліндра

Існує дуже багато виробників гідравлічних циліндрів, але діаметри циліндрів переважно є стандартизованими, однак частина з них може виготовлятися на замовлення. З іншого боку, хід і загальну довжину можна замовити відповідно до вимог замовника.

Блоки клапанів існують у багатьох версіях та виконаннях, клапанний блок оснащено повзунками чи важелями, який регулює як подачу, так і зворотний хід (рис. 1.13).



Рисунок 1.13 – Загальна будова гідроциліндра

Управління клапанами контролюється електричними клапанами або повзунків за допомогою золотника та місцевого регулятора.

Гідравлічні розподільники класифікуються за кількома ознаками:

За конструкцією запірно–розподільного елемента:

- золотникові;
- кранові;
- клапанні.

За кількістю зовнішніх гідроліній:

- дволінійні;
- багатолінійні.

За кількістю позицій запірно–розподільного елемента:

- двопозиційні;
- трипозиційні;
- багатопозиційні.

За видом керування:

- ручне;
- механічне;
- електричне;
- гідравлічне;

- пневматичне;
- комбіноване.

За способом відкриття прохідних каналів:

- направляючі;
- дроселюючі.

Висновки за розділом

1. В промисловості значного поширення набули мобільні маніпулятори, що поєднують базову мобільність і гнучкість шарнірного маніпулятора, починаючи від контролю у виробництві та інфраструктури та закінчуючи побутовим обслуговуванням, що необхідно використовувати для досягнення підвищеної продуктивності технологічних операцій.

2. За способом складання стріли маніпулятори поділяють на Z-подібні стрілові установки. Щодо конструкції стріли, Z-подібні стріли, L-подібні стріли та телескопічні стріли.

3. Залежно від призначення у маніпуляторних установках використовують різноманітні типи захоплювачів. В якості приводу використовують, переважно, гідравлічні системи. Об'ємний гідропривід складається з джерела енергозабезпечення системи, насоса, керуючого контрольно-розподільчого модуля, виконавчі – гідромотори, гідроциліндри.

РОЗДІЛ 2

РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ МАНІПУЛЯТОРНОЇ УСТАНОВКИ

2.1 Кінематична схема маніпулятора

Ланки маніпулятора приводяться в дію гідроциліндрами, які виконують роль приводів. Циліндри можуть бути різного розміру, що обумовлено їх індивідуальним діапазоном застосування. За кожним гідроциліндром необхідно закріпити свою систему координат циліндр окремо, а саме в його поздовжньому напрямку (рис. 2.1). Щоб представити основні геометричні та динамічні аспекти кран-маніпулятора, потрібно визначити когерентність між різними променями, пов'язаними з їхньою суміжною ланкою. Спочатку необхідно розглянути кінематичні параметри, включаючи обертальні матриці та векторні ланцюги. Останній виконується як в прямому, так і в зворотному напрямі.

Спочатку необхідно зробити деякі спрощення та припущення:

- вся модель візуально представлена в площинні, яка визначається поворотним шарніром який кріпиться до нижнього кінця 1-ї ланки. Далі він використовується як інерційна площина для решти ланок, з якими пов'язані всі кінематичні вектори.

- передбачається, що циліндри та їхні внутрішні компоненти не мають маси, а отже, немає енергії, ані кінетичної, ані потенційної. Це можна припустити в зв'язку з тим, що центри мас циліндрів лише незначно змінюються, коли поршень циліндра рухається. Загалом фіксоване положення корпусу циліндра, яке переважно сприяє цьому. Енергією обертання можна знехтувати, оскільки кутрві швидкості циліндра дорівнюють майже нульовим значенням.

- усі елементи крана, зокрема балки крана, вважаються твердими тілами та можуть протистояти будь-якій деформації. Це означає, що відстань між двома точками ланки залишається постійним, незалежно від зовнішніх сил, що діють на них. Основним завданням кінематики крана є встановлення

різних систем координат, тоді можна побудувати векторні ланцюги, якими можуть бути всі вектори що виражається через загальну інерційну систему [13], [19].

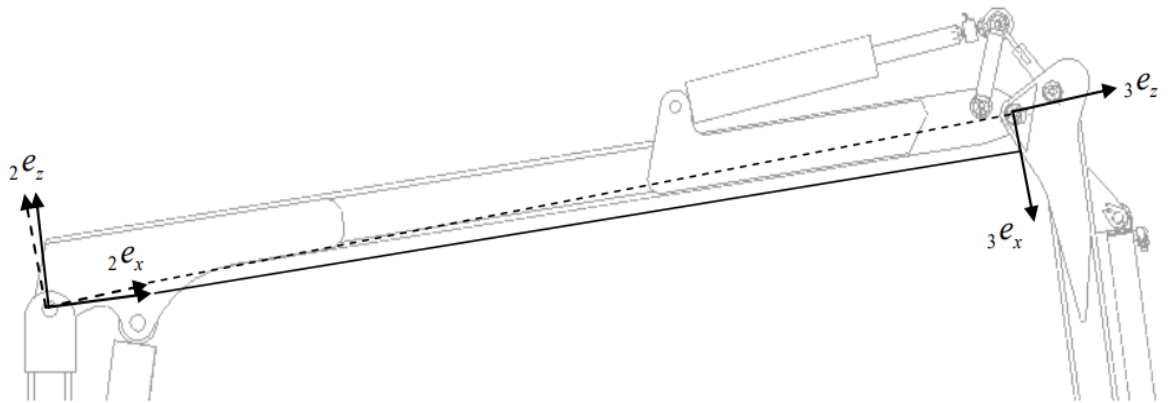


Рисунок 2.1 – Стріла маніпулятора з фіксованими ланками

Для початку необхідно визначити спільні змінні механічної моделі, які для узагальнених координат механічної системи. Кількість спільних змінних визначається числом ступенів свободи системи. Запишемо вектор узагальнених координат у вигляді:

$$q = \begin{pmatrix} \alpha \\ \beta \\ x_3 \end{pmatrix}, \quad (2.1)$$

де α – кут між 1-ю ланкою та 2-ю ланкою, β – кут між 2-ю ланкою і 3-тя ланка, а x_3 - це продовження циліндра (рис. 2.2).

На відміну від попередніх визначень спільних змінних, ми визначили α і β як обертання кут від однієї ланки до сусідньої ланки. Це надає перевагу, раховуючи, що кути можуть візуально перевіряється на лабораторному обладнанні. Однак слід мати на увазі, що визначення спільних кутів не представляє напряду обертання системи координат, тому що шарнірні кути не відносяться до однієї осі (рис. 2.2).

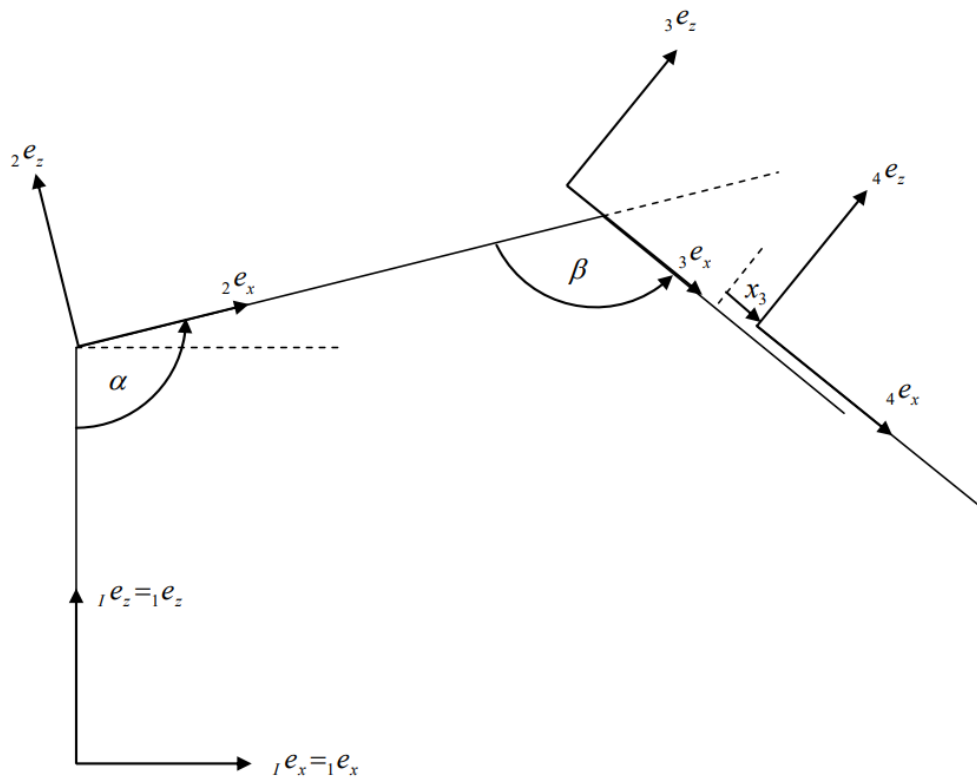


Рисунок 2.2 – Спільні змінні відповідних ланок

Розглянемо задачу опису орієнтації системи координат по відношенню до сусідньої ланки. Вказуючи геометричне співвідношення між ними можна визначити матриці повороту відносно початкового елемента. Враховуючи кріпленням вихідної наступної ланки до поворотного шарніра 1-ї ланки.

У нашому випадку перетворення можна отримати як елементарний поворот навколо осі у згідно з рисунком 2.2, відповідні матриці повороту в узагальнених координат є матиме вигляд [9]:

$${}^1A_2 = A_{y, \frac{\pi}{2}-a} = \begin{pmatrix} \cos(\frac{\pi}{2}-a) & 0 & \sin(\frac{\pi}{2}-a) \\ -\sin(\frac{\pi}{2}-a) & 0 & \cos(\frac{\pi}{2}-a) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \sin(a) & 0 & \cos(a) \\ -\cos(a) & 0 & \sin(a) \end{pmatrix} \quad (2.2)$$

$${}^2A_3 = A_{y, \pi-\beta} = \begin{pmatrix} \cos(\pi-\beta) & 0 & \sin(\pi-\beta) \\ -\sin(\pi-\beta) & 0 & \cos(\pi-\beta) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} -\cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ -\sin(\beta) & 0 & -\cos(\beta) \end{pmatrix} \quad (2.3)$$

Щоб поєднати механічну модель з гідравлічною моделлю, необхідно визначити напрямок дії сили циліндра. Цю силу можна розглядати як зовнішній вплив на механічну частину крану, яка викликає бажане обертання змінних у точці шарніра. У зв'язку з цим необхідно оцінити матрицю обертання циліндрів за допомогою простого тригонометричної функції (рис. 2.3).

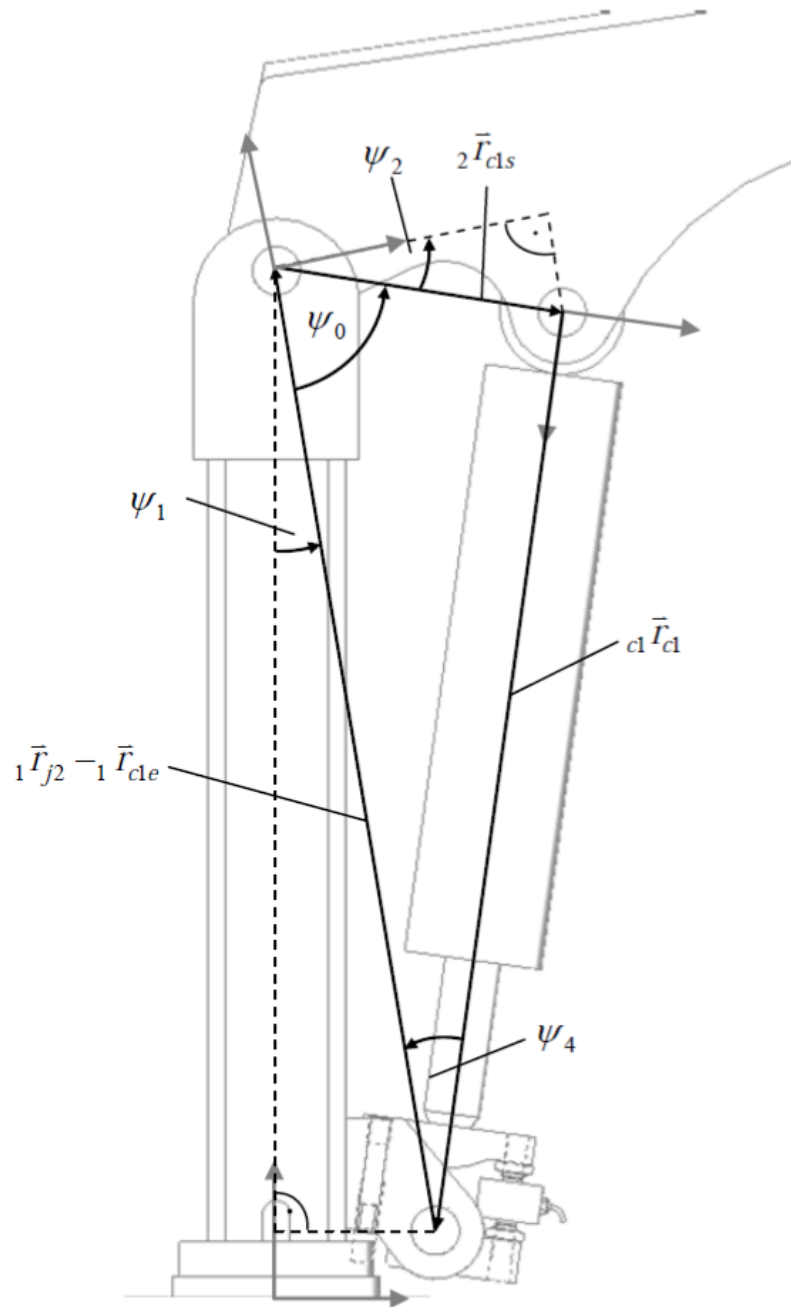


Рисунок 2.3 – Параметризація α

Починаючи з першої спільної змінної α , яка обчислюється як підсумовування змінної кут 0ψ і фіксовані за ланкою кути 1ψ і 2ψ . Необхідно звернути увагу, що пунктирні лінії паралельні осям відповідної системи координат і, таким чином, представляють напрям її орієнтації.

Застосуємо теорему косинусів до внутрішнього трикутника на рисунку 2.3 і отримаємо:

$$\psi_0 = a \cos \left(\frac{\left(\bar{r}_{j_2} - \bar{r}_{c1e} \right)^2 + \left(\bar{r}_{c2s} \right)^2 - \left(\bar{r}_{c1} \right)^2}{2 \cdot \left| \bar{r}_{j_2} - \bar{r}_{c1e} \right| \cdot \left| \bar{r}_{c2s} \right|} \right). \quad (2.4)$$

$$\psi_1 = a \tan \left(\frac{\bar{r}_{j_2}(x) - \bar{r}_{c1e}(x)}{\bar{r}_{j_2}(z) - \bar{r}_{c1e}(z)} \right) \quad (2.5)$$

$$\psi_2 = a \tan \left(\frac{\bar{r}_{c1s}(z)}{\bar{r}_{c1s}(x)} \right) \quad (2.6)$$

Для останньої ланки отримаємо:

$$\psi_4 = a \cos \left(\frac{\left(\bar{r}_{j_2} - \bar{r}_{c1e} \right)^2 + \left(\bar{r}_{c1} \right)^2 - \left(\bar{r}_{c2s} \right)^2}{2 \cdot \left| \bar{r}_{j_2} - \bar{r}_{c1e} \right| \cdot \left| \bar{r}_{c1} \right|} \right). \quad (2.7)$$

2.2 Розрахунок елементів гідроприводу

Нелінійна модель гідравлічної системи, яка змонтована на маніпуляторі. Гідравлічна система складається з гідроциліндрів, гідравлічного насоса та клапани для керування гідравлічним потоком.

Для початку гідравлічну систему буде розділено на модель клапана та модель циліндра. Після цього обидві підсистеми будуть об'єднані, щоб отримати нелінійний простір станів рівняння всієї гідравлічної системи.

Клапанний блок розподільника являє собою головний блок управління краном. Клапани, які використовуються для керування гідроциліндрами подвійної дії, є виключно 4/3-клапани, тобто чотири ходові і три позиційні. Таким чином, є два вхідних порту (насос резервуар подачі та повернення) і два вихідних порти (А і В), підключені до клапана (рис. 2.4).

Слід мати на увазі, що порт А завжди з'єднаний з камерою циліндра 1 (сліпий кінець), тоді як порт В з'єднаний з камерою циліндра 2 (сторона штока).

Положення золотника можна регулювати, наприклад порт подачі підключений до порту А ($s x > 0$) або порт В ($s x < 0$). Проміжне положення дозволяє зупинити поршень циліндра, де весь потік клапана через порти негайно зупиняється. А пружина використовується на обох кінцях котушки, щоб примусово повернути котушку у вихідне положення.

Це призведе до зупинки потоку, коли котушка не буде під напругою. Шостий клапан, який контролює потік в циліндр телескопічної балки, трохи відрізняється від інших клапанів, оскільки це так званий регенеративний клапан. Під час відведення, порти А і В з'єднуються з портом подачі. З цього випливає, що тиски в камері А і камері В майже однакові і поршневі рухатиметься лише завдяки більшій площі поперечного перерізу камери циліндра (А).

Результуюча сила циліндра ($F = pA_{rod}$) визначає швидкість поршня і буде виштовхувати масло зі штока циліндра (камера В) назад у камеру А. Як висновок, дренажний клапан забезпечує швидке відкачування з меншим споживанням масла.

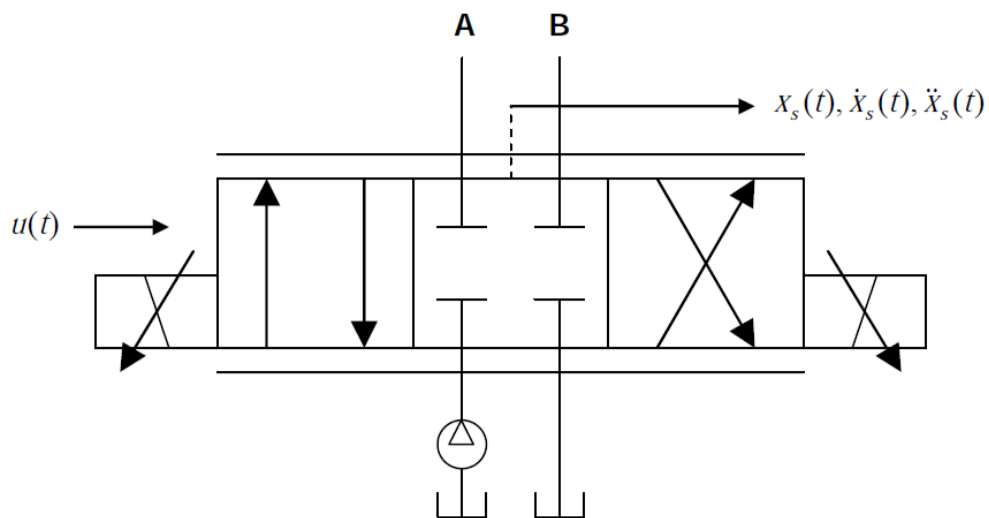


Рисунок 2.4 – Кінематична схема керування приводом гідроциліндрів

Далі необхідно розглянути загальну математичну модель гідравлічного приводу подвійної дії гідроциліндра. Для початку необхідно дослідити статичну модель циліндра, щоб отримати рівновагу сил, що діють на циліндр. З точки зору формулювань, ці сили можуть бути представлені щоб описати динамічну поведінку циліндра.

Щоб забезпечити можливість моделювання об'єктно-орієнтованого блоку, модель циліндра повинна включати виліт циліндра, тертя в циліндрі та ефект падіння тиску на з'єднувачах циліндра. Феномен нелінійного тертя гідроциліндра є досить складною проблемою, яку часто розглядають під вирішення задач гідродинаміки.

Метою статичної моделі циліндра є пошук вираженої результуючої сили гідроциліндра, яку можна розглядати як потенційний момент сили для механічної системи крана. Для цього зобразимо загальну схему гідроциліндра (рис. 2.5).

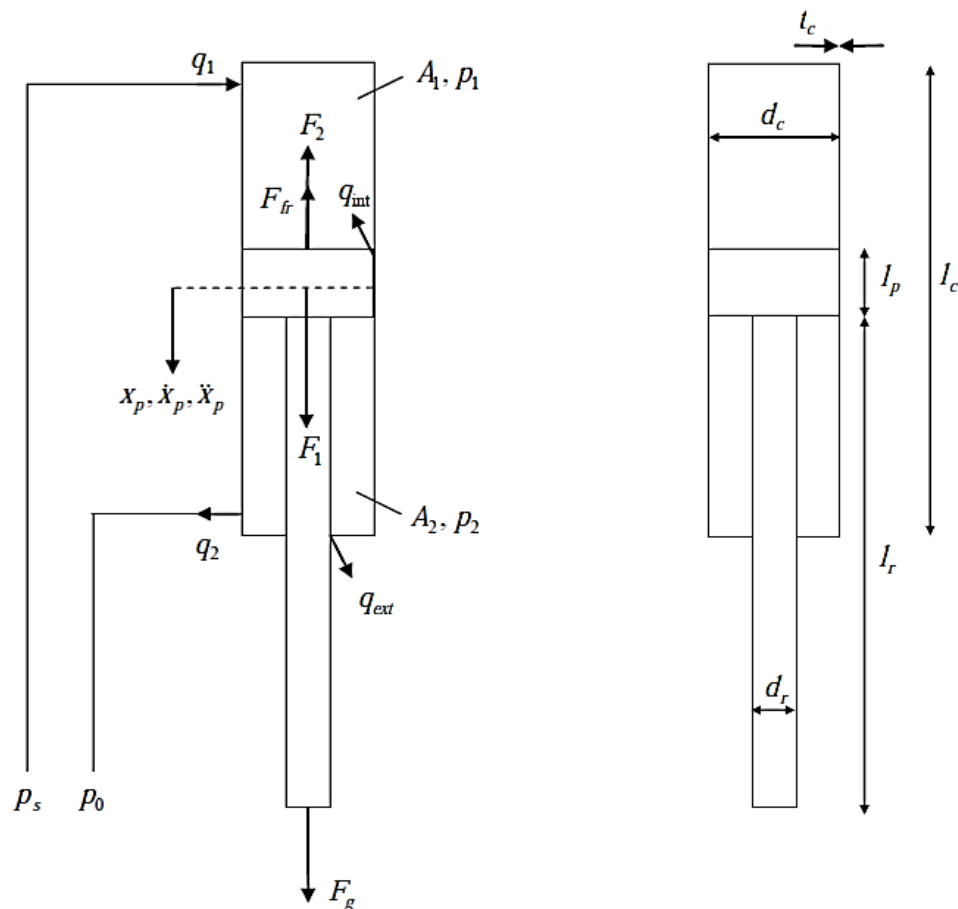


Рисунок 2.5 – Схема циліндра подвійної дії

Зліва на рисунку 2.5 показано сили та потоки рідини в циліндрі, тоді як праворуч показано основні найбільш характерні параметри циліндра В основному результуюча сила циліндра подвійної дії визначається параметрами камери, як добуток різниці тисків і площі поперечного перерізу: $p_1 A_1 - p_2 A_2$. Відповідно до схеми модель руху циліндра виконуватиметься за диференціальним рівнянням на основі другого закону Ньютона [9]:

$$m\ddot{x}_p = F_1 - F_2 + F_g - F_{fr}, \quad (2.8)$$

$$V_{0.1}(x_p = 0) = \frac{l_c - l_p}{2} A_1 + V_{0,p} = \frac{l_c - l_p}{2} \frac{d_c^2 \pi}{4} + V_{0,p} \text{ and} \quad (2.9)$$

$$V_{0.2}(x_p = 0) = \frac{l_c - l_p}{2} A_2 + V_{0,p} = \frac{l_c - l_p}{2} \frac{(d_c^2 - d_r^2) \pi}{4} + V_{0,p} \quad (2.10)$$

Щоб вивести форму простору станів динаміки циліндра ми повторно застосовуємо рівняння 2.10 і після деякого перетворення ми отримуємо наступне рівняння руху:

$$\ddot{x}_p = \frac{1}{m} [(p_1 A_1 - p_2 A_2) + mg - F_{fr}] \quad (2.11)$$

Можна помітити, що єдині змінні в рівнянні 2.10 задані тиском у камері p_1 , p_2 , і сила тертя F_{fr} . Маса речовин у гідравлічній системі залишатиметься постійною незалежно від процесів, які відбуваються в системі. Справедливо: $V = \Sigma q$. Принцип масової конверсії відбувається за законом Бернуллі, що описує залежність між тиском і швидкістю руху рідини в трубі або поверхні. Закон Бернуллі [13], [19] вказує, що при руху рідини тиск її частинок знижується, якщо їхня швидкість збільшується, і навпаки, це графічно зображено на рисунку 2.6.

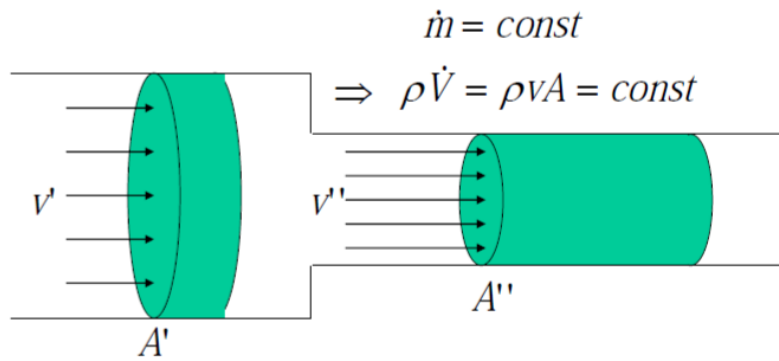


Рисунок 2.6 – Зміна потоку рідини

Переміщення рідкої маси описується в наступному рівнянні нерозривності потоку:

$$\dot{V}_1 = q_1 + q_{int} \Rightarrow \frac{dm_1}{dt} = \rho_{oil} (q_1 + q_{int}) \quad (2.12)$$

$$\dot{V}_2 = -q_2 - q_{int} - q_{ext} \Rightarrow \frac{dm_2}{dt} = -\rho_{oil} (q_2 + q_{int} + q_{ext}) \quad (2.13)$$

де ρ_{oil} - прискорення поршня,

m - маса рухомих частин (в основному маса поршня і штока).

Сила F_1 створюється тиском у верхній камері, тоді як F_1 діє з нижньої камери. F_g – сила тяжіння, F_{fr} – сила тертя.

Для початку розв'язку математичної моделі циліндра необхідно визначити початкові умови для об'єму рідини обох камер циліндрів. Початковий об'єм камери залежить від початкового положення поршня, тобто центрування циліндра.

Слід мати на увазі, що q_2 стає негативним, коли рідина циркулює в 2-гій камері циліндра. Крім того, від рідини ρ належатиме функція місцевого тиску в циліндрі:

$$\rho_{oil}(p) = E_{oil}(p) \frac{\partial \rho_{oil}(p)}{\partial p}, \quad (2.14)$$

де $E_{oil}(p)$ позначає об'ємний модуль пружності рідини.

Застосовуючи $m = \rho V$ до рівнянь 2.12 і 2.13 і замінюючи похідну від густини рідини, ми отримуємо таке диференціальне рівняння:

$$\frac{dp_1}{dt} \frac{V_1 \rho_{oil}}{E_{oil}} + \frac{dV_1}{dt} \rho_{oil} = \rho_{oil} (q_1 + q_{int}) \quad (2.15)$$

$$\frac{dp_2}{dt} \frac{V_2 \rho_{oil}}{E_{oil}} + \frac{dV_2}{dt} \rho_{oil} = -\rho_{oil} (q_2 + q_{int} + q_{ext}) \quad (2.16)$$

Отже, визначивши швидкість зміни тиску, яку можна використовувати як похідну стану до динамічної моделі. Отриману евристичним шляхом формулу об'ємного модуля пружності рідини можна записати у вигляді

$$\frac{dp_1}{dt} = \frac{E_{oil}}{V_1} \left(q_1 + q_{int} - A_1 \frac{dx_p}{dt} \right) \quad (2.17)$$

$$\frac{dp_2}{dt} = -\frac{E_{oil}}{V_2} \left(q_2 + q_{int} + q_{ext} - A_2 \frac{dx_p}{dt} \right) \quad (2.18)$$

$$E_{oil}(p) = \frac{1}{2} E_{oil,max} \log_{10} \left(C_1 \frac{p}{p_{max}} + C_2 \right), \quad (2.19)$$

Під час роботи гідравлічного циліндра можливі два явища витіку. Внутрішній витік потоку q_{int} , який виникає при звуженні поршня і внутрішнього корпусу циліндра. Зовнішній потік витіку q_{ext} з'являється в отворі для виходу штока. В обох випадках витік може розглядатися як нескінчений потік через їх малі згачення. Таким чином, потік буває ламінарним, якщо воно стає прямо пропорційним різниці тисків між середовищами:

$$Q_{int} = k_{int} (p_2 - p_1) \quad (2.20)$$

$$Q_{ext} = k_{ext} (p_2 - p_0) \quad (2.21)$$

Коефіцієнти k_{int} і k_{ext} можна оцінити за допомогою загального рівняння потоку;

$$k = \frac{\left(\frac{d_i}{2} + r_c \right)}{6\mu L} r_c^3 \pi, \quad (2.22)$$

де d_i – внутрішній діаметр отвору;

r_c – радіус штока;

μ – статичний коефіцієнт тертя;

L - довжина ходу.

Очевидно, що потік витоку прямує до нуля при використанні відповідних прокладок та ущільнення циліндра. Діаметри форкамери та шлангу повинні бути приблизно однакові тому тиск всередині циліндра може відрізнятися від загального виміряного значення. Цей ефект можна представити принципом Бернуллі [13].

Висновки за розділом

1. У розділі виведено кінематичну схему маніпуляторної установки, виведено аналітичні залежності для розрахунку гідро динамічних параметрів елементів приводу.

РОЗДІЛ 3

РОЗРОБКА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ МАНІПУЛЯТОРОМ

3.1 Обґрунтування цілей розробки

Під час перевезень часто виникає необхідність у переміщенні вантажів, які різняться габаритами [5], [8], масою, формою та особливостями поведіння. Також виникає необхідність завантаження або розвантаження поза межами стаціонарних складів, на будівництві, зоні щільної житлової забудови, в полі тощо. Для цих потреб прийнято використовувати вантажні автомобілі, обладнані маніпуляторами, що забезпечує ряд переваг, серед яких: зменшення кількості одиниць техніки, підвищення ступеня їх використання; зменшення кількості працівників, підвищення продуктивності їх праці; зменшення загальних затрат на перевезення [5].

Маніпулятори широко представлені на ринку України, їх ціна різниться залежно від вантажопідйомності та функціональних можливостей. Вартість найбільш технологічних маніпуляторів може перевищувати вартість самого автомобіля, тоді як простіші зразки можуть бути частково механізовані, а їх ціна буде невисокою.

Найчастіше в маніпуляторах використовується гідропривод, який може бути автономним або ж використовувати штатну гідросистему автомобіля [21]. Система управління таким маніпулятором, виконана у вигляді моноблоку гідророзподільників з механічними важелями й розміщена на рамі автомобіля. Для комбінованих типів приводу системи керування маніпуляторами є складнішими й досить вартісними. Тому актуальним є обґрунтування простої та ефективної системи керування маніпулятором.

За загальноприйнятою класифікацією кран-маніпуляторні установки поділяють за типом підвішування вантажу: жорстке, гнучке [19] на стрілі (для переміщення вантажів використовується трос з гаком, стропи, петлі). За способом складання ланок їх поділяють: Z-подібні, L-подібні та телескопічні

установки. За конструктивним виконанням стріли Z-подібні стріли використовуються переважно європейськими виробниками техніки.

Для приводу робочих органів та силових частин вантажопідйомних машин найчастіше застосовуються об'ємні гідроприводи безпосередньої дії, в яких гідронасос нагнітає рідину, яка передає зусилля безпосередньо до виконавчого механізму - гідроциліндра або гідромотора. Об'ємні гідроприводи знайшли широке застосування через можливість змінювати обертальний рух у поступальний й простоту регулювання робочих швидкостей виконавчих пристроїв, реверсного переміщення робочих органів та здатністю реалізовувати великі передатні числа [19].

Використання універсальних кран-маніпуляторних установок на автомобільних, самохідних та причіпних шасі дає можливість підвищити ефективність навантажувально-розвантажувальних операцій, зменшуючи при цьому кількість техніки та працівників, залучених до вантажопереробки поза межами складів.

Метою роботи є обґрунтування раціональної моделі електронної системи керування гідроприводом крана-маніпулятора з наступними конструктивними та експлуатаційними вимогами [15]:

- застосування системи управління, що забезпечує механізмам приводу маніпулятора інформативність, точність та слідкуючу дію механізмів під час переміщення [25];

- велика кількість степенів вільності шарнірних з'єднань, гнучкість та плавність роботи механізмів;

- можливість подальшого розширення функціональних можливостей та елементної бази (дистанційного керування, передачі відеозображення з вантажозахоплювача, сенсорів відстані, руху);

- підтримання початкового рівня прохідності, маневреності автомобіля;

- забезпечити необхідну мобільність шляхом складання маніпулятора в транспортне положення з габаритами, що не перевищує аналогічні розміри автомобіля;

- можливість використання додаткових елементів керування та адаптивність їх налаштувань.

Існують різні конструктивні рішення й підходи щодо [3] розробки маніпуляторів. Їх поділяють за типом приводу (пневматичний, електричний, гідравлічний); мобільністю (стаціонарний або рухливий); системою координат переміщення (прямокутна, циліндрична, сферична, ангулярна); способом управління (механічний, електричний, електронний). Головне питання, що виникає при розробці маніпуляторів – вибір кінематичної схеми, структури елементної бази та алгоритму роботи. Найбільш прогресивні маніпулятори подібні до людської руки, мають плече, кисть і зап'ястя й можуть рухатись з аналогічними ступенями вільності (ангулярна система). Тоді як для простіших операцій досить лише два ступені рухливості (прямокутна, циліндрична система). Можливість рухатись в циліндричній системі координат дозволяє розширити робочу зону маніпулятора та обертатися навколо своєї осі на 360 град. Сферична система являє собою робочу зону в вигляді сфери, маніпулятори з такою системою координат виділяються універсальністю та покращеними технічними можливостями. Така кінематична схема складніша за попередні, тому виникають труднощі з виготовленням складних механізмів, їх міцності, стійкості та управління, однак він може переміщатися складнішою траєкторією і використовуватися для складних траєкторій переміщення.

3.2 Обґрунтування принципової схеми маніпулятора

Принципова схема [9] й запропонована кінематична конфігурація маніпулятора (рис. 3.1) передбачає використання широкої робочої зони завдяки переміщенню основи поворотного модуля у циліндричній системі координат. Тоді як вантажозахоплювач переміщається у сферичній системі, за рахунок чого досягається вища гнучкість рухомих ланок. Точність й

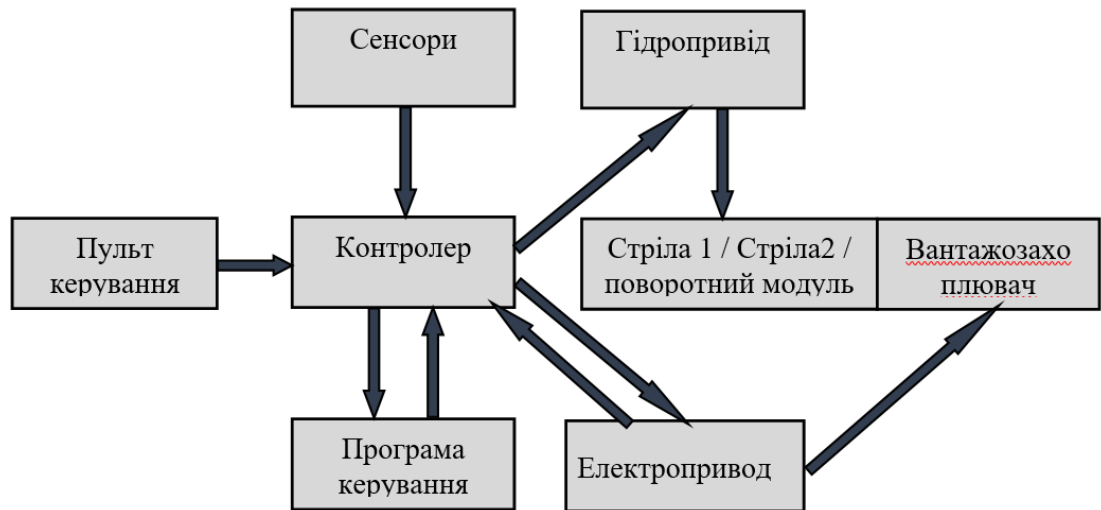
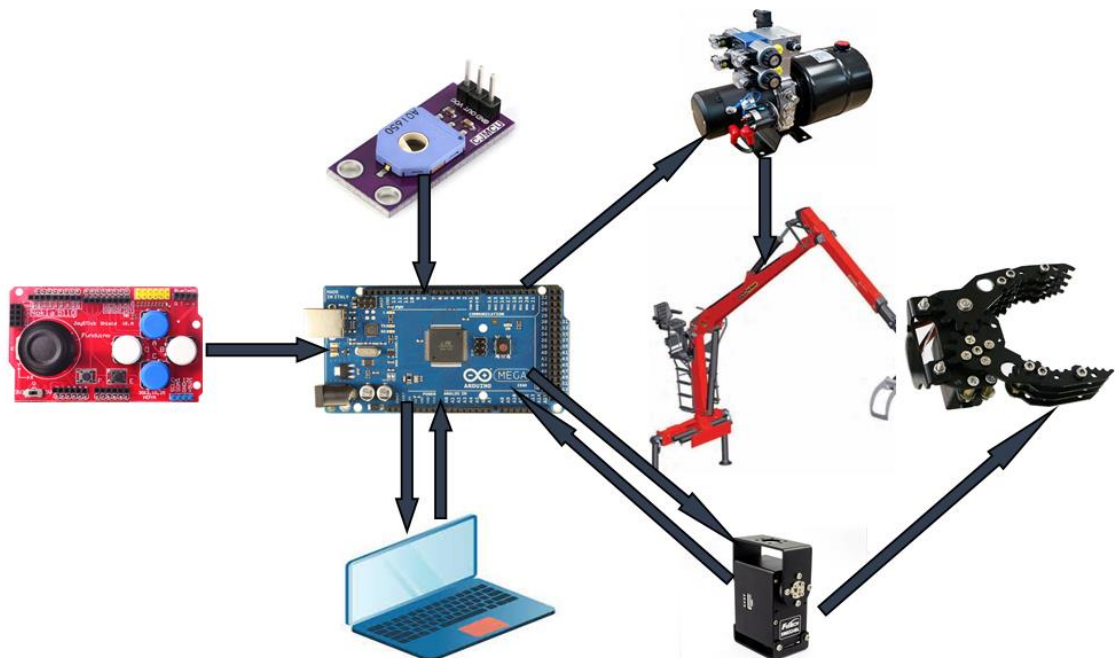
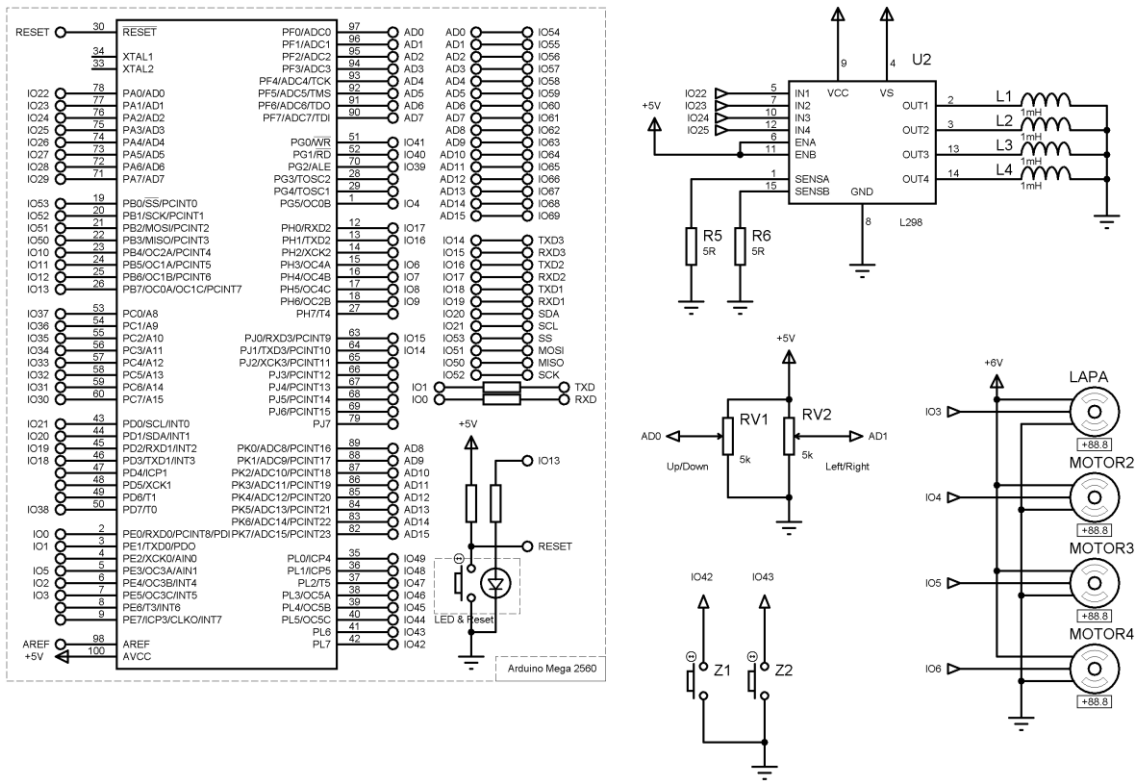


Рисунок 3.2 - Функціональна схема та алгоритм керування маніпулятора

Реалізована система керування містить такі елементи: блок живлення 24В 5А, Arduino Mega [3], драйвери керування електромагнітними клапанами системи гідроприводу на базі мікросхем L298 – 2 шт., джойстики керування з кнопками – 2 шт., сервопривід вантажозахоплювача, елемент перетворювача DC/DC з вихідною напругою 7В для живлення сервоприводів (рис. 3.3).



а)



б)

а – елементна база; б – схема підключення елементів в програмі

Proteus

Рисунок 3.3 - Схема керування маніпулятором

Для управління електричними виконавчими механізмами маніпулятора використано апаратну обчислювальну платформу з мікроконтролером Arduino [1] та програмним середовищем розробки Processing/Wiring на мові програмування, що є підмножиною C/C++. Перевагою використання даної платформи є доступність електронних компонентів та відкритих програмних кодів (стандартних бібліотек), що є у вільному доступі, для найбільш популярних схем управління. На більшості плат Arduino бібліотека Servo підтримує керування не більше 12 сервоприводами, а на Arduino Mega – 48.

Бібліотеки для керування сервоприводами (Servo) і для роботи з приймачами/передавачами на 433 МГц VirtualWire використовують аналогічне переривання. Це означає, що їх можна використовувати в одній

схемі одночасно, тобто використовувати провідне або безпроводне управління [21].

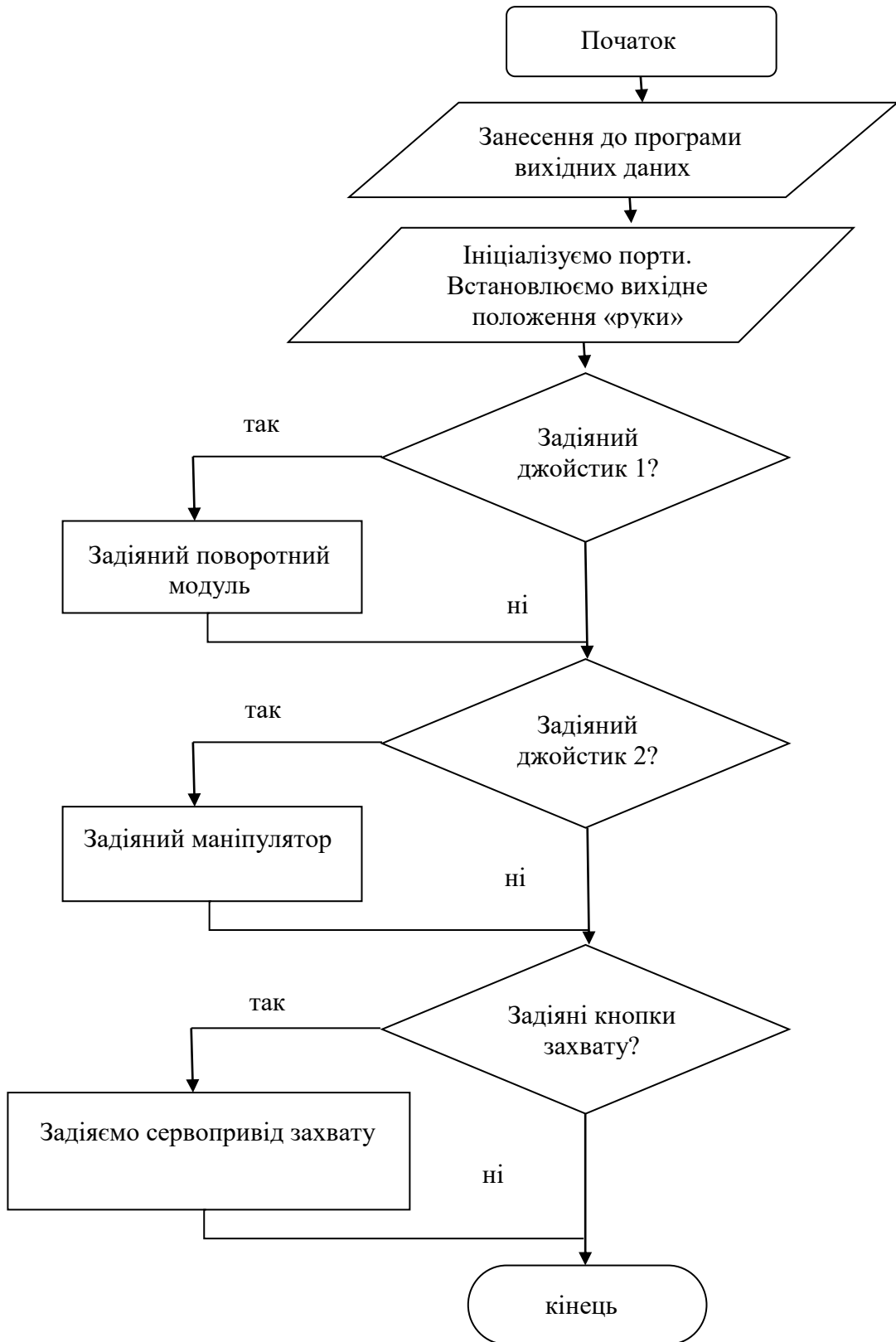


Рисунок 3.4 - Алгоритм системи керування маніпулятором

На рисунку 3.3 зображено фрагмент електричної схеми маніпулятора. Змінні резистори RV1 та RV2 – елементи джойстика керування. При центральному положенні джойстика резистори перебувають у середньому положенні (що відповідає значенню АЦП 512 одиниць), під час впливу на джойстик значення відповідного каналу змінюються від 0 до 1023 одиниць, в залежності від чого і приводиться в дію відповідний гідравлічний контур маніпулятора. При переведенні джойстиків у вихідне положення гідророзподільники перебувають у нейтральному положенні і насосна станція працює в холостому режимі, а стріла маніпулятора залишається нерухомою [13].

Перевірка коректності побудови електричної схеми та її роботоздатності проводилась за допомогою моделі, складеної у середовищі Proteus. Згідно моделі, за допомогою кнопок керування Z1 та Z2 маємо можливість керувати вантажозахоплювачем, тобто стикати або розтискати захват.

Сервоприводи зазвичай мають обмежений кут обертання 180 градусів, або ж постійне обертання. В нашому випадку кожна пара сервоприводів керується окремим джойстиком, а замикання-розмикання «руки» керується за допомогою кнопок (рис. 3.5).

3.3 Реалізація електронної схеми керування маніпулятором

Використання ШІМ сигналу для керування електромагнітними розподільниками гідростанції дозволяє змінювати швидкість переміщення робочих органів маніпулятора, внаслідок зміни поперечного перерізу гідророзподільника. Це відбувається залежно від потреби, тобто від ступеню натискання на джойстик керування. Програмно передбачено невелику «зону нечутливості» для запобігання небажаних переміщень маніпулятора при незначному впливу на джойстики чи кнопки.

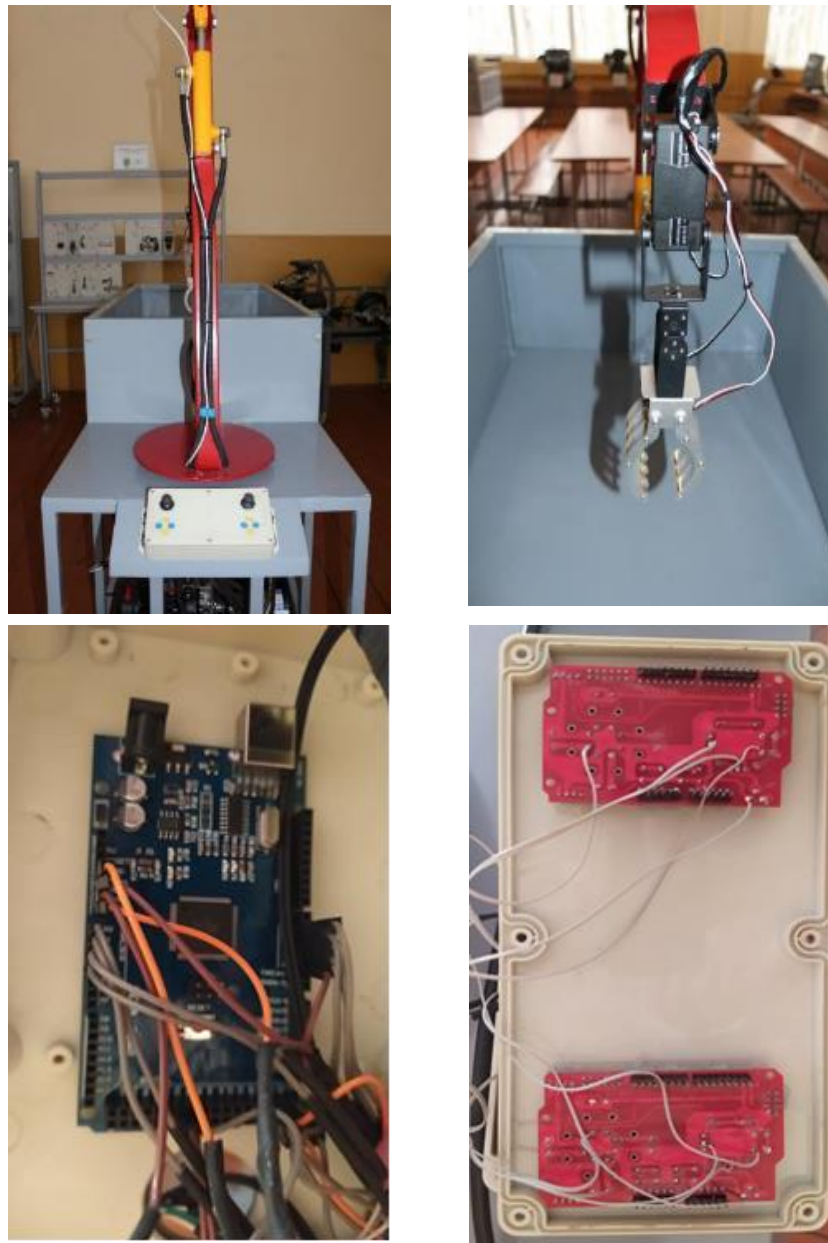
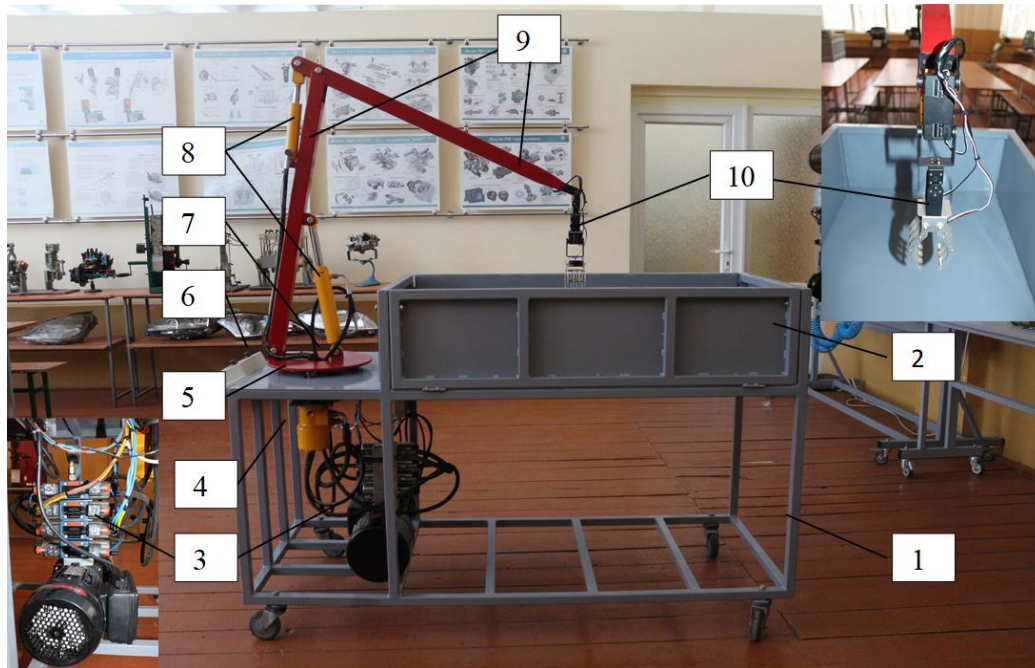


Рисунок 3.5 - Електронна схема управління маніпулятором на базі програмно-апаратної платформи Arduino

Бібліотеки для керування сервоприводами (Servo) і для роботи з приймачами/передавачами на 433 МГц VirtualWire використовують те саме переривання. Це означає, що їх можна використовувати в одній схемі одночасно, тобто використовувати провідне або безпроводне управління [3].

До основних складових частин крана-маніпулятора належать: бортова платформа; поворотний модуль; силова частина (стріла, балка); гідропривід; електротехнічна частина (привід, управління); вантажозахоплювач з сервоприводом (рис. 3.6).



1 – монтажна рама; 2 – вантажна платформа з відкидними бортами; 3 – гідростанція для гідроборта НРР 160/6/0,75; 4 – поворотний механізм; 5 - монтажна плита поворотного модуля; 6 – пульт керування; 7 – поворотний модуль; 8 – гідроциліндри; 9 – перша та друга стріла; 10 – вантажозахоплювач з сервоприводом

Рисунок 3.6 - Електронно-керований маніпулятор

Для монтажу гідроприводу крана маніпулятора використано гідростанцію для гідроборта НРР 160/6/0,75 потужністю 0,75 кВт. Монтаж блока розподільників відбувається через набірний каскад монтажних плит з запобіжними клапанами (рис.3.7).

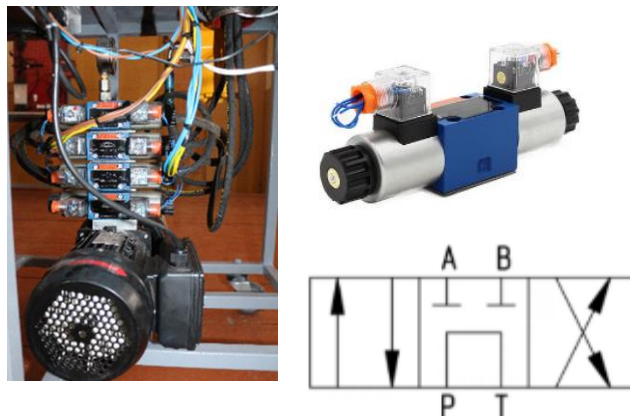


Рисунок 3.7 -

Блок електромагнітних розподільників гідроприводу маніпулятора

Найбільш функціонально ефективною та надійною є типова «схема підключення гідроприводу 64», що надає можливість працювати системі в холостому режимі під тиском близько 20 бар. У випадку ввімкнення гідророзподільника тиск у напірній лінії зростає й подається до каскаду прозподільників. Відповідно до пропонованої схеми використано електроннокеровані гідророзподільники серії WE6G з можливістю стандартизованого плитного монтажу, завдяки чому досягається загальна простота конструкції та компактність гідроблоку керування. Переріз напірної лінії гідророзподільника становить 6 мм, максимальний робочий тиск становить 315 бар, продуктивність до 40 л/хв.

Для управління гідроприводом стріл маніпулятора та поворотного модуля використано розподільники WE6 серії E, які забезпечують підключення робочих органів за «типовою схемою 44». Вони також забезпечують [13] трипозиційне регулювання з можливістю підключення чотирьох ліній. У нейтральному положенні всі лінії закриті, а при подачі сигналу на один з електромагнітів, відбувається з'єднання напірної лінії з першим виходом робочого органу, тоді як інший вихід з'єднаний зі зливом. Переміщення золотника гідроапарату відбувається двома електромагнітними котушками робочою напругою 12В, 24В, або 110...220В. Повернення золотника розподільника у вихідне положення відбувається за допомогою пружини.

Для перевірки справності електромагнітів приводу золотника гідророзподільника використано світлодіодну індикацію. Монтажний розмір стандартний й уніфікований й забезпечує належну взаємозамінність, тоді як монтаж здійснюється гвинтами M5x50.

Щоб забезпечити одночасну й паралельну роботу усіх робочих органів гідроприводу крана маніпулятора розроблено принципову схему підключення елементів. В процесі монтажу встановлено напрями потоків робочої рідини через гідророзподільники при прямому та зворотному ході гідроциліндрів. Підібрано компоненти гідросистеми відповідно до технічного

завдання та схеми підключення: насосна установка – 1 шт; гідроциліндр – 2 шт.; гідромотор – 1 шт.; гідророзподільник WE6 G (64 схема) – 1 шт.; гідророзподільник WE6 E (44 схема) – 3 шт.; дросель ПГ77-12 – 1 шт.; гідроклапан зворотний ПГ51-22 – 1 шт.; регулятор витрати зі зворотним клапаном МПГ 55-32 – 1 шт.

Для обертання маніпулятора навколо своєї осі використано поворотний модуль, виготовлений у вигляді плити діаметром 350 мм, до якої кріпиться вал, змонтований через конічні роликові підшипники у гільзі. До плити, за допомогою гвинтів, змонтовано маховик зі зубчастим вінцем. У контакт з маховиком через шарнірне кріплення підведено гідромотор з привідною шестернею, завдяки чому приводиться в рух поворотний модуль у двох напрямках. Для приводу поворотного модуля використано шестеренний гідромотор зовнішнього зачеплення з двома синхронними шестернями. При обертанні шестерень рідина у западинах зубів переноситься із зони всмоктування до зони нагнітання. Однак така простота конструкції має ряд недоліків - у місці зачеплення шестерень утворюються зона замкненого об'єму, що призводить до пульсації тиску на виході насоса та шумності його роботи.

Висновки за розділом

1. Обґрунтовано раціональну модель електронної системи керування гідроприводом крана-маніпулятора з для використання в універсальних кран-маніпуляторних установках на автомобільних, самохідних та причіпних шасі. Це дає можливість підвищити ефективність навантажувально-розвантажувальних операцій, зменшуючи при цьому кількість техніки та працівників, залучених до вантажопереробки поза межами складів.

2. Запропонована архітектура керування маніпуляторними установками з невисокою вартістю її реалізації та простим зрозумілим налаштуванням. Використання пропонованої технології та схеми електронного керування

забезпечує управління складною системою приводів, дозволяє проводити гнучкі налаштування за потребою користувача. Наприклад, керувати кран-маніпулятором дистанційно через радіоканал чи обмежити величину ходу в певних напрямках.

РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ЗАХИСТ В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Аналіз небезпечних виробничих умов під час роботи з вантажними автомобілями

До ремонту й налагоджувальних робіт пов'язаних з експлуатацією вантажних автомобілів допускають осіб, відповідного законодавству віку, що не мають медичних протипоказань та допущені до самостійного виконання роботи. Перед отриманням відповідного допуску, працівник повинен пройти відповідне стажування, або навчання протягом 2...14 робочих змін під наставництвом спеціально призначеної особи [10], [16], [26].

Виконання робіт, що пов'язані із застосуванням електро- і пневмо інструменту здійснюють працівники з допусками до роботи з електроінструментом I класу та II групи з електробезпеки.

Керування та буксирування транспортних засобів великої вантажопідйомності та кріплення вантажів здійснюють робітники, які пройшли навчання, інструктаж з управління автомобілями і стропування вантажів та склали відповідні іспити з перевірки знань.

Слюсар-ремонтник зобов'язаний виконувати вимоги з охорони праці та складати іспити на перевірку знань з питань охорони праці не рідше одного разу на 12 місяців, дотримуватися правил поведінки на території організації. Крім того повинен проходити обов'язковий періодичний медичний огляд в порядку встановленому Міністерством охорони здоров'я України [26].

Слюсар в ході проведення робіт повинен:

- бути ознайомленим з вимогами, що викладені в технологічних інструкціях; інструкціях з експлуатації й ремонту обладнання та інструменту наданих заводами-виготовлювачами або в інструкціях з охорони праці;

- мати ґрунтовне й чітке уявлення про небезпечні та шкідливі виробничі фактори під час роботи з великогабаритним транспортом і знати основні способи захисту від їх впливу;

- знати основні вимоги електробезпеки і пожежної безпеки при виконанні ремонтних робіт, знати порядок дії з оповіщення та ліквідації пожежі.

Працівники ремонтної дільниці повинні правильно використовувати засоби індивідуального та колективного захисту, а в разі їх виходу з ладу або відсутності негайно повідомити про це керівника підрозділу.

В негайному порядку повідомити керівника підрозділу або підприємства про будь-які позаштатні ситуації, що загрожують життю або здоров'ю працівників та оточуючих. В разі виникнення нещасних випадків на дільницях, проблем зі здоров'я, погіршення працездатності, необхідно негайно сповістити відповідні служби й керівництво, а в разі потреби надати необхідну допомогу потерпілим. Крім того необхідно повідомляти керівництво про несправності ремонтного устаткування, інструменту, пристосувань, підіймально-транспортних засобів.

Працівники зобов'язані дотримуватись вимог трудового кодексу та правил внутрішнього трудового розпорядку, правил виробничої санітарії та особистої гігієни, забороняється з'являтися на робочому місці в стані алкогольного, токсичного і наркотичного сп'яніння. Працівники несуть безпосередню відповідальність за дотримання вимог технологічних інструкцій, інструкцій з охорони праці та правил електро- і пожежної безпеки [10], [16], [26].

4.2 Заходи з охорони праці перед початком ремонтних робіт

Організація та облаштування робочого місця механіка ремонту автомобілів повинна забезпечувати безпеку виконання робіт, а технологічні операції повинні проводитися в спеціально призначених для цього місцях. Ремонтну дільницю і особисте робоче місце і проходи навколо нього необхідно утримувати в чистоті, також не допускається перебування сторонніх осіб в безпосередній близькості до місця проведення робіт.

Перед тим, як приступити до виконання робіт слюсар з ремонту повинен:

- переконатись, що на робочому місці відсутні сторонні особи, предмети, перевірити та одягти засоби індивідуального захисту, переконатися в наявності і справності засобів сигналізації та пожежогасіння;

- перевірити технічну придатність обладнання, інструменту та пристосувань;

Під час перевірки справності механічного ручного інструменту необхідно звернути увагу на наступне:

- інструмент повинен бути розкладений у звичному, зручному для користування порядку;

- інструменти ударної дії повинні бути надійно закріплені, не повинні мати видимих тріщин, наклепів, сколів, бойки молотків і кувалд повинні бути надійно закріплені на рукоятках;

- напилки та інший подібний інструмент повинен бути стягнутим в рукоятках металевими бандажними кільцями;

- гайкові ключі не повинні перевищувати номінальних розмірів граней болтів та гайок більше, ніж на 0,2...0,3 мм;

Перевірка верстатів перед початком роботи:

- необхідно впевнитись в його стійкості, наявності захисного екрана, кожухів приводів, в надійності кріплення лещат струбцин, тощо;

- електроінструмент повинен бути комплектом з цілісним кабелем, та ізоляційними деталями корпусу;

- вимикачі повинні працювати чітко, без підclinювань;

- електроінструмент I класу безпеки повинен бути заземленим до справного контура.

За умови використання вантажопідійомних машин і механізмів слюсар з ремонту повинен:

- перевірити справність захоплювачів вантажів, їх інвентарні номери, клас вантажопідійомності, дати попереднього і наступного випробування;

- надійність закріплення та вкладання канату вздовж барабана лебідки, справність вимикачів гальм і електроприводу та кінцевих вимикачів;
- перевірити стан приводів та передач: розтяг ланцюгів, зминання зубів шестерень і зірочок, надійність зачеплення ланцюгів на зірочках;
- під час огляду домкратів звернути увагу на стан зубів шестерень, різьби рейок, гвинтів, храпових механізмів;
- у гідравлічних підіймачів необхідно продіагностувати стан корпусу, манжет та ущільнень [10], [16], [26].

Вимоги з техніки безпеки під час проведення ремонту вантажних автомобілів.

Пристаюючи до роботи, слюсар з ремонту повинен дотримуватися таких правил техніки безпеки:

- надійно встановити автомобіль й заблокувати колеса з двох сторін за допомогою упорів;
- важіль механічної коробки передач встановити в нейтральне положення, а сам автомобіль загальмувати стоянковим гальмом;
- під час проведення робіт на автомобілях, повинна бути вимкнена кнопка маси;
- перед демонтажем вузлів та агрегатів систем двигуна, необхідно злити паливо, мастило і охолоджуючу рідину в спеціальну тару;
- для зняття і установки вузлів і механізмів, необхідно користуватися вантажопідійомними механізмами, якщо їх маса перевищує 15 кг;
- зняття і установку елементів підвіски слід здійснювати після їх розвантаження та зняття попереднього напруження спричиненого масою автомобіля;
- вузли і агрегати вантажного автомобіля встановлюють горизонтально на стелажах

Працівникам категорично забороняється:

- виконувати ремонтні роботи на автомобілях та причіпних засобах, підвішених на будь яких підйомних пристроях окрім стаціонарно встановлених;

- підкладати під транспортні засоби в якості підставок дерев'яні бруски, цегляні, чи бетонні блоки, або інші предмети;

- переміщати автомобіль з піднятим кузовом, проводити роботи з завантаженим автомобілем, перебувати під піднятим кузовом автомобіля-самоскида без запобіжного упора;

- роботи поза межами підйомника, або естакади необхідно використовувати драбину підмостки, лежак.

Використання під час роботи ручного інструменту необхідно дотримуватися таких вимог безпеки:

- під час роботи з інструментом ударної дії, слід обов'язково одягти захисні окуляри;

- відкручувати ржаві різьбові з'єднання деталей, необхідно виключно в лещатах;

- збільшувати прикладену силу слід додатковими важелями для гайкових ключів;

- забороняється залишати не прибрані деталі або інструмент на краях естакади, або на підлозі;

- рихтувальні роботи здійснюють безпосередньо на автомобілі або на спеціальних тримачах;

- елементи з листової сталі зачищають від гострих задирок, кромки та кути, а роботи проводити виключно в рукавицях;

- залишки листового металу складають в спеціально відведене тару.

Під час обслуговування гальмівних систем необхідно:

- забезпечити нерухоме положення автомобіля без робочої гальмівної системи;

- випробування проводять на відкритих майданчиках великих розмірів, що унеможливує наїзд на людей або перешкоди в разі не коректної роботи, або відмови гальм;

- після перевірки і регулювання гальм автомобіля, слід починати рух тільки після того, як водій переконався, що особи, які проводили регулювання, знаходяться в безпечній зоні.

4.3 Розрахунок системи вентиляції ремонтної дільниці

Якщо природної вентиляції немає в приміщенні, тоді розхід повітря на одного працюючого повинен складати не менше 60 м³/год. В нашому випадку слюсарно-механічна дільниця має площу 42 м², число працюючих – 3 робітники [30].

1. Для приміщення з нормальним мікрокліматом і відсутністю виділення шкідливих речовин повітрообмін при загально-обмінній вентиляції визначається по формулі [10], [11], [20]:

$$L = n \cdot L_1, \quad (4.1)$$

де n - кількість працюючих;

L_1 - розхід повітря на одного працюючого (приймається в залежності від об'єму приміщення, тобто від 20 до 60 м³/ год);

Розхід повітря рівний: $L = 3 \cdot 50 = 150$ м³/ год.

2. Для приміщень з виділенням шкідливих речовин (газ, пилюка), розхід повітря визначається із умов балансу поступаючих в приміщення і видалених із нього шкідливих речовин і розбавлення їх до допустимих концентрацій, по такій формулі:

$$G + L \cdot g_{пр} = L \cdot g_{вид}, \quad (4.2)$$

де L - об'ємний розхід припливного і видаленого повітря м³/год;

$g_{пр}$ і $g_{вид}$ - концентрації шкідливих речовин в припливному і видаленому повітрі, мг/м³.

G - масове виділення шкідливих речовин, визначається по формулах.

Об'ємний розхід видаленого повітря ($\text{м}^3/\text{год}$) визначається по формулі:

$$L_1 = \frac{\varphi \cdot G}{g_{\text{вид}} \cdot g_{\text{пр}}}, \quad (4.3)$$

де φ - коефіцієнт нерівномірності виділення шкідливих речовин (приймається від 1.2 до 2,0)

3. Якщо припливне (зовнішнє) повітря не містить шкідливих речовин:

$$L = \frac{\varphi \cdot G}{k_g}, \quad (4.4)$$

k_g – гранично допустима концентрація шкідливих речовин в робочій зоні, $\text{мг}/\text{м}^3$

4. Масове виділення окису вуглецю, окисів азоту і альдегідів при технічному обслуговуванні, ремонті і регулюванні двигунів при ВТО і майстернях визначається:

а) для автомобілів з інжекторним двигуном: $\text{кг}/\text{год}$.

$$G = 15(0,6 + 0,8B) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60} \quad (4.5)$$

де B - робочий об'єм двигуна в (л)

P - об'ємна доля шкідливих речовин у відпрацьованих газах (4-6% - бензинових двигунів; 0.05-0.07 – дизельні)

T - час роботи двигуна (хв.)

Отже для одного автобуса, з часом обслуговування працюючого двигуна приблизно 30 хв:

$$G = 15(0,6 + 0,8B) \frac{P}{100} \cdot \frac{T}{60} = 15(0,6 + 0,8 \cdot 3) \frac{5}{100} \cdot \frac{30}{60} = 1,125$$

Розрахунок втрат тиску повітря проводиться за методикою:

Втрати тиску $P_v(\text{Па})$ залежить від довжини, діаметру кількості поворотів розгалужень повітропроводів, швидкості руху повітря і т.д.

$$P = v^2 \gamma 2g (\psi_T l_g / d + \sum \psi_m), \quad (4.6)$$

де ψ_T - коефіцієнт втрат тиску (приймається рівним 0.02);

ν - швидкість повітря в повітропроводі : 1-4 для віддалених ділянок; 8-12 для прилеглих;

γ - коефіц. втрат тиску на тертя повітря до стінок (приймається рівним 0.02);

ψ_m - коефіцієнт місцевих втрат;

l_g - довжина ділянок повітропроводів.

Втрати тиску рівні $P = 2^2 \cdot 0.02 \cdot 2 \cdot 9.81 \cdot (0.02 \cdot 20/0.2 + 2,4 \cdot 10^2) = 365$ Па

Необхідна потужність (кВт) електродвигуна для приводу вентилятора визначається за формулою:

$$N = \frac{kLP}{3600 \cdot 1000 \eta_s \eta_n}, \quad (4.7)$$

де k - коефіцієнт запасу (приймається 1.05-1.5)

L - подача вентилятора

P - тиск, що створюється вентилятором

η_s - к.к.д вентилятора (приймається 0.5-0.55)

η_n - к.к.д приводу вентилятора (приймають 0.9-1.0)

Отже: $N = 1.05 \cdot 50 \cdot 365 / 3600 \cdot 1000 \cdot 0.5 \cdot 0.9 = 0.05$ кВт для одного циклу повітрообміну. Для оціночних розрахунків застосовують метод кратності повітрообміну. Кількість повітря, яку необхідно видалити із приміщення за 1 год. Визначається по формулі:

$$L = V_p \cdot n, \quad (4.8)$$

де n – кратність повітрообміну.

Враховуючи об'єм приміщення $42 \cdot 3 = 126 \text{ м}^3$, кратність повітрообміну – 8:

$$L = 126 \cdot 8 = 1328 \text{ м}^3 / \text{год}$$

Отже потужність необхідна вентилятору рівна:

$$N = 1.05 \cdot 50 \cdot 365 / 3600 \cdot 1000 \cdot 0.5 \cdot 0.9 = 0.05 \text{ кВт}$$

4.4 Заходи підвищення електробезпеки ремонтної дільниці

Згідно вимог правил встановлення електрообладнання виробничі приміщення класифікуються по ступеню безпеки ураження людини електричним струмом.

Проектована дільниця відноситься до особливо небезпечних приміщень, так як вона характеризується за наступними ознаками:

- струмопровідна підлога – залізобетонна;
- в приміщенні виділяється струмопровідний пил;
- застосовуються змащувально-охолоджувальні суміші;
- не виключене одночасне дотикання до корпусів обладнання, що може бути під напругою і до заземлених частин будівлі;
- згідно рекомендацій [26] на дільницях застосовують трифазну ,чотири провідну електричну мережу з заземленою нейтраллю.
- Напруга в мережі 220/380 В.

Мережа з заземленою нейтраллю застосовується там, де неможливо забезпечити добру ізоляцію проводів при тривалому ремонті пошкодженої ізоляції проводів.

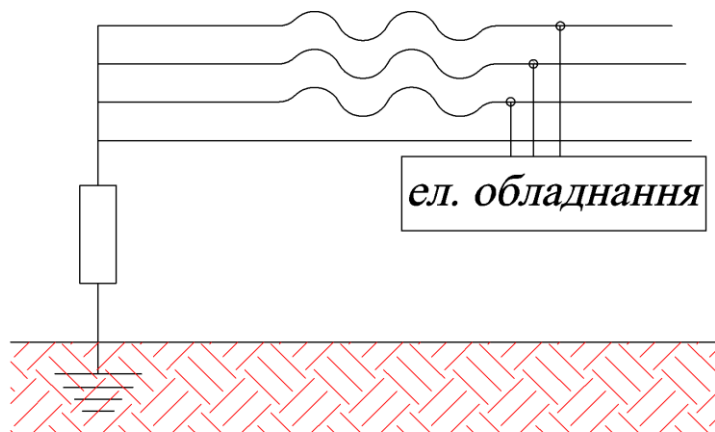


Рисунок 4.1 – Схема трифазної чотирипровідної мережі з заземленою нейтраллю

Основними причинами нещасних випадків від дії електричного струму є:

- випадковий дотик або наближення на небезпечну відстань до струмоведучих частин, що знаходяться під напругою;
- поява напруги на металічних конструктивних частинах електрообладнання – корпусах, кожухах і т.п. – в результаті пошкодження ізоляції та інших причин;
- поява напруги на відключених струмоведучих частинах, на яких працюють люди, внаслідок помилкового включення установки;
- виникнення крокової напруги на поверхні землі в результаті замикання проводу на землю [26].

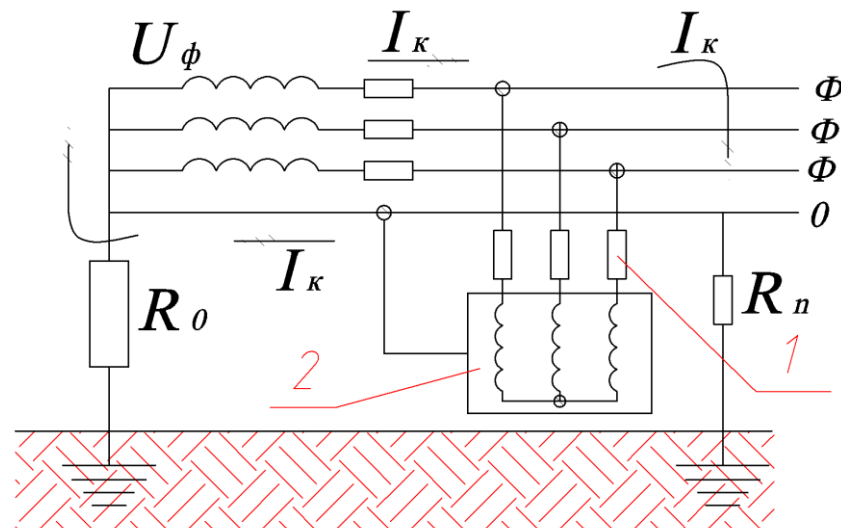
На проєктованій ділянці передбачені наступні заходи по забезпеченню електробезпеки:

- кожен верстат має вимикач ручної дії, що розміщений в безпечному місці;
- двері шаф з електрообладнанням блоковані вимикачем таким чином, щоб двері шафи не відкривались при його ввімкненому положенні і електрообладнання не можна було вимкнути при його відкритих дверях, передбачена можливість відключення блокування для перегляду і перевірки апаратури;
- для живлення світильників місцевого освітлення з лампами розжарювання застосовують напругу не більше 24 В;
- для світильників місцевого освітлення передбачені окремі вимикачі;
- на кожному верстаті опір ізоляції електрообладнання в будь-якій надземній частині не менше 1 МОм, а ізоляцій обмоток електродвигуна (без з'єднувальних проводів) 0,5 МОм.

Необхідність застосування занулення пояснюється областю застосування – трифазні, чотири провідні мережі з напругою до 1000 В з глухозаземленою нейтраллю.

Зазвичай це мережі з напругою 220/380 В, що широко використовуються в машинобудуванні та інших галузях народного господарства [26].

Призначення нульового захисного щитка – створення для струму короткого замикання мережі з малим опором, щоб цей опір був достатнім для швидкого відключення пошкодженої установки.



1 - корпус; 2- апарати для захисту від струму короткого замикання (плавкі запобіжники та ін.); R_0 – опір заземлення нейтралі джерела струму; R_i – опір повторного заземлення нульового провідника; I_{κ} – струм короткого замикання.

Рисунок 4.2 – Принципова схема занулення

Висновки за розділом

1. У розділі розглянуто заходи з підвищення безпеки праці, проаналізовано небезпечні та шкідливі виробничі чинники під час робіт з ремонту та обслуговування вантажних автомобілів.

РОЗДІЛ 5

РОЗРАХУНОК ЕКОНОМІЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОРОКОВАНОГО ТЕХНІЧНОГО РІШЕННЯ

5.1. Розрахунок загального кошторису проекту

Під час визначення економічної ефективності започаткування нового проекту та відповідно збільшених капіталовкладень необхідно враховувати зміну вартості проекту протягом певного часу. Від моменту розрахунку проекту вкладення інвестицій і аж до моменту отримання від них прибутку часом минає дуже багато часу. Тому при розрахунках обов'язково враховують тривалість реалізації проекту [12], [23], [27].

На початковому етапі необхідно провести оцінку ефективності від використання переваг інноваційного проекту, тобто порівняти інвестований обсяг грошових капіталовкладень з грошовими надходженнями та рівнем рентабельності. Грошові надходження (прибуток), які отримано в процесі реалізації інвестиційного проекту, відносно початкових інвестиційних вливань. Проект прийнято вважати ефективним (окупним), у випадку швидкого повернення інвестицій інвестора, при цьому враховують також прибуток інвестора протягом усього терміну окупності.

Підприємство інвестує певні капіталовкладення та вкладає певну частку грошових коштів, які вилучаються з оборотного фонду (отримані від підприємницької діяльності), зводяться до теперішнього розрахункового періоду, який зазвичай визначається роком початку реалізації проекту.

Залежно від типу проекту інвестування визначають тип дисконтування капітальних вкладень. Відносно цього формується відповідна ставка дисконту. У математичному виразі ставка дисконту - це відсоткова частка перерахунку потенційних джерел доходів зведена в єдину величину поточної вартості. А в економічному значенні ставки дисконту відображає потенційну ставку доходу на вкладені інвестиції, або ж мінімальна ставка доходу з врахуванням усіх ризиків та додаткових затрат.

Під поняттям дисконтування розуміють перерахунок прибутків і затрат для розрахункового (звітного) періоду. Під час оцінки ефективності капіталовкладень у новий проект необхідно врахувати наступні показники:

- чистий дисконтний прибуток інноваційного проекту;
- індекс дохідності (прибутковості) проекту;
- термін окупності капіталовкладень.

За визначеною методикою показником дисконтного (Net Present Value - NPV) – приведений до реальної чистої вартості є можливість розрахувати чистий прибуток в ході реалізації проекту.

Розробка та впровадження програмно-апаратного модуля електронно керованого крана-маніпулятора є універсальним рішенням та може мати безпосередній та опосередкований ефект. Пропоноване технічне рішення передбачає одноразові капітальні вкладення (NPV), які визначаються з виразу [12], [23], [27]:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{\Pi_t}{(1+d)^t} - K, \quad (5.1)$$

де K – капітальні вкладення у розробку та впровадження програмно-апаратного електронно керованого крана маніпулятора, грн.;

Π_t – потенційний прибуток від продажу річної програми пропонованих технічних рішень на t -ому році реалізації проекту грн ($\Pi_t = 1100 * 360/3 = 132000$);

d – нормативний показник дисконту, що визначає рівень ризиків (рівень знецінення грошового потоку, рівень інфляції, облікової) проекту $d = 20\%$;

n – період часу, протягом якого пропоноване технічне рішення буде реалізовуватись на ринку, років;

t – рік реалізації проекту в послідовності, за якими очікується отримання прибутку, грн.

Таблиця 5.1 – Кошторис на виготовлення електронної системи керування маніпулятором

Статті витрат	Кількість, одиниці виміру	Вартість, грн
Елементи металоконструкції стенду		
Профільна труба 30×30×2 мм	26 м	1248
Профільна труба 50×50×2 мм	3 м	273
Кутник 25×25×2 мм	1 м	57
Листовий метал г/к 70/50, 2 мм	4 м ²	441
Болт М8×1,25, L= 25	12 шт.	114
Болт М12×1,5, L= 100	5 шт.	74
Гайка М8	12 шт.	12
Шайби М8	12 шт.	6
Гайка М12	5 шт.	20
Шайби М12	5 шт.	7
Плита поворотна d=350×10 мм	1 шт.	380
Колеса поворотні	4 шт.	480
Конічний роликівий підшипник 30205 SNR 25×52×16,25	2 шт.	380
Вал d=50, L= 350 мм, Ст3	1 шт.	419
Привідна шестерня	1 шт.	168
Маховик	1 шт.	572
Штуцер перехідний	4 шт.	387
Разом		5038
Компоненти гідросистеми		
Гідростанція для гідроборта НРР 160/6/0.75	1 шт	24779
Електричний гідророзподільник Mozioni ДУ6 схема G (64)	3 шт.	5919
Плита одно-місна із запобіжним клапаном ДУ 06 (Max 70 BAR)	3 шт.	4002
Гідроциліндр 40x160x25	2 шт.	1908
Рукава високого тиску 1,5 м	6 шт.	3114
Гідромотор МР-32	1 шт	2600
Масло гідравлічне 10л НМ/HLP 32 OEM Hydraulic Oil for LAUNCH lifts MG-OEM	15 л.	1630
Разом		43952

продовження таблиці 5.1

Компоненти електросистеми		
Захват сервоприводом	1 шт.	1957
Базовый модуль Arduino Mega 2560	1 шт.	380
Arduino Esplora Joystick Game Program Module Atmega32U4	2 шт	1008
Драйвер крокового двигуна та двигуна постійного струму L298N	3 шт	360
Понижающий стабілізатор напруги 1,5...24 В	1 шт.	145
Блок живлення Siemens SITOP PSU100D 300 Вт 100...240VAC =12VDC/3-8.3A, =24VDC/2.1-12.5A,	1 шт.	1400
Кабель електричний 3×2 мм ²	10 м	240
Кабель електричний 6×0,4 мм ²	10 м	90
Вилка з вимикачем	1 шт.	48
Шлейф HP LJ M175/1536 аналог CE538-60106 BASF	1 шт.	120
З'єднувальні проводи-джампери, зєднувачі	30 шт	160
Короб монтажний	1 шт.	212
Разом		6120
Лако-фарбове покриття		
Грунт антикорозійний Міхон 992	1 л.	100
Автоемаль 2К акрилова 605 Нарва	1 л.	415
Разом		515
Загалом		55625

$$NVP = \frac{132000}{(1+0,17)^1} + \frac{132000}{(1+0,17)^2} + \frac{132000}{(1+0,17)^3} - 55625 = 240077 \text{ грн.} \quad (5.2)$$

Перевірка ефективності проекту проводиться за виразом - $NVP > 0$, якщо вказана нерівність зберігається, проект реалізують.

На наступному етапі визначають індекс дохідності капіталовкладення за формулою:

$$I_{\partial} = \frac{\sum_{t=1}^n \Gamma\Pi_{i, \text{прив}}}{K_{\text{прив}}}, \quad (5.3)$$

де $\sum_{t=1}^n ГП_{i,прив}$ – сумарне значення оціночної вартості середньорічної

величини грошового потоку за звітний період поточного фінансового року, грн. Під загальним обсягом грошового потоку ($ГП_{i,прив}$) розуміють величину отриманих прибутків під час реалізації усього обсягу розробленої продукції за звітний період поточного фінансового року, грн. Її визначають як добуток прибутків від реалізації одиниці запропонованої продукції до річної програми реалізації продукції, що передбачено проектом.

n – термін функціонування проекту, протягом якого планують реалізацію розробленого продукту, років;

$K_{прив}$ – загальний обсяг капітальних вкладень у розробку інноваційного проекту з додатковим врахуванням відсоткової ставки за дисконтом, грн.

Якщо методика розрахунків величини капітальних вкладень у розробку проекту передбачає врахування відсоткової ставки дисконту. Тоді загальний обсяг одноразових капітальних вкладення розраховується відповідно до формули 5.4:

Сума теперішньої вартості середньорічних величин грошових потоків:

$$\sum_{t=1}^n ГП_{i,прив} = \sum_{t=1}^n (ГП_i \times D_{mn}), \quad (5.4)$$

де n – термін протягом якого здійснюються капітальні (інвестиційні) вкладення, років:

D_{mn} – значення дисконтного коефіцієнта;

i – відповідний рік, за який нараховується дисконтний коефіцієнт:

$$i_1 = 1, i_2 = 2 \dots i_n = n.$$

Оскільки проект планують реалізовувати протягом декількох років, то розрахунок дисконтних коефіцієнтів проводять окремо для кожного року:

Загальний обсяг вартості середньорічної величини грошової вартості станом на час розрахунків:

$$\sum_{t=1}^n ГП_{i,прив} = 132000 \times 0,85 + 132000 \times 0,73 + 132000 \times 0,62 = 290400 \text{ (грн).}$$

Наступним кроком розраховують індекс прибутковості. Зі зростанням значення вказаного показника, зростає й рівень віддачі капіталовкладень. В разі виконання нерівності $I_\delta > 1$, то можна вважати, що проект є економічно ефективним та його можна рекомендувати до впровадження.

Важливим параметром, який характеризує ефективність проекту є термін його окупності. Він відображає час, протягом якого можуть повернутися капіталовкладення у проект. Термін окупності розраховується за допомогою формули 5.5:

$$T_{ok} = \frac{K_{прив}}{ГП_{прив}}, \text{років} \quad (5.5)$$

$$T_{ok} = \frac{55625}{96800} = 0,53(\text{років}).$$

Оскільки, термін реалізації проекту та розрахований термін окупності не перевищує три роки, тоді можна вважати проект ефективним.

В ході реалізації проекту розраховують нормативний показник внутрішньої доходності (*InternalRateofReturn, IRR*) - внутрішня прибутковість. Даний показник відображає граничне значення відносних витрат в межах реалізації проекту [12], [23], [27].

Значення показника *IRR* відображає граничну межу дисконту збільшення якої веде до збитковості проекту. Розрахунок значення *IRR* відображає такий відсоток дисконту, за якого *NPV* рівний нулю.

Граничне мінімальне значення показника внутрішнього доходу в період реалізації проекту IRR_{MIN} становить:

$$IRR_{MIN} = \sqrt[n]{\frac{\sum_{t=1}^n (\Pi_t + At)}{K_{прив}}} - 1, \quad (5.6)$$

5.2 Розрахунок ефективності експлуатації удосконаленого автомобіля

Розрахунок річного економічного ефекту від експлуатації вантажного автомобіля, оснащеного маніпуляторною установкою [27]:

$$E_p = ((Z_3^o - Z_3^y) \cdot P_n, \text{ грн.}, \quad (5.7)$$

де Z_3^a, Z_3^o – відповідні зведені затрати на 1 кілометр пробігу під час експлуатації автомобіля;

P_n – пробіг автомобіля протягом звітного року, км.

Тоді загальні приведені експлуатаційні витрати Π_v , що пов'язані експлуатацією автомобіля визначаються:

$$\Pi_v = Z_{пмм} + Z_{оп} + Z_{рен} + Z_{ТОР}, \quad (5.8)$$

де $Z_{пмм}$ – питомі експлуатаційні затрати на паливо-мастильні матеріали та інші експлуатаційні матеріали, грн/км;

$Z_{оп}$ – питомі експлуатаційні затрати на заробітну працю водія, грн/км;

$Z_{рен}$ – питомі експлуатаційні затрати пов'язані з амортизацією та оновленням автомобільної техніки, грн/км;

$Z_{ТОР}$ – питомі експлуатаційні затрати пов'язані з технічним обслуговуванням та ремонтом автомобіля, грн/км.

Питомі витрати на оплату праці водія у перерахунку на 1 км пробігу становлять:

$$Z_{оп} = \frac{n \cdot \tau_{год} \cdot k_{допл}}{W_n}, \text{ грн/км}, \quad (5.9)$$

де n – кількість водіїв залучених до експлуатації автомобіля, люд;

$\tau_{год}$ – погодинна оплата праці водія, грн/км;

W_n – розрахунковий пробіг автомобіля протягом однієї години, км;

$k_{допл}$ – коефіцієнт, що враховує надбавки до оплати праці водія.

Споживана кількість пального у перерахунку на 1 км пробігу автомобіля визначають з формули:

$$Z_{пмм} = q_{пмм} \cdot Ц_{пмм}, \quad (5.10)$$

де $q_{пмм}$ – споживання пального на 1 км пробігу автомобіля, л/км;

$Ц_{пмм}$ – вартість 1 літра палива, грн.

Питомі експлуатаційні затрати на амортизацією та оновлення автомобіля:

$$Z_{рен} = \frac{B_a \cdot k_p}{W_{год} \cdot T_n}, \text{ грн/км}, \quad (5.11)$$

де k_p – нормативний коефіцієнт відрахувань протягом звітного року, %;

T_n – середній прогнозований річний пробіг автомобіля, км;

B_a – залишкова балансова вартість автомобіля, грн.;

Питомі експлуатаційні затрати на технічне обслуговуванням та ремонт автомобільної техніки обчислюють:

$$Z_{ТОРрем} = \frac{B_m \cdot (k_{н.р} + k_{к.р})}{W_{год} \cdot T_p}, \text{ грн/км}, \quad (5.12)$$

де $k_{н.р}$, $k_{к.р}$ – нормативні коефіцієнти відрахувань на поточний ремонт і капітальний ремонт, а також технічне обслуговування автомобільної техніки.

Для використання інших альтернативних видів палива необхідне додаткове обладнання та введення в експлуатацію, що ведуть до деяких капітальних вкладень. В даному випадку капітальні вкладення пов'язані з придбанням, встановленням та введенням експлуатацію електронної системи керування можна розрахувати:

$$K_{кап.вкл} = \frac{B_a}{W_{год} \cdot T_n}. \quad (5.13)$$

Тоді можна розрахувати загальні витрати Z_3 у перерахунку на 1 кілометр пробігу автомобіля:

$$Z_3 = П_3 + K_{кап.вкл} \cdot k_{эф.кап.вкл}, \quad (5.14)$$

де $k_{эф.кап.вкл}$ – коефіцієнт ефективності капітальних вкладень.

Зниження приведених експлуатаційних затрат можливе лише за умови зменшення вартості одного із її складових (зменшення витрати пального або його вартості, підвищення продуктивності й технічної швидкості, затрат на технічне обслуговування, тощо:

$$E_{\text{екс.випр}} = (Z_3^{\text{нл}} - Z_3^{\text{нд}}) \cdot T_p, \text{ грн}, \quad (5.16)$$

У таблиці 5.1 наведено вихідні дані для розрахунку економічної ефективності встановлення та експлуатації автомобіля оснащеного маніпуляторною установкою [27].

Таблиця 5.1 – Техніко-економічні показники експлуатації автомобіля

Показник	Одиниці вимірювання	Базовий	Удосконалений
Годинна продуктивність автомобіля	т.км/год	1	1
Балансова вартість автомобіля	грн	350000	380000
Середньорічний виробіток	тис. т.км	60	60
Чисельність обслуговуючого персоналу	чол		
основного		1	1
допоміжного		-	-
Годинні тарифні ставки	грн/люд·год		
основного		50	50
допоміжного		-	-
Коефіцієнт, що врах доплати	–		
основного		1,05	1,05
допоміжного		-	-
Коефіцієнт відрахувань на реновацію машини (машин)	–	0,27	0,27
Коефіцієнт відрахувань на поточний ремонт і технічне обслуговування машини (машин)	–	0,16	0,16
Коефіцієнт відрахувань на капітальний ремонт	–	0,2	0,2
Витрата ПММ на одиницю роботи	кг/км	22	21,5
Вартість 1 кг палива	грн	50	50
Нормативний коефіцієнт ефективності капітальних вкладень		0,15	

Використавши формули 5.8 -5.16 проведено розрахунок економічної ефективності встановлення та експлуатації автомобіля оснащеного маніпуляторною установкою, а результати наведено у таблиці 5.2 [27].

Таблиця 5.2 – Результати розрахунків економічної ефективності від експлуатації автомобіля оснащеного маніпуляторною установкою

Показник	Одиниці вимірювання	Базовий	Удосконалений
Річне напрацювання	тис. км	60,0	60,0
Прямі затрати на:	грн/ км		
оплату праці		52,500	52,500
ПММ		1100,000	1075,000
ТО, пот. і кап. рем.		2100,000	2280,000
реновацію		1575,000	1710,000
Всього прямих затрат	грн/т.км	4827,500	5117,500
Капітальні вкладення	грн/т.км	5833,333	6333,333
Зведені затрати	грн/т.км	5702,500	6067,500
Річний економічний ефект	грн		21900,000
Затрати праці	люд·год/т.км	1,00	1,00
Економія експл. витрат за рік	грн		21900,00
Ступінь зменшення затрат на:	%		
оплату праці			0,000
прямих затрат			5,667
зведених затрат			7,895
капіталовкладень			6,016
Термін окупності машини	роки		1,37

Відповідно до проведених розрахунків встановлено, що експлуатація автомобіля, додатково оснащеного маніпуляторною установкою є дещо дорожчим, однак його використання нівелює потребу у додатковому використанні крана. Річний економічний ефект становить 21900 грн, а термін окупності додаткового використання маніпуляторної установкою 1,37 років.

Висновки за розділом

1. Встановлено, що експлуатація автомобіля, додатково оснащеного маніпуляторною установкою є дещо дорожчим, однак його використання нівелює потребу у додатковому використанні крана. Річний економічний ефект становить 21900 грн, а термін окупності додаткового використання маніпуляторної установкою 1,37 років.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. В промисловості значного поширення набули мобільні маніпулятори, що поєднують базову мобільність і гнучкість для досягнення підвищеної продуктивності технологічних операцій.

2. За способом складання стріли маніпулятори поділяють на Z-подібні стрілові установки. Щодо конструкції стріли, Z-подібні стріли, L-подібні стріли та телескопічні стріли.

3. Залежно від призначення у маніпуляторних установках використовують різноманітні типи захоплювачів. В якості приводу використовують, переважно, гідравлічні системи. Об'ємний гідропривід складається з джерела енергозабезпечення системи, насоса, керуючого контрольно-розподільчого модуля, виконавчі – гідромотори, гідроциліндри.

4. Виведено кінематичну схему маніпуляторної установки, виведено аналітичні залежності для розрахунку гідро динамічних параметрів елементів приводу.

5. Обґрунтовано раціональну модель електронної системи керування гідроприводом крана-маніпулятора з для використання в універсальних кран-маніпуляторних установках на автомобільних, самохідних та причіпних шасі. Це дає можливість підвищити ефективність навантажувально-розвантажувальних операцій, зменшуючи при цьому кількість техніки та працівників, залучених до вантажообробки поза межами складів.

6. Запропонована архітектура керування маніпуляторними установками з невисокою вартістю її реалізації та простим зрозумілим налаштуванням. Використання запропонованої технології та схеми електронного керування забезпечує управління складною системою приводів, дозволяє проводити гнучкі налаштування за потребою користувача. Наприклад, керувати кран-маніпулятором дистанційно через радіоканал чи обмежити величину ходу в певних напрямках.

7. Встановлено, що експлуатація автомобіля, додатково оснащеного маніпуляторною установкою є дещо дорожчим, однак його використання нівелює потребу у додатковому використанні крана. Річний економічний ефект становить 21900 грн, а термін окупності додаткового використання маніпуляторної установкою 1,37 років.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Antonelli, G. Underwater Robots; Springer Tracts in Advanced Robotics; Springer International Publishing: Cham, Switzerland, Volume 123, 2018. 136 p.
2. Bosch automotive electrics and automotive electronics. Wiesbaden : Springer Vieweg, 2014. 530 p.
3. Frank L.Lewis, Darren M.Dawson, Chaouki T.Abdallah. Robot Manipulator Control Theory and Practice. New York, 2004. 607 p.
4. <https://modus.kiev.ua/catalog/knuckle-boom-cranes/>
5. Oliskevych, M., Kovalyshyn, S., Magats, M., Shevchuk, V., Sukach, O.: The optimization of trucks fleet schedule in view of their interaction and restrictions of the European agreement of work of crews. Transport Problems. 2020.Vol.15(2), P 157–170.
6. Tom Denton. Automobile mechanical and electrical systems. New York, NY : Routledge, 2018. 379 p.
7. Абрамчук Ф.І., Гутаревич Ю.Ф., Долганов К.Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни. Київ: Арістей, 2004. 476 с
8. Аулін В.В., Великодний Д.О. Методи формування системи транспортно-технологічного забезпечення в АПК. *Транспорт і логістика: проблеми та рішення*: збірник наукових праць за матеріалами VIII-ї Міжнародної науково-практичної конференції, 23-25 травня 2018р. Одеса: КУПРІЄНКО СВ, 2018. С. 15-17.
9. Бакай Б.Я. Попереднє представлення рівняння динаміки маніпулятора методом Лагранжа-Ейлера. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів. Видавництво НЛТУ України, 2011. Вип. 21.18. С. 322– 327.
10. Безпека життєдіяльності [Текст] : підруч. для студ. с.-г. вузів / І. П. Пістун [та ін.]. Львів : Світ, 1995. 288 с
11. Білявський Г.О. Основи екології : підручник для студ. вищих навч. закладів / Г. О. Білявський та ін. Київ: Либідь, 2004. 408 с..
12. Боярко І. М. Інвестиційний аналіз: [навч. посіб.] / І. М Боярко,Л. Л. Гриценко. Київ: Центр учбової літератури, 2011. 400 с.

13. Гідравліка, гідро- та пневмопривод : підручник / за ред. О. О. Федорця, О. Ф. Саленка. 2-ге вид., переробл. і допов. –Київ : Знання, 2009. 502 с
14. Двигуни внутрішнього згоряння: Серія підручників у 6 томах.Т.5. Екологізація ДВЗ / за ред. проф. А. П. Марченко, проф. А. Ф. Шеховцова. Харків: Прапор, 2004. 360 с.
15. Електронні автомобільні системи [Електронний ресурс]. Режим доступу : URL : <https://www.denso-am.eu/ua/products/engine-management-systems/lambda-sensors>.
16. Жидецький П.Б. Основи охорони праці. [Текст]: Підручник. Львів : Афіша, 2002. 370 с.
17. Канарчук В.Є., Курніков І.П. Виробничі системи на транспорті. Підручник. Київ: вища шк., 1997. 359 с.
18. Канарчук В.Є., Лудченко О.А., Чигиринець А.Д. Експлуатаційна надійність автомобілів: Підручник у 2 ч., 4 кн. Київ: Вища школа, 2000. Ч. 1: кн. 1. 609 с., кн.2. 458 с.; Ч.2: кн..3. 321 с.; кн. 4. 552 с. .
19. Лівінський О.М., Міщук Д.О. Підйомно-транспортні та вантажно-розвантажувальні машини: Підручник. 2016. «МПЛеся». 677 с
20. Лудченко О.А. Технічне обслуговування і ремонт автомобілів. Організація і управління. Київ: Знання-Прес, 2004. 478 с.
21. Міщук Д.О. Підвищення ефективності маніпулятора за рахунок оптимального керування. Гірничі, будівельні, дорожні та меліоративні машини. 2015. №85. С. 43-50.
22. Олег Сукач, Олег Миронюк, Віктор Шевчук. Методичні рекомендації для виконання кваліфікаційної роботи здобувачами першого бакалаврського рівня вищої освіти за спеціальністю 274 «Автомобільний транспорт». Дубляни, 2023. 50 с.
23. Основи економіки транспорту : підручник / Щелкунов В. І., Кулаєв Ю. Ф., Зайончик Л. Г., Загорулько В. М. [та ін.]. Київ: Кондор, 2011. 392 с.

24. Системи каталітичного відновлення [Електронний ресурс].
<https://kus-usa.com/resources/selective-catalytic-reduction-scr-system-guide/>
25. Ткачук В. І. Електромеханотроніка. Підручник . Львів. Видавництво Львівської політехніки. 2006 . 440 с.
26. Ткачук К. Н., Іванчук Д.Ф. та ін. Довідник по охороні праці на промисловому підприємстві. Київ: Техніка, 1991. 192 с.
27. Шевчук Р. С. Економічна оцінка спеціалізованої сільськогосподарської техніки: Методичні рекомендації. / Р. С. Шевчук, О. М. Крупич. Львів, 1994. 27 с.