

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Чорноморський національний університет імені Петра Могили

Факультет комп'ютерних наук

Кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

ДОПУЩЕНО ДО ЗАХИСТУ

Завідувача кафедри АКІТ

кандидат технічних наук, доцент

_____ М. І. Сідельєв

«___» _____ 2025 р

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА
АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЕРУВАННЯ
ПРОМИСЛОВИМ РОБОТОМ У ПОРТУ**

Спеціальність 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка

Освітня програма: «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

Здобувач

_____ І.Д. Кумпан
«___» _____ 2025 р.

Керівник к.т.н., доцент

_____ О.Ф. Прищепов
«___» _____ 2025 р.

Завдання на виконання кваліфікаційної роботи
Чорноморський національний університет ім. Петра Могили

Факультет	Комп'ютерних наук
Кафедра	Автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій
Рівень вищої освіти	Другий (магістерський)
Освітній ступінь	Магістр
Спеціальність	174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
Освітня програма	Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

ЗАТВЕРДЖУЮ

В.о. завідувача кафедри автоматизації та
комп'ютерно-інтегрованих технологій

_____ М. І. Сіделєв

«___» _____ 2025 р

ЗАВДАННЯ
на кваліфікаційну магістерську роботу здобувача

Кумпан Ілля Дмитрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Автоматизована система керування промисловим роботом у порту» затверджена наказом ректора ЧНУ ім. Петра Могили № 298 від «30» жовтня 2024 р
2. Строк представлення кваліфікаційної роботи 18.06.2025
3. Очікуваний результат роботи та початкові дані якщо такі потрібні.
 - 1) Об'єктом дослідження є технічні процеси, що спрямовані на покращення якості переміщення корисного вантажу в потрібне місце за допомогою робота-крану.
 - 2) Предметом дослідження є система, яка може бути модернізована за допомогою існуючих методів проєктування та моделювання.
4. Перелік питань, що підлягають розробці
 - 1) Функціональна схема

- 2) Блок-схема алгоритму
- 3) Електрична принципова схема
- 4) 3D моделювання
- 5) Підбір компонування АСК
- 6) Аналіз прототипів
- 7) Програмний код для мікроконтролера
- 8) Проаналізувати інформацію з охорони праці та організації безпечного середовища

5. Перелік графічного матеріалів:

- 1) Створити функціональну схему опираючись на інформацію щодо блочної будови АС.
- 2) Створити блок-схему алгоритму опираючись на принцип роботи АСК промисловим роботом у порту.
- 3) Створити електрично-принципову схему автоматизованої системи вказуючи блоки, які будуть обрані для системи.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Консультант	Кафедра (організація)	Частина роботи
Прищепов О.Ф., к.т.н., доцент	кафедра АКТ	Основна частина

7. Дата видачі завдання «30» жовтень 2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН
виконання кваліфікаційно роботи

Тема: Автоматизована система керування промисловим роботом у порту

№	Найменування роботи	Початок	Закінчення	Примітка
1	Розробка та затвердження завдання на виконання КМР	09.09.2024	30.10.2024	
2	Огляд літератури за темою роботи	31.10.2024	15.11.2024	
3	Складання календарного плану КМР	18.11.2024	20.11.2024	
4	Аналіз предметної області	21.11.2024	20.12.2024	
5	Розробка проєктних рішень	23.12.2024	28.02.2025	
6	Моделювання, конструювання та програмування СА та РТС	03.03.2025	18.04.2025	
7	Дослідження СА та РТС, аналіз результатів	21.04.2025	16.05.2025	
8	Відгук керівника КМР	19.05.2025	23.05.2025	
9	Оформлення КМР та презентації	26.05.2025	04.06.2025	
10	Попередній захист	05.06.2025	06.06.2025	
11	Рецензування	16.06.2025	17.06.2025	
12	Завершення оформлення КМР та презентації	18.06.2025	19.06.2025	
13	Захист кваліфікаційної роботи	26.06.2025	27.06.2025	

Здобувач

_____ І.Д. Кумпан

«__»_____2025 р.

Керівник К.Т.Н., доцент

_____ О.Ф. Прищепов

«__»_____2025 р.

АНОТАЦІЯ

до кваліфікаційної роботи магістра

«Автоматизована система керування промисловим роботом у порту»

Студента 571 Кумпана Іллі Дмитровича

Керівник: кандидат технічних наук, доцент кафедри АКІТ Прищепов О. Ф.

Автоматизована система керування (АСК) розуміється як поєднання методів, технічних засобів, організаційних заходів та інформаційних технологій, які застосовуються для регулювання та нагляду за складними економічними та технічними системами.

Автоматизована система управління – це комплексна система, що базується на використанні сучасних технологій для збору, обробки та передачі інформації, необхідної для управління. Вона поєднує в собі організаційну структуру управління, технічні засоби, а також взаємодіє з об'єктом управління і людиною.

Одним із прикладів АСК є роботи маніпулятори, або робот-рука, як їх також називають. Роботизована рука є різновидом механічної конструкції, яка зазвичай програмується для виконання функцій, схожих на дії людської руки. Вона може бути самостійним механізмом або складовою частиною більшого роботизованого комплексу. Сегменти маніпулятора з'єднані шарнірними механізмами, що забезпечують або обертальні рухи (як у шарнірних роботах), або лінійні переміщення.

Метою даної роботи було поставлено покращення технічних параметрів автоматизованих систем промислових роботів у порту, шляхом розроблення нової конструкції пристрою, вдосконалення шляхів переміщення та модернізації механізму взаємодії.

Об'єктом дослідження є технічні процеси, що спрямовані на покращення якості переміщення корисного вантажу в потрібне місце за допомогою робота-крану.

Предметом дослідження є система, яка може бути модернізована за допомогою існуючих методів проєктування та моделювання.

Щоб досягти заданої мети, було сформовано такі **задачі**:

1. Опрацювати наявну інформацію стосовно існуючих аналогів.

2. Здійснити патентний пошук винаходів, з відкритих джерел, що пов'язані з темою дослідження.
3. Провести аналіз отриманої інформації та сформулювати вимоги до АСК промисловим роботом у порту.
4. Розробити: функціональну схему, блок-схему алгоритму та електрично-принципову схему АСК.
5. Сформулювати специфікацію, проаналізувавши варіанти та виконати обравши блоки для АСК.
6. Використовуючи існуючі методи проєктування, створити 3D модель корпусу для АС промисловим роботом у порту, враховуючи вимоги до неї.
7. Провести аналіз конструкції використовуючи наявні методи симуляцій навантаження.
8. Сформулювати програмний код для МК.
9. Опрацювати інформацію стосовно охорони праці у портах та складських приміщеннях.

У висновках сформульовано теоретичні та практичні результати кваліфікаційної роботи магістра. У додатках наведено 3D моделі автоматизованої системи промисловим роботом, таблиці технічних характеристик компонування, аналіз міцності конструкцій та програмний код для мікроконтролера АСК.

Данні були апробовані міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум – 2025».

Структура кваліфікаційної роботи магістра складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, переліку джерел посилання – 29 та 14 додатків. Загальний обсяг – 92 сторінок, з них 14 додатків на 14 сторінках, 8 таблиць, 37 рисунків.

ABSTRACT
to the Master's scientific work
« Automated control system for an industrial robot in a port»
Student of group 671: Kumpan Illia
Supervisor: Prishchepov Oleh

An automated control system (ACS) is understood as a combination of methods, technical means, organizational measures and information technologies used to regulate and supervise complex economic and technical systems.

An automated control system is a complex system based on the use of modern technologies for collecting, processing and transmitting information necessary for management. It combines the organizational structure of management, technical means, and also interacts with the control object and a person.

One example of an ACS is a robot manipulator, or a robot arm, as they are also called. A robotic arm is a type of mechanical structure that is usually programmed to perform functions similar to the actions of a human hand. It can be an independent mechanism or a component of a larger robotic complex. The segments of the manipulator are connected by articulated mechanisms that provide either rotational movements (as in articulated robots) or linear movements.

The purpose of this work was to improve the technical parameters of automated systems of industrial robots in the port by developing a new design of the device, improving the movement paths and modernizing the interaction mechanism.

The object of the study is technical processes aimed at improving the quality of moving the payload to the desired location using a robot crane.

The subject of the study is a system that can be modernized using existing design and modeling methods.

To achieve the given goal, the following tasks were formed:

1. To process available information regarding existing analogues.
2. To carry out a patent search for inventions from open sources related to the topic of the study.
3. To analyze the information received and form requirements for the ACS by an industrial robot in the port.

4. To develop: a functional diagram, a block diagram of the algorithm and an electrical schematic diagram of the ACS.

5. Form a specification, analyzing the options and performing the selection of blocks for the ASC.

6. Using existing design methods, create a 3D model of the housing for the AS by an industrial robot in the port, taking into account the requirements for it.

7. Conduct a design analysis using existing load simulation methods.

8. Form a program code for the MC.

9. Process information regarding labor protection in ports and warehouses.

The conclusions formulate the theoretical and practical results of the master's qualification work. The appendices contain 3D models of the automated system by an industrial robot, tables of technical characteristics of the layout, analysis of structural strength and program code for the ASC microcontroller.

The data were approved at the international scientific conference «Olviy Forum – 2025».

The structure of the master's qualification work consists of an introduction, four chapters, conclusions, a list of references – 29 and 14 appendices. The total volume is 92 pages, including 14 appendices on 14 pages, 8 tables, 37 figures.

ЗМІСТ

ЗМІСТ	2
ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ	4
ВСТУП.....	5
1 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ-МАНІПУЛЯТОРАМИ.....	7
Висновки до першого розділу	22
2 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМ ПРИНЦИПУ РОБОТИ, СИНТЕЗУВАННЯ КОМПЛЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АСК ПРОМИСЛОВИМ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ У ПОРТУ.....	23
2.1 Функціональна схема	23
2.2 Блок-схема алгоритму	25
2.3 Електрична принципова схема	29
2.4 3D моделювання у середовищі OnShape.....	30
2.4.1 Створення траверса	31
2.4.2 Створення підіймальної ланки І	40
2.4.3 Створення підіймальної ланки ІІ.....	42
2.5 Підбір компонування	45
2.5.1 Компонування АСК	45
2.5.2 Специфікація проєкту	47
Висновки до другого розділу	49
3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АСК. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ	50
3.1 Аналіз напружено-деформованого стану в лінійній постановці	50
3.2 Формування програмного коду	55
Висновки до третього розділу	59
4 ОХОРОНА ПРАЦІ У ПОРТАХ ТА СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ	60
4.1 Безпека праці при використанні контейнерних перевантажувачів	60
4.2 Вимоги до складування вантажів	62
Висновки до четвертого розділу	66
ВИСНОВКИ	67
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ	69

ДОДАТОК А	72
ДОДАТОК Б	73
ДОДАТОК В.....	74
ДОДАТОК Г	75
ДОДАТОК Ґ	76
ДОДАТОК Д.....	77
ДОДАТОК Е.....	78
ДОДАТОК Є.....	79
ДОДАТОК Ж.....	80
ДОДАТОК З	81
ДОДАТОК И	82
ДОДАТОК І.1	83
ДОДАТОК І.2	84
ДОДАТОК І.3	85

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування
ДК – дистанційне керування
ЕЛ – електродвигун
ЗП – захватний пристрій
ЕЗП – електродвигун захватного пристрою
ПМ – просторовий маніпулятор
МК – мікроконтролер
ККД – коефіцієнт корисної дії
САПР – система автоматизованого проєктування
КБ – коефіцієнт безпеки

ВСТУП

Автоматизована система керування (АСК) розуміється як поєднання методів, технічних засобів, організаційних заходів та інформаційних технологій, які застосовуються для регулювання та нагляду за складними економічними та технічними системами. [1]

Автоматизована система керування охоплює всі аспекти управління компанією і включає технічні засоби та техніко-економічні методи, за допомогою яких вирішуються інформаційні задачі та здійснюється керування підприємством. Більшість сучасних управлінських систем, що застосовуються у різних галузях і виробничих процесах, мають комп'ютерно-інтегрований характер. Основою таких систем є комп'ютери, що дозволяє поєднувати кілька управлінських функцій. Формування комп'ютерно-інтегрованих систем стало можливим завдяки розвитку інтегрованих автоматизованих систем керування.

Автоматизована система управління – це комплексна система, що базується на використанні сучасних технологій для збору, обробки та передачі інформації, необхідної для управління. Вона поєднує в собі організаційну структуру управління, технічні засоби, а також взаємодіє з об'єктом управління і людиною. Сучасні АСУ включають пристрої для формування вихідних даних, автоматичного збору та передачі інформації, обробки за логіко-математичними алгоритмами, відображення отриманих результатів, генерації управлінських сигналів та виконання цих команд.

Одним із прикладів АСК є роботи маніпулятори, або робот-рука, як їх також називають. Роботизована рука є різновидом механічної конструкції, яка зазвичай програмується для виконання функцій, схожих на дії людської руки. Вона може бути самостійним механізмом або складовою частиною більшого роботизованого комплексу. Сегменти маніпулятора з'єднані шарнірними механізмами, що забезпечують або обертальні рухи (як у шарнірних роботах), або лінійні переміщення. [2]

Метою даної роботи було поставлено покращення технічних параметрів автоматизованих систем промислових роботів у порту, шляхом розроблення нової конструкції пристрою, вдосконалення шляхів переміщення та модернізації механізму взаємодії.

Об'єктом дослідження є технічні процеси, що спрямовані на покращення якості переміщення корисного вантажу в потрібне місце за допомогою робота-крану.

Предметом дослідження є система, яка може бути модернізована за допомогою існуючих методів проєктування та моделювання.

Щоб досягти заданої мети, було сформовано такі **задачі**:

1. Опрацювати наявну інформацію стосовно існуючих аналогів.
2. Здійснити патентний пошук винаходів, з відкритих джерел, що пов'язані з темою дослідження.
3. Провести аналіз отриманої інформації та сформулювати вимоги до АСК промисловим роботом у порту.
4. Розробити: функціональну схему, блок-схему алгоритму та електрично-принципову схему АСК.
5. Сформулювати специфікацію, проаналізувавши варіанти та виконати обравши блоки для АСК.
6. Використовуючи існуючі методи проєктування, створити 3D модель корпусу для АС промисловим роботом у порту, враховуючи вимоги до неї.
7. Провести аналіз конструкції використовуючи наявні методи симуляцій навантаження.
8. Сформулювати програмний код для МК.
9. Опрацювати інформацію стосовно охорони праці у портах та складських приміщеннях.

1 ВПРОВАДЖЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ПРОМИСЛОВИМИ РОБОТАМИ-МАНІПУЛЯТОРАМИ

Робота на складі чи в порту – досить важка та небезпечна робота. Тому з плином прогресу на заміну людям впроваджуються автоматизовані системи керування. До прикладу, використання роботів-маніпуляторів для розвантаження та завантаження товару на складах та портах. [3]

Роботів маніпуляторів поділяють на такі типи за їх особливостями:

- декартовий робот/портальний робот. Застосовуються для виконання завдань із підбирання і розміщення, нанесення герметика, монтажу, обробки на верстатах і дугового зварювання. Його рука має три призматичні з'єднання, осі яких відповідають координатам декартової системи;
- колаборативний робот (Cobot). Відрізняються від звичайних промислових роботів тим, що здатний працювати у безпосередній взаємодії з людьми, без ізоляції. Його сфера застосування охоплює комерційні завдання, роботи з дозуванням, обробкою матеріалів, складанням, оздобленням і перевіркою якості. Для забезпечення безпеки використовуються легкі матеріали, закруглені краї, обмеження швидкості й сили або датчики та програмне забезпечення для контролю безпечної поведінки;
- циліндричний робот. Застосовується для складання, обробки на верстатах, точкового зварювання та роботи з машинами для лиття під тиском. Його осі формують циліндричну систему координат;
- сферичний (полярний) робот. Використовується у завданнях з обробки на верстатах, точкового зварювання, лиття під тиском, роботи з кріпильними машинами, а також газового й дугового зварювання. Його осі відповідають полярній системі координат;
- робот SCARA. Ефективний для виконання операцій з підбирання і розміщення, нанесення герметика, монтажу та обробки на верстатах. Ця модель має два паралельні поворотні шарніри, які забезпечують гнучкість у площині;

- шарнірний робот. Використовується в процесах монтажу, лиття під тиском, роботи з кріпильними машинами, газового та дугового зварювання, а також фарбування методом розпилення. Такий робот обладнаний щонайменше трьома поворотними з'єднаннями;
- паралельний робот. Його однією з ключових сфер застосування є мобільні платформи, наприклад, для управління симуляторами польотів у кабіні. Цей тип робота має руки з паралельними призматичними або поворотними шарнірами;
- антропоморфний робот. За формою нагадує людську руку, включаючи окремі пальці та великий палець, що дозволяє йому виконувати завдання, схожі з людськими рухами.

Фізично складна робота, яка передбачає швидке підняття та переміщення важких коробок з причепів, піддонів та іншого, що знаходяться під відкритим небом на завантажувальних платформах, є особливо важким завданням у таких умовах, як спекотна Флорида в липні чи холодний Торонто в січні. Такі умови роблять роботизовану автоматизацію цього процесу вкрай бажаною, про що говорять практично всі, хто має досвід управління складами. Однак ще донедавна повна автоматизація вважалася далекою перспективою. Ситуація кардинально змінилася у 2023 році, коли кілька робототехнічних компаній комерційно впровадили автоматизовані системи для розвантаження вантажівок. Представники бізнесу зазначають, що це інноваційне рішення може стати ключовим кроком до трансформації всієї галузі.

Компанії DHL Supply Chain та Boston Dynamics розпочали співпрацю в галузі роботизації складів кілька років тому в рамках масштабної ініціативи з автоматизації операцій DHL. Цей постачальник логістичних послуг активно взаємодіє з різними технологічними партнерами для впровадження автоматизації у численні процеси на своїх складах і в центрах виконання замовлень. Загалом DHL інвестувала близько 430 мільйонів доларів США в автоматизовані технології, основна частина яких була реалізована в Північній Америці. [4]

Результатом зусиль компаній у розробці роботизованих маніпуляторів стало впровадження кількох рішень для автоматизованого розвантаження вантажівок на об'єктах DHL по всій країні цього року. Роботи «Stretch» оснащені механічною рукою, вакуумним захоплювачем і мобільною платформою, що дозволяє їм щодня розвантажувати картонні коробки з товарами. Завдяки вакуумному захвату вони піднімають коробки з трейлера, хапаючи їх зверху або збоку, і переміщують на гнучкий конвеєр для подальшого транспортування всередину приміщення. Після цього коробки скануються для внесення в інвентар і розміщуються на зберігання відповідно до матеріальних потоків підприємства.



Рисунок 1.1 – Робот «Stretch»

Ці роботи, що працюють на акумуляторах, здатні функціонувати повну зміну на одному заряді, розвантажуючи до 500 коробок за годину. Одним із останніх проєктів DHL Supply Chain стало тестування системи в спеціалізованому центрі виконання замовлень для компанії Carhartt, виробника робочого одягу, у Канал Вінчестер, штат Огайо.

Рухи робота контролюються за допомогою комбінації датчиків, камер, систем управління та штучного інтелекту (ШІ). Його гнучка механічна рука здатна досягати коробок у будь-якому місці причепа, адаптуючись до вантажів різної форми та розміру (включно з коробками вагою до 22,5 кг). Робот може реагувати на зміни у конфігурації вантажу: він піднімає перекинуті коробки або без зусиль захоплює ті, що змістилися під час розвантаження, демонструючи функціональність, схожу на дії працівника.

Через два місяці після впровадження цього рішення на заводі Carhartt ефективність роботи зросла приблизно на 40%, а швидкість розвантаження за допомогою Stretch перевищила показники ручної праці. Ще більш важливим результатом стало звільнення працівників від фізично важкої роботи, пов'язаної з розвантаженням причепів. Тепер вони можуть зосередитися на інших завданнях, таких як комплектування та приймання товарів. Деякі співробітники перейшли до нових ролей, включаючи програмування та обслуговування Stretch і інших роботизованих систем, що функціонують на підприємстві. До того ж продуктивність очікувано зростатиме, оскільки Stretch постійно вдосконалюється й адаптується.

Патент US20160376132A1, що має назву «Глибоководний колінчастий стріловий кран». Цей винахід описує новий глибоководний кран із шарнірною стрілою, розроблений для значних підйомних робіт. На відміну від традиційних моделей, які використовують один трос, цей кран має багатолінійну систему. Ця система оснащена численними напрямними блоками для прокладки тросів уздовж її унікальної двосекційної шарнірної стріли. Така конструкція дозволяє стрілі адаптуватися до різних конфігурацій, навіть забезпечуючи перевертання зовнішньої секції стріли відносно внутрішньої. Багатолінійна система на цій адаптивній стрілі зменшує діаметр троса, необхідний для високої вантажопідйомності. Отже, кран може бути обладнаний тросовими барабанами, які вміщують достатньо кабелю, щоб досягати глибин понад 3500 метрів, та пропонувати вантажопідйомність, що перевищує чинні галузеві стандарти. [5]

2025 р. Кумпан Ілля

Як показано на Рисунку 1.3, основа крана (102) включає платформу (114) і спирається на опорну конструкцію (50). Ця опорна конструкція є важливою: вона забезпечує вертикальну стійкість, запобігає перекиданню основи та водночас дозволяє основі обертатися навколо неї. З'єднання між основою та опорною конструкцією часто передбачає вертикальні та/або радіальні роликові підшипники. Можливі різні конфігурації підшипників; наприклад, може бути використаний один радіальний опорний підшипник або пара зміщених. Зокрема, може бути використаний радіальний опорний підшипник, детально описаний у Патенті США №7891508. Крім того, може бути передбачений механізм тягового приводу для взаємодії з опорною конструкцією, що забезпечує точне та контрольоване обертання основи.

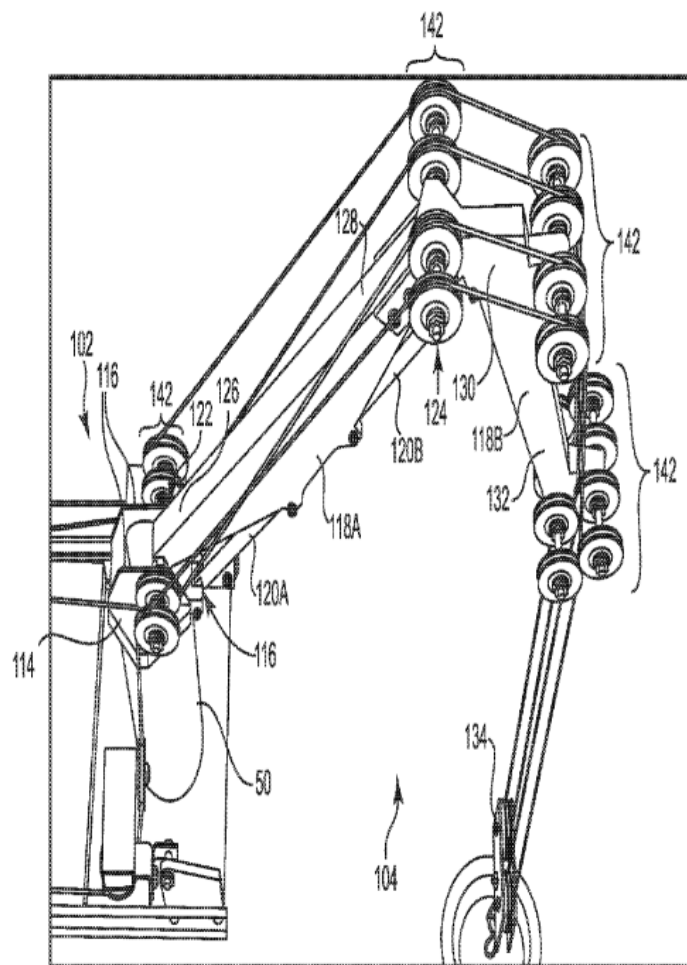


Рисунок 1.3 – Зображення стріл крану

Система стріли (104) на цьому крані з шарнірною стрілою (100) шарнірно відходить від основи (102), зазвичай маючи кілька секцій. Як показано, вона складається з двох основних частин, з'єднаних послідовно: внутрішня стріла (118А) шарнірно кріпиться безпосередньо до основи за допомогою кронштейна, а зовнішня стріла (118В) потім шарнірно з'єднується з внутрішньою стрілою. Це з'єднання між внутрішньою та зовнішньою стрілами часто використовує шарнірний штифт, утворюючи точку шарнірного з'єднання (124). Така конструкція дозволяє системі стріли згинатися та артикулювати подібно до одного суглоба людського пальця, забезпечуючи гнучкий рух відносно основи.

Кран (100) оснащений системою обробки матеріалів (106), яка інтегрується з його основою (102) та системою стріли (104) для керування операціями підйому та опускання. Ця система зазвичай включає одну або кілька лебідок (112) для контролю тросів (110). Хоча деякі конфігурації можуть використовувати один трос і одну лебідку, інші можуть мати кілька лебідок та відповідних тросів. Кожен трос, як правило, має три основні частини: одна намотана навколо барабана лебідки, інша простягається вздовж стріли крана (118), а остання частина йде від наконечника стріли (132) до гакового блоку (134). У деяких випадках сегмент троса може навіть повертатися від гакового блоку до точки кріплення. Лебідка може працювати в обох напрямках, дозволяючи відпускати або намотувати трос, тим самим дозволяючи крану точно піднімати або опускати будь-який матеріал, який він обробляє.

Коли вантажний трос (110) випускається з лебідки (112), проходить вздовж системи стріли (104) та досягає гакового блоку (134), ним керує численні напрямні вузли (142). Ці напрямні вузли виконують кілька критично важливих функцій: вони призначені для передачі навантаження від тросів безпосередньо до конструкції стріли, ефективно підтримуючи все, що піднімається. Крім того, вони активно підтримують точне положення тросів як відносно самої системи стріли, так і відносно один одного. Важливо, що ці напрямні вузли безперервно виконують ці життєво важливі функції передачі навантаження та позиціонування тросів, навіть коли троси активно випускаються або намотуються.

Як зазначалося раніше, зворотні троси (138) в багатолінійній системі можуть простягатися від гакового блоку (134) до анкерного пристрою (140). Хоча цей анкерний пристрій зазвичай розташований зовні від крана (100), наприклад, під палубою судна, важливо відзначити, що його розташування не є фіксованим. Він може бути розміщений у будь-якій точці на кінчику стріли (132) або поблизу нього, де він може ефективно підтримувати зворотні троси. У деяких конструкціях кожен зворотний трос може мати свою окрему точку кріплення, тоді як в інших кілька тросів можуть використовувати одну й ту саму точку кріплення або навіть той самий анкерний пристрій.

У представленій конструкції анкерний пристрій (140) зазвичай включає вільно обертовий шків або блок, який може бути вирівнювальним шківом або барабанним вирівнювачем. Кожна з входних ділянок троса (138) з багатолінійної системи намотується на цей вирівнювальний шків у протилежних напрямках, а їхні кінці закріплюються на ньому. Коли дві лебідки (112А та 112В) випускають або намотують трос з однаковою швидкістю, натяг на відповідних входних ділянках (138) залишається переважно збалансованим. Однак, якщо одна вихідна ділянка, наприклад 136А, випускається швидше, інша входна ділянка (138В) почне нести більше навантаження, тягнучи вирівнювальний шків. Датчики можуть бути інтегровані у вирівнювальний шків для автоматичного моніторингу випуску троса. Це дозволяє здійснювати коригування, наприклад, прискорення повільнішої лебідки або уповільнення швидшої, забезпечуючи рівномірність натягу. Подібний метод застосовується і при намотуванні тросів. Можуть бути використані й інші типи анкерних пристроїв, потенційно з вбудованою системою вирівнювання. Наприклад, може бути передбачений рухомий анкерний пристрій для кожного входного троса, або навіть окрема лебідка та барабан для кожного входного троса. Ще інші анкерні пристрої можуть бути передбачені для підтримки навантажень, що створюються входними тросами, та компенсації нерівномірності при намотуванні або випуску двох тросів у системі, щоб гаковий блок залишався переважно рівним, а навантаження від гакового блоку було переважно рівномірно розподілене між двома системами вихідних і входних тросів.

У деяких конфігураціях механізм компенсації хитавиці (160) може бути інтегрований безпосередньо в опору для точки кріплення та/або вирівнювального шківу. Як показано на Рисунку 1.4, цей механізм дозволяє точці кріплення або вирівнювальному шківу переміщуватися вертикально. Наприклад, якщо судно відчуває рух хвилі вгору (хитавицю), точка кріплення автоматично зміщується до основи крана (100). Цей рух вивільняє додатковий вхідний трос (138), запобігаючи надмірному натягу. Навпаки, коли судно опускається в западину хвилі, точка кріплення повертається у вихідне положення, намотуючи раніше випущений трос. Це безперервне, динамічне регулювання гарантує, що будь-який матеріал, обладнання або предмет, підвішений на гаковому блоці (134), залишається надзвичайно стабільним і нерухомим, незалежно від вертикального руху судна, спричиненого хвилями.

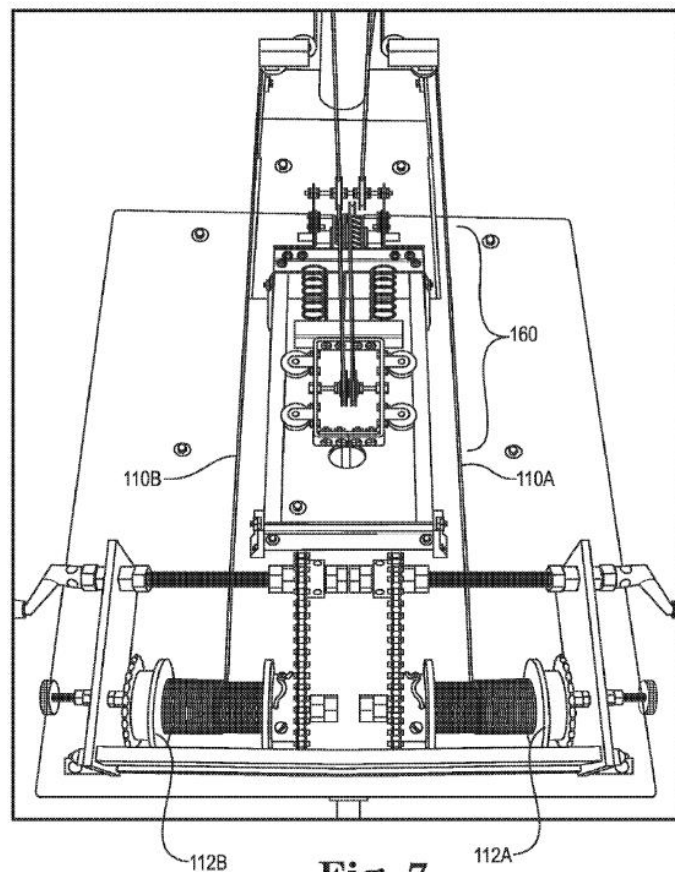


Рисунок 1.4 – Механізм вертикального переміщення

Кран (100) може керуватися оператором вручну або автоматично за допомогою комп'ютерного пристрою керування. Цей пристрій керування зазвичай містить процесор та машинозчитуваний носій інформації, на якому зберігаються програмні інструкції. Ці інструкції дозволяють виконувати різні функції: вони дають змогу системі моніторити вирівнювач і віддавати команди лебідкам для коригування їх швидкості. Вони також забезпечують компенсацію хитавиці, реагуючи на дані датчиків, що виявляють рух хвиль та подібні сили. Крім того, пристрій керування перетворює команди оператора (введені за допомогою джойстиків або інших інтерфейсів) у рухи крана. По суті, він керує напрямком і швидкістю лебідок, а також гідравлічними насосами та клапанами для системи стріли (104), і навіть двигунами, що обертають кран на його опорному п'єдесталі.

Під час експлуатації крана (100) оператор спочатку обертає його, щоб розташувати наконечник стріли (132) над або поблизу предмета, який потрібно підняти або перемістити. Потім система стріли (104) регулюється, щоб розмістити наконечник стріли приблизно безпосередньо над точкою підйому на матеріалі. Щоб зменшити розгойдування, наконечник стріли також можна опустити, скорочуючи довжину маятника підвішеного троса. Далі трос (110) випускається, наближаючи гаковий блок (134) до матеріалу, який потім закріплюється. Вантаж можна підняти, намотуючи трос (110) або маніпулюючи системою стріли (104). Кран може розгойдуватися, обертаючи свою основу (102) відносно опори (50). Крім того, систему стріли (104) можна регулювати для переміщення вантажу радіально до або від опори, або для його підйому чи опускання. Нарешті, трос (110) може бути випущений, щоб опустити вантаж у нове місце.

У деяких сценаріях кран (100) може використовуватися для підйому вантажу безпосередньо з палуби судна, а потім обертатися, щоб перемістити цей вантаж за борт судна. Далі трос (110) випускається, щоб опустити матеріал глибоко у воду, досягаючи океанського дна, морського дна, дна річки або іншої підводної структури чи місця. Важливо розуміти, що, хоча загальна вантажопідйомність крана може бути фіксованою на основі його робочої зони, фактична кількість матеріалу, яку він може опустити на значні глибини, зменшується. Це пов'язано з тим, що власна вага троса стає значним фактором. Наприклад, кран вантажопідйомністю 800 метричних тонн може легко підняти 800 метричних тонн, коли трос майже не випущений. Однак, якщо той самий кран використовується для опускання матеріалу на глибину 3500 метрів, корисне навантаження може знизитися приблизно до 500 метричних тонн, причому решта 300 метричних тонн припадатиме на вагу троса. Точне співвідношення між загальною вантажопідйомністю та вантажопідйомністю на глибині буде змінюватися залежно від типу та ваги використовуваного троса.

Варто відзначити ключову різницю у швидкості лебідок, порівнюючи цю багатолінійну систему з однолінійною. В однолінійній системі, якщо випускається одна одиниця троса, підвішений матеріал опускається на цю саму відстань. Однак у описаній чотирилінійній системі, щоб підвішений вантаж опустився на один метр, необхідно випустити два метри троса. Отже, лебідки в цій системі зазвичай сконструйовані для роботи швидше – приблизно вдвічі швидше – ніж у однолінійній системі. Незважаючи на цю збільшену швидкість, загальна потужність, що генерується лебідками (112), залишається приблизно такою ж, головним чином тому, що кожна окрема лебідка витримує лише близько половини навантаження, яке витримувала б лебідка однолінійної системи.

Рисунок 1.5 ілюструє альтернативну конструкцію крана з шарнірною стрілою (200), що має менше направляючих вузлів. У цій версії направляючий вузол (242х), який зазвичай знаходиться біля шарніра на зовнішній стрілі (218В), був вилучений. Замість цього окремі направляючі для тросів (246) в решті вузлів зміщені вбік. Це розумне розташування дозволяє тросам системи обробки матеріалів (210) проходити вздовж боків як внутрішньої, так і зовнішньої стріл (218А, 218В). Раніше крани з шарнірною стрілою, що використовували один трос, потребували двох комплектів направляючих для прокладки єдиного троса над шарніром, адаптуючись до різних положень стріл. Однак, змістивши троси, один направляючий вузол може бути повністю вилучений, оскільки троси тепер можуть проходити поруч зі стрілами без прямого втручання, навіть якщо вони виходять за бічну площину стріли. Таке бічне розташування тросів (210) спрощує конструкцію, зменшуючи кількість необхідних направляючих вузлів (242), що в одностросовій системі спричинило б зіткнення троса зі стрілою. Хоча приклад показує видалення направляючого вузла на зовнішній стрілі, той, що на внутрішній стрілі, також може бути вилучений. Ця гнучкість у кількості та розташуванні направляючих вузлів (242) є прямою перевагою зміщеного положення тросів.

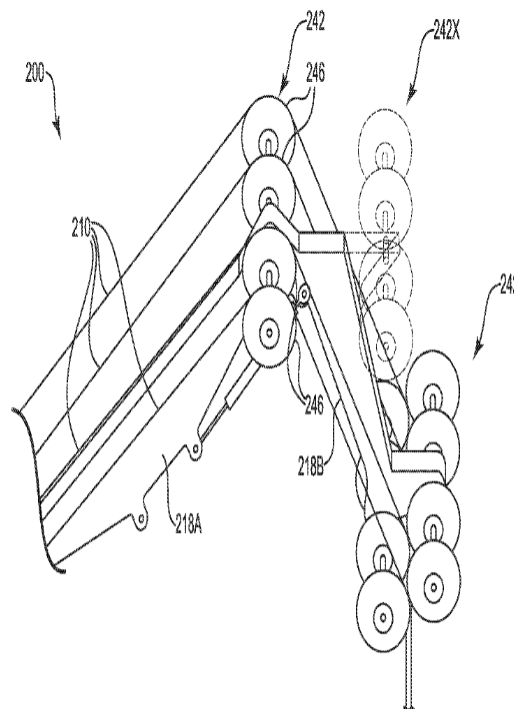


Рисунок 1.5 – Зображення структури стріл крану

Малюнок 24 демонструє ще одну ітерацію крана з шарнірною стрілою (300). Подібно до конструкції на Малюнку 23, направляючий вузол (342), розташований біля шарніра на зовнішній стрілі (318В), було вилучено. Однак у цьому варіанті виконання направляючий вузол (342), розташований біля шарніра на внутрішній стрілі (318А), був переміщений. Тепер він або проходить крізь внутрішню стрілу, або розташований з обох боків від неї. Ця модифікація дозволяє тросам системи обробки матеріалів (310) проходити загалом уздовж як внутрішньої, так і зовнішньої стріл (318А, 318В). Ці направляючі вузли (342) можуть мати рамкову конструкцію, можливо, у вигляді шпинделя або осі, подібної до тих, що описані для направляючих вузлів (142). Ключова відмінність тут полягає в тому, що ці рамкові конструкції призначені для проходження латерально крізь стрілу (318А, 318В), а не для розташування зверху. Альтернативно, ці конструкції можуть включати консольні кронштейни, що виступають з боку стріли, а не проходять крізь неї. Хоча лише один направляючий вузол (342) на внутрішній стрілі (318А) показано відрегульованим так, щоб він знаходився всередині або ближче до бічної площини стріли, інші направляючі вузли, такі як той, що знаходиться в основі внутрішньої стріли, також можуть бути аналогічно відрегульовані. Крім того, направляючі вузли (342) на кінчику стріли (332) також можуть бути переконфігуровані, оскільки збереження вільного простору для троса (310) відносно верхньої поверхні зовнішньої стріли більше не є визначальним фактором.

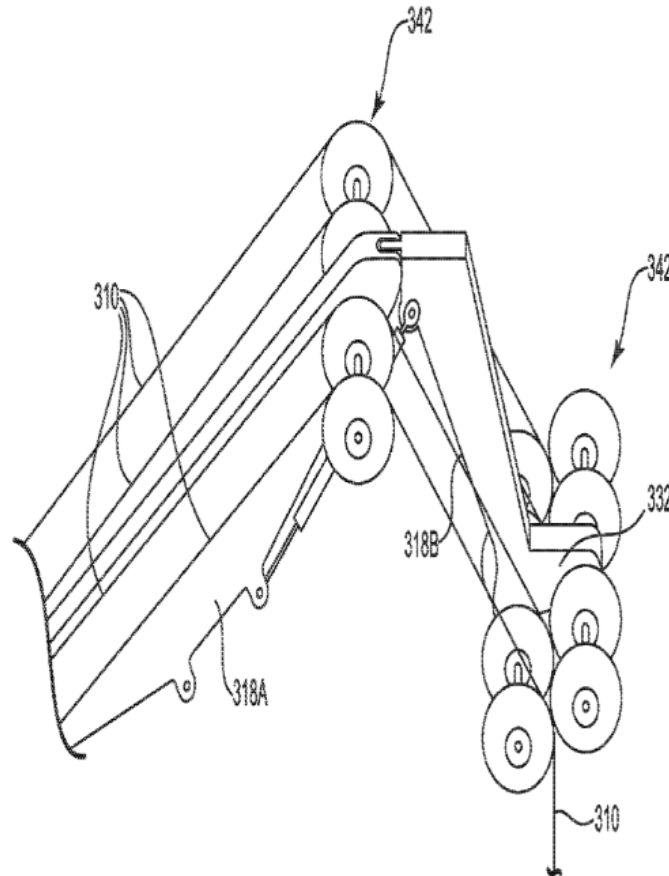


Рисунок 1.6 – Зображення структури стріл крану

Наведені вище описи ілюструють різні варіанти втілення цього винаходу. Вони не мають на меті бути вичерпними або обмежувати винахід точною формою, що розкривається. Численні інші модифікації та варіації можливі на основі представлених навчань. Ці приклади були обрані та описані, щоб найкраще продемонструвати основні принципи винаходу та його практичне застосування, а також щоб дозволити фахівцю в даній галузі використовувати винахід у різних варіантах та з різними модифікаціями, які відповідають конкретному передбачуваному використанню. Усі такі модифікації та варіації знаходяться в межах обсягу винаходу, як це визначено доданими претензіями, при їх інтерпретації відповідно до обсягу, на який вони справедливо, законно та рівноправно мають право.

Висновки до першого розділу

1. Проведено аналіз інформації про автоматизовані системи керування промисловими роботами у складських приміщеннях та порту. Опрацьовано інформацію щодо їх можливостей, сфер застосування їх переваг та недоліків.

2. Переглядаючи існуючі прототипи та ознайомившись з матеріалом про принцип їх робіт й патенти, було визначено основні аспекти, що мають бути в системі. Опираючись на ці відомості буде створено 3D модель конструкції системи, підібрано відповідні компоненти та написано програмний код.

2 РОЗРОБЛЕННЯ СХЕМ ПРИНЦИПУ РОБОТИ, СИНТЕЗУВАННЯ КОМПЛЕКТУВАННЯ ТА РОЗРОБЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЇ АСК ПРОМИСЛОВИМ РОБОТОМ-МАНІПУЛЯТОРОМ У ПОРТУ

2.1 Функціональна схема

Функціональна схема представляє процеси, що відбуваються в окремих функціональних частинах пристрою або в самому пристрої загалом. Вона містить інформацію про те, як пристрій виконує певні функції. За допомогою такої схеми можна зрозуміти, як відбуваються перетворення та які функціональні елементи для цього необхідні. Кожен функціональний компонент включає лише ті входи та виходи, які потрібні для його правильного функціонування. [6]

На схемі зображуються всі функціональні частини пристрою та основні зв'язки між ними. Дозволяється позначати функціональні частини, які не мають стандартних графічних символів, у вигляді прямокутників. Можна також об'єднувати окремі функціональні частини у функціональні групи, які виділяються штрихпунктирною лінією. Кожна така група повинна мати назву або умовне позначення. [7]

Для розуміння повної картини з чого складається автоматизована система керування промисловим роботом у порту для завантаження контейнера було продемонстровано на рисунку 2.1.

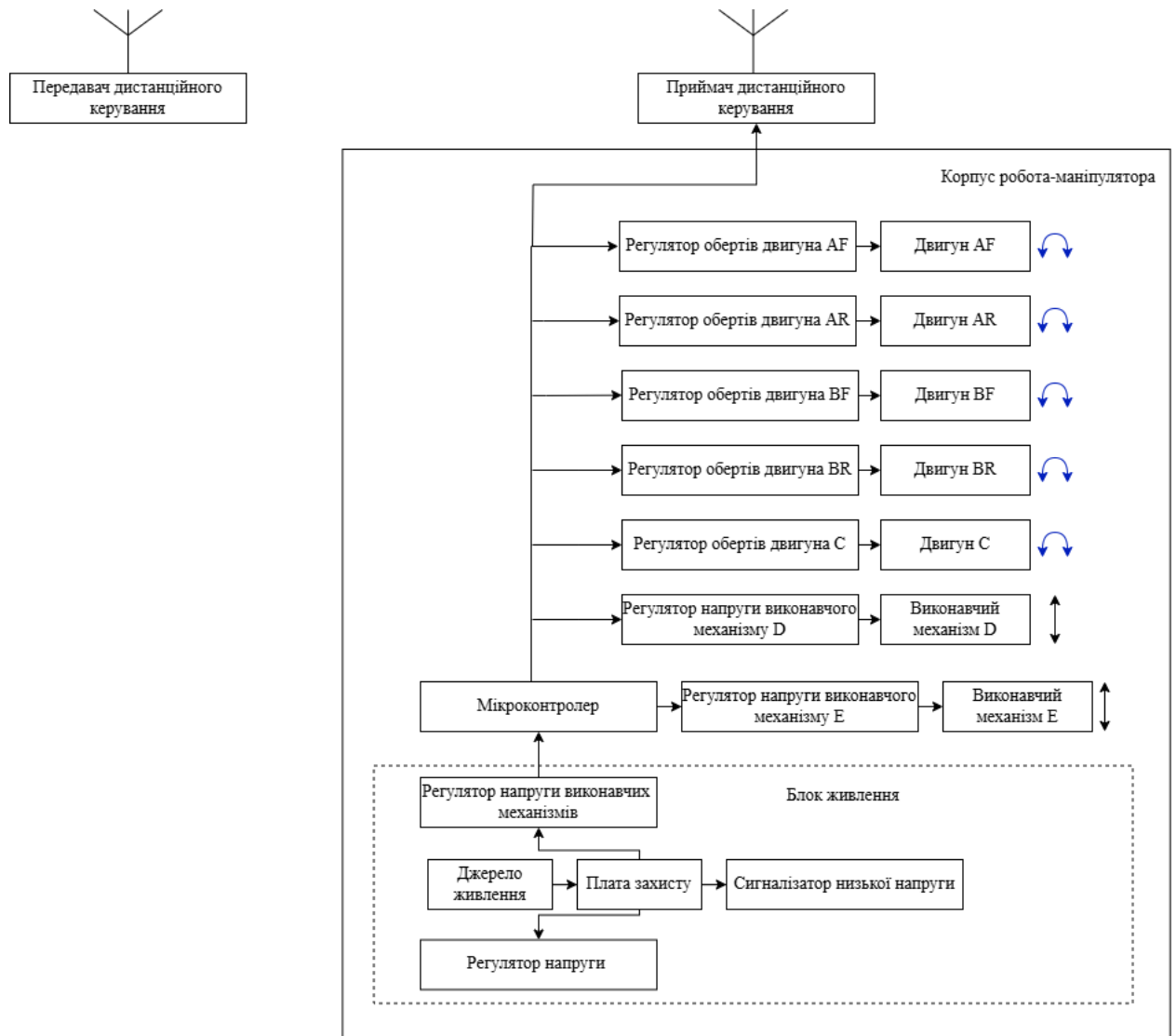


Рисунок 2.1 – Функціональна схема АСК промисловим робота у порту

Дана АСК з таких основних компонентів: джерело живлення, мікроконтролер, приймач даних, передавач даних разом з пультом ДК та комплекс виконавчих механізмів. Цей комплекс виконавчих механізмів представляє собою п'ять обертального руху навколо осі та два механізми лінійного руху. Всі вони, а також згадані в переліку раніше необхідні для штатно роботи АСК.

2.2 Блок-схема алгоритму

Алгоритмічна блок-схема є способом візуального представлення послідовності роботи компонентів пристрою, поділених на окремі функціональні блоки. Прийнято поділяти всі блоки на п'ять основних типів: лінійні (без розгалужень), циклічні, комбіновані, з підпрограмами та розгалужені. [8]

Виходячи з принципу функціонування всього пристрою, був розроблений алгоритм роботи автоматизованої системи керування промисловим роботом порту.

Весь процес починається з подачі живлення після чого йде перевірка, чи увімкнений мікроконтролер – у разі якщо ні, то робота закінчується. Після того, як мікроконтролер буде увімкнений, перевіряється з'єднання з пультом ДК. Якщо ці дії пройшли успішно настає наступний етап роботи схеми (Рисунок 2.2.1).



Рисунок 2.2.1 – Алгоритм роботи АСК промисловим роботом у порту

Другий етап роботи алгоритму полягає в ініціалізації мікроконтролера та програмного коду у ньому, а також перевірка справності коду. Якщо програмний код написано з дотриманням усіх необхідних правил та вимог, то виріб готовий до використання. Таким чином, йде перевірка натискання кнопки «1А» на пульті ДК. Вона активує увімкнення двигунів AF, AR в режимі 1, й двигунів BF, BR в режимі 2. Для двигунів обрано різні режими роботи, у зв'язку з тим, що вони знаходяться віддзеркалено один від одного, а значить, якщо один обертається за годинниковою стрілкою, то інший має обертатися проти годинникової. Під час істинного значення умови цього етапу поступальна ланка виробу буде рухатися в додатному напрямку по вісі X (Рисунок 2.2.2).

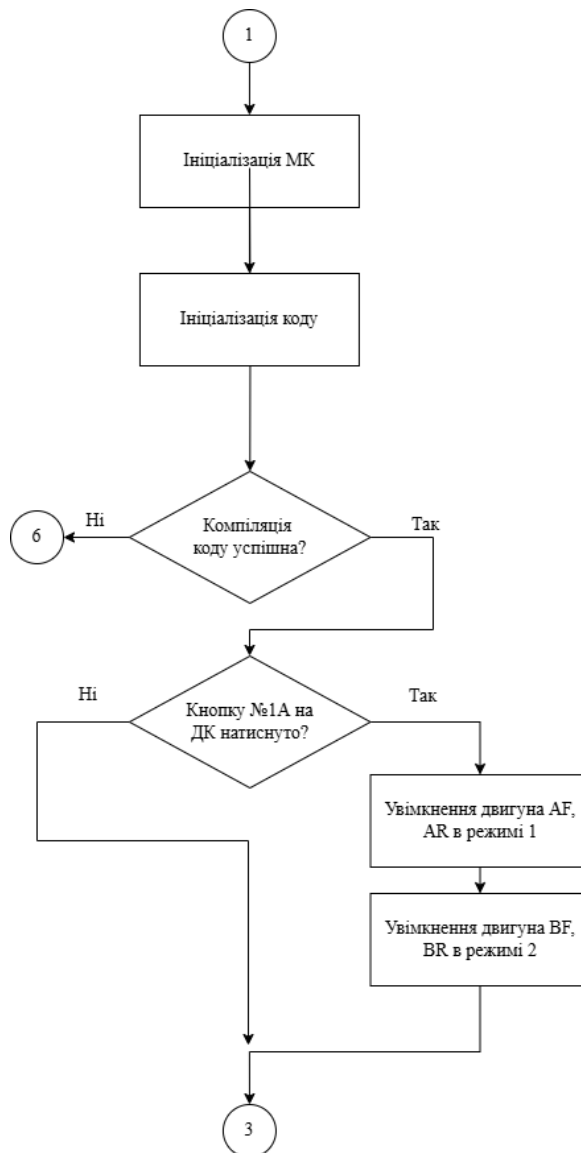


Рисунок 2.2.2 – Алгоритм роботи АСК промисловим роботом у порту

Після перевірки на натискання кнопки «1А» йде зворотна дія, тобто при активації кнопки «1В» вмикаються тіж самі двигуни, що попереднього разу, але в іншому режимі. Тобто створюють рух у від'ємний бік по вісі Х. Далі йде перевірка на натискання кнопок «2А» та «2В», які відповідають за активацію обертання двигуна С, що відповідають за рух підйомальної ланки (Рисунок 2.2.3).

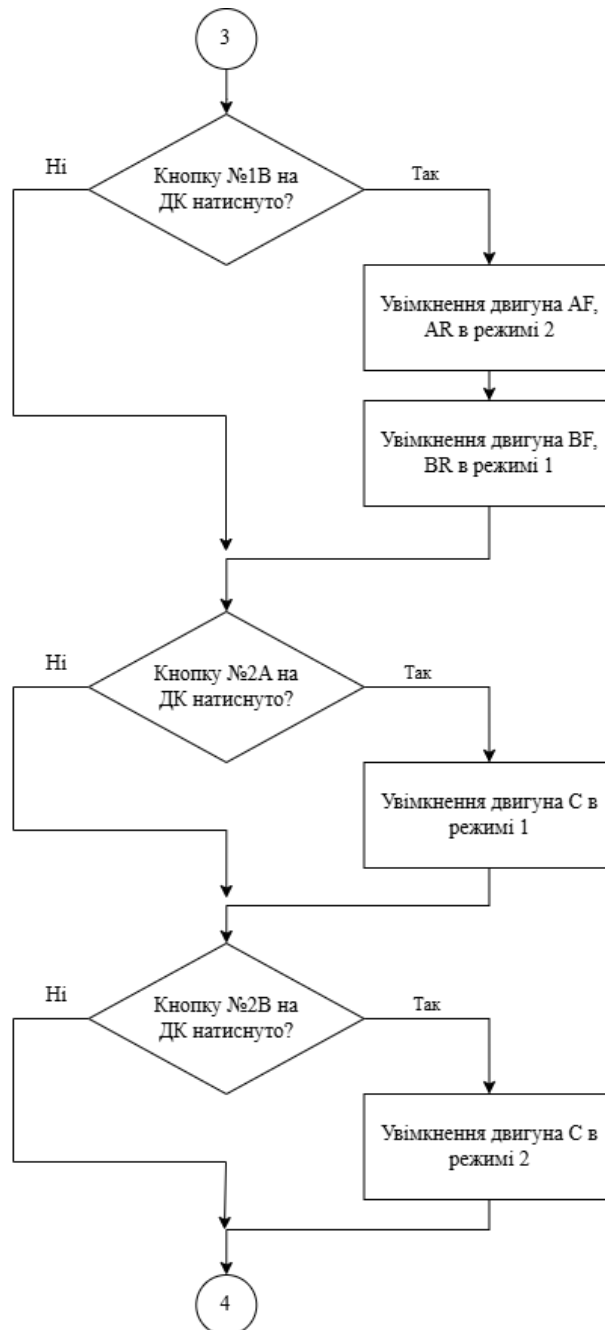


Рисунок 2.2.3 – Алгоритм роботи АСК промисловим роботом у порту

Наступна крок полягає у перевірці натискання кнопок «3А» та «3В», що активують виконавчий механізм D, який приводить в рух підймальну ланку маніпулятора. При натисканні кнопки «3А» йде піднімання ланки, відео «3В» – опускання ланки. Заключним етапом перевірки натискання кнопок є кнопки «4А» та «4В», які приводять в дію виконавчий механізм E. Цей механізм відповідає за підняття ланки, на кінці котрої знаходиться пристрій захоплення вантажу (Рисунок 2.2.4).

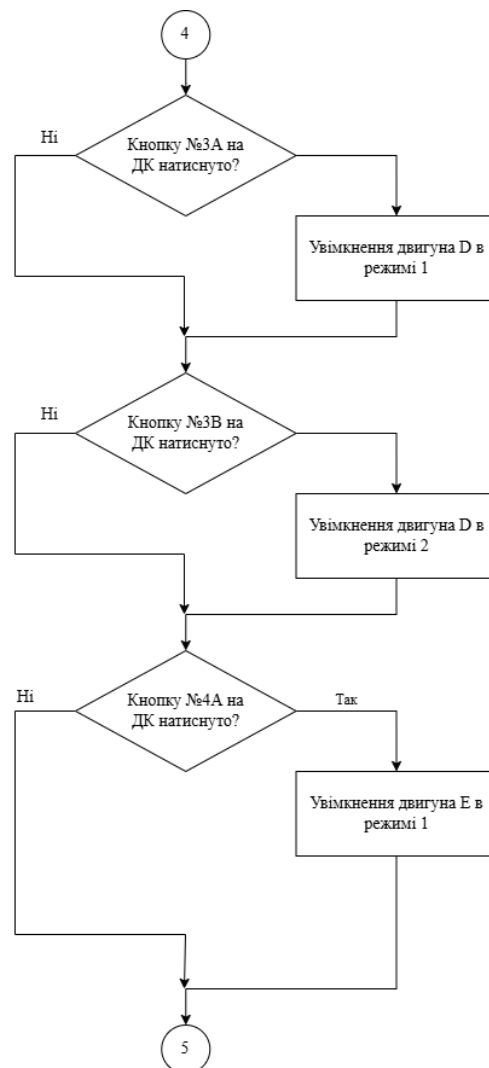


Рисунок 2.2.4 – Алгоритм роботи АСК промисловим роботом у порту

Після закінчення останньої перевірки та виконання дії, у разі істинного значення, йде вимкнення МК і завершення роботи циклу процесу після чого алгоритм починається наново (Рисунок 2.2.5).



Рисунок 2.2.5 – Алгоритм роботи АСК промисловим роботом у порту

2.3 Електрична принципова схема

Електрична принципова схема є одним із типів електричних схем пристрою, який забезпечує загальне розуміння його складу та принципів функціонування. Ці схеми створені для точнішого відображення взаємодії компонентів, з урахуванням їх роботи та порядку активації. Електричні елементи на схемах позначаються за допомогою умовних символів. [9], [10]

Опираючись на компонування АСК, алгоритм роботи та функціональну схему, було сформовано електричну принципову схему (Рисунок 2.3). У цій схемі було використано наступні основні компоненти: мікроконтролер, кнопки, драйвера крокових двигунів та самі крокові двигуни.

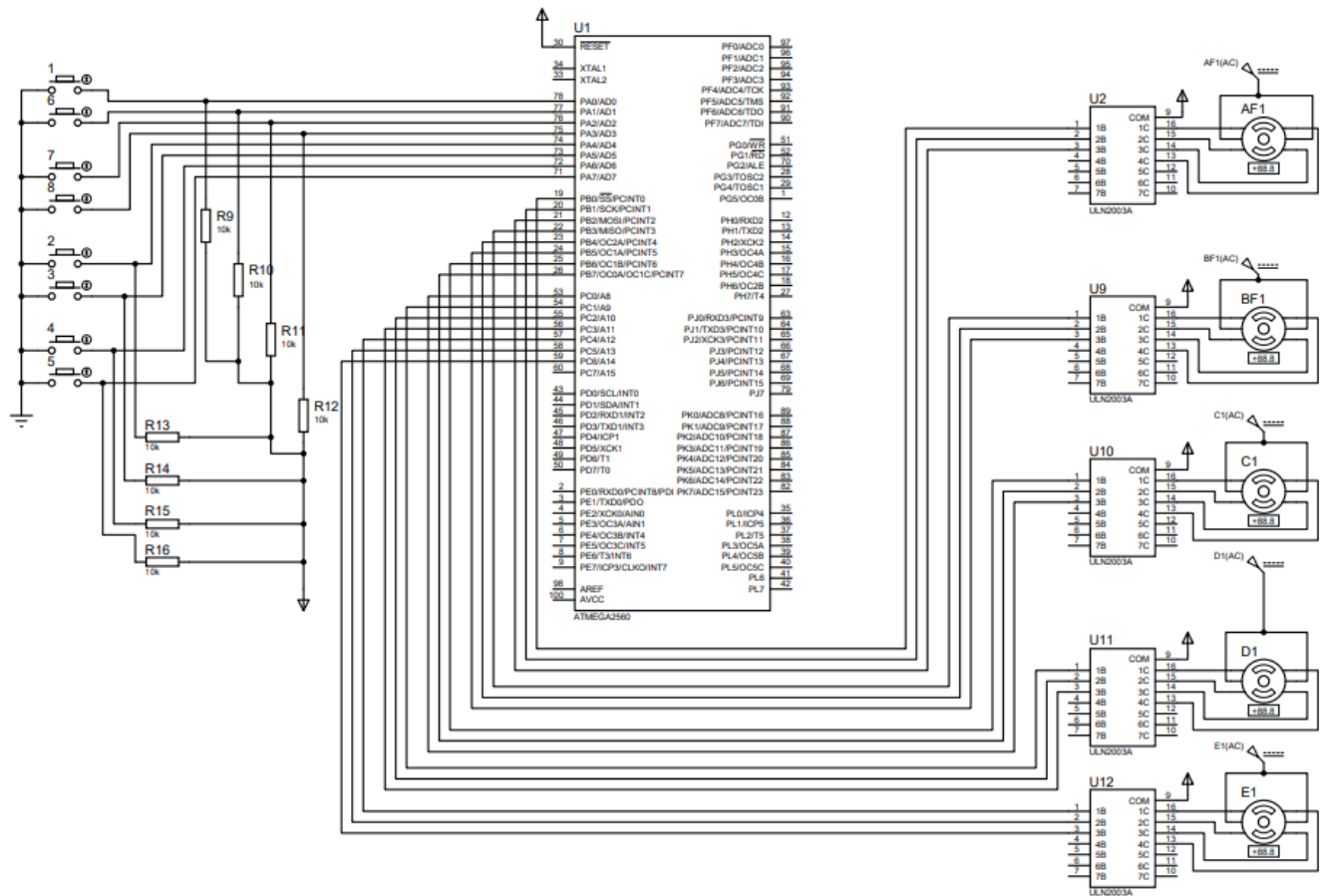


Рисунок 2.3 – Електрична принципова схема АСК

2.4 3D моделювання у середовищі OnShape

Onshape — це програмне забезпечення для автоматизованого проєктування (CAD), яке надається через інтернет за моделлю програмного забезпечення як сервісу (SaaS). Воно активно використовує хмарні технології, де обчислювальні процеси та рендеринг виконуються на серверних потужностях, а користувачі можуть працювати з системою через веб-браузер або мобільні додатки для iOS та Android. [11]

Onshape дозволяє командам одночасно працювати над одним спільним дизайном, подібно до того, як кілька авторів редагують один документ у хмарних сервісах. Програма переважно орієнтована на механічне CAD (MCAD) і застосовується для розробки продуктів та обладнання в різних галузях, таких як побутова електроніка, машинобудування, медичні пристрої, 3D-друк, деталі машин і промислове обладнання. [12]

Проектування конструкції АСК було розділено на такі етапи:

- етап №1 – створення траверса/пристрою захоплення;
- етап №2 – створення підйимальної ланки І;
- етап №3 – створення підйимальної ланки ІІ.

2.4.1 Створення траверса

Траверс – це вантажопідйимальний пристрій, який використовується разом із краном або іншою підйимальною машиною для підвішування та переміщення вантажів. Він являє собою металеву конструкцію, яка кріпиться до гака крана і має кілька точок кріплення для вантажу. [13]

Основне призначення траверси – забезпечити більш стійке та рівномірне розподілення навантаження при підйомі вантажів, особливо довгомірних або негабаритних. Використання траверси дозволяє:

- завдяки кільком точкам кріплення, траверса запобігає нерівномірному навантаженню стропів і, як наслідок, перекосу або падінню вантажу;
- лінійні траверси ідеально підходять для підйому труб, профілів, балок та інших довгих предметів, забезпечуючи їх горизонтальне положення;
- просторові траверси дозволяють надійно фіксувати вантажі нестандартної конфігурації в кількох точках;
- рівномірний розподіл навантаження зменшує ризик деформації або пошкодження крихких вантажів;
- забезпечити стабільність вантажу, траверси значно підвищують безпеку вантажопідйимальних операцій.

Траверси знаходять широке застосування в різних галузях, включаючи: будівництво, промисловість, суднобудування, металургія, складське господарство.

Існує кілька основних видів траверс, які відрізняються за своєю конструкцією та призначенням: лінійні траверси, просторові та спеціальні.

Лінійні траверси мають просту лінійну конструкцію з двома або більше точками підвісу вантажу. Використовуються для підйому довгомірних вантажів. Можуть мати центральний підвіс або підвіс за кінці.

Просторові траверси мають більш складну конструкцію (наприклад, Н-подібну або рамну) з кількома точками кріплення, розташованими в різних площинах. Призначені для підйому негабаритних вантажів складної форми. Рамні траверси зазвичай підвішуються за чотири точки («павук»).

Спеціальні траверси розробляються для конкретних видів вантажів або умов роботи. Можуть мати спеціальні захватні пристрої (магніти, вакуумні присоски, кліщі тощо) або регульовані точки кріплення. До цього типу відносяться також траверси С-подібної форми для підйому рулонів або котушок.

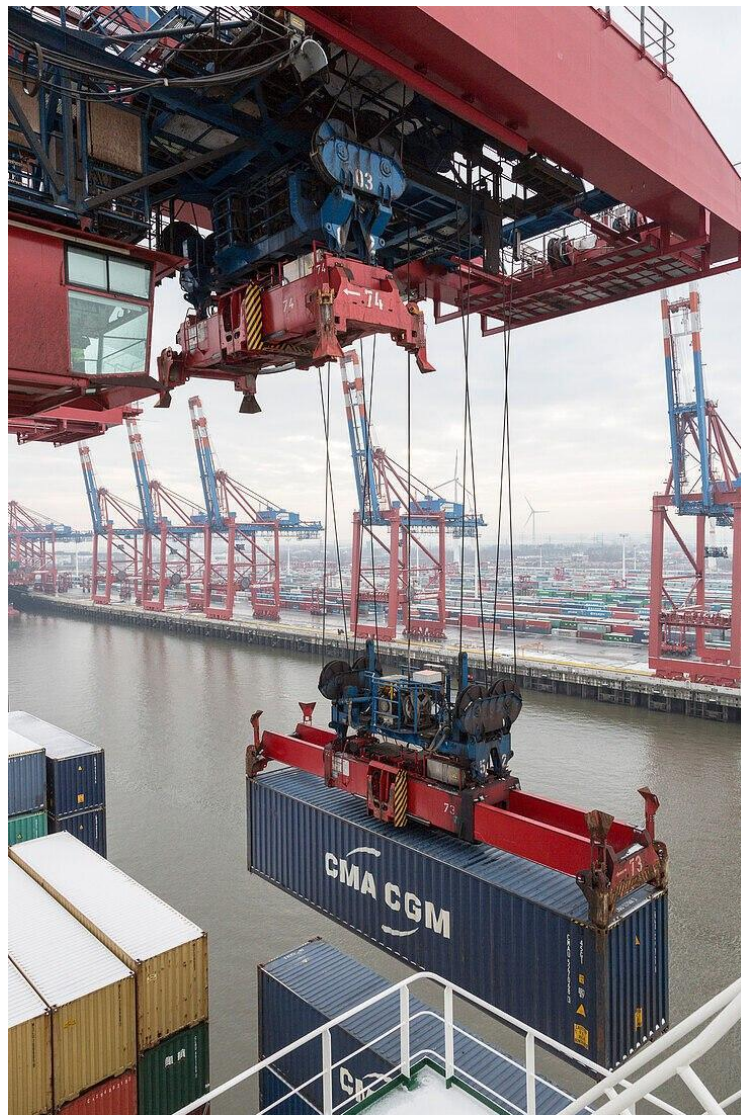


Рисунок 2.4.1 – Приклад використання траверсу у портовій логістиці

На основі існуючих конструкційних рішень було вирішено створити траверс, котрий буде кріпитися на жорсткому з'єднанні до підйомальної ланки І.

Основними критеріям, котрим має відповідати траверс є габарити (довжина, ширина) й вантажопідйомність.

40-футовий морський контейнер є одним із найпоширеніших стандартних розмірів вантажних контейнерів, що використовуються для міжнародних морських та залізничних перевезень. Він призначений для транспортування та зберігання різноманітних вантажів, особливо об'ємних та не надто важких (Рисунок 2.4.2).

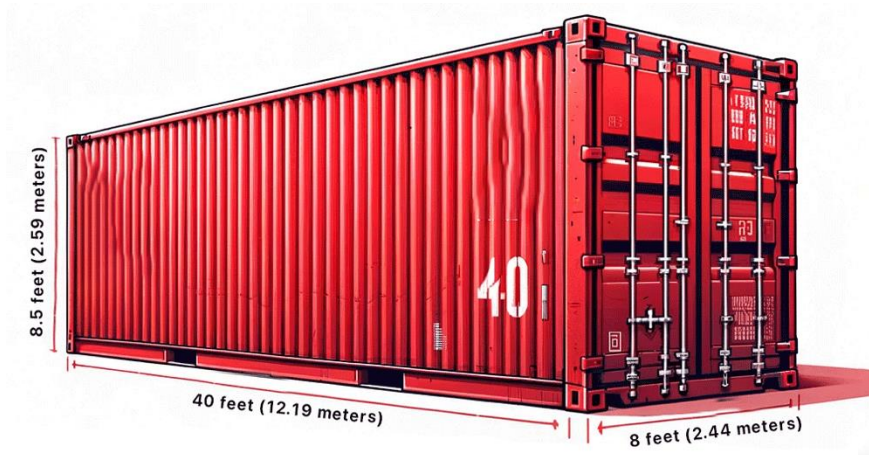


Рисунок 2.4.2 – Габаритні розміри 40-футового морського контейнеру

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики 40-футового контейнеру [14]

Довжина, мм	12 190
Ширина, мм	2 440
Висота, мм	2 590
Маса (пустого), кг	3 700
Максимальна вантажопідйомність, кг	26 700
Максимальна вага (брутто), кг	30 400

Основні елементи траверса: опорні балки, з'єднуючі переборки, твіст-локи, кріплення.

Для формування основних балок було використано дві двотаврові балки ІРЕ550 (DIN 1025-5) довжиною 11 790 мм, відстань між центрами яких становить 1 100 мм(Рисунок 2.4.3).

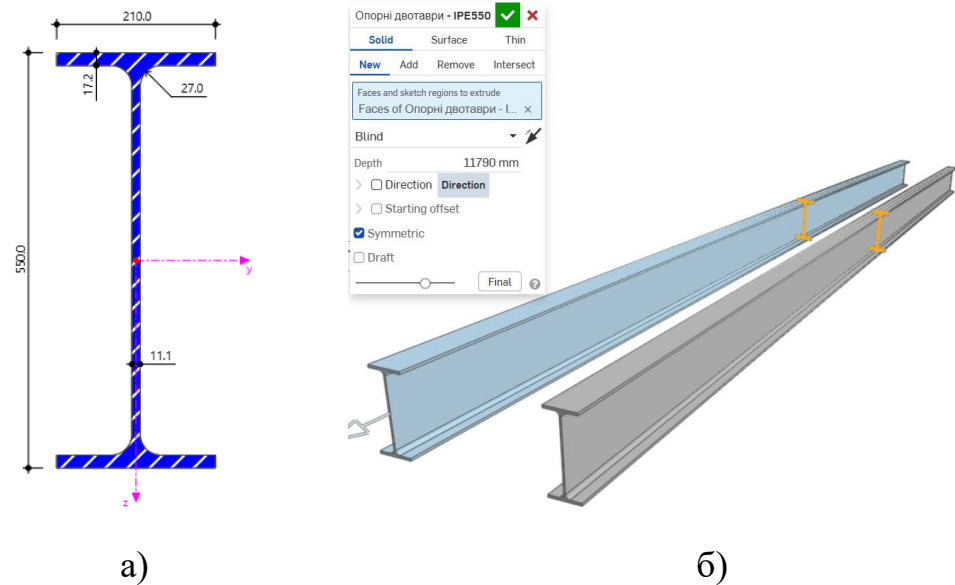


Рисунок 2.4.3 – а) Креслення двотаврової балки IPE550 (DIN 1025-5); б)
Створення 3D моделі балок інструментом Extrude Onshape

Після створення основних балок, потрібно їх з'єднати й тим самим підсилити. Використовуючи двотаври, що і для основних балок, було сформовано дві переборки відстань, у котрих центр знаходиться на відстані 3 047,5 мм від центру основних балок (Рисунок 2.4.4).

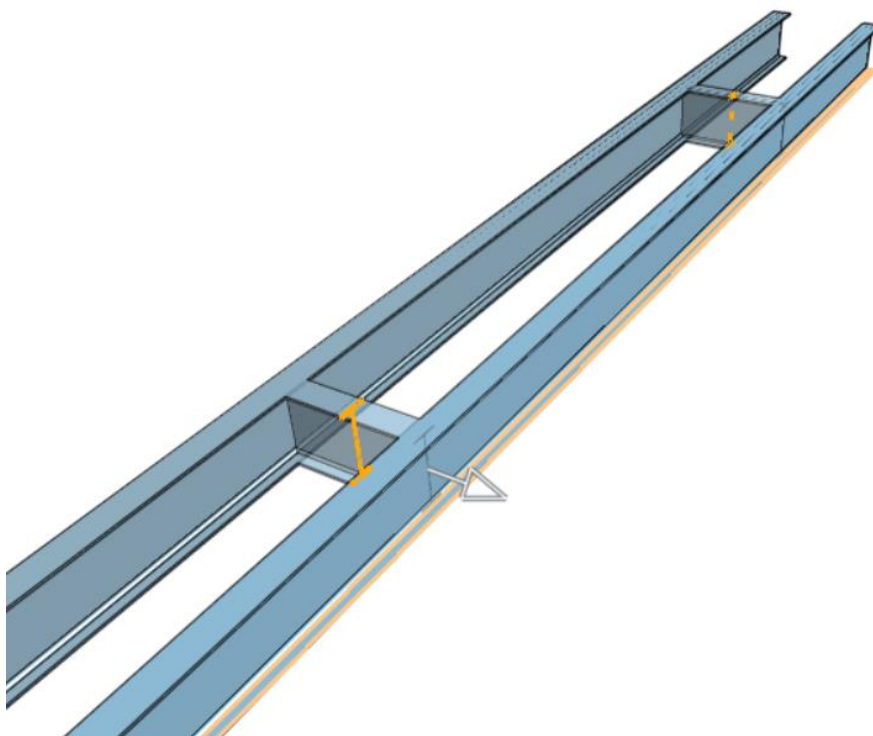


Рисунок 2.4.4 – Формування переборок між основними балками

Для монтування кріпильних елементів, таких як Twist-lock було сформовано основу на кінцях основних балок у вигляді профільних труб прямокутного сичення. А саме, профільна труба 400×200×10 (ГОСТ 8639-82). Довжина таких труб становить 2 430 мм(Рисунок 2.4.5).

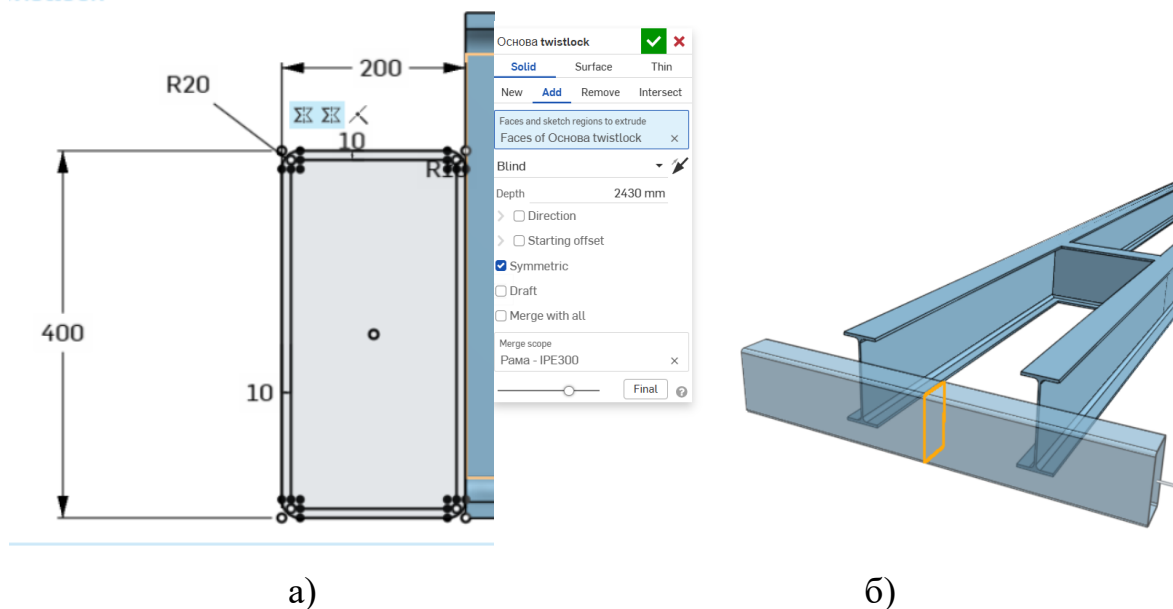


Рисунок 2.4.5 – а) Креслення прямокутної труба 400×200×10 (ГОСТ 8639-82); б)

Створення 3D моделі профільних труб інструментом Extrude Onshape

Twist-lock (твіст-лок) – це стандартизований механічний замок, який використовується для надійного з'єднання морських контейнерів між собою та їх фіксації на транспортних засобах (суднах, залізничних платформах, автотрейлерах) або на складських майданчиках. [15]

Основний принцип дії полягає у введенні конічної головки твіст-лока в овальний отвір (фітинг) кутового елемента контейнера та подальшому повороті (зазвичай на 90 градусів) ручки або іншого механізму для замикання. У закритому стані твіст-лок надійно фіксує контейнер, запобігаючи його зсуву, перекиданню або відриву під час транспортування чи зберігання.

Існує кілька різновидів твіст-локів, які відрізняються за конструкцією, принципом дії та призначенням:

- ручні твіст-локи (Manual Twist Locks);
- напівавтоматичні твіст-локи (Semi-Automatic Twist Locks);

- автоматичні твіст-локи (Fully Automatic Twist Locks);
- двосторонні твіст-локи (Double Stacking Twist Locks).



Рисунок 2.4.6 – Приклад автоматичного твіст-лока

Саме автоматичний твіст-лок було обрано для монтажу на траверс для підняття контейнера, адже він має ряд переваг, а саме:

- повністю автоматизована система замикання та відмикання, яка може керуватися дистанційно або за допомогою спеціальних механізмів;
- використовуються на суднах-контейнеровозах для максимально швидкої та ефективної обробки вантажів.

Кріплення траверса до підіймальної ланки повинно забезпечувати міцність та стійкість перед навантаженням. Для формування кріплення було використано листову сталь гарячекатану товщиною 16 мм (ДСТУ 8540:2015). Для підвищення міцності з'єднання кріплення з балками основи, було створено пологий перехід, що розподіляє навантаження по всій конструкції, а не концентрується в одній точці (Рисунок 2.4.7).

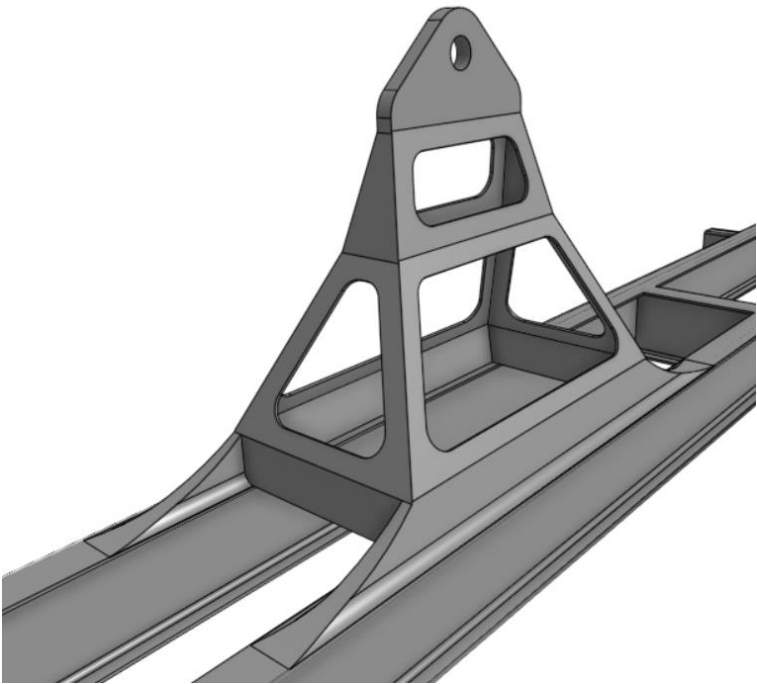


Рисунок 2.4.7 – Кріплення траверса

Використовуючи інструментарій середовища Onshape було вказано, що вся конструкція проєктується з вуглецевої сталі (Рисунок 2.4.8 а). Це дає змогу прорахувати максимально приближену масу конструкції на даному кроці проєктування (Рисунок 2.4.8 б). Аналізуючи отримані дані приходимо висновку, що траверс має масу 4 398,103 кг.

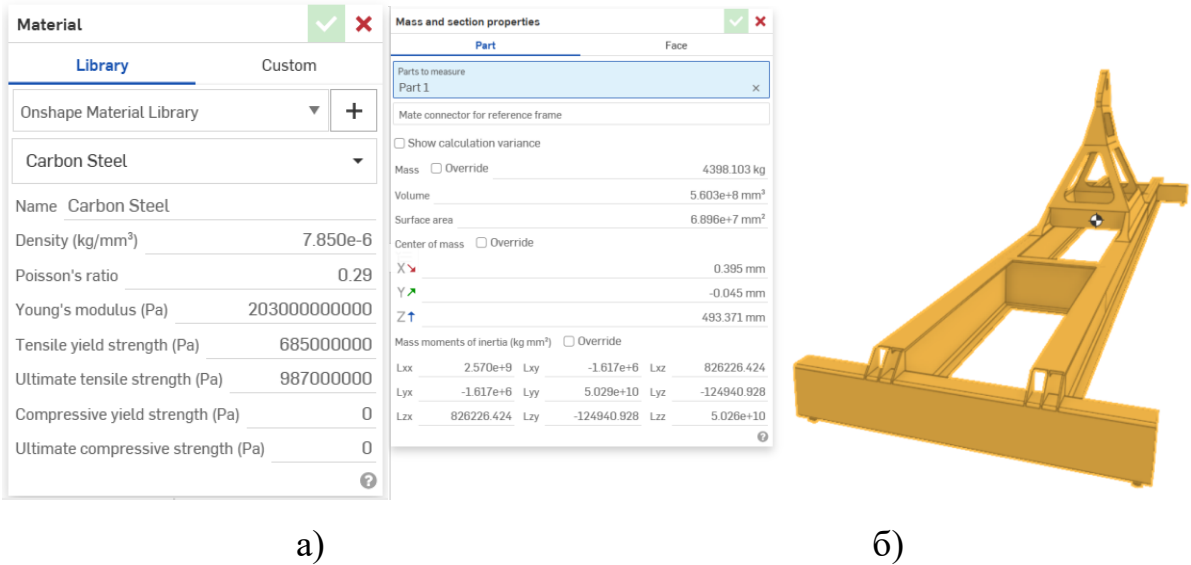


Рисунок 2.4.8 – а) Визначення матеріалу конструкції; б) Визначення маси конструкції на стадії 3D проєктування

Використовуючи програмний комплекс Simscape було проведено аналіз міцності конструкції траверса. Було проведено підготовчі стадії для симуляції та вказано вихідні дані (таблиця 2.2), а саме:

- прискорення вільного падіння;
- дія сили тяжіння на один бік траверса, тобто загальна сила розділена на 2;
- матеріал, з якого складається конструкція.

Таблиця 2.2 – Вихідні дані для розрахунку міцності траверса

Загальна вага вантажу, кг	31 000
Прискорення вільного падіння, м/с ²	9,81
Дія сили тяжіння, Н	304 110
Дія сили тяжіння на один бік, Н	152 055
Пружність сталі, МПа	250

Провівши симуляцію навантаження на траверс було отримано графічний результат (Рисунок 2.4.9). На конструкції нанесено спектр від темно-синього кольору до червоного, найменше напруження на елемент конструкції та найбільше напруження, відповідно. На шкалі, що додається до симуляції є максимальне значення напруження, яке присутнє на симуляції міцності конструкції. У даному випадку це 160,8 МПа.

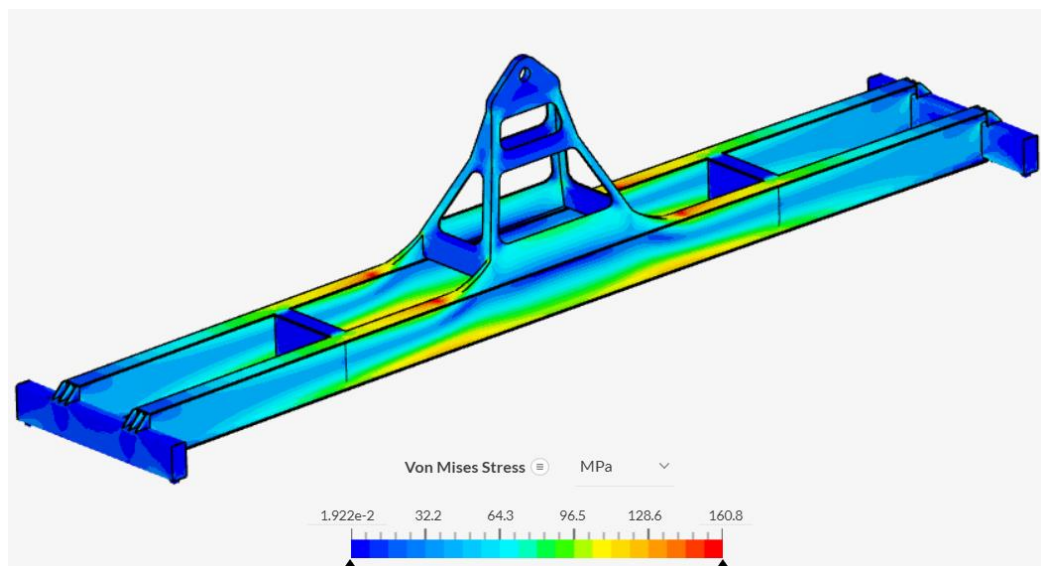


Рисунок 2.4.9 – Симуляція дії навантаження на конструкцію

Ця симуляція зображує напруження за фон Мізесом. Напруження за фон Мізесом – це величина, яка використовується в інженерії для визначення, чи зазнає матеріал плинності (постійної деформації) при складних навантаженнях. Простіше кажучи, це спосіб перетворити складні напруження, що діють на матеріал, в одне значення, яке можна порівняти з межею плинності матеріалу.

Коефіцієнт безпеки – це безрозмірна величина, яка показує, у скільки разів розрахункове навантаження, яке може витримати конструкція без руйнування або недопустимих деформацій, перевищує максимально очікуване експлуатаційне навантаження.

Межа плинності сталі дорівнює 250 МПа, із симуляції отримано, що максимальне напруження становить 160,8 МПа. Використовуючи ці дані прораховуємо КБ за формулою, що наведено нижче.

$$k_{\text{без}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{е}}} = \frac{250}{160,8} = 1,55472$$

Де $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки (КБ), $F_{\text{м}}$ – граничне значення напруги матеріалу конструкції, $F_{\text{е}}$ – максимальне значення напруженості конструкції.

Отримавши результат КБ траверса, а саме 1,55472 порівнюємо з мінімальним значенням КБ для конструкції.

$$k_{\text{без.мін}} \leq k_{\text{без}} \leq k_{\text{без.макс}}$$

$$1,5 \leq 1,55472 \leq 2$$

Де $k_{\text{без.мін}}$ – мінімальне значення коефіцієнта безпеки (КБ), $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки конструкції (КБ), $k_{\text{без.макс}}$ – максимальне значення коефіцієнта безпеки (КБ).

КБ конструкції більше ніж мінімальне потрібне значення – це означає що конструкція придатна до використання.

2.4.2 Створення підйимальної ланки I

Наступною на черзі конструкцією для проєктування є підйимальна ланка, котра з'єднує траверс та з'єднана з підйимальною ланкою. Підйимальна ланка представляю собою балку маніпулятора і конструкційно складається з листів сталі, котрі певним чином зварені між собою. Для створення конструкції було використано лист гарячекатаної сталі товщиною 50 мм (ДСТУ 8540:2015). Габаритні розміри конструкції наведені у таблиці 2.3. Додатково, до конструкції було додано кріплення для виконавчих механізмів, котрі будуть приводити у рух підйимальну ланку, а також кріплення для траверса й підйимальної ланки II (Рисунок 2.4.10).

Таблиця 2.3 – Габаритні розміри підйимальної ланки I

Довжина, мм	20 853
Висота, мм	3 632
Ширина, мм	1 500

Mass and section properties	
Part	Face
Parts to measure	Part 1
Mate connector for reference frame	
☐ Show calculation variance	
Mass ☐ Override	56179.746 kg
Volume	7.157e+9 mm ³
Surface area	2.538e+8 mm ²
Center of mass ☐ Override	
X	4.642e-5 mm
Y	-1655.723 mm
Z	567.151 mm
Mass moments of inertia (kg mm ²) ☐ Override	
Lxx	2.074e+12
Lxy	-4401.615
Lxz	1473.426
Lyx	-4401.615
Lyx	4.643e+10
Lyz	1.471e+9
Lzx	1473.426
Lzy	1.471e+9
Lzz	2.070e+12

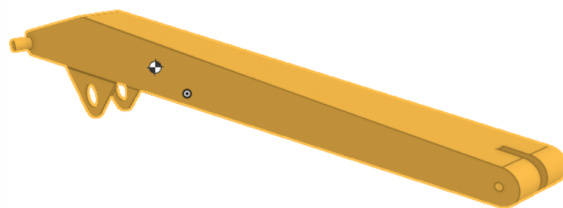


Рисунок 2.4.10 – 3D модель підйимальної ланки

Вказавши матеріал конструкції та проаналізувавши характеристики конструкції було визначено, що маса конструкції становить 56 179 кг.

Таблиця 2.4 – Вихідні дані для розрахунку міцності підйимальної ланки I

Загальна вага вантажу, кг	34 878
---------------------------	--------

Прискорення вільного падіння, м/с ²	9,81
Дія сили тяжіння, Н	342 153,18
Пружність сталі, МПа	250

Провівши симуляцію навантаження на підіймальну ланку I було отримано графічний результат (Рисунок 2.4.11). На конструкції нанесено спектр від темно-синього кольору до червоного, найменше напруження на елемент конструкції та найбільше напруження, відповідно. На шкалі, що додається до симуляції є максимальне значення напруження, яке присутнє на симуляції міцності конструкції. У даному випадку це 160,8 МПа.

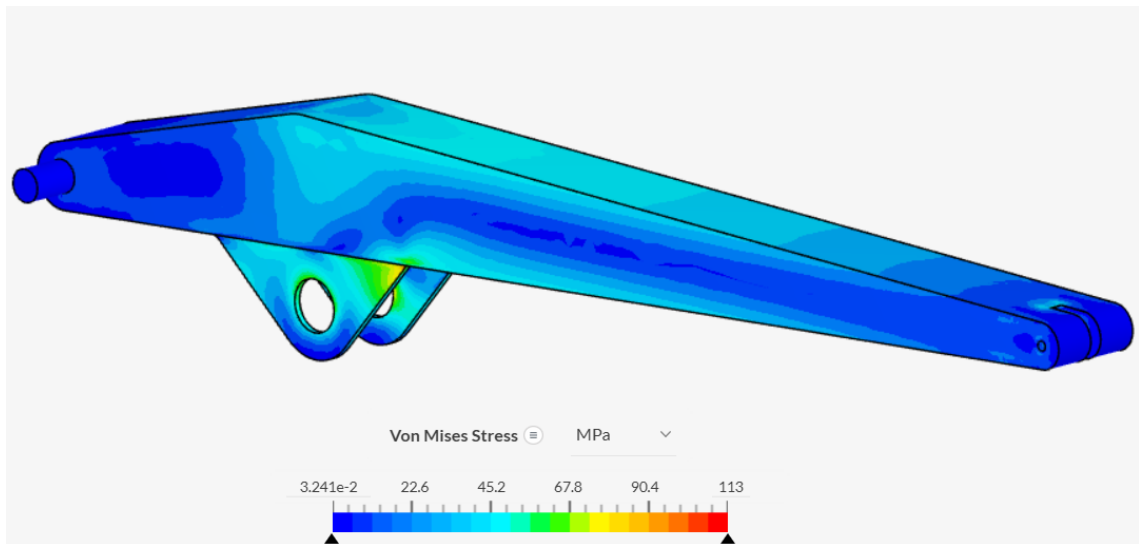


Рисунок 2.4.11 – Симуляція дії навантаження на конструкцію
Ця симуляції зображує напруження за фон Мізесом.

Межа плинності сталі дорівнює 250 МПа, із симуляції отримано, що максимальне напруження становить 113 МПа. Використовуючи ці дані прораховуємо КБ за формулою, що наведено нижче.

$$k_{\text{без}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{е}}} = \frac{250}{113} = 2,21239$$

Де $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки (КБ), $F_{\text{м}}$ – граничне значення напруги матеріалу конструкції, $F_{\text{е}}$ – максимальне значення напруженості конструкції.

Отримавши результат КБ траверса, а саме 2,21239 порівнюємо з мінімальним значенням КБ для конструкції.

$$k_{\text{без.мін}} \leq k_{\text{без}} \leq k_{\text{без.макс}}$$

$$2 \leq 2,21239$$

Де $k_{\text{без.мін}}$ – мінімальне значення коефіцієнта безпеки (КБ), $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки конструкції (КБ), $k_{\text{без.макс}}$ – максимальне значення коефіцієнта безпеки (КБ).

КБ конструкції більше ніж максимальний потрібний коефіцієнт безпеки – це означає що конструкція придатна до використання із запасом міцності більше ніж у 2 рази.

2.4.3 Створення підіймальної ланки II

Наступною на черзі конструкцією для проектування є підіймальна ланка, котра з'єднує підіймальну ланку I та з'єднана з обертальною ланкою. Підіймальна ланка представляю собою балку маніпулятора і конструкційно складається з листів сталі, котрі певним чином зварені між собою. Для створення конструкції було використано лист гарячекатаної сталі товщиною 50 мм (ДСТУ 8540:2015). Габаритні розміри конструкції наведені у таблиці 2.5. Додатково, до конструкції було додано кріплення для виконавчих механізмів, котрі будуть приводити у рух підіймальну ланку, а також кріплення для траверса й підіймальної ланки II (Рисунок 2.4.12).

Таблиця 2.5 – Габаритні розміри підіймальної ланки II

Довжина, мм	38 500
Висота, мм	2 734
Ширина, мм	1 100

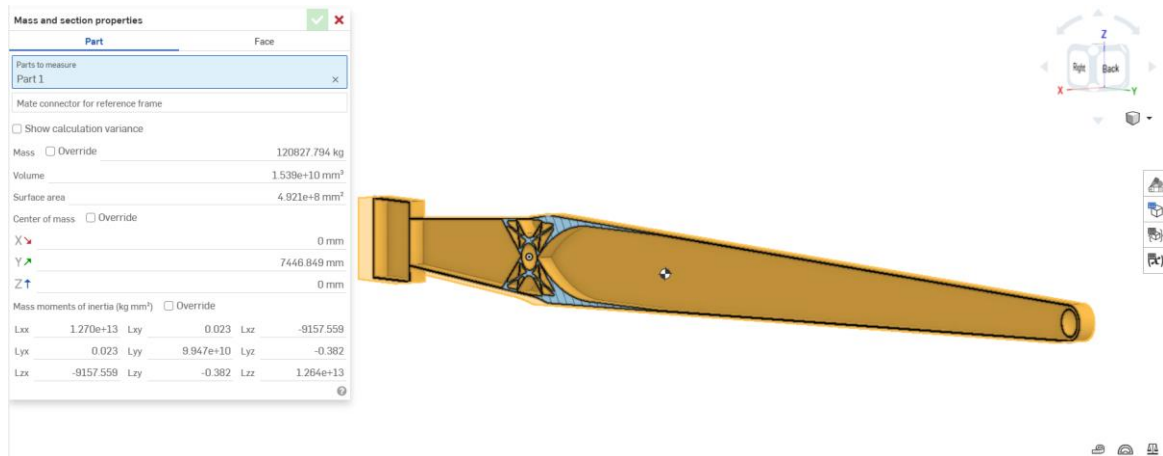


Рисунок 2.4.12 – 3D модель підіймальної ланки

Вказавши матеріал конструкції та проаналізувавши характеристики конструкції було визначено, що маса конструкції становить 120 827 кг.

Таблиця 2.6 – Вихідні дані для розрахунку міцності підіймальної ланки II

Загальна вага вантажу, кг	91 057
Прискорення вільного падіння, м/с ²	9,81
Дія сили тяжіння, Н	893 269,17
Пружність сталі, МПа	250

Провівши симуляцію навантаження на підіймальну ланку I було отримано графічний результат (Рисунок 2.4.13). На конструкції нанесено спектр від темно-синього кольору до червоного, найменше напруження на елемент конструкції та найбільше напруження, відповідно. На шкалі, що додається до симуляції є максимальне значення напруження, яке присутнє на симуляції міцності конструкції. У даному випадку це 160,8 МПа.

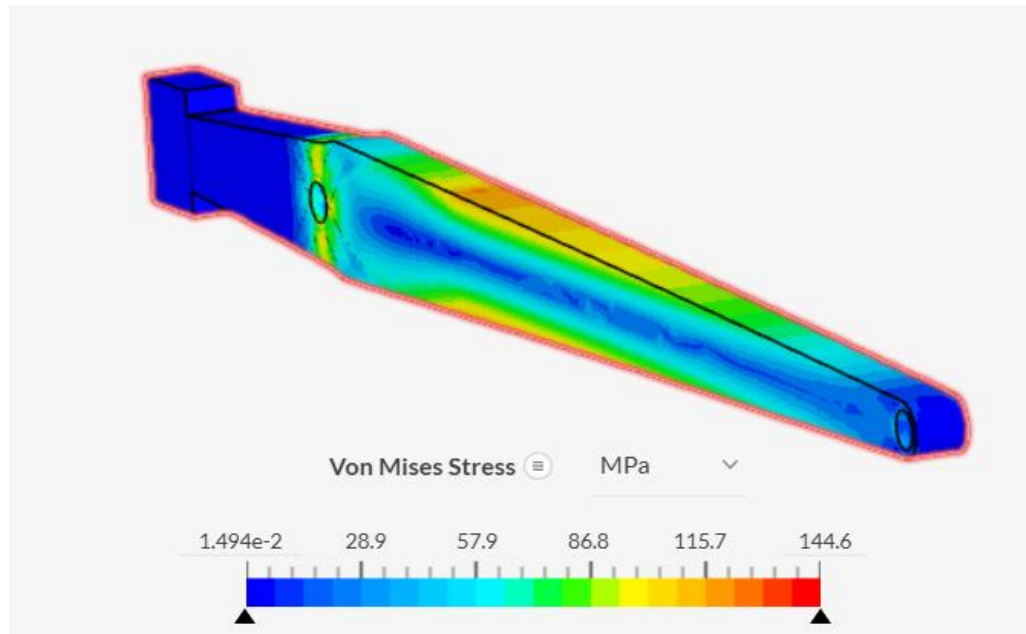


Рисунок 2.4.13 – Симуляція дії навантаження на конструкцію
Ця симуляції зображує напруження за фон Мізесом.

Межа плинності сталі дорівнює 250 МПа, із симуляції отримано, що максимальне напруження становить 144,6 МПа. Використовуючи ці дані прораховуємо КБ за формулою, що наведено нижче.

$$k_{\text{без}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{е}}} = \frac{250}{144,6} = 1,72891$$

Де $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки (КБ), $F_{\text{м}}$ – граничне значення напруги матеріалу конструкції, $F_{\text{е}}$ – максимальне значення напруженості конструкції.

Отримавши результат КБ траверса, а саме 1,72891 порівнюємо з мінімальним значенням КБ для конструкції.

$$k_{\text{без.мін}} \leq k_{\text{без}} \leq k_{\text{без.макс}}$$

$$1,5 \leq 1,72891 \leq 2$$

Де $k_{\text{без.мін}}$ – мінімальне значення коефіцієнта безпеки (КБ), $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки конструкції (КБ), $k_{\text{без.макс}}$ – максимальне значення коефіцієнта безпеки (КБ).

КБ конструкції більше ніж мінімальне потрібне значення – це означає що конструкція придатна до використання та має запас міцності більше ніж 1,72 рази.

2.5 Підбір компонування

2.5.1 Компонування АСК

Одним з ключовим елементом всієї АСК є поступальна ланка та обертальна ланка. Так, наприклад, компанія «Jiangsu Tonghui Lifting Equipment» пропонує до продажу крани та інші підіймальні конструкції. Тобто за основу, на котру буде монтуватися проєктуюча АСК промисловим роботом у порту для завантаження контейнера. [16]

Аналізуючи загальну вагу конструкції, було підібрано основну з потрібною вантажопідйомністю (Рисунок 2.5.1). Тобто замість: кімнати-щитової, кабіни керування та балок, монтується проєктуюча АСК (Рисунок 2.5.2).



Рисунок 2.5.1 – Конструкція для переміщення АСК

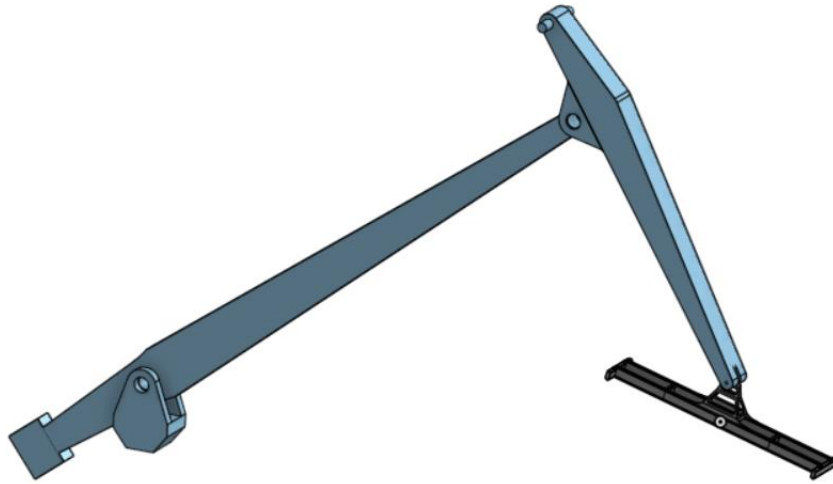


Рисунок 2.5.2 – Проектуюча АСК для завантаження контейнера

Для керування АСК було обрано мікроконтролер Atmega2560. ATmega2560 – це 8-бітний CMOS мікроконтролер з низьким енергоспоживанням, розроблений компанією Microchip Technology (раніше Atmel). Він базується на вдосконаленій RISC (Reduced Instruction Set Computer) архітектурі AVR, що дозволяє виконувати потужні інструкції за один тактовий цикл. Технічні характеристики мікроконтролера наведено у таблиці 2.7. [17]

Таблиця 2.7 – Технічні характеристики МК Atmega2560 [18]

Характеристика	Значення
Ядро	8-бітне AVR
Тактова частота (макс.)	16 МГц
Пам'ять програм (Flash)	256 КБ
Оперативна пам'ять (SRAM)	8 КБ
Енергонезалежна пам'ять (EEPROM)	4 КБ
Кількість виводів	100 (TQFP, CBGA)
Цифрові лінії введення/виведення (GPIO)	86
Аналогові входи (ADC)	16 каналів, 10-бітний
Апаратні послідовні порти (UART/USART)	4
Інтерфейс SPI	1

Інтерфейс I ² C (TWI)	1
8-бітні таймери/лічильники	2
16-бітні таймери/лічильники	4
ШІМ (PWM) канали (макс.)	16 (залежно від конфігурації)
Аналоговий компаратор	1
Напруга живлення	4.5 - 5.5 В
Діапазон робочих температур	-40°C до +85°C
Інтерфейс налагодження	JTAG
Лічильник реального часу (RTC)	Є (з окремим генератором)
Сторожовий таймер	Є (з окремим генератором)
Режими сну	6
Скидання	POR, BOD

2.5.2 Специфікація проєкту

Специфікація проєкту – це набір чітких, однозначних і перевірюваних критеріїв, яким повинна відповідати кінцева система. Це не просто опис бажань, а структурований документ, що розбиває складну систему на менші, керовані компоненти. [19], [20]

Двотаврова балка ІРЕ550 — це металевий профіль, який має форму літери "Н" або "І" у поперечному перерізі. "ІРЕ" – це стандарт серії європейських балок з паралельними гранями полиць. Число 550 вказує на її висоту в міліметрах, тобто ця балка має висоту 550 мм. Це досить велика балка, яка зазвичай використовується як основний несучий елемент у великих будівлях, мостах, промислових спорудах, каркасах машин або як елементи покриття. Завдяки своїй формі, двотавр має високий момент інерції, що робить його дуже ефективним для сприйняття згинальних навантажень. Він забезпечує високу міцність і жорсткість при відносно невеликій вазі порівняно з суцільним профілем, що є економічно вигідним. [21]

Профільна труба $400 \times 200 \times 10$ — це сталева труба прямокутного перерізу. Розміри 400×200 вказують на її зовнішні габарити в міліметрах (400 мм на 200 мм), а 10 — це товщина стінки в міліметрах. Такі труби часто називають "прямокутними порожніми профілями" (Rectangular Hollow Sections - RHS). Завдяки своїй замкненій формі, профільні труби мають високу міцність на скручування і стиск, що робить їх ідеальними для використання як колони, стійки, елементи ферм, каркаси або інші несучі конструкції, де важлива стійкість до бічних навантажень. Вони також часто використовуються в машинобудуванні та для виготовлення металевих меблів чи огорож завдяки естетичному вигляду та легкості монтажу. Вага одного метра такої труби становить близько 88 кг. [22]

Лист гарячекатаний $16 \times 1500 \times 6000$ — це плоский сталевий прокат, який виготовляється методом гарячої прокатки. Параметри означають: 16 мм — це товщина листа, 1500 мм (1.5 метра) — це ширина, а 6000 мм (6 метрів) — це довжина листа. Гарячекатані листи відрізняються хорошою зварюваністю, міцністю та пластичністю. Цей лист товщиною 16 мм є досить поширеним і використовується для виготовлення різноманітних деталей конструкцій, таких як закладні деталі, пластини, фланці, основи для обладнання, елементи каркасів, перегородки або обшивка, що вимагає значної міцності. Його можна різати, згинати та зварювати, щоб отримати потрібну форму і розмір для конкретного елемента конструкції. [23]

Лист гарячекатаний $50 \times 2000 \times 6000$ також є плоским сталевим прокатом, але значно товщим за попередній. Тут 50 мм — товщина, 2000 мм (2 метри) — ширина, і 6000 мм (6 метрів) — довжина. Така велика товщина (50 мм) робить цей лист дуже міцним і важким. Він застосовується у випадках, де потрібна висока несуча здатність, стійкість до значних навантажень та вібрацій. Це можуть бути опорні плити для колон, елементи важких машинобудівних конструкцій, станини для верстатів, елементи мостів, частини корпусів великого обладнання або фундаментні плити. Через свою товщину, такий лист складніше обробляти (різати, згинати), але він забезпечує виняткову міцність і довговічність конструкції.

Таблиця 2.8 – Специфікація проєкту

№	Найменування	Стандарт	Од.виміру	Кількість
1	Балка двотаврова ІРЕ550	DIN 1025	м.п.	25,78
2	Труба профільна 400×200×10	ДСТУ 8940:2019	м.п.	4,86
3	Лист гарячекатаний 16×1500×6000	ДСТУ 8540:2015	кг	1 590,00
4	Лист гарячекатаний 50×2000×6000	ДСТУ 8540:2015	кг	181 248,11
5	АТmega2560	ISO 9001	шт	1,00
6	Мобільний портовий кран	ISO 9001	шт	1,00

Висновки до другого розділу

1. У ході виконання роботи було розроблено функціональну схему автоматизованої системи керування промисловим роботом в порту, де блоками представлені процеси, що відбуваються в окремих функціональних частинах.

2. Опираючись на процеси які відбуваються в системі, було сформовано блок-схему алгоритму роботи, яка показує умови та результати, що відбуваються при різних подіях.

3. Було сформовано електрично принципову схему, що описує структуру для повного уявлення та склад АСК.

4. Отримавши необхідну інформацію про принцип роботи та варіанти виконання подібних АСК, було проведено 3D моделювання окремих ланок та аналітичним методом проведено підрахунок коефіцієнтів безпеки.

5. Сформовано специфікацію проєкту, що включає у себе компонування, що необхідне для формування АС промисловим роботом в порту. А саме, основні матеріали, компонування та їх кількість, що необхідні для формування технічного рішення.

3 ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АСК. РОЗРОБЛЕННЯ ПРОГРАМНОГО КОДУ

3.1 Аналіз напружено-деформованого стану в лінійній постановці

Програмний продукт Simscale – це середовище для автоматизації інженерних розрахунків. Для аналізу методом скінченних елементів (FEA) SimScale використовує рішення з відкритим вихідним кодом: Code_Aster і CalculiX. Ці інструменти призначені для виконання лінійного та нелінійного статичного, а також динамічного аналізу конструкцій. Code_Aster надає розширені можливості для моделювання, включаючи аналіз втоми, пошкоджень, механіки руйнування, контактних взаємодій, геоматеріалів, пористих середовищ і багатофізичних процесів. CalculiX також пропонує аналогічні функції для створення, розрахунку та аналізу FEA-моделей. [24], [25]

У ході моделювання 3D конструкцій траверсу було сформовано та проведено аналіз для 4 варіантів.

Перший прототип траверсу має наступні конструкційні особливості:

- несучі балки основи виконані з двотаврової балки ІРЕ300;
- з'єднуючі балки у кількості 4 штуки виготовлені з двотаврової балки ІРЕ300.

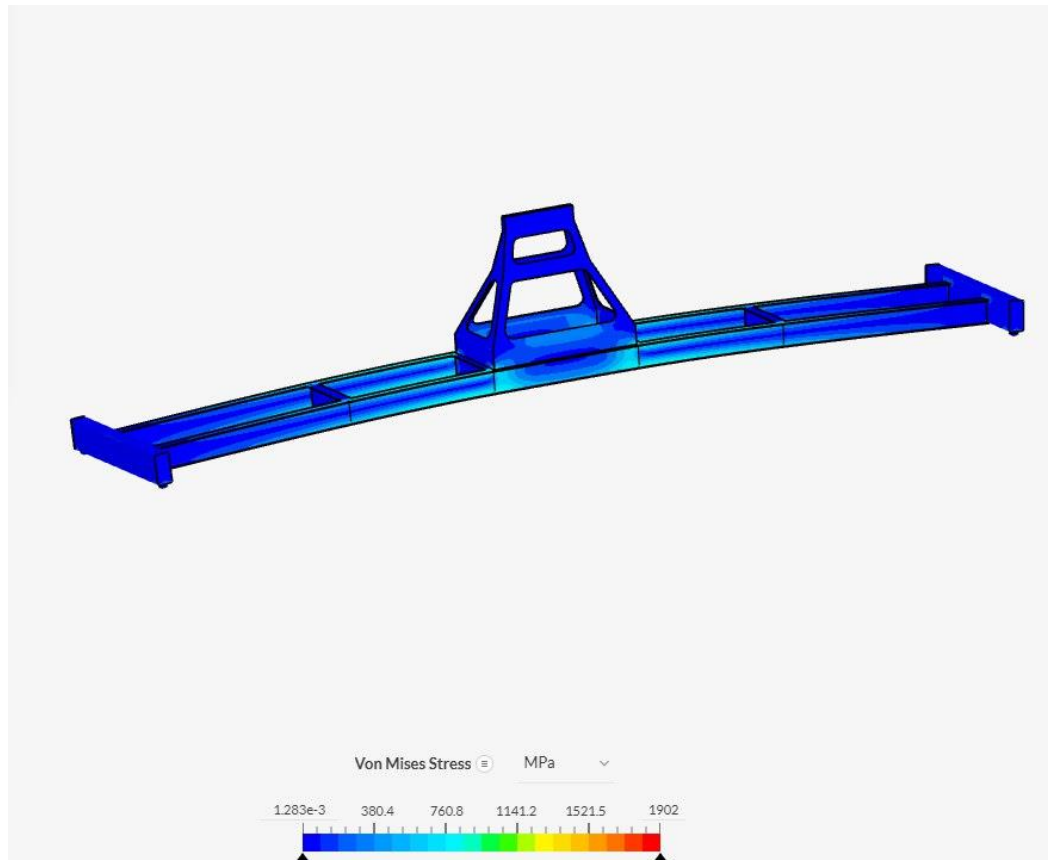


Рисунок 3.1.1 – Результат статичних навантажень на конструкцію першого прототипу траверса

Як показано на Рисунку 3.1.1 найбільше напруження присутнє у точках з'єднання кріплення траверса та основних балок, а саме 1 902 МПа. Провівши розрахунки:

$$k_{\text{без}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{е}}} = \frac{250}{1902} = 0,1314$$

Де $k_{\text{без}}$ – коефіцієнт безпеки (КБ), $F_{\text{м}}$ – граничне значення напруги матеріалу конструкції, $F_{\text{е}}$ – максимальне значення напруженості конструкції. [26]

Тобто порівнявши отриманий результат та мінімальний необхідний коефіцієнт, а саме 1,5, отримуємо конструкцію, яка непридатна до використання.

Другий прототип траверсу має наступні конструкційні особливості:

- несучі балки основи виконані з двотаврової балки ІРЕ450;
- з'єднуючі балки у кількості 4 штуки виготовлені з двотаврової балки ІРЕ450.

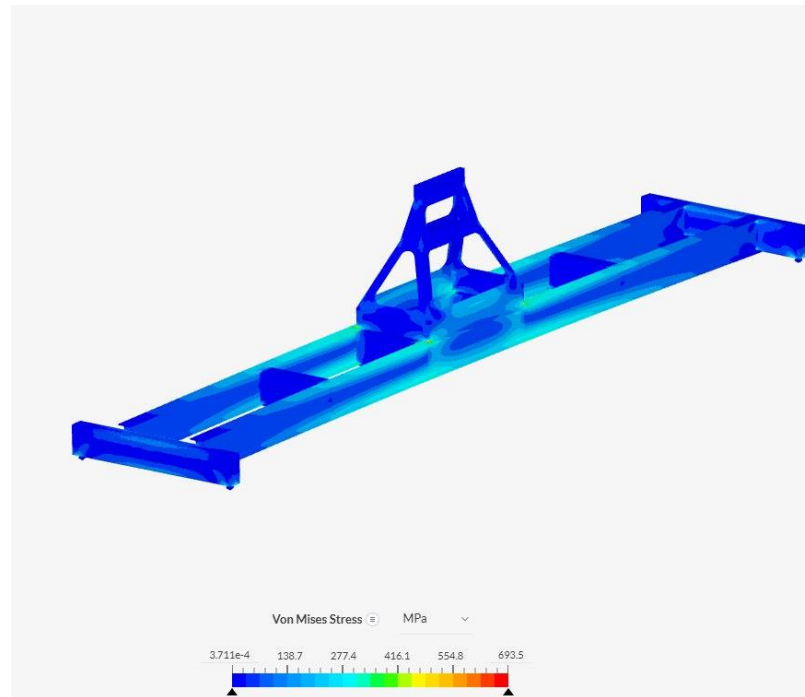


Рисунок 3.1.2 – Результат статичних навантажень на конструкцію другого прототипу траверса

Як показано на Рисунку 3.1.2 найбільше напруження присутнє у точках з'єднання кріплення траверса та основних балок, а саме 693,5 МПа. Провівши розрахунки:

$$k_{\text{без}} = \frac{F_M}{F_e} = \frac{250}{693,5} = 0,3605$$

Тобто порівнявши отриманий результат та мінімальний необхідний коефіцієнт, а саме 1,5, отримуємо конструкцію, яка непридатна до використання.

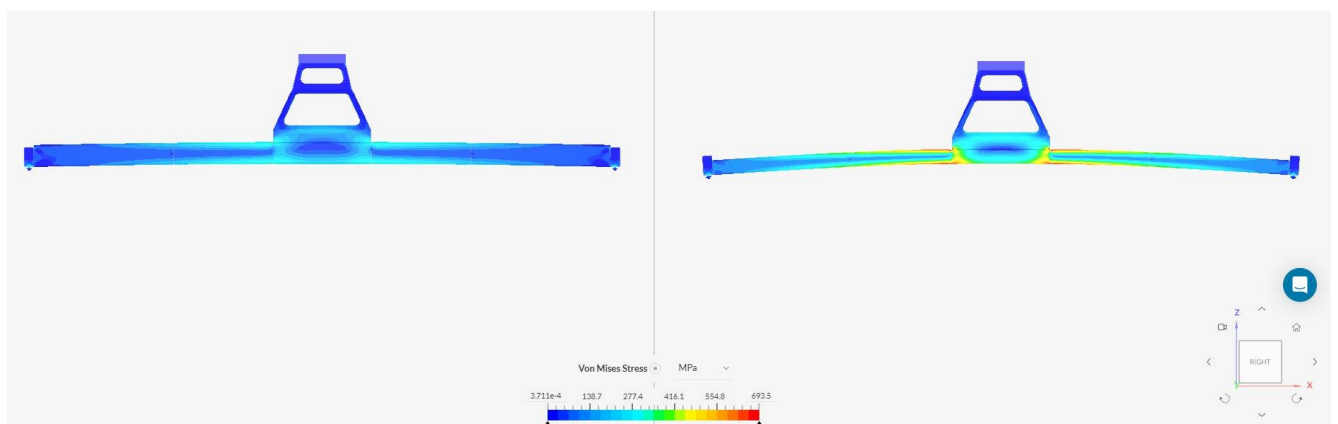


Рисунок 3.1.3 – Порівняння деформацій двох прототипів

Аналізуючі отримані дані з симуляцій деформацій двох прототипів робимо висновок, що збільшення розміру балки основи та з'єднуючих балок – погіршило ситуацію, адже конструкція траверсу у такому випадку зазнає більших навантажень, що призводить до значної деформації й подальшим руйнуванням.

Таким чином у наступному прототипі було перевірена концепція з наступними особливостями конструкції:

- несучі балки основи виконані з двотаврової балки ІРЕ550;
- з'єднуючі балки у кількості 6 штуки виготовлені з двотаврової балки ІРЕ550.

Аналізуючи симуляцію статичного навантаження, Рисунок 3.1.4, отримуємо максимальне значення напруження в конструкції 256,8 МПа. Провівши розрахунки:

$$k_{\text{без}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{е}}} = \frac{250}{256,8} = 0,9735$$

Тобто порівнявши отриманий результат та мінімальний необхідний коефіцієнт, а саме 1,5, отримуємо конструкцію, яка непридатна до використання. Конструкція цього прототипу не деформується, але має критичні точки. Пропонується в наступному четвертому прототипі розмір двотаврів залишити незмінними, кількість з'єднуючих балок зменшити до двох та розмістити в інших частинах траверса.

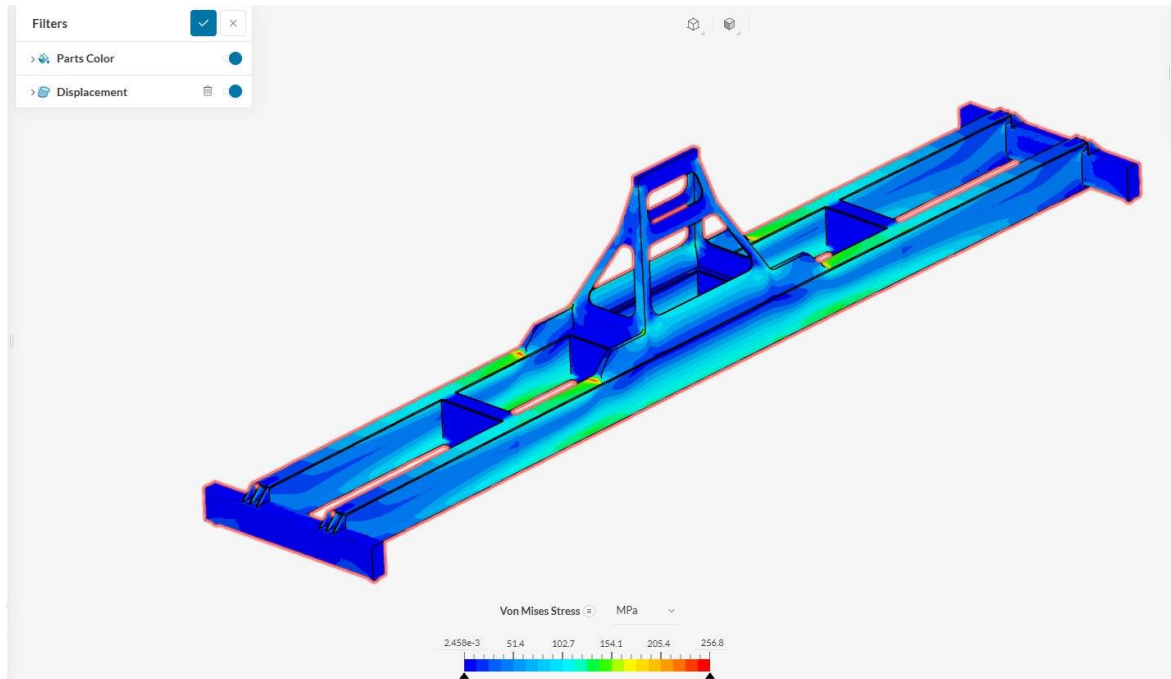


Рисунок 3.1.4 – Результат статичних навантажень на конструкцію третього прототипу траверса

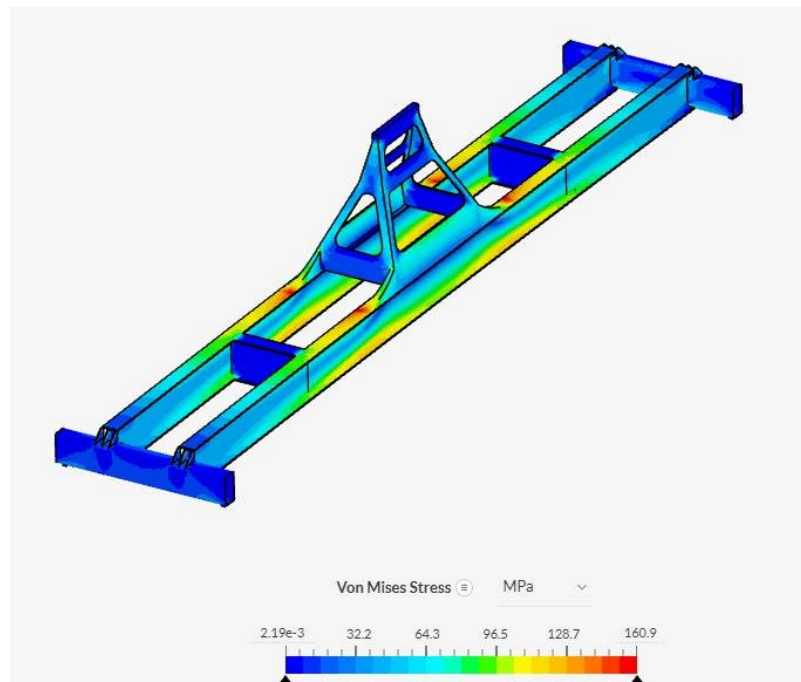


Рисунок 3.1.5 – Результат статичних навантажень на конструкцію четвертого прототипу траверса

Аналізуючі симуляцію статичного навантаження, Рисунок 3.1.5, отримуємо максимальне значення напруження в конструкції 160,9 МПа. Провівши розрахунки:

$$k_{\text{без}} = \frac{F_{\text{м}}}{F_{\text{е}}} = \frac{250}{160,9} = 1,5537$$

Тобто порівнявши отриманий результат та мінімальний необхідний коефіцієнт, а саме 1,5, отримуємо конструкцію, яка придатна до використання.

3.2 Формування програмного коду

У сучасному порту, де ефективність та швидкість обробки вантажів є критично важливими, автоматизовані системи управління промисловими роботами відіграють ключову роль. Серцем таких систем є мікроконтролер, а його "мозком" – спеціально розроблений програмний код.

Мікроконтролер постійно зчитує інформацію з різних датчиків робота: датчиків положення, сили, наближення, зображення з камер тощо. Програмний код інтерпретує ці дані, щоб робот міг "розуміти" своє оточення та стан. На основі отриманих даних та закладеної логіки програмний код дозволяє мікроконтролеру приймати рішення. Наприклад, який вантаж взяти, куди його перемістити, як уникнути зіткнень з іншими об'єктами чи людьми. Код перетворює прийняті рішення на конкретні команди для двигунів, гідравлічних систем, захватних пристроїв та інших виконавчих механізмів робота, забезпечуючи його рух та маніпуляції.

174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Автоматизована система керування промисловим роботом у порту

```
#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

// --- Налаштування пінів кнопок ---
#define BUTTON_1A_PIN PINA0
#define BUTTON_1B_PIN PINA1
#define BUTTON_2A_PIN PINA2
#define BUTTON_2B_PIN PINA3
#define BUTTON_3A_PIN PINA4
#define BUTTON_3B_PIN PINA5
#define BUTTON_4A_PIN PINA6
#define BUTTON_4B_PIN PINA7

// --- Налаштування пінів керування кроковими двигунами ---
// ПРИПУСТИМО, ЩО ДЛЯ КОЖНОГО ДВИГУНА ВИКОРИСТОВУЮТЬСЯ ДВА ЛІНИ ДЛЯ КЕРУВАННЯ НАПРЯМКОМ І
// КРОКОМ
// AF & AR (ВИКОРИСТОВУЄМО PB0 та PB1)
#define MOTOR_AFAR_DIR_PIN PB0
#define MOTOR_AFAR_STEP_PIN PB1
#define STEPS_PER_REVOLUTION_AFAR 200

// BF & BR (ВИКОРИСТОВУЄМО PB3 та PB4)
#define MOTOR_BFBR_DIR_PIN PB3
#define MOTOR_BFBR_STEP_PIN PB4
#define STEPS_PER_REVOLUTION_BFBR 200

// C (ВИКОРИСТОВУЄМО PB6 та PB7)
#define MOTOR_C_DIR_PIN PB6
#define MOTOR_C_STEP_PIN PB7
#define STEPS_PER_REVOLUTION_C 200

// D (ВИКОРИСТОВУЄМО PC1 та PC2)
#define MOTOR_D_DIR_PIN PC1
#define MOTOR_D_STEP_PIN PC2
#define STEPS_PER_REVOLUTION_D 200

// E (ВИКОРИСТОВУЄМО PC4 та PC5)
#define MOTOR_E_DIR_PIN PC4
#define MOTOR_E_STEP_PIN PC5
#define STEPS_PER_REVOLUTION_E 200

// --- Функція для виконання заданої кількості кроків ---
void step(volatile uint8_t *dir_port, uint8_t dir_pin, volatile uint8_t *step_port, uint8_t
step_pin, uint16_t steps) {
    for (uint16_t i = 0; i < steps; i++) {
        *step_port |= (1 << step_pin);
        _delay_ms(1); // затримка для формування імпульсу кроку
    }
}
```

Рисунок 3.2.1 – Програмний код до МК з налаштуванням пінів

Програмний код працює наступним чином:

- якщо натиснута кнопка 1А, то двигун "AF & AR" крутиться за часовою стрілкою на 180 градусів, а двигун "BF & BR" крутиться проти часової стрілки на 180 градусів. Обертання двигунів здійснюється, доки натиснута кнопка;
- якщо натиснута кнопка 1В, то двигун "AF&AR" крутиться проти годинниковою стрілкою на 180 градусів, а двигун "BF&BR" крутиться за часовою стрілкою на 180 градусів. Обертання двигунів здійснюється, доки натиснута кнопка;
- якщо натиснута кнопка 2А, то двигун "С" крутиться за годинниковою стрілкою на 90 градусів. Обертання двигуна здійснюється, поки натиснута кнопка;
- якщо натиснута кнопка 2В, то двигун "С" крутиться проти часниковою стрілкою на 90 градусів. Обертання двигуна здійснюється, поки натиснута кнопка (Рисунок 3.2.2);

174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Автоматизована система керування промисловим роботом у порту

```

        *step_port &= ~(1 << step_pin);
        _delay_ms(1); // затримка між кроками
    }
}

void setup() {
    // Налаштування пінів кнопок як входів з підтягувачими резисторами
    DDRA = 0x00;
    PORTA = 0xFF;

    // Налаштування пінів керування двигунами як виходів
    DDRB = 0xFF;
    DDRC = 0xFF;
}

void loop() {
    // --- Кнопка 1A ---
    if (!PINA & (1 << BUTTON_1A_PIN)) {
        // AF & AR за годинниковою на 180 градусів
        PORTB &= ~(1 << MOTOR_AFAR_DIR_PIN); // Покинути, що низький рівень - за
        годинниковою
        uint16_t steps_afar = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_AFAR;
        step(&PORTB, MOTOR_AFAR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_AFAR_STEP_PIN, steps_afar);

        // BF & BR проти годинникової на 180 градусів
        PORTB |= (1 << MOTOR_BFBR_DIR_PIN); // Покинути, що високий рівень - проти
        годинникової
        uint16_t steps_bfbr = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_BFBR;
        step(&PORTB, MOTOR_BFBR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_BFBR_STEP_PIN, steps_bfbr);

        while (!PINA & (1 << BUTTON_1A_PIN)); // Чекаємо, поки кнопку не відпустять
        _delay_ms(50); // Невелике затримання для усунення дребезгу
    }

    // --- Кнопка 1B ---
    if (!PINA & (1 << BUTTON_1B_PIN)) {
        // AF & AR проти годинникової на 180 градусів
        PORTB |= (1 << MOTOR_AFAR_DIR_PIN);
        uint16_t steps_afar = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_AFAR;
        step(&PORTB, MOTOR_AFAR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_AFAR_STEP_PIN, steps_afar);

        // BF & BR за годинниковою на 180 градусів
        PORTB &= ~(1 << MOTOR_BFBR_DIR_PIN);
        uint16_t steps_bfbr = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_BFBR;
        step(&PORTB, MOTOR_BFBR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_BFBR_STEP_PIN, steps_bfbr);

        while (!PINA & (1 << BUTTON_1B_PIN));
        _delay_ms(50);
    }

    // --- Кнопка 2A ---
    if (!PINA & (1 << BUTTON_2A_PIN)) {
        // Двигун C за годинниковою на 90 градусів
        PORTB &= ~(1 << MOTOR_C_DIR_PIN);
        uint16_t steps_c = (90.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_C;
        step(&PORTB, MOTOR_C_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_C_STEP_PIN, steps_c);

        while (!PINA & (1 << BUTTON_2A_PIN));
        _delay_ms(50);
    }
}

```

Рисунок 3.2.2 – Програмний код до МК з налаштуванням роботи кнопок

- якщо натиснута кнопка 3А, то двигун "D" крутиться за годинниковою стрілкою на 45 градусів. Обертання двигуна здійснюється, поки натиснута кнопка;
- якщо натиснута кнопка 3В, то двигун "D" крутиться проти годинниковою стрілкою на 45 градусів. Обертання двигуна здійснюється, поки натиснута кнопка;
- якщо натиснута кнопка 3А, то двигун "Е" крутиться за годинниковою стрілкою на 45 градусів. Обертання двигуна здійснюється, поки натиснута кнопка;

– якщо натиснута кнопка 3В, то двигун "Е" крутиться проти годинниковою стрілкою на 45 градусів (Рисунок 3.2.3).

```
// --- Кнопка 2В ---
if (1(PINA & (1 << BUTTON_2B_PIN))) {
    // Двигун С проти годинникової на 90 градусів
    PORTB |= (1 << MOTOR_C_DIR_PIN);
    uint16_t steps_c = (90.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_C;
    step(&PORTB, MOTOR_C_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_C_STEP_PIN, steps_c);

    while (1(PINA & (1 << BUTTON_2B_PIN)));
    _delay_ms(50);
}

// --- Кнопка 3А (для двигунів D та E) ---
if (1(PINA & (1 << BUTTON_3A_PIN))) {
    // Двигун D за годинниковою на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_D_DIR_PIN);
    uint16_t steps_d = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_D;
    step(&PORTC, MOTOR_D_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_D_STEP_PIN, steps_d);

    // Двигун E за годинниковою на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_E_DIR_PIN);
    uint16_t steps_e = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_E;
    step(&PORTC, MOTOR_E_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_E_STEP_PIN, steps_e);

    while (1(PINA & (1 << BUTTON_3A_PIN)));
    _delay_ms(50);
}

// --- Кнопка 3В (для двигунів D та E) ---
if (1(PINA & (1 << BUTTON_3B_PIN))) {
    // Двигун D проти годинникової на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_D_DIR_PIN);
    uint16_t steps_d = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_D;
    step(&PORTC, MOTOR_D_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_D_STEP_PIN, steps_d);

    // Двигун E проти годинникової на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_E_DIR_PIN);
    uint16_t steps_e = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_E;
    step(&PORTC, MOTOR_E_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_E_STEP_PIN, steps_e);

    while (1(PINA & (1 << BUTTON_3B_PIN)));
    _delay_ms(50);
}

_delay_ms(10); // Невелика затримка
}

int main(void) {
    setup();
    while (1) {
        loop();
    }
    return 0;
}
```

Рисунок 3.2.3 – Програмний код до МК з налаштуванням роботи кнопок

Сформувавши з програмного коду файл формату HEX, його було завантажено до Мікроконтролера у середовищі Proteus для попереднього тесту на працездатність. Аналізуючи отримані дані з симуляції бачимо біля порті синій квадрат – це означає, що порт підключений та сигнал до нього досягає, у разі активації кнопки (Рисунок 3.2.4).

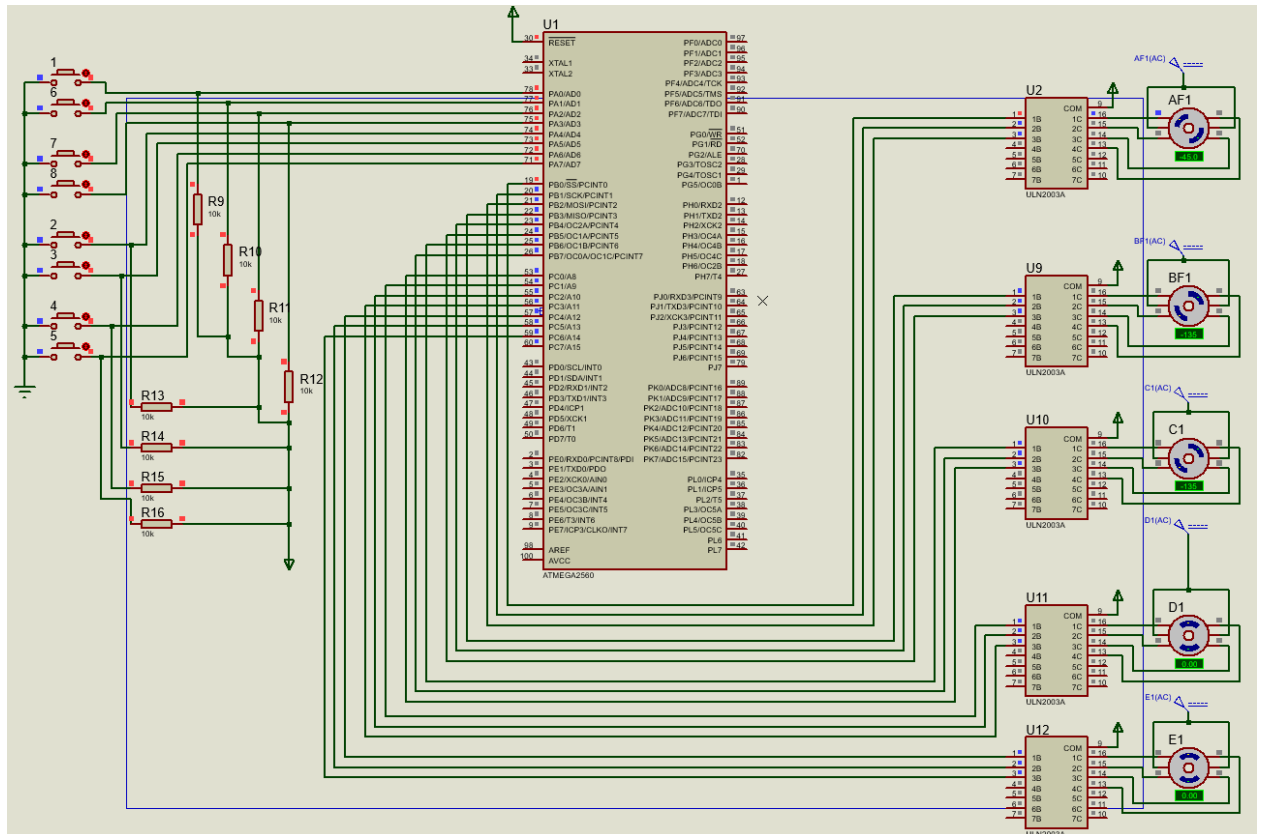


Рисунок 3.2.4 – Симуляція роботи програмного коду на макеті АСК у середовищі Proteus

Висновки до третього розділу

1. Проведено аналіз напружено-деформованого стану 3D моделей конструкцій у лінійній постановці дозволив не лише продемонструвати прототипи, а й обчислити коефіцієнти безпеки для кожного з них. Це дало змогу об'єктивно оцінити міцність та надійність конструкції, а також вибрати найбільш оптимальний прототип, який відповідає всім вимогам безпеки та експлуатації.

2. Проведено розробку та реалізацію програмного коду для мікроконтролера. Це програмне забезпечення забезпечує безперебійне та ефективне управління АС, дозволяючи точно контролювати всі процеси, обробляти дані з датчиків та реагувати на зміни в робочій середовищі. Також проведено тестування АСК у середовищі Proteus, попередньо завантаживши компільований код до МК макету в симуляторі.

4 ОХОРОНА ПРАЦІ У ПОРТАХ ТА СКЛАДСЬКИХ ПРИМІЩЕННЯХ

Безпека та здоров'я працівників є фундаментальними аспектами успішного функціонування будь-якого підприємства, особливо тих, що працюють у галузях з підвищеним ризиком. Порти та складські приміщення є осередками інтенсивної діяльності, де одночасно відбувається рух великовагової техніки, переміщення різноманітних вантажів, а також виконуються чисельні операції, що вимагають особливої уваги до деталей та неухильного дотримання правил безпеки. Специфіка цих об'єктів створює унікальний набір потенційних загроз, починаючи від ризиків, пов'язаних з падінням предметів та зіткненнями, до загроз, що виникають через роботу з небезпечними речовинами або в умовах обмеженого простору. [27]

4.1 Безпека праці при використанні контейнерних перевантажувачів

Контейнерний перевантажувач – це спеціалізований вантажопідйомний кран, призначений для швидкого та ефективного виконання операцій зі штабелювання, навантаження та розвантаження морських (іноді залізничних) контейнерів різних типорозмірів.

Основна функція такого обладнання – переміщення контейнерів між різними видами транспорту (наприклад, судна на залізничну платформу або вантажний автомобіль) та їх зберігання на спеціалізованих контейнерних терміналах. Контейнерні перевантажувачі зазвичай мають козлову (Г-подібну або П-подібну) конструкцію, що дозволяє їм переміщувати контейнери над значною площею. Вони оснащені спредером – спеціальним автоматичним захватним пристроєм, який кріпиться до контейнера за його кутові фітинги, забезпечуючи надійне та швидке захоплення та відпускання.

Існує кілька видів контейнерних перевантажувачів, серед яких найпоширенішими є:

- берегові контейнерні перевантажувачі (STS – Ship-to-Shore). Великогабаритні крани, що встановлюються на причалах для навантаження/розвантаження контейнерів з суден;
- козлові контейнерні перевантажувачі на пневмоколісному ходу (RTG – Rubber Tyred Gantry). Мобільні крани, що пересуваються на колесах і використовуються для штабелювання та переміщення контейнерів на контейнерних майданчиках;
- рейкові козлові контейнерні перевантажувачі (RMG – Rail Mounted Gantry). Схожі на RTG, але пересуваються по рейках, що забезпечує високу точність позиціонування та автоматизацію;
- річстакери (Reach Stacker). Мобільні машини, які можуть швидко переміщувати контейнери та штабелювати їх у кілька ярусів.

Завдяки спеціальній конструкції та системам автоматизації, контейнерні перевантажувачі забезпечують високу швидкість виконання вантажно-розвантажувальних операцій, що є важливим для ефективної роботи портів та терміналів. Сучасні системи управління дозволяють точно позиціонувати спредер, мінімізуючи коливання вантажу.

Робота контейнерного перевантажувача є однією з найвідповідальніших та потенційно небезпечних операцій на портових та складських терміналах. Щоб мінімізувати ризики та забезпечити безпеку персоналу, існують чіткі правила та заборони, яких необхідно неухильно дотримуватися. Недотримання цих вимог може призвести до серйозних аварій, пошкодження обладнання, вантажу та, найголовніше, до травмування чи загибелі працівників.

Під час експлуатації контейнерного перевантажувача категорично забороняється виконувати наступні дії: [28]

1. підіймати контейнер (вантаж), маса брутто якого невідома або викликає сумнів;
2. підіймати контейнер, з якого не зняті всі кріплення;

3. підіймати контейнер, якщо осьова вантажних канатів на ділянці від консолі до контейнера, що підіймається, не зберігає вертикального положення, а також розгойдувати контейнер для його установаження;
4. підіймати контейнерний захоплювач, не переконавшись по сигнальним пристроям (лампам тощо), що всі штикові замки знаходяться в однаковому положенні;
5. переміщати контейнер (вантаж) і контейнерний захоплювач по вертикалі та горизонталі ближче 1,0 м до зустрічних предметів;
6. переміщати контейнер (вантаж) над людьми та машинами;
7. підіймати і переміщати працівників;
8. завантажувати і розвантажувати причепи (контейнерні візки) під час знаходження працівників в кабіні тягача або машини;
9. завантажувати і розвантажувати залізничні платформи при знаходженні на них працівників;
10. підводити частини механізмів, що рухаються на великих швидкостях, до кінцевих вимикачів і упорів;
11. відключати прилади безпеки і гальма механізмів;
12. використовувати кінцеві вимикачі як робочі органи для автоматичної зупинки механізмів;
13. відривати контейнери, примерзлі або не відкріпленні від основи.

4.2 Вимоги до складування вантажів

Ефективна та безпечна організація складського господарства є пріоритетом у забезпеченні безперебійної роботи портових та складських терміналів. Правильне розміщення, штабелювання та зберігання вантажів не лише оптимізує використання простору, а й критично важливе для запобігання нещасним випадкам, пошкодженню майна та забезпеченню безпеки праці. Дотримання встановлених норм і правил у цій сфері є обов'язковим для всіх учасників логістичного процесу.

Перш за все, слід дотримуватися чітких вимог щодо мінімальних проходів та проїздів між штабелями та елементами споруд. Це забезпечує вільний доступ до вантажів, безпечне пересування персоналу та техніки, а також можливість оперативного реагування в надзвичайних ситуаціях. Так, проходи між штабелями, а також між штабелем та стіною (чи межею складу/майданчика) повинні становити не менше 1,0 м . Для забезпечення безперешкодного руху навантажувачів передбачаються проїзди між штабелями шириною 3,5 м , а центральні проїзди між групами штабелів та складами повинні бути ще ширшими – 6,0 м . Ці стандарти є запорукою вільного маневрування техніки та безпеки її експлуатації. [29]

Способи штабелювання вантажів повинні бути ретельно продумані та гарантувати максимальну безпеку проведення робіт. Фундаментальне правило – основа під штабель має бути горизонтальною , що запобігає його нахилу та обваленню.

Особлива увага приділяється вантажам у несправній тарі та упаковці . Їх необхідно складувати виключно у спеціально відведених місцях, окремими штабелями, висотою не більше одного ярусу. Це дозволяє уникнути пошкодження інших вантажів та мінімізувати ризики, пов'язані з розсипанням або витіканням вмісту.

Великогабаритні, великовагові, довгомірні вантажі та метали в пачках та зв'язках потребують специфічного підходу. Їх укладання обов'язково здійснюється на прокладки згідно з розробленою технологічною картою (РТК). Це забезпечує стійкість штабеля та запобігає його розвалюванню, що критично важливо для уникнення травмування працівників. Категорично забороняється змінювати положення підкладок та прокладок під вантажем, що вже висить над ними , оскільки це може призвести до втрати стійкості вантажу та неконтрольованого його падіння.

При формуванні штабеля в критому складському приміщенні, якщо технологія передбачає знаходження працівників на штабелі, необхідно забезпечити достатній простір над ними. Відстань між верхньою поверхнею штабеля та найнижчими частинами перекриття даного приміщення повинна бути не менше 2,0 м. Довжина меншої сторони верхньої поверхні штабеля, формування (розформування) якого відбувається за участю працівників на ньому, повинна становити не менше 5,0 м, забезпечуючи достатню площу для безпечного переміщення.

Для укриття штабелів слід використовувати лише справні брезенти або спеціальні знімні покрівлі, оснащені надійними пристроями для кріплення та ув'язки.

На відкритих складах є додаткові обмеження, пов'язані з погодними умовами. При швидкості вітру понад 15 м/с знаходження працівників на штабелі категорично забороняється. Навіть у більш сприятливих умовах, якщо працівники перебувають на штабелі на відстані менше 1,0 м від краю, вони обов'язково повинні використовувати засоби індивідуального захисту для запобігання падінню з висоти.

Складування та зберігання небезпечних вантажів вимагає особливого режиму та відповідає вимогам чинного законодавства, що регламентує способи перевезення та зберігання таких вантажів. Це стосується розмірів штабелів, проходів, проїздів та відстаней до будівель та споруд.

На відкритих складах, формування та розбирання штабеля, за умови знаходження на ньому працівників, повинно виконуватися пошарово на всій його площі, згідно з вимогами безпеки праці, які мають бути детально відображені в РТК.

Штабелювання великотоннажних контейнерів із ручним стропуванням має свої особливості. Для забезпечення безпеки під час підймання працівників на штабель, інший та наступні яруси повинні мати уступи, як мінімум, з одного боку в один контейнер.

Способи формування пакетів та штабелів вантажу в нестандартній тарі (упаковці) встановлюються відповідними РТК, що дозволяє врахувати специфіку таких вантажів.

Важливим аспектом є заборона знаходження працівників на штабелі при складуванні вантажів за допомогою кранів, обладнаних змінними вантажозахоплювальними органами з дистанційним керуванням (грейферами, електромагнітами, спредерами тощо) . Це правило є життєво важливим, оскільки така техніка працює з високою швидкістю та потужністю, створюючи значний ризик для працівників, що перебувають у зоні її дії.

Для навалочних вантажів обов'язковим є наявність огороження у вигляді підпирних (габаритних) стінок , що запобігає обсипанню вантажу та забрудненню території.

Складування контейнерів здійснюється відповідно до затверджених у порту схем та розміток складських майданчиків. Ці схеми регламентують розміри штабелів та відстані між ними в межах допустимих норм, залежно від умов вантажно-розвантажувальних робіт та використовуваних засобів механізації. Максимальна висота укладання контейнерів у штабель встановлюється відповідно до технічних характеристик самих контейнерів, але не повинна перевищувати шести ярусів по висоті .

Ключовим моментом при штабелюванні контейнерів є їхнє правильне встановлення: контейнери іншого та наступних ярусів по висоті необхідно встановлювати тільки фітингами днища на фітинги покрівлі контейнера попереднього ярусу . Допускається мінімальне зміщення фітингів – не більше 1/3 розміру фітингових гнізд , щоб забезпечити надійне з'єднання.

Враховуючи вплив вітрових навантажень, порожні контейнери складаються на спеціально відведених площадках з дотриманням особливих вимог: без додаткових кріплень дозволяється складування лише на два яруси по висоті. При штабелюванні на висоту в 3 яруси і більше контейнери обов'язково з'єднуються кріпильними засобами між собою, щоб уникнути зсуву та перекидання, що є критично важливим для безпеки.

Суворе дотримання всіх цих правил та норм є невід'ємною частиною ефективної системи охорони праці, що дозволяє мінімізувати ризики та забезпечити безпеку всіх операцій на портових та складських об'єктах.

Висновки до четвертого розділу

1. У ході опрацювання інформації щодо охорони праці у портах та складських приміщеннях було визначено основні вимоги та правила. А саме, безпека проведення вантажних операцій контейнерним навантажувачем, умови, які забороняють проведення операцій й вимоги, яких необхідно та неухильно дотримуватися у роботі.

2. Було опрацьовано інформацію щодо організації безпечного середовища у складських приміщеннях. А саме, вимоги до облаштування та розміщення штабелів з вантажами, а також процесу проведення формування та розформування штабелів.

ВИСНОВКИ

Результатом виконання магістерської наукової роботи:

1. Було опрацьовано та проаналізовано інформації про автоматизовані системи керування промисловими роботами у складських приміщеннях та порту. Опрацьовано інформацію щодо їх можливостей, сфер застосування та конструкційних особливостей. Також, було проведено патентний пошук існуючих прототипів. Визначено основні аспекти, що мають бути в системі.
2. Сформовано функціональну схему автоматизованої системи керування промисловим роботом у порту, де блоками представлені процеси, що відбуваються в окремих функціональних частинах. А також блок-схему алгоритму роботи, яка показує умови та результати, що відбуваються при різних подіях.
3. Було сформовано електрично принципову схему, що описує структуру для повного уявлення та склад АСК.
4. Отримавши необхідну інформацію про принцип роботи та варіанти виконання подібних АСК, було проведено 3D моделювання окремих ланок та аналітичним методом проведено підрахунок коефіцієнтів безпеки для визначення придатності конструкції до експлуатації в робочих режимах.
5. Сформовано специфікацію проєкту, що включає у себе компонування, що необхідне для формування АС промисловим роботом у порту. А саме, основні матеріали, компонування та їх кількість, що необхідні для формування технічного рішення.
6. Проведено аналіз напружено-деформованого стану 3D моделей конструкцій у лінійній постановці, що дозволив не лише продемонструвати прототипи, які були розроблені у ході виконання роботи, а й обчислити коефіцієнти безпеки для кожного з них. Це дало змогу об'єктивно оцінити міцність та надійність конструкції, а також вибрати найбільш оптимальний прототип, який відповідає всім вимогам безпеки та експлуатації.

7. Проведено розробку та реалізацію програмного коду для мікроконтролера. Використовуючи наявні методи моделювання, було сформовано макет АСК промисловим роботом у порту у програмному середовищі Proteus. Сформований код, компільований у потрібний формат, було завантажено до МК та проведено аналіз роботи схеми та програмного коду.

8. У ході опрацювання інформації щодо охорони праці у портах та складських приміщеннях було визначено основні вимоги та правила. Було опрацьовано інформацію щодо організації безпечного середовища у складських приміщеннях. А саме, вимоги до облаштування та розміщення штабелів з вантажами, а також процесу проведення формування та розформування штабелів.

Данні були апробовані на XIX міжнародній науковій конференції «Ольвійський форум – 2025».

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ

1. Осовський Д.І. Системи автоматичного управління судновими енергетичними установками. Київ, 2014. 348 с.
2. Булгаков А.В., Воробйов В.А. Промислові роботи. Кінематика, динаміка, контроль та управління. Київ : Солон-Прес, 2007. 488 с.
3. Кошель С.О., Ковальов Ю.А., Манойленко О.П. Проектування промислових роботів та маніпуляторів : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2023, 256 с.
4. Robotic truck unloading gets its due. URL: <https://www.dcvelocity.com/articles/57213-robotic-truck-unloading-gets-its-due> (дата звернення: 10.03.2025).
5. Пат. на винахід US20160376132A1 США. Deep Water Knuckle Boom Crane / John Hey. №15/262437; заявл. 29.12.2016. URL: <https://uspto.report/patent/app/20160376132> (дата звернення: 10.03.2025)
6. Функціональна схема. URL: https://dbn.co.ua/blog/funkcionalna_skhema/2016-12-07-13891 (дата звернення: 10.03.2025)
7. ДСТУ 3321:2003 Система конструкторської документації [Чинний від 2003-12-08]. Київ, 2005. 55 с. (Інформація та документація)
8. Блок-схема алгоритму. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%91%D0%BB%D0%BE%D0%BA-%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0> (дата звернення: 10.03.2025)
9. Принципова електрична схема. URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%9F%D1%80%D0%B8%D0%BD%D1%86%D0%B8%D0%BF%D0%BE%D0%B2%D0%B0_%D0%B5%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%B8%D1%87%D0%BD%D0%B0_%D1%81%D1%85%D0%B5%D0%BC%D0%B0#cite_note-GOST2702-1 (дата звернення: 10.03.2025)

- 2025 р. Күмпан Іллія

19. Специфікація. URL:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A1%D0%BF%D0%B5%D1%86%D0%B8%D1%84%D1%96%D0%BA%D0%B0%D1%86%D1%96%D1%8F> (дата звернення: 15.05.2025)
20. ДСТУ 9243.4:2023 Система проєктної документації для будівництва. Основні вимоги до проєктної документації [Чинний від 2024-04-01]. Київ, 2023. 59 с. (Інформація та документація)
21. DIN 1025:1994 Hot rolled I-beams. Dimensions, static values, permissible deviations. [Чинний від 1994-11]. Берлін, 1994. 4 с. (Інформація та документація)
22. ДСТУ 8940:2019 Труби сталеві профільні. [Чинний від 2019-11-13]. Київ, 2019. 25 с. (Інформація та документація)
23. ДСТУ 8540:2015 Прокат листовий гарячекатаний. Сортамент [Чинний від 2016-07-01]. Київ, 2016. 14 с. (Інформація та документація)
24. SimScale. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SimScale> (дата звернення: 01.06.2025)
25. Черниш О.М. Прикладна механіка. Частина I. Київ: ЦУЛ, 2022. 290 с.
26. Білик А.С., Ковалевська Е.А. Розрахунок сталевих конструкцій будівель відповідно до єврокоду 3 та національних додатків України посібник до ДСТУ-Н Б EN 1993-1-1:2010. Київ, 2017. 232 с.
27. Марчиниша Є.І., Войналович О.В. Охорона праці в галузі. Працезохоронні ділові ігри : навч. посіб. Київ : ЦУЛ, 2024. 204 с.
28. Про затвердження Мінімальних вимог щодо безпеки та здоров'я працівників під час виконання робіт у морських портах : Наказ Мінекономіки від 18.11.2020, №2352
29. Грибан В.Г., Негодченка О.В. Охорона праці. Київ : ЦУЛ, 2021. 280 с

ДОДАТОК А

Технічні характеристики 40-футового контейнеру

Довжина, мм	12 190
Ширина, мм	2 440
Висота, мм	2 590
Маса (пустого), кг	3 700
Максимальна вантажопідйомність, кг	26 700
Максимальна вага (брутто), кг	30 400

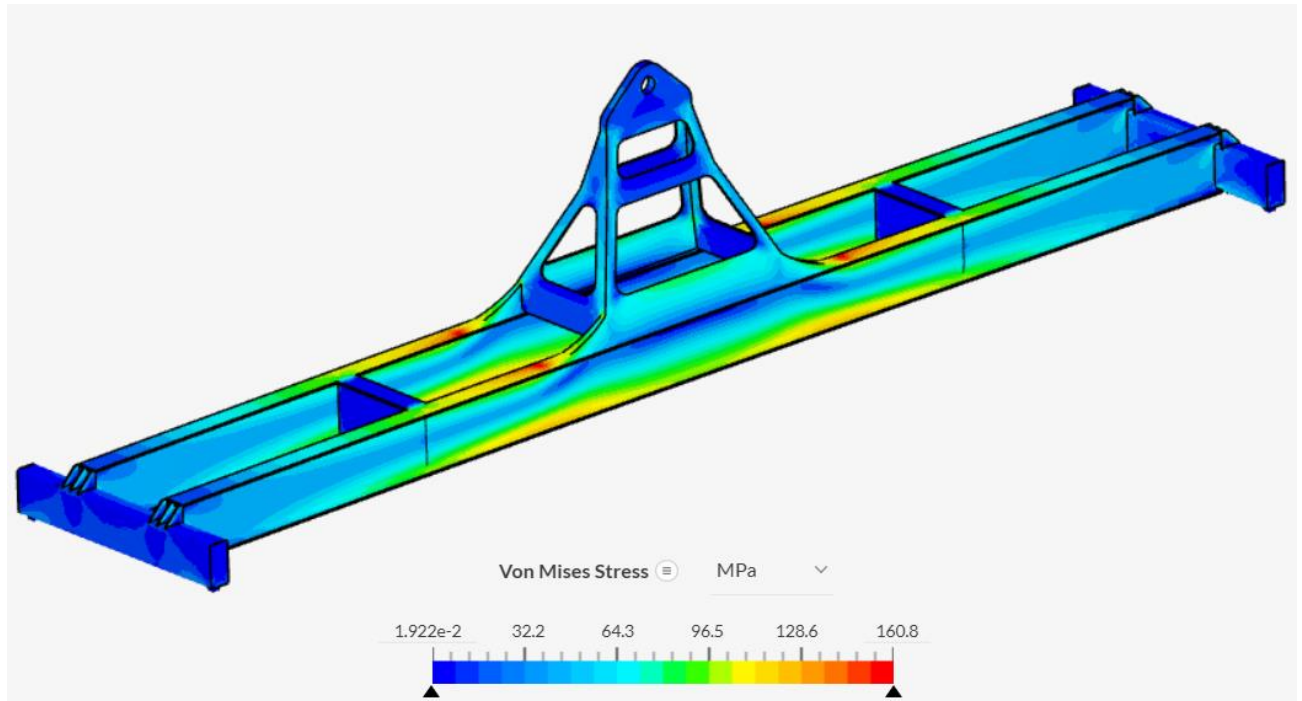
ДОДАТОК Б

Вихідні дані для розрахунку міцності траверса

Загальна вага вантажу, кг	31 000
Прискорення вільного падіння, м/с^2	9,81
Дія сили тяжіння, Н	304 110
Дія сили тяжіння на один бік, Н	152 055
Пружність сталі, МПа	250

ДОДАТОК В

Аналіз міцності конструкції траверса



174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Автоматизована система керування промисловим роботом у порту

ДОДАТОК Г

Габаритні розміри підіймальної ланки І

Довжина, мм	20 853
Висота, мм	3 632
Ширина, мм	1 500

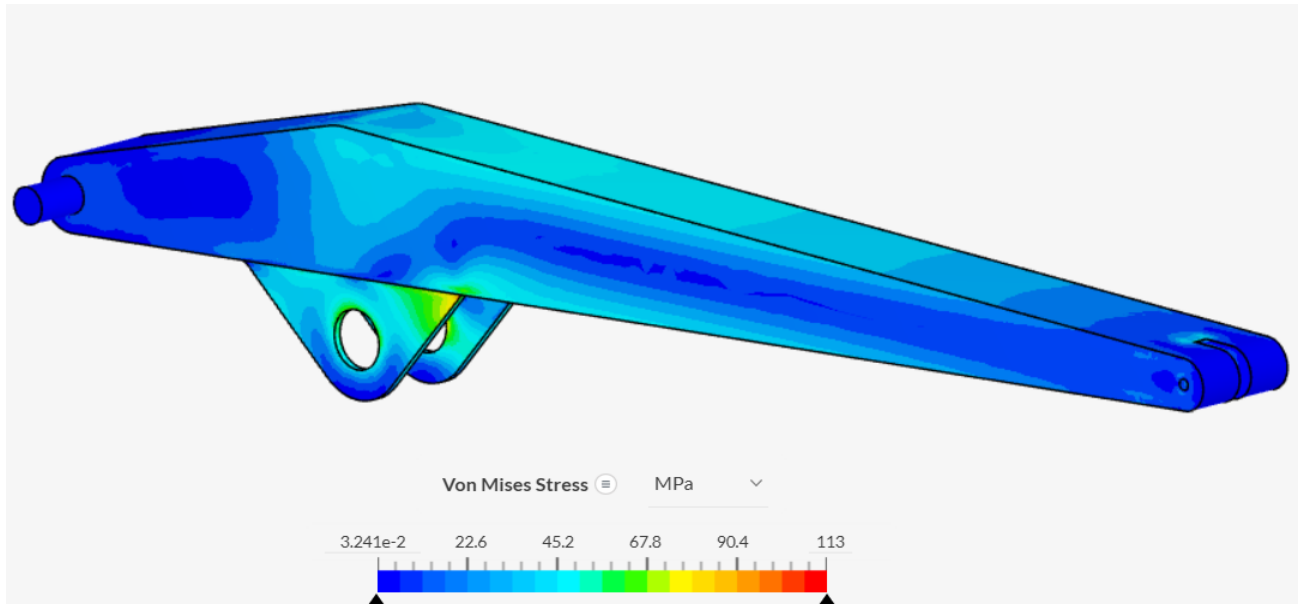
ДОДАТОК Г

Вихідні дані для розрахунку міцності підіймальної ланки І

Загальна вага вантажу, кг	34 878
Прискорення вільного падіння, м/с^2	9,81
Дія сили тяжіння, Н	342 153,18
Пружність сталі, МПа	250

ДОДАТОК Д

Аналіз міцності конструкції підіймальної ланки І



174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Автоматизована система керування промисловим роботом у порту

ДОДАТОК Е

Габаритні розміри підіймальної ланки II

Довжина, мм	38 500
Висота, мм	2 734
Ширина, мм	1 100

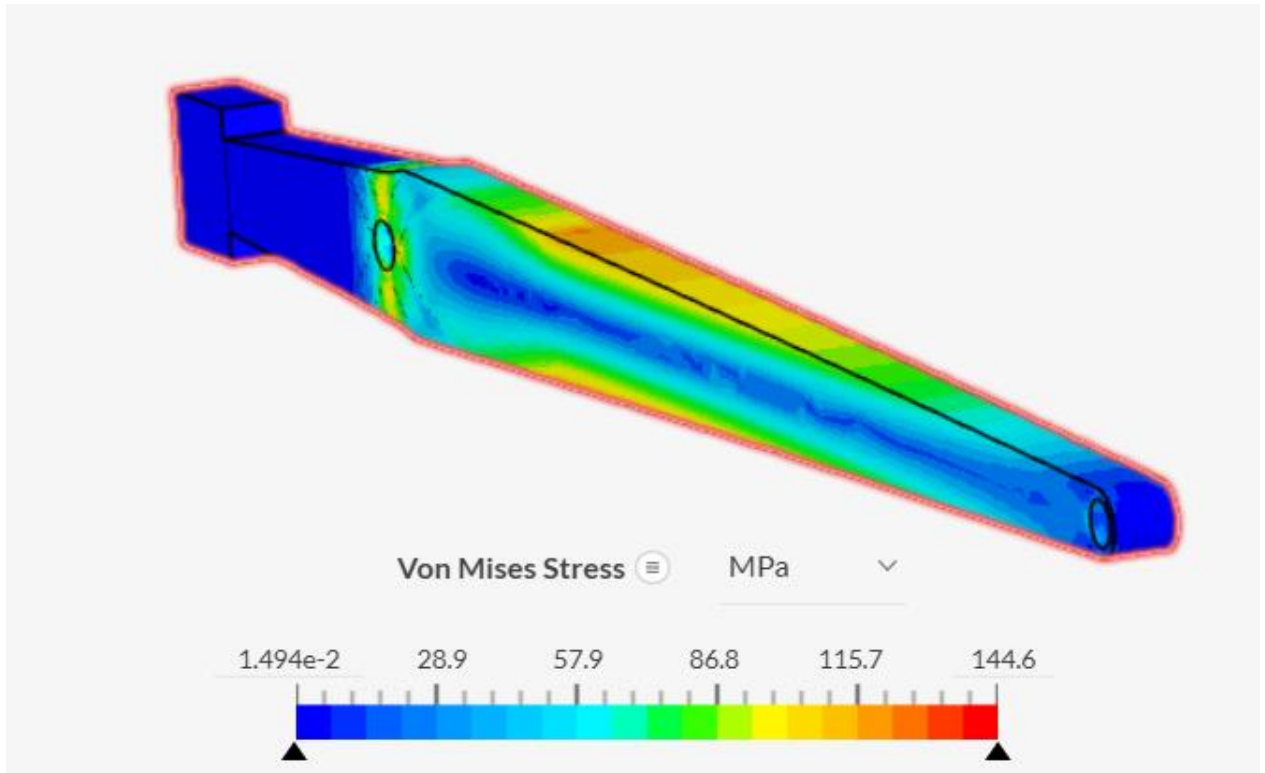
ДОДАТОК Є

Вихідні дані для розрахунку міцності підіймальної ланки II

Загальна вага вантажу, кг	91 057
Прискорення вільного падіння, м/с^2	9,81
Дія сили тяжіння, Н	893 269,17
Пружність сталі, МПа	250

ДОДАТОК Ж

Аналіз міцності конструкції підйомальної ланки II



ДОДАТОК 3

Технічні характеристики МК Atmega2560

Характеристика	Значення
Ядро	8-бітне AVR
Тактова частота (макс.)	16 МГц
Пам'ять програм (Flash)	256 КБ
Оперативна пам'ять (SRAM)	8 КБ
Енергонезалежна пам'ять (EEPROM)	4 КБ
Кількість виводів	100 (TQFP, CBGA)
Цифрові лінії введення/виведення (GPIO)	86
Аналогові входи (ADC)	16 каналів, 10-бітний
Апаратні послідовні порти (UART/USART)	4
Інтерфейс SPI	1
Інтерфейс I ² C (TWI)	1
8-бітні таймери/лічильники	2
16-бітні таймери/лічильники	4
ШИМ (PWM) канали (макс.)	16 (залежно від конфігурації)
Аналоговий компаратор	1
Напруга живлення	4.5 - 5.5 В
Діапазон робочих температур	-40°C до +85°C
Інтерфейс налагодження	JTAG
Лічильник реального часу (RTC)	Є (з окремим генератором)
Сторожовий таймер	Є (з окремим генератором)
Режими сну	6
Скидання	POR, BOD

174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
Автоматизована система керування промисловим роботом у порту

ДОДАТОК И

Специфікація проєкту

№	Найменування	Стандарт	Од.виміру	Кількість
1	Балка двотаврова ІРЕ550	DIN 1025	м.п.	25,78
2	Труба профільна 400×200×10	ДСТУ 8940:2019	м.п.	4,86
3	Лист гарячекатаний 16×1500×6000	ДСТУ 8540:2015	кг	1 590,00
4	Лист гарячекатаний 50×2000×6000	ДСТУ 8540:2015	кг	181 248,11
5	АТmega2560	ISO 9001	шт	1,00
6	Мобільний портовий кран	ISO 9001	шт	1,00

ДОДАТОК І.1

Програмний код до МК з налаштуванням роботи кнопок

```
#define F_CPU 16000000UL
#include <avr/io.h>
#include <util/delay.h>

// --- Налаштування пінів кнопок ---
#define BUTTON_1A_PIN PINA0
#define BUTTON_1B_PIN PINA1
#define BUTTON_2A_PIN PINA2
#define BUTTON_2B_PIN PINA3
#define BUTTON_3A_PIN PINA4
#define BUTTON_3B_PIN PINA5
#define BUTTON_4A_PIN PINA6
#define BUTTON_4B_PIN PINA7

// --- Налаштування пінів керування кроковими двигунами ---
// Припустимо, що для кожного двигуна використовуються два ліни для керування напрямком і кроком
// AF & AR (використовуються PB0 та PB1)
#define MOTOR_AFR_DIR_PIN PB0
#define MOTOR_AFR_STEP_PIN PB1
#define STEPS_PER_REVOLUTION_AFR 200

// BF & BR (використовуються PB3 та PB4)
#define MOTOR_BFR_DIR_PIN PB3
#define MOTOR_BFR_STEP_PIN PB4
#define STEPS_PER_REVOLUTION_BFR 200

// C (використовуються PB6 та PB7)
#define MOTOR_C_DIR_PIN PB6
#define MOTOR_C_STEP_PIN PB7
#define STEPS_PER_REVOLUTION_C 200

// D (використовуються PC1 та PC2)
#define MOTOR_D_DIR_PIN PC1
#define MOTOR_D_STEP_PIN PC2
#define STEPS_PER_REVOLUTION_D 200

// E (використовуються PC4 та PC5)
#define MOTOR_E_DIR_PIN PC4
#define MOTOR_E_STEP_PIN PC5
#define STEPS_PER_REVOLUTION_E 200

// --- Функція для виконання заданої кількості кроків ---
void step(volatile uint8_t *dir_port, uint8_t dir_pin, volatile uint8_t *step_port, uint8_t step_pin, uint16_t steps) {
    for (uint16_t i = 0; i < steps; i++) {
        *step_port |= (1 << step_pin);
        _delay_ms(1); // затримка для формування імпульсу кроку
    }
}
```

ДОДАТОК І.2

Програмний код до МК з налаштуванням роботи кнопок

```

    *step_port &= ~(1 << step_pin);
    _delay_ms(1); // затримка між кроками
  }
}

void setup() {
  // Налаштування пінів кнопок як входів з підтягувачими резисторами
  DDRA = 0x00;
  PORTA = 0xFF;

  // Налаштування пінів керування двигунами як виходів
  DDRB = 0xFF;
  DDRC = 0xFF;
}

void loop() {
  // --- Кнопка 1A ---
  if (!(PINA & (1 << BUTTON_1A_PIN))) {
    // AF & AR за годинниковою на 180 градусів
    PORTB &= ~(1 << MOTOR_AFAR_DIR_PIN); // Покинути, що низький рівень - за
    годинниковою
    uint16_t steps_afar = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_AFAR;
    step(&PORTB, MOTOR_AFAR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_AFAR_STEP_PIN, steps_afar);

    // BF & BR проти годинникової на 180 градусів
    PORTB |= (1 << MOTOR_BFBR_DIR_PIN); // Покинути, що високий рівень - проти
    годинникової
    uint16_t steps_bfbr = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_BFBR;
    step(&PORTB, MOTOR_BFBR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_BFBR_STEP_PIN, steps_bfbr);

    while (!(PINA & (1 << BUTTON_1A_PIN))); // Чекаємо, поки кнопку не відпустять
    _delay_ms(50); // Невелике затримання для усунення дребезгу
  }

  // --- Кнопка 1B ---
  if (!(PINA & (1 << BUTTON_1B_PIN))) {
    // AF & AR проти годинникової на 180 градусів
    PORTB |= (1 << MOTOR_AFAR_DIR_PIN);
    uint16_t steps_afar = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_AFAR;
    step(&PORTB, MOTOR_AFAR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_AFAR_STEP_PIN, steps_afar);

    // BF & BR за годинниковою на 180 градусів
    PORTB &= ~(1 << MOTOR_BFBR_DIR_PIN);
    uint16_t steps_bfbr = (180.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_BFBR;
    step(&PORTB, MOTOR_BFBR_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_BFBR_STEP_PIN, steps_bfbr);

    while (!(PINA & (1 << BUTTON_1B_PIN)));
    _delay_ms(50);
  }

  // --- Кнопка 2A ---
  if (!(PINA & (1 << BUTTON_2A_PIN))) {
    // Двигун C за годинниковою на 90 градусів
    PORTB &= ~(1 << MOTOR_C_DIR_PIN);
    uint16_t steps_c = (90.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_C;
    step(&PORTB, MOTOR_C_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_C_STEP_PIN, steps_c);

    while (!(PINA & (1 << BUTTON_2A_PIN)));
    _delay_ms(50);
  }
}

```

ДОДАТОК І.3

Програмний код до МК з налаштуванням роботи кнопок

```
// --- Кнопка 2B ---
if (1(PINA & (1 << BUTTON_2B_PIN))) {
    // Двигун С проти годинникової на 90 градусів
    PORTB |= (1 << MOTOR_C_DIR_PIN);
    uint16_t steps_c = (90.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_C;
    step(&PORTB, MOTOR_C_DIR_PIN, &PORTB, MOTOR_C_STEP_PIN, steps_c);

    while (1(PINA & (1 << BUTTON_2B_PIN)));
    _delay_ms(50);
}

// --- Кнопка 3A (для двигунів D та E) ---
if (1(PINA & (1 << BUTTON_3A_PIN))) {
    // Двигун D за годинниковою на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_D_DIR_PIN);
    uint16_t steps_d = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_D;
    step(&PORTC, MOTOR_D_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_D_STEP_PIN, steps_d);

    // Двигун E за годинниковою на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_E_DIR_PIN);
    uint16_t steps_e = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_E;
    step(&PORTC, MOTOR_E_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_E_STEP_PIN, steps_e);

    while (1(PINA & (1 << BUTTON_3A_PIN)));
    _delay_ms(50);
}

// --- Кнопка 3B (для двигунів D та E) ---
if (1(PINA & (1 << BUTTON_3B_PIN))) {
    // Двигун D проти годинникової на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_D_DIR_PIN);
    uint16_t steps_d = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_D;
    step(&PORTC, MOTOR_D_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_D_STEP_PIN, steps_d);

    // Двигун E проти годинникової на 45 градусів
    PORTC |= (1 << MOTOR_E_DIR_PIN);
    uint16_t steps_e = (45.0 / 360.0) * STEPS_PER_REVOLUTION_E;
    step(&PORTC, MOTOR_E_DIR_PIN, &PORTC, MOTOR_E_STEP_PIN, steps_e);

    while (1(PINA & (1 << BUTTON_3B_PIN)));
    _delay_ms(50);
}

_delay_ms(10); // невелика затримка
}

int main(void) {
    setup();
    while (1) {
        loop();
    }
    return 0;
}
```