

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ

Навчально-науковий інститут інженерної механіки, автоматизації та  
комп'ютерно-інтегрованих технологій

Кафедра аграрної та лісової інженерії

## Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи на тему

## Розроблення пристрою для розвертання великогабаритних вантажів

**Виконав:** студент групи ЛП-61м  
спеціальності 131 Галузеве  
машинобудування  
освітньо-професійної програми  
Промисловий інжиніринг  
Кравців Д. А.

**Керівник:** *Магура Б. О.*

**Рецензент:** \_\_\_\_\_  
*Гасій О.Б.*  
(прізвище та ініціали)

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**НАЦІОНАЛЬНИЙ ЛІСОТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ**

Навчально-науковий інститут інженерної механіки, автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій

Кафедра аграрної та лісової інженерії


Рівень вищої освіти другий (магістерський) рівень

Спеціальність 133 Галузеве машинобудування

Освітньо-професійна програма Промисловий інжиніринг

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**В. о. завідувача кафедри АЛІ**

 **доц. Бакай Б. Я.**

“ 02 ” жовтня 2025 року

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ**

Кравціву Дмитру Андрійовичу

1. Тема роботи Розроблення пристрою для розвертання великогабаритних вантажів

керівник роботи Магура Богдан Олексійович, канд. техн. наук,  
 затверджені наказом університету від “ 29 ” липня 2025 року № С-462

2. Термін подання студентом роботи 16 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи базове підприємство – ТОВ “Е-ВІНГС”, об’єкт дослідження – процеси та обладнання для переміщення великовагових вантажів запропонувати і розробити устаткування для розвертання великовагових вантажів з використанням САД-систем; дослідження технічних елементів.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

1. Стан питання за напрямом дослідження

2. Механізація вантажно-розвантажувальних робіт з великоваговими вантажами

3. Розроблення пристрою для розвертання великогабаритних вантажів

4. Висновки

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов’язкових креслень)

1. Креслення запропонованої конструкції устаткування (2 арк.)

2. 3D модель елемента конструкції (1 арк.)

3. Діаграма розрахунку запасу міцності Solidworks Simulation (1 арк.).

## 6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видів	завдання прийня
1	Магура Б.О., доцент кафедри	02.10.25	
2	Магура Б.О., доцент кафедри	21.10.25	
3	Магура Б.О., доцент кафедри	18.11.25	

7. Дата видачі завдання 02.10.2025 р.

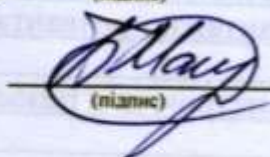
## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Ч. ч.	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1	Стан питання за напрямом дослідження	02.10.2025-20.10.2025 р.	
2	Механізація вантажно-розвантажувальних робіт з великогаговими вантажами	21.10.2025-17.11.2025 р.	
3	Розроблення пристрою для розвертання великогабаритних вантажів	18.11.2025-08.12.2025 р.	
4	Формування висновків та оформлення кваліфікаційної роботи	09.12.2025-15.12.2025 р.	

Студент


  
(підпис)
Кравців Д. А.

Керівник роботи


  
(підпис)
Магура Б.О.

## РЕФЕРАТ

**Кваліфікаційна робота магістра:** 55 с., 3 ч., 7 табл., 27 рис., 1 дод., 15 джерел.

**Тема:** Розроблення пристрою для розвертання великогабаритних вантажів

ВЕЛИКОВАГОВИЙ ВАНТАЖ, СИСТЕМА КОВЗНОГО ПЕРЕМІЩЕННЯ, ПОВОРОТНИЙ МЕХАНІЗМ, ГІДРОЦИЛІНДР, ШТОВХАЧ

**Об'єкт дослідження** – процеси переміщення великовагових вантажів у промислових умовах

**Мета роботи** – розроблення пристрою для розвертання великогабаритних та великовагових вантажів

**Методи дослідження (проекткування)** – аналіз даних про засоби та способи виконання навантажувально-розвантажувальних операцій, наукової та спеціальної літератури з проблем переміщення великовагових вантажів; спостереження; порівняння; узагальнення; перевіркові розрахунки елементів конструкції запропонованого поворотного механізму.

Проведено аналіз засобів і способів переміщення великогабаритних і великовагових вантажів, наведено основні особливості використання та характеристики різноманітної кранової техніки призначеної для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт. Розглянуто організаційні та технічні особливості виконання переміщувальних операцій з великоваговими вантажами з використанням Skidding systems (систем ковзного переміщення). Запропоновано конструкцію пристрою для розвертання великовагових вантажів. Проведено перевіркові розрахунки елементів конструкції поворотного механізму та визначено основні зусилля в конструкції проєктованого обладнання.

## ABSTRACT

**Master's qualifying thesis:** 55 p., 3 ch., 7 tbl., 27 ill., 1 add., 15 literature sources.

**Thesis topic:** Development of a device for turning large-sized loads  
LARGE-SIZED LOAD, SKIDDING SYSTEM, TURNING DEVICE,  
HYDRAULIC CYLINDER, PUSHER

**Study subject** – Processes for movement of heavy loads in industrial conditions.

**Research objective** – Development of a device for handling large and heavy loads

**Research methods** – analysis of data on the means and methods of performing loading and unloading operations, scientific and specialized literature on the problems of transportation and loading of heavy loads cargo; observation; comparison; generalization; verification calculations of the design elements of the proposed turning device.

The analysis of means and methods of moving large and heavy loads has been carried out, the main features of use and characteristics of various crane equipment for loading and unloading operations has been given. The organizational and technical features of performing moving operations with heavy loads using Skidding systems has been considered. The design of a device for turning heavy loads has been proposed. Verification calculations of the structural elements of the turning mechanism has been carried out and the main forces in the design of the designed equipment are determined.

## ЗМІСТ

РЕФЕРАТ .....	1
ЗМІСТ .....	6
ВСТУП .....	8
1 СТАН ПИТАННЯ З ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМАТИКИ.....	9
1.1. Загальна класифікація підіймально-транспортних машин .....	9
1.2. Особливості використання вантажопідіймальних кранів.....	12
1.3. Застосування та роль мостових кранів у промисловості .....	14
1.3. Призначення та сфери застосування козлових кранів .....	17
1.4. Порівняльний техніко-економічний аналіз мостових і козлових кранів .	20
1.5. Особливості застосування кабельних кранів .....	22
1.6. Особливості застосування стрілових кранів .....	23
2. МЕХАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ З ВЕЛИКОВАГОВИМИ ВАНТАЖАМИ .....	3 26
2.1. Основні принципи механізації навантажувально-розвантажувальних робіт .....	26
2.2. Вантажні роботи з металевими та великоваговими вантажами.....	29
2.3. Skidding systems (системи ковзного переміщення) для транспортування великовагових вантажів.....	32
2.3.1. Основні елементи систем ковзного переміщення .....	33
2.3.2. Принцип дії систем ковзного переміщення .....	34
2.3.3. Призначення та сфери застосування систем ковзного переміщення ....	35
2.3.4. Техніко-економічні переваги і недоліки систем ковзного переміщення.....	36

3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ РОЗВЕРТАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ .....	38
3.1. Обґрунтування вибору конструкції пристосувань, для переміщення великогабаритного та великовагового обладнання .....	38
3.2. Опис конструкції системи ковзання та поворотної системи .....	39
3.3. Перевірковий розрахунок елементів конструкції устаткування .....	44
3.3.1. Розрахунок зусиль в системі .....	44
3.3.2. Перевірковий розрахунок елементів кріплення гідроциліндра .....	46
3.3.3. Перевірковий розрахунок осі кріплення гідроциліндра .....	48
3.3.4. Перевірковий розрахунок вуха кріплення гідроциліндра.....	50
ВИСНОВКИ.....	52
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....	53
ДОДАТКИ.....	55

## ВСТУП

Сучасний розвиток промисловості, енергетики, будівництва та транспортної інфраструктури супроводжується зростанням маси й габаритів технологічного обладнання, металоконструкцій та машинних агрегатів. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває питання безпечного, точного та економічно ефективного переміщення великовагових вантажів на всіх етапах виробничого процесу — від транспортування і зберігання до монтажу та введення в експлуатацію.

Традиційні вантажопідіймальні засоби, зокрема мостові, козлові та стрілові крани, не завжди можуть бути ефективно використані через обмеження за вантажопідйомністю, висотою підйому, габаритами робочої зони або через підвищені вимоги до міцності фундаментів і перекриттів. У таких умовах перспективним напрямом механізації вантажно-монтажних робіт є застосування систем ковзного переміщення — *skidding systems*, які забезпечують горизонтальне транспортування вантажів надвеликої маси з високою точністю та контрольованістю руху.

*Skidding systems* широко застосовуються під час монтажу турбін, генераторів, трансформаторів, реакторів, прокатних станів та іншого важкого промислового обладнання, особливо в умовах обмеженого простору або реконструкції діючих підприємств. Використання таких систем дозволяє зменшити пікові навантаження на будівельні конструкції, підвищити рівень безпеки виконання робіт, скоротити тривалість монтажних операцій і знизити загальні витрати.

Незважаючи на значний практичний потенціал систем ковзного переміщення, питання їхнього технічного обґрунтування, вибору параметрів, організації робіт та порівняння з традиційними крановими технологіями потребують системного наукового аналізу. Це і зумовлює актуальність теми кваліфікаційної роботи.

# 1 СТАН ПИТАННЯ З ДОСЛІДЖУВАНОЇ ТЕМАТИКИ

## 1.1. Загальна класифікація підйимально-транспортних машин

Технологічний процес у матеріальному виробництві супроводжується переміщенням значних обсягів вантажів — від початкової сировини до готової продукції, що є характерним практично для всіх галузей промисловості. Під час виконання навантажувально-розвантажувальних робіт важливу роль відіграють системи засобів механізації.

Сьогодні розроблено широкий спектр машин і спеціалізованих пристроїв, призначених для механізації навантажувально-розвантажувальних робіт.

У зв'язку з цим виникає потреба в попередній загальній класифікації засобів механізації, запропонованих промисловістю, з урахуванням конкретних умов їх експлуатації.

Наявність великої номенклатури засобів механізації навантажувально-розвантажувальних робіт ускладнює вибір машин і механізмів, які є найбільш доцільними для застосування в певних виробничих умовах. Тому загальна класифікація таких засобів є необхідною, проте недостатньою умовою їх раціонального вибору.

У зв'язку з цим виникає потреба віднесення засобів механізації до відповідних груп за сукупністю основних характерних ознак, які уточнюють загальну класифікацію.

До таких ознак належать:

- категорія або вид вантажу, що перевозиться автомобільним транспортом;
- ступінь рухомості механізму під час навантаження та розвантаження вантажів;
- принцип дії основного робочого органу навантажувально-розвантажувального механізму.

На рисунку 1.1 подано класифікацію навантажувально-розвантажувальних засобів залежно від виду вантажу, а також класифікацію допоміжних і найпростіших пристроїв та пристосувань.

Відповідно до загальної класифікації розрізняють три основні групи обладнання:

- вантажопідіймальні,
- транспортні
- навантажувально-розвантажувальні машини,

До навантажувально-розвантажувальних засобів також відносять допоміжні засоби і пристрої.

Вантажопідіймальні машини – це машини циклічної або переривчастої дії, у яких робочі операції чергуються з паузами, і які призначені для піднімання та переміщення вантажів.

Залежно від призначення, характеру виконуваних операцій і сфери застосування вантажопідіймальні машини поділяють на окремі класи.

Зазначені машини широко застосовуються для виконання навантажувально-розвантажувальних і складських операцій з різними видами вантажів, зокрема пакетованими та контейнерними, металевими і збірними залізобетонними конструкціями, сипкими та штучними матеріалами, а також лісоматеріалами.

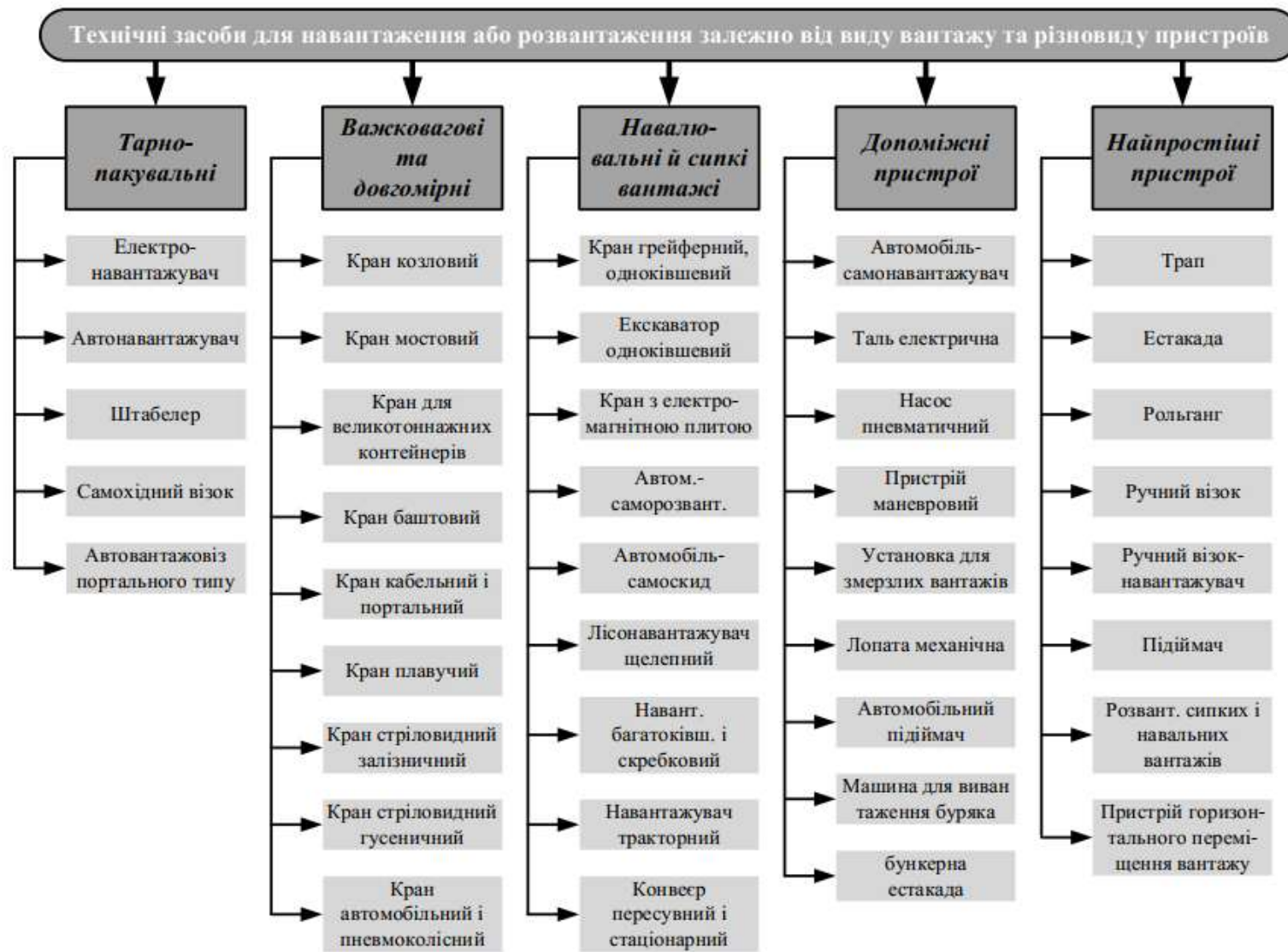


Рисунок 1.1 – Класифікація навантажувально-розвантажувальних засобів

## 1.2. Особливості використання вантажопідіймальних кранів

Одним із найбільш поширених засобів механізації навантажувально-розвантажувальних робіт на промислових підприємствах, будівельних майданчиках, у морських і річкових портах, а також на автомобільному й залізничному транспорті є вантажопідіймальні крани.

Крани належать до універсальних вантажопідіймальних машин циклічної дії. Вони складаються з несучої конструкції (каркасу) та комплексу змонтованих на ній механізмів, за допомогою яких здійснюється піднімання і переміщення вантажів у вертикальному та горизонтальному напрямках на порівняно невеликі відстані.

Крани характеризуються універсальністю використання, що зумовлює їх значне поширення на промислових підприємствах, будівельних майданчиках, у морських і річкових портах, а також на автомобільному та залізничному транспорті. Класифікацію кранів здійснюють за рядом основних техніко-експлуатаційних ознак, які наведені в таблиці 1.1.

Кранова техніка знаходить широке застосування в різних галузях промислового виробництва, гірничодобувному комплексі, будівництві, а також у складських і перевантажувальних господарствах. Вантажопідіймальні крани призначені для переміщення різноманітних видів вантажів — від сипких матеріалів до важких і великогабаритних металевих заготовок, зокрема слябів.

Вантажопідіймальні крани є основним засобом механізації підйомно-транспортних і навантажувально-розвантажувальних робіт.

До кранової техніки висуваються високі вимоги щодо якості виготовлення, надійності, продуктивності та довговічності. Ці вимоги обумовлюють необхідність ретельного проєктування і виготовлення кожного елемента, вузла чи одиниці кранового обладнання.

Таблиця 1.1 – Класифікація вантажопідіймальних кранів

за конструкцією:						
мостовий	стріловий		кран-штабелер		кран з несучими канатами	
за можливістю переміщення:						
пересувний	стаціонарний	самопідйомний	переставний	самохідний (мобільний)	причіпний	
за конструкцією ходового пристрою:						
рейковий	залізничний	автомобільний	гусеничний	пневмоколісний	крокуючий	плавучий
за типом приводних механізмів:						
машинний			ручний			
за конструкцією вантажозахоплювального органу:						
гаковий	магнітний	грейферний	кліщовий	траверсний	з автоматичними захватами	
за призначенням:						
загального користування (застосовувані на виробництві)			спеціального призначення (застосовувані в умовах агресивного впливу середовища)			
за способом управління:						
керовані з кабіни		керовані з підлоги (за допомогою підвісної кнопкової станції або ручного приводу)			дистанційно та автоматично (за заданою програмою)	

Залежно від конструктивного виконання, вантажопідіймальності та експлуатаційних характеристик розрізняють кілька типів вантажопідіймальних кранів, що визначає доцільність їх застосування в конкретних виробничих умовах.

До найбільш поширених типів вантажопідіймальних кранів належать:

- порталні;
- контейнерні;
- мостові (однбалкові та двобалкові);
- консольні;
- козлові;

- стрілові;
- гідравлічні.

Окрім цього, класифікація кранів здійснюється за видом вантажозахоплювального органа.

За цією ознакою розрізняють:

- загальнопромислові (гакові) крани;
- магнітні;
- грейферні;
- зі знімними вантажозахоплювальними пристроями;
- мульдозавалочні (спеціалізоване кранове обладнання, що використовується в металургії для завантаження (завалки) шихти (брухту, флюсів) у сталеплавильні печі (переважно мартенівські).

Нижче наведемо сфери застосування і конструктивні особливості деяких з цих кранів.

### **1.3. Застосування та роль мостових кранів у промисловості**

Одними з найпоширеніших і найефективніших вантажопідіймальних засобів є мостові крани.

Мостовий кран (рис. 1.2) є високопродуктивною вантажопідіймально-транспортною машиною, призначеною для виконання підйомно-транспортних операцій з тарно-пакувальними, штучними, великовантажними, навалочними та іншими видами вантажів. Цей тип кранів набув широкого застосування на контейнерних майданчиках, складах металопродукції та лісоматеріалів, а також на промислових підприємствах різного профілю.

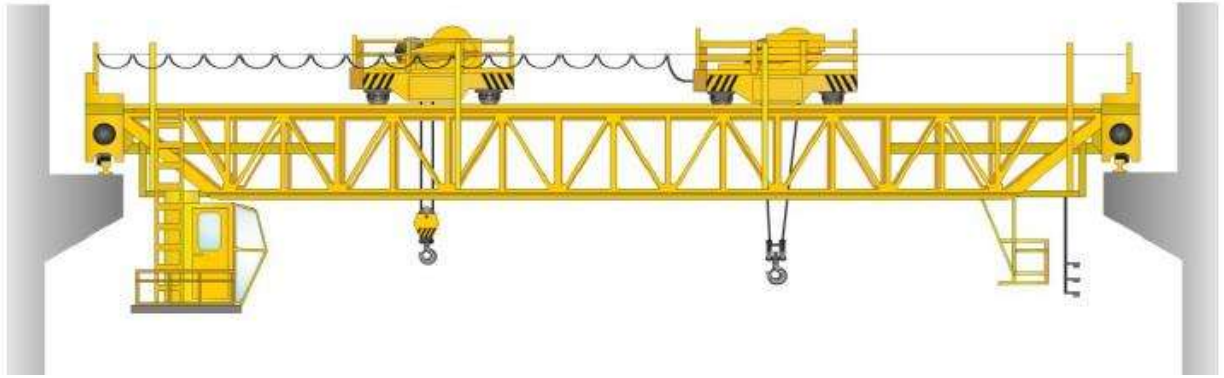


Рисунок 1.2. – Загальний вигляд мостового крана

Мостові крани вантажопідіймальністю до 320/125 т належать до високопродуктивних вантажопідіймальних машин і широко застосовуються в різних галузях промисловості, де необхідне переміщення важких, великогабаритних або масових вантажів у межах виробничих приміщень і відкритих майданчиків.

Їх конструктивні особливості забезпечують надійне та точне переміщення вантажів у горизонтальній і вертикальній площинах, що значно підвищує ефективність виробничих процесів.

У металургійній промисловості мостові крани використовуються для транспортування злитків, металопрокату, ковшів із розплавленим металом,

шихтових матеріалів, а також для обслуговування плавильних та прокатних агрегатів. В умовах високих температур і значних навантажень ці крани забезпечують безперервність технологічного процесу та підвищують рівень безпеки праці.

На машинобудівних підприємствах мостові крани застосовуються для монтажу та демонтажу великогабаритних вузлів і агрегатів, переміщення корпусних деталей, заготовок і готових виробів між виробничими дільницями, а також для виконання складських операцій. Це дає змогу зменшити трудомісткість робіт і скоротити час виробничого циклу.

У суднобудуванні мостові крани використовують під час складання корпусів суден, монтажу енергетичних установок, секцій і важкого обладнання. Висока вантажопідіймальність і значні прольоти мостових кранів дозволяють ефективно виконувати підйомно-транспортні операції у великих виробничих приміщеннях суднобудівних заводів.

В енергетичному секторі мостові крани застосовуються на теплових, гідравлічних і атомних електростанціях для монтажу та обслуговування турбін, генераторів, трансформаторів і іншого важкого обладнання.

Надійність і точність позиціонування вантажів є вирішальними факторами при виконанні таких робіт.

У будівництві великих інфраструктурних об'єктів мостові крани використовуються для монтажу металевих і залізобетонних конструкцій, переміщення будівельних елементів і обладнання на заводах з виготовлення збірних конструкцій. Це сприяє підвищенню темпів будівництва та зниженню витрат ручної праці.

Таким чином, мостові крани відіграють ключову роль у механізації вантажопідіймальних і транспортних операцій, забезпечуючи підвищення продуктивності праці, зменшення експлуатаційних витрат та покращення умов і безпеки праці в різних галузях промисловості.

У таблиці 1.2 зведено узагальнену характеристика мостових кранів.

Таблиця 1.2 – Узагальнена характеристика мостових кранів

№ п/п	Показник
1.	Вантажопідіймальність: від 0,5 до 320 тон
2.	Прогін: до 50 метрів і більше
3.	Висота підйому: до 30 метрів
4.	Швидкість підйому: від 0 до 20 м/хв
5.	Швидкість пересування крана: від 0 до 100 м/хв,
6.	Швидкість пересування механізму підйому: від 0 до 60 м/хв

### 1.3. Призначення та сфери застосування козлових кранів

Козлові крани зазвичай експлуатують на відкритих бетонних майданчиках. Завдяки вантажопідйомності від 3,2 до 50 тонн, вони є ключовим обладнанням для українського машинобудування, будівництва та лісової галузі. Окремі модифікації також широко застосовуються для обслуговування об'єктів енергетики та гідротехнічних споруд.

Козловий кран виконаний у вигляді мостової конструкції, встановленої на двох високих опорах (козлах), які пересуваються по рейкових шляхах, змонтованих на рівні землі (рис. 1.3, 1.4). За конструктивною схемою козловий кран належить до кранів мостового типу.

Міст козлового крана може виконуватися з однією або двома консолями, що виходять за межі опор, у результаті чого розширюється зона обслуговування вантажопідіймального механізму. Залежно від конструктивного виконання міст може бути однобалковим або двобалковим.

У двобалкових козлових кранах по рейках, укладених на мосту, переміщується вантажний візок, конструкція якого є аналогічною візку мостового крана. У разі однобалкового виконання мосту піднімання, опускання та поздовжнє переміщення вантажу здійснюється за допомогою електричної талі, встановленої на монорейковому шляху.



Рисунок 1.3 – Загальний вигляд однобалкового козлового крана



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд двобалкового козлового крана

Козлові крани призначені для виконання вантажопідіймальних і транспортних операцій на відкритих виробничих майданчиках, складах та перевантажувальних пунктах, де необхідне переміщення різноманітних вантажів на значні відстані в межах зони обслуговування. Їх конструктивна схема забезпечує можливість роботи без зведення капітальних підкранових будівель, що робить козлові крани економічно доцільними та зручними в експлуатації.

Основними сферами застосування козових кранів є контейнерні термінали та вантажні майданчики, де вони використовуються для навантаження, розвантаження і штабелювання контейнерів, пакетованих та штучних вантажів. Завдяки значній вантажопідіймальності та великому прольоту козлові крани забезпечують високу продуктивність і раціональне використання складських площ.

Широке застосування козлові крани мають у лісовій промисловості, зокрема на лісоскладах і перевалочних пунктах. Тут вони використовуються для переміщення круглих лісоматеріалів, пиломатеріалів, пакетів дощок, а також для формування штабелів і завантаження транспортних засобів. Використання козових кранів у лісовому господарстві сприяє зниженню пошкоджень деревини та підвищенню рівня механізації складських робіт.

У металургії та машинобудуванні козлові крани застосовуються для транспортування металопрокату, труб, заготовок, великогабаритних деталей і конструкцій на відкритих складських майданчиках. Вони також ефективні при обслуговуванні виробничих дільниць, де необхідне переміщення важких вантажів уздовж технологічних ліній.

У будівельній галузі козлові крани використовуються на заводах залізобетонних виробів і будівельних матеріалів для переміщення плит, балок, колон та інших збірних елементів, а також на будівельних базах і складах. Вони забезпечують безперебійне постачання конструкцій до місць навантаження та монтажу.

У таблиці 1.3 зведено основні характеристики козових кранів.

Таблиця 1.3 – Основні характеристики козлових кранів

№ п/п	Показник
1.	Вантажопідйомність: до 100 тон
2.	Прогін: до 50 м
3.	Висота підйому: зазвичай від 10 до 30м
4.	Швидкість підйому: 0,4 – 8 м/хв
5.	Швидкість пересування крана: 20 – 60 м/хв
6.	Швидкість пересування візка: 10 – 40 м/хв
7.	Режим роботи: від легкого до важкого (А3-А7)

Таким чином, можна підсумувати, що козлові крани є універсальними вантажопідіймальними машинами, які забезпечують ефективну механізацію навантажувально-розвантажувальних і складських процесів у різних галузях промисловості, зокрема в металургії, будівництві, транспортно-логістичній сфері та лісовому господарстві.

#### **1.4. Порівняльний техніко-економічний аналіз мостових і козлових кранів**

Для наочності та порівняння переваг і недоліків мостових і козлових кранів їхні основні показники зводимо в таблицю 1.4.

Мостові та козлові крани мають спільні конструктивні принципи, проте істотно відрізняються за умовами експлуатації та техніко-економічними показниками.

Мостові крани доцільно застосовувати у закритих виробничих приміщеннях, де необхідна висока вантажопідіймальність, точність позиціонування та стабільність роботи. Водночас їх використання супроводжується значними капітальними витратами на спорудження підкранових будівель.

Таблиця 1.4 – Порівняльна техніко-економічна характеристика мостових і козлових кранів

Показник	Мостові крани	Козлові крани
Умови експлуатації	Переважно у закритих виробничих приміщеннях	Переважно на відкритих майданчиках
Підкранові споруди	Потребують капітальних підкранових будівель	Не потребують капітальних будівель
Вантажопідіймальність	Широкий діапазон, у т.ч. до 320 т і більше	Зазвичай нижча, але достатня для складських робіт
Зона обслуговування	Обмежена габаритами будівлі	Значна, може розширюватися консолями
Гнучкість використання	Обмежена стаціонарним розміщенням	Висока, можливе переміщення вздовж майданчика
Капітальні витрати	Високі (будівництво будівель і шляхів)	Нижчі порівняно з мостовими кранами
Експлуатаційні витрати	Помірні, стабільні умови роботи	Дещо вищі через вплив зовнішніх факторів
Надійність і довговічність	Висока за умов стаціонарної експлуатації	Висока, але залежить від кліматичних умов
Зручність техобслуговування	Вища (захищене середовище)	Дещо нижча (відкриті умови)
Сфери застосування	Промислові цехи, енергетика, машинобудування	Лісосклади, контейнерні термінали, склади

Козлові крани є більш економічно доцільними для відкритих складських і перевантажувальних майданчиків, зокрема лісоскладів і контейнерних терміналів. Вони забезпечують велику зону обслуговування, гнучкість експлуатації та зменшення капітальних вкладень. Незважаючи на вплив кліматичних чинників, козлові крани характеризуються високою надійністю та ефективністю при правильній організації технічного обслуговування.

Таким чином, вибір між мостовими та козовими кранами повинен здійснюватися з урахуванням умов експлуатації, характеру вантажів, необхідної вантажопідіймальності та економічної доцільності, що є важливим етапом проектування вантажно-складських процесів.

### 1.5. Особливості застосування кабельних кранів

Кабельні крани (рис. 1.5) застосовується переважно на відкритих складських майданчиках для переміщення лісових та інших масових вантажів за значних обсягів виконуваних робіт. Для навантаження автотранспортних засобів такі крани, як правило, не використовуються, що обумовлено особливостями їх конструктивної схеми та організації робочого процесу.

Основним конструктивним елементом кабельного крана є несучий канат (кабель), який виконує функцію моста. По ньому за допомогою тягових канатів переміщується вантажний візок із вантажозахоплювальним пристроєм. Кінці несучого каната закріплюються на оголовках прямокутних опорних веж, обладнаних противагами, що забезпечують необхідну стабільність і натяг канатної системи.

Залежно від конструктивного виконання розрізняють рухомі кабельні крани, у яких опори мають можливість переміщення, та нерухомі, з фіксованим розташуванням опор. Вантажопідіймальність кабельних кранів, як правило, становить до 20 т, довжина прольоту може досягати 600 м, а площа робочої зони обслуговування — до 1 млн м<sup>2</sup>.

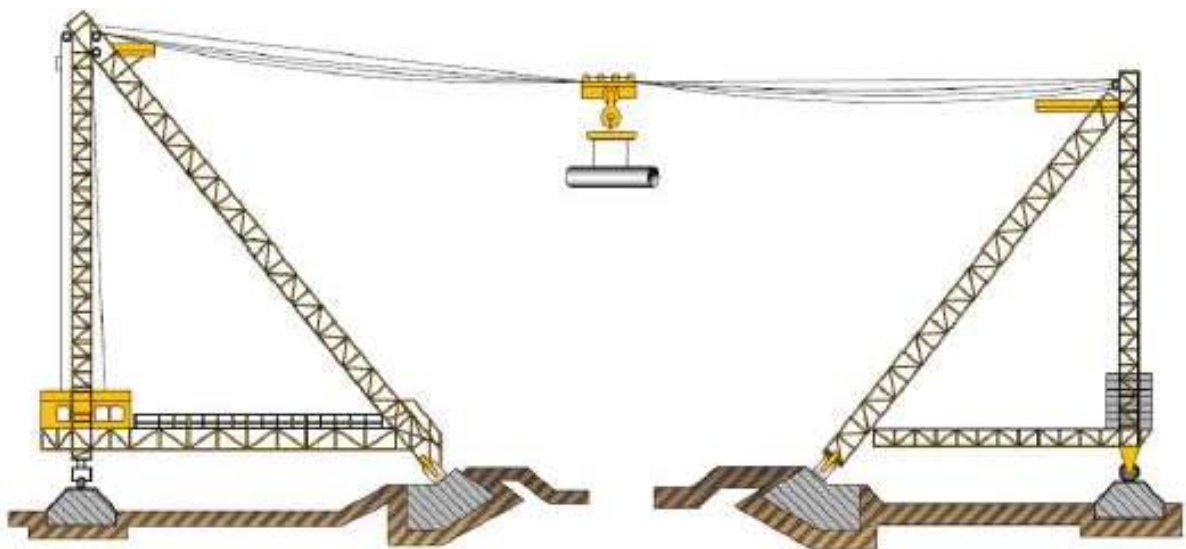


Рисунок 1.5 – Загальний вигляд кабельного крана

## 1.6. Особливості застосування стрілових кранів

Стрілові крани – це вантажопідіймальні машини, у конструкції яких стріла закріплена на поворотній платформі. Характерною особливістю стрілових кранів є виникнення додаткових навантажень від маси вантажу, розташованого за межами опорного контуру, що визначається ходовими пристроями крана та, за потреби, тимчасово встановлюваними додатковими опорами. У зв'язку з цим до стрілових кранів висуваються підвищені вимоги щодо міцності конструкції, стійкості та умов експлуатації.

До стрілових кранів належать такі основні типи: баштові, консольні (стаціонарні та пересувні), мобільні (самохідні), а також порталні крани (рис. 1.6).

Баштовий кран (рис. 1.6 а) є стріловим поворотним краном, у якому стріла закріплена у верхній частині вертикально встановленої башти. Основним призначенням баштових кранів є подавання будівельних матеріалів до робочих місць, виконання монтажу будівельних конструкцій і обладнання. Крім того, ці крани застосовуються для виконання вантажно-розвантажувальних робіт під час доставки матеріалів і конструкцій на будівельні майданчики.

Консольний кран (рис. 1.6 б, в) являє собою вантажопідіймальну машину зі стрілою, яка закріплена на металоконструкції у вигляді консолі. Вантажозахоплювальний орган може бути підвішений безпосередньо до консолі або до візка, що переміщується вздовж неї. Консольні крани застосовуються переважно для обслуговування окремих робочих місць, зокрема верстатів, стендів, технологічних агрегатів і складських зон, під час виконання навантажувально-розвантажувальних, монтажних і демонтажних операцій.

Основним недоліком консольних кранів є обмежена зона обслуговування, тоді як до їх переваг належать простота конструкції та технічного обслуговування, а також можливість встановлення або

підкочування пересувного консольного крана безпосередньо до місця навантаження чи розвантаження.

Портальний кран (рис. 1.6, г) є вантажопідіймальною машиною, у якій поворотна частина з механізмами обертання, піднімання вантажу та зміни вильоту стріли встановлена на високій опорній рамі – порталі. Портал являє собою просторову металеву конструкцію, внутрішні габарити якої забезпечують можливість пропуску завантаженого залізничного та автомобільного транспорту.



Рисунок 1.6 – Загальний вигляд стрілових кранів: а) баштовий; б) консольний стаціонарний; в) консольний пересувний; г) портальний

Конструктивні особливості портальних кранів дозволяють виконувати вантажопідіймальні та перевантажувальні операції як у межах підкранових колій, так і за їх межами, а також здійснювати роботу в обидва боки від стріли. Завдяки цьому портальні крани мають широку зону обслуговування та високу маневреність.

Портальні крани належать до універсальних перевантажувальних машин і широко застосовуються в морських і річкових портах, а також на відкритих складських майданчиках. Вони використовуються для виконання навантажувально-розвантажувальних робіт з тарно-пакувальними, великовантажними, навалочними, лісовими та іншими видами вантажів.

## **2. МЕХАНІЗАЦІЯ ВАНТАЖНО-РОЗВАНТАЖУВАЛЬНИХ РОБІТ З ВЕЛИКОВАГОВИМИ ВАНТАЖАМИ**

### **2.1. Основні принципи механізації навантажувально- розвантажувальних робіт**

Механізація (від грец. *techane* — машина, знаряддя) полягає в заміні ручної праці машинами та механізмами з метою підвищення продуктивності та поліпшення умов праці. Залежно від рівня оснащення технологічних процесів вантажно-розвантажувальних, транспортних і складських робіт технічними засобами, а також від частки використання ручної праці, ці процеси поділяються на механізовані, автоматизовані та автоматичні. При цьому механізація й автоматизація можуть бути як частковими, так і повними (комплексними).

До частково механізованих процесів належать такі, у яких основні трудомісткі операції виконуються за допомогою машин і механізмів, тоді як керування ними та окремі допоміжні операції здійснюються вручну. До таких операцій належать формування вантажних пакетів, застропування і відстропування вантажів, їх відтяжка під час піднімання й опускання, відкривання та закривання бортів і дверей транспортних засобів тощо. Механізація цих операцій у багатьох випадках є технічно складною або економічно недоцільною.

Комплексно механізованими вважаються процеси, у яких усі операції виконуються машинами та обладнанням, а функції людини зводяться до керування технікою, контролю її роботи та виконання необхідних регулювань. У частково автоматизованих процесах автоматизуються окремі операції або елементи робочого циклу машин, зокрема захоплення вантажу, сигналізація про стан механізмів, окремі етапи циклу машин періодичної дії, розподіл вантажів на конвеєрних лініях, а також облік роботи обладнання.

При комплексній автоматизації більшість технологічних операцій виконується в автоматичному режимі, включаючи захоплення, віддачу, переміщення, штабелювання, зважування вантажів і навантаження або розвантаження транспортних засобів. Участь людини обмежується окремими етапами керування, які на даний момент не можуть бути повністю автоматизовані або є економічно недоцільними для автоматизації.

В автоматичних процесах усі операції виконуються без безпосередньої участі людини, а персонал здійснює лише періодичний контроль за роботою системи, а також її налагодження і регулювання у разі потреби.

Автоматизація процесів переробки вантажів можлива лише за умови дотримання низки вимог, основними з яких є наявність комплексної механізації навантажувально-розвантажувальних робіт (НРР), стабільність технологічного процесу протягом тривалого часу, а також можливість вільного доступу вантажозабірних органів до всіх зон складування та транспортних засобів. Найбільш повно цим вимогам відповідають пункти переробки однорідних вантажів значних обсягів, таких як мінерально-будівельні матеріали, руда, вугілля, сіль та інші навалочні вантажі.

Важливою умовою є також уніфікованість транспортних параметрів вантажів – їх розмірів, маси та форми. Цій вимозі відповідають навалочні, тарно-пакувальні, штучні та лісові вантажі, що транспортуються в пакетах, а також контейнери.

До засобів автоматизації висуваються підвищені техніко-експлуатаційні вимоги, зокрема щодо тривалого терміну служби, достатньої швидкодії відповідно до умов переробки вантажів, простоти та зручності керування, надійної роботи в різних природно-кліматичних і виробничих умовах, високої завадостійкості керуючих сигналів, безпечності в експлуатації, зручності монтажу та ремонту, а також мінімальних габаритів, маси і вартості.

Основним якісним показником стану навантажувально-розвантажувальних робіт є рівень механізації або комплексної механізації, який використовується як база для розроблення заходів щодо скорочення

ручної праці та визначення потреби в навантажувально-розвантажувальних засобах. Водночас цей показник не повною мірою відображає трудомісткість виконання робіт. Для її оцінювання застосовують інший показник — ступінь механізації або комплексної механізації праці.

Ієрархія вантажно-розвантажувальних і перевантажувальних робіт за рівнем механізації та автоматизації наведена на рис. 2.1.



Рисунок 2.1 – Співвідношення між ручною, механізованою та автоматизованою працею при виконанні НРР

Технологічний процес вантажно-розвантажувальних, транспортних і складських робіт обов'язково повинен включати схеми механізації, які є основною моделлю організації цих процесів. У таких схемах відображаються та взаємопов'язуються номенклатура, обсяги і транспортні характеристики вантажів, місця їх складування і зберігання, застосовувані вантажозахоплювальні пристрої, основні та допоміжні навантажувально-розвантажувальні засоби, а також транспортні засоби.

У загальному випадку до схем механізації висуваються вимоги, спрямовані на забезпечення безпеки виконання робіт, скорочення частки та інтенсивності ручної праці й покращення її умов, досягнення максимально

можливої продуктивності обладнання та обслуговуючого персоналу, підвищення надійності використання технічних засобів і зниження витрат на переробку вантажів.

## **2.2. Вантажні роботи з металевими та великоваговими вантажами**

Вантажні роботи з металевими та великоваговими вантажами характеризуються підвищеною масою окремих вантажних місць, значними габаритами та підвищеними вимогами до безпеки виконання навантажувально-розвантажувальних робіт (НРР). До цієї групи належать металопрокат, балки, рейки, труби, великогабаритні машини та механізми, а також збірні залізобетонні конструкції.

Вантажі, що не чутливі до атмосферних впливів, як правило, зберігають на відкритих складських майданчиках, обладнаних твердим асфальтобетонним або цементобетонним покриттям. У разі потреби захисту від опадів або корозії вантажі розміщують під навісами, у критих складах або в прольотах виробничих корпусів.

Для забезпечення безпечного доступу до вантажів проходи між штабелями повинні становити не менше 1 м, що необхідно для виконання операцій застроповки, відстропування, технічного огляду та маневрування вантажозахоплювальних пристроїв.

Важкі вантажі при укладанні на майданчику обов'язково розміщують на дерев'яних або металевих підкладках товщиною 15–20 мм, що забезпечує рівномірний розподіл навантаження, запобігає деформації вантажу та полегшує подальше захоплення.

Під час роботи з цими видами вантажів, залежно від обсягу вантажообігу та його сталості, використовують усі види кранів та автотранспорту. Схема механізації представлена на рис. 2.2.

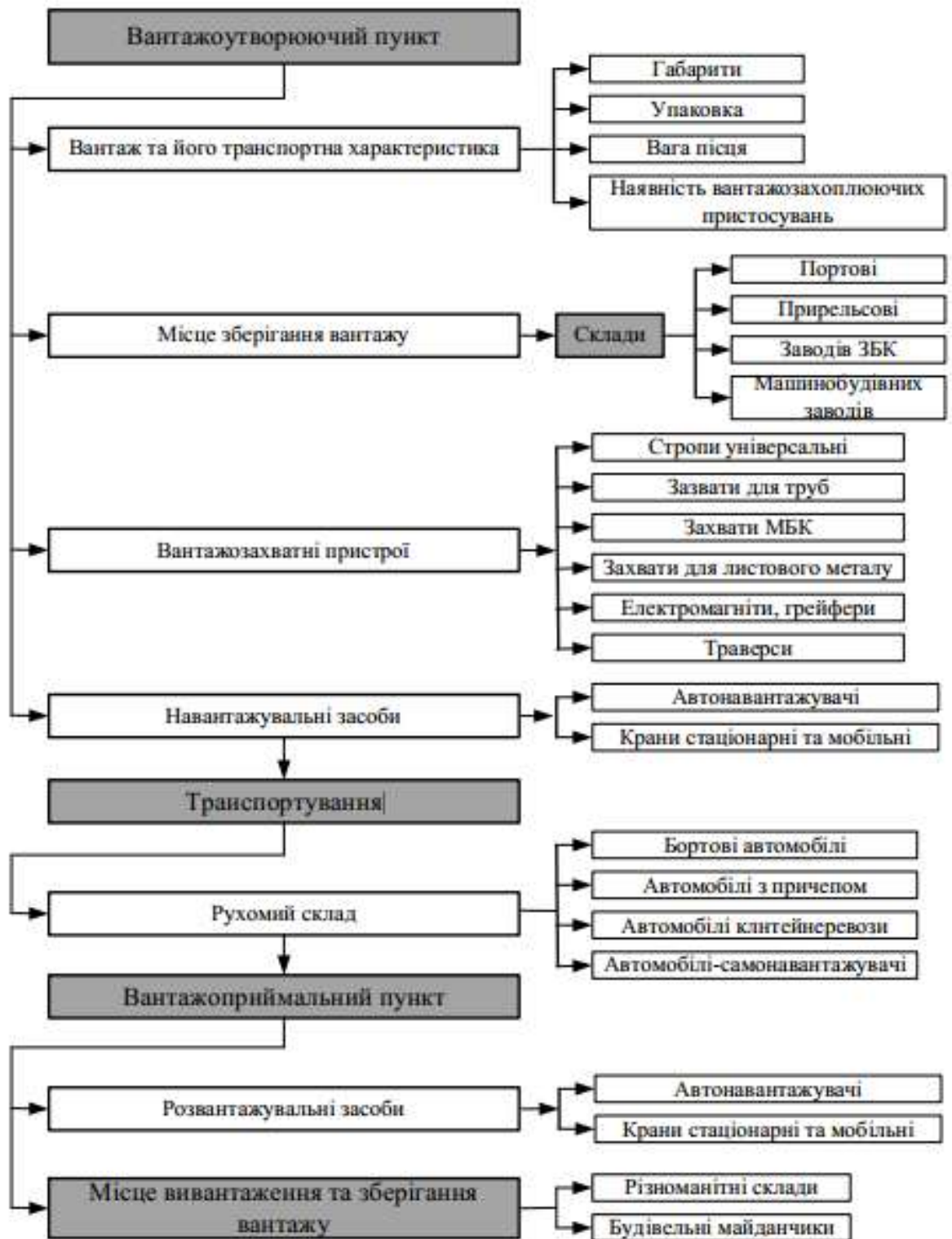


Рисунок 2.2 – Схема механізації при роботі з великоваговими, довгомірними вантажами та металевими виробами

До окремої групи слід віднести великовагове обладнання.

До великовагових вантажів належать вантажні одиниці, маса або габарити яких перевищують стандартні параметри для звичайних навантажувально-розвантажувальних робіт і потребують застосування спеціалізованих вантажопідіймальних машин, вантажозахоплювальних пристроїв та посилених вимог до безпеки.

До цієї групи, зокрема, належать:

➤ Енергетичне та електротехнічне обладнання: парові, газові та гідравлічні турбіни і їхні корпуси; силові трансформатори великої потужності; генератори електростанцій; статори та ротори електричних машин; реактори, компенсатори та інше високовольтне обладнання.

➤ Обладнання важкого машинобудування: прокатні стани та їхні секції; великогабаритні верстати (токарно-карусельні, фрезерні портальні тощо); корпуси пресів, молотів і штампувального обладнання; редуктори великої потужності; металеві станини та рами машин.

➤ Нафтогазове та хімічне обладнання: апарати високого тиску (реактори, автоклави); теплообмінники, ректифікаційні колони; насосні агрегати великої продуктивності; сепаратори, ресивери, абсорбційні апарати; резервуари та ємності великого об'єму.

➤ Будівельні та інфраструктурні конструкції: збірні залізобетонні балки, колони, ригелі; ферми покриттів промислових будівель; прольотні будови мостів; масивні металеві опори та щогли; плити перекриттів великого формату.

➤ Металургійні та гірничі вантажі: ковші для розливання сталі; секції доменних і мартенівських печей; обертові барабани млинів; корпуси дробарок і грохотів; важкі металеві злитки та заготовки.

➤ Транспортне та спеціальне обладнання: локомотивні вузли та секції; корпуси суден і суднові механізми; рами та платформи спеціальної техніки; великогабаритні елементи вагонів; авіаційні двигуни та їхні модулі.

Таким чином, до великовагових вантажів належать різноманітні види промислового обладнання та конструкцій, зокрема турбіни, трансформатори, генератори, прокатні стани, апарати високого тиску, збірні залізобетонні та металеві конструкції, переміщувальні операції з якими потребують застосування високопродуктивних вантажопідіймальних машин, спеціальних вантажозахоплювальних пристроїв і ретельно розроблених схем механізації.

Однак, вантажі масою понад 100 тон відносяться до окремої групи. Це унікальні та особливо важкі вантажі, переміщення яких вимагає індивідуального проектування вантажопідіймальних операцій, застосування спеціалізованого обладнання та комплексних схем механізації.

До них відносяться:

- турбіни великої потужності (понад 100 т);
- силові трансформатори надвисокої потужності;
- реактори та апарати високого тиску;
- секції доменних печей;
- прокатні кліті та стани важкого типу;
- прольотні будови мостів;
- великогабаритні суднові та енергетичні конструкції;
- унікальні елементи промислових об'єктів.

Основними засобами механізації для цієї групи вантажів є: мостові та козлові крани вантажопідйомністю 125–320 т, порталні крани великої вантажопідйомності, синхронна робота кількох кранів, спеціальні підйомні системи та індивідуально спроектовані вантажні засоби та вантажозахоплювальні пристрої.

### **2.3. Skidding systems (системи ковзного переміщення) для транспортування великовагових вантажів**

Переміщення надзвичайно важких вантажів, таких як морські платформи або цілі будівлі, здійснюється за допомогою ковзання. Принцип роботи полягає у

використанні системи, яка базується на керованому ковзанні вантажу по напрямних коліях із мінімальним тертям. Для цього і використовують skidding systems (системи ковзного переміщення)

Skidding systems (Скіддінг-системи, системи ковзного переміщення, ковзальні системи) — це спеціалізовані механізовані комплекси, призначені для горизонтального переміщення великовагових і великогабаритних вантажів по підготовленій опорній поверхні з використанням принципу контрольованого ковзання. Такі системи широко застосовуються у випадках, коли використання кранів є технічно складним, економічно недоцільним або неможливим через обмеження по висоті, масі вантажу чи умовах майданчика.

Ковзальні системи забезпечують переміщення вантажів масою від кількох десятків до кількох тисяч тонн з високою точністю позиціонування, що робить їх незамінними під час монтажу важкого енергетичного, промислового та транспортного обладнання

### **2.3.1. Основні елементи систем ковзного переміщення**

Типова система ковзного переміщення складається з таких основних компонентів:

- Опорні рейки (Skid Tracks, напрямні балки) — металеві або композитні конструкції, які формують траєкторію руху вантажу;
- Опорні ковзні візки або плити (Skid Shoes, ковзні башмаки): — рухомі платформи, на які встановлюється вантаж. Нижня частина башмаків виготовлена з нержавіючої сталі, що забезпечує низький коефіцієнт тертя при ковзанні по пластинах.
- Елементи, що безпосередньо сприймають масу вантажу та забезпечують зменшення тертя;
- Матеріали з низьким коефіцієнтом тертя — тефлонові (PTFE) або полімерні вставки;

- Гідравлічні циліндри: механізми типу «push-pull» (штовхай-тягни), які поетапно переміщують башмаки з вантажем вздовж колій — створюють тягове зусилля для переміщення вантажу;
- Гідравлічна насосна станція (Power Pack): — забезпечує робочий тиск мастила у системі для роботи циліндрів;
- Система синхронізації та контролю — забезпечує рівномірний рух і точне позиціонування.
- З'єднувальні шланги: поєднують станцію з робочими модулями
- Стопорні пристрої: Автоматично фіксують циліндри в пазах колій для наступного кроку штовхання.

### 2.3.2. Принцип дії систем ковзного переміщення

Принцип роботи skidding systems полягає у зменшенні сил тертя між вантажем і опорною поверхнею за рахунок використання спеціальних ковзних пар. Вантаж встановлюється на ковзні візки, які переміщуються по рейках під дією гідравлічних штовхальних або тягових циліндрів.

Система використовує гідравлічні штовхачі (домкрати або циліндри), які синхронно штовхають вантаж вперед. Для переміщення на наступний відрізок шляху, нижні напрямні переставляються попереду вантажу, і процес повторюється. Це забезпечує плавне ковзання навіть дуже важких предметів.

Переміщення здійснюється поетапно: після кожного ходу гідроциліндра відбувається фіксація вантажу, повернення штока в початкове положення та повторення циклу. Такий підхід забезпечує плавність руху, високу точність та безпечне керування процесом.

Як ми вже згадували вище, переміщення вантажу здійснюється по ковзальній доріжці. Це металева доріжка, оснащена тефлоновими блоками. Поверх блоків всередині доріжки розміщується ковзальний башмак або балка, яка має нижню частину з нержавіючої сталі та несучу конструкцію зверху. Тефлон і нержавіюча сталь у поєднанні з мастилом мають дуже обмежене

тертя, що дозволяє переміщувати великі вантажі з обмеженим зусиллям. Ковзальний башмак оснащений горизонтальним штовхально-тяговим гідроциліндром, який можна зафіксувати в парі пазів, встановлених по боках ковзальної доріжки. Шток гідроциліндра висувається (зазвичай на один метр), і вантаж відповідно рухається вздовж доріжки. Потім циліндр розблоковується, шток втягується та фіксується в наступній парі пазів. Така система проста, міцна та надійна. Ковзальні доріжки можна встановлювати лише по прямій лінії, що обмежує маневреність. Вага вантажу безпосередньо передається на ковзальний башмак і доріжку під ним, тому вся доріжка потребує розподілу навантаження та/або фундаменту.

### **2.3.3. Призначення та сфери застосування систем ковзного переміщення**

Основними функціями та призначенням ковзальних систем є горизонтальне переміщення вантажів, монтажні та демонтажні роботи, перевантажувальні роботи, та роботи в обмежених умовах:

Горизонтальне переміщення: ковзальні системи можуть використовуватись для переміщення об'єктів на значні відстані по заданому маршруту, «додаючи» шлях попереду вантажу.

Монтажні та демонтажні роботи: використовуються для встановлення великогабаритних блоків, промислового обладнання, мостових прогонів.

Перевантаження: використовуються для перевантаження з одного виду транспорту на інший (наприклад, з залізничного транспорту на автотранспорт).

Робота в обмежених умовах: такі установки ідеально підходять для роботи під низькими естакадами, мостами, в умовах замкнутих майданчиків та в складнодоступних місцях.

Системи ковзного переміщення застосовуються в таких галузях:

- енергетика (монтаж турбін, генераторів, трансформаторів у закритих приміщеннях підстанцій);
- нафтогазова промисловість (монтаж реакторів, компресорних станцій, сепараторів, платформ та важких модулів).
- металургія (монтаж прокатних станів, доменних вузлів);
- суднобудування та судноремонт (переміщення секцій кораблів та спуск суден на воду);
- будівництво та реконструкція промислових об'єктів (насування мостових прольотів або переміщення цілих споруд та будівель);
- монтаж обладнання в обмежених за висотою приміщеннях;
- переміщення вантажів у закритих цехах та підземних спорудах.

#### **2.3.4. Техніко-економічні переваги і недоліки систем ковзного переміщення**

До основних переваг систем ковзного переміщення належать:

- здатність переміщувати об'єкти та вантажі надвеликої маси, вагою від кількох десятків до понад 1000 тонн.
- відсутність потреби у великогабаритних вантажопідіймальних кранах;
- висока точність: гідравлічне керування дозволяє позиціонувати вантаж із точністю до міліметра;
- зниження навантаження на фундамент та перекриття;
- синхронність: підвищений рівень безпеки за рахунок контрольованого руху; забезпечують рівномірний підйом/переміщення, запобігаючи навантаженню на конструкції.
- мобільність: зменшення загальних витрат на монтажні роботи; відносно легко транспортуються та швидко монтуються;
- робота в обмеженому просторі: не вимагають великої висоти стелі, на відміну від порталних кранів; мінімальна висота кліренсу

дозволяє переміщувати вантажі там, де це неможливо для іншого обладнання.

Однак, слід відмітити, що незважаючи на значні переваги, застосування систем ковзного переміщення має певні обмеження, а саме:

- необхідність ретельної підготовки опорної поверхні;
- обмежена швидкість переміщення вантажу;
- потреба у високій кваліфікації персоналу;
- складність застосування на нерівних або слабких основах без додаткового підсилення.

У порівнянні з традиційними крановими методами системи ковзного переміщення характеризуються нижчими піковими навантаженнями, вищою точністю та кращою адаптивністю до складних умов монтажу. Кранові технології, у свою чергу, забезпечують вищу швидкість виконання операцій, але мають суттєві обмеження щодо маси та габаритів вантажу.

Підсумовуючи, можемо зробити висновок що, системи ковзного переміщення є ефективним і технічно обґрунтованим рішенням для переміщення великовагових вантажів у сучасних промислових умовах. Їх застосування дозволяє розширити можливості механізації вантажно-монтажних робіт, підвищити безпеку, точність та економічну ефективність технологічних процесів.

### **3. РОЗРОБЛЕННЯ ПРИСТРОЮ ДЛЯ РОЗВЕРТАННЯ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ВАНТАЖІВ**

#### **3.1. Обґрунтування вибору конструкції пристосувань, для переміщення великогабаритного та великовагового обладнання**

У зв'язку з необхідністю забезпечення безперебійної роботи енергетичної інфраструктури України під час збройної агресії Російської Федерації особливої актуальності набуває завдання оперативного, безпечного та технологічно обґрунтованого переміщення великогабаритного та великовантажного обладнання, зокрема силових трансформаторів масою понад 100 т. Ракетні обстріли, пошкодження підстанцій, обмеження логістичних маршрутів, а також підвищені ризики для персоналу потребують застосування таких технологічних рішень, які забезпечують мінімальний час виконання робіт, високу мобільність та здатність функціонувати у складних або частково зруйнованих умовах.

Для виконання переміщення важких елементів у сучасних умовах найбільш доцільним є використання скіддінг-систем (систем ковзання) у поєднанні з поворотними механізмами. Ці системи дозволяють здійснювати транспортування та точне позиціонування обладнання без залучення великогабаритних кранів або потужних тягачів, що часто неможливо через руйнування інфраструктури, обмеженість простору на підстанціях чи високі ризики під час активних бойових дій. Використання скіддінг-технології забезпечує мінімальні вимоги до стану опорної поверхні, можливість роботи на тимчасових майданчиках, суттєве зниження часу перебування персоналу під відкритим небом, а також зменшення візуальної й радіолокаційної помітності операції.

Поворотні системи, інтегровані у процес переміщення, дозволяють виконувати розвороти та точне орієнтування трансформатора без маневрування великотонажної техніки, що є критично важливим у випадках,

коли шляхи під'їзду пошкоджені, заблоковані або небезпечні. Сукупність цих рішень підвищує технологічну гнучкість, забезпечує можливість роботи в обмежених просторах і значно покращує безпеку персоналу, знижуючи ймовірність аварійних ситуацій.

Таким чином, застосування скіддінг-системи та поворотних механізмів у сучасних умовах є технічно обґрунтованим, економічно доцільним та безпеково оптимальним способом переміщення великовантажних елементів обладнання.

### **3.2. Опис конструкції системи ковзання та поворотної системи**

Як було сказано вище, для переміщення великовагових елементів без застосування вантажопідіймальної техніки використовують два типи обладнання: системи ковзання, та поворотні системи. Вони можуть мати різну конструкцію, але всі переважно з гідравлічним приводом.

Одна з таких ковзних систем приведена на рисунку 3.1.

На шпальній викладці 3, встановлені елементи ковзної системи 2, на каретках якої розміщується вантаж 1 (в даному випадку трансформатор).

Переміщення вантажу здійснюється за допомогою спарених гідроциліндрів. Використання спарених гідроциліндрів в даній конструкції зумовлено прагненням зменшити габарити по висоті, при зберіганні зусилля на штовханні.

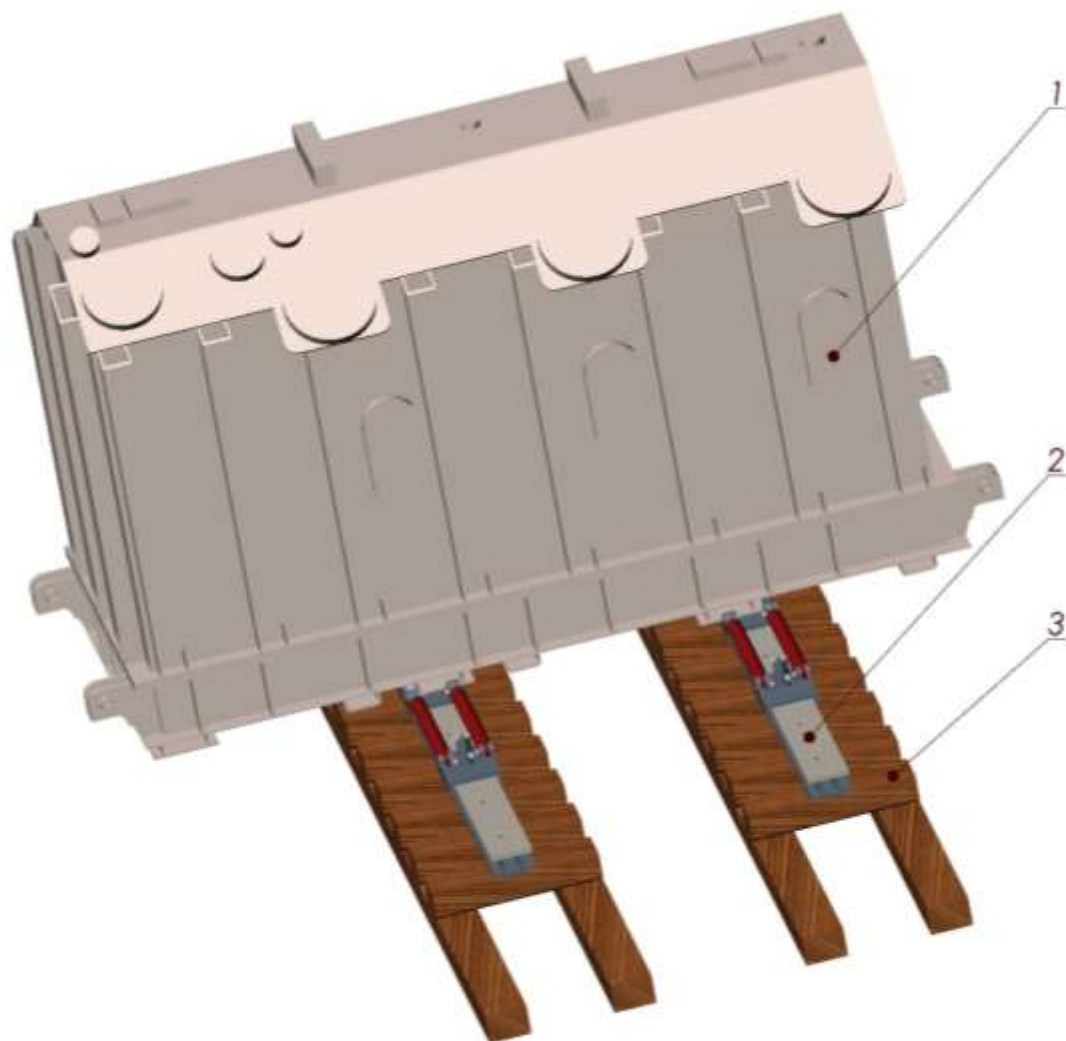


Рисунок 3.1 – Ковзальна система

Загальний вигляд поворотної системи приведений на рисунку 3.2.

Поворотна система призначена для розвороту, чи повороту на довільний кут обладнання.

Поворотна система для забезпечення жорсткості конструкції встановлюється або на бетонних блоках 4, або на шпальній викладці з твердих порід деревини.

Для більш рівномірного розподілення навантаження, та в якості демпфуючого елемента між вантажем 1 та поворотною системою 3 встановлені дерев'яні бруси 2.

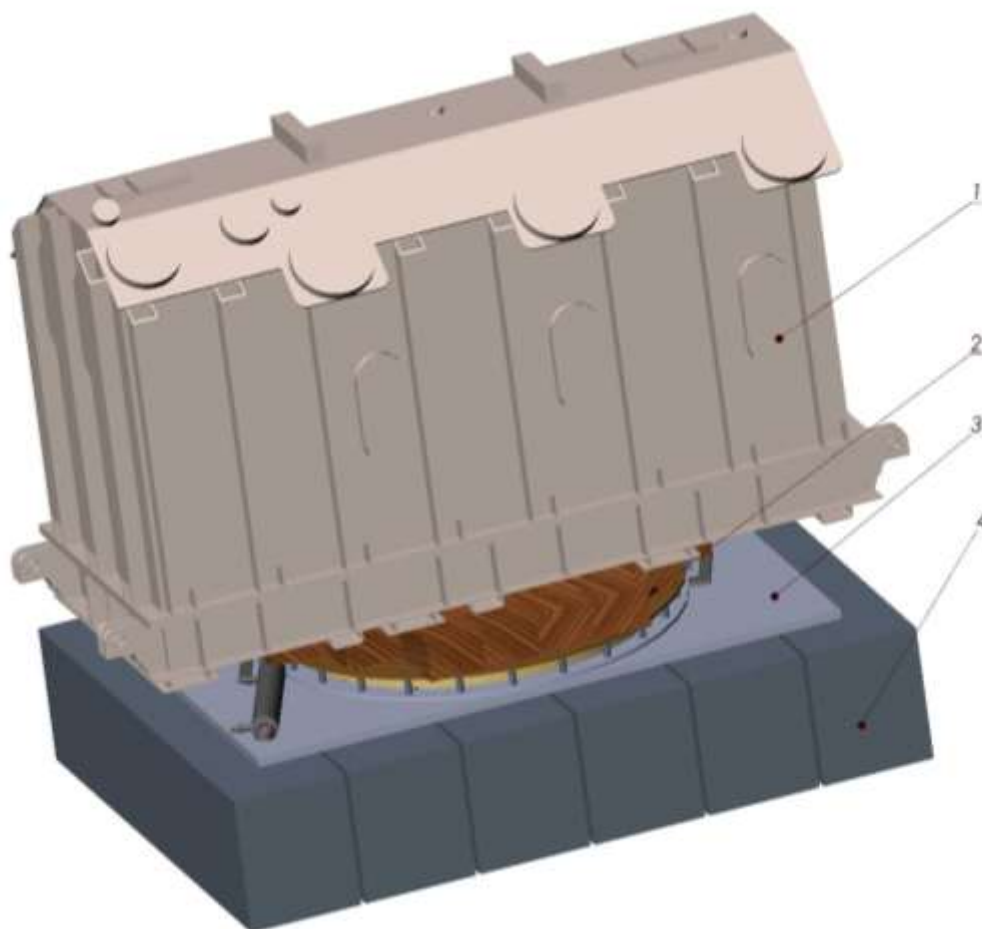


Рисунок 3.2 – Поворотна система

Конструктивні особливості та принцип роботи самої поворотної системи приведена на рисунку 3.3.

Основою поворотної системи є товстий лист металу 1, на якому змонтована нерухома обойма 2. В пазах обойми розміщені два ряди сталевих кульок 3, по яких обертається верхня обойма 5.

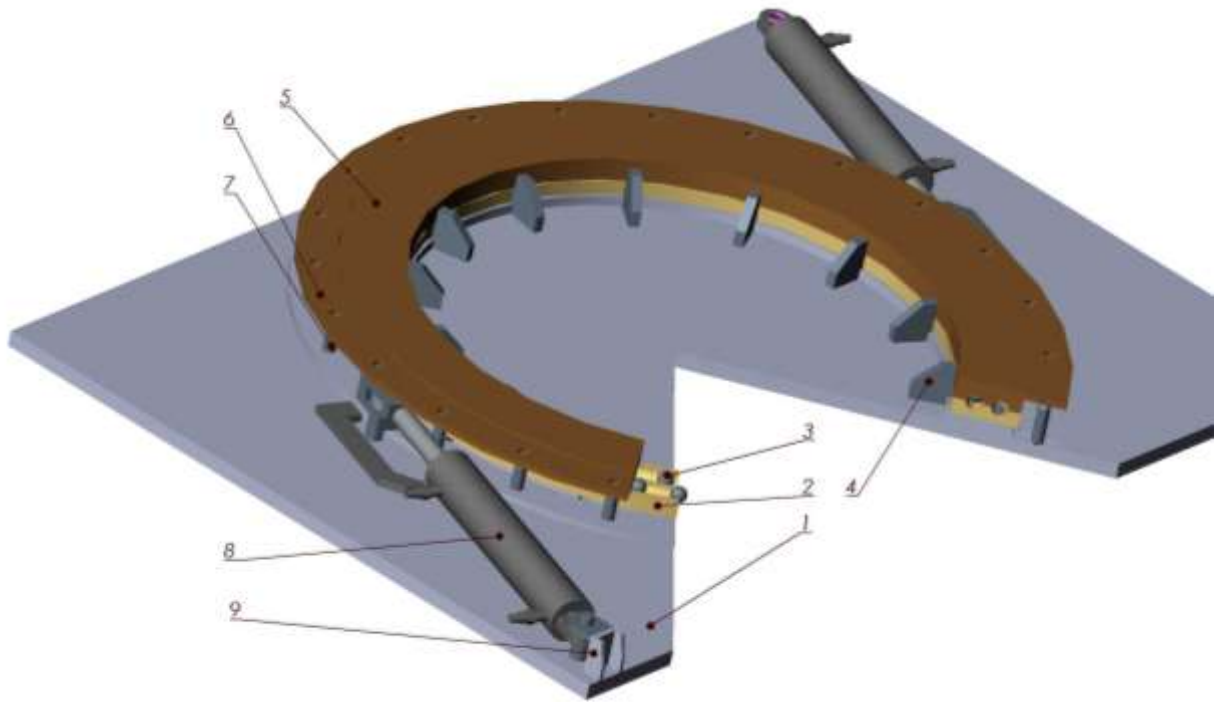


Рисунок 3.3 – Конструкція поворотної системи

Для гарантування стійкості і забезпечення вантажу від можливого зсуву відносно осі через імовірний перекоп (осадка ґрунту, тріщини брусів та інше), по колу обойми приварені захисні ребра 4.

До верхньої обойми приварені два кільця 6 з пальцями 7, за допомогою яких гідроциліндрами 8 і здійснюється поворот системи.

Задня частина гідроциліндрів закріплена в кронштейні 9.

Автоматичний режим повороту полягає в наступному (рис. 3.4 – 3.7.). В початковий момент гідроциліндр впирається в палець і починає провертати верхню обойму до повного вильоту штока гідроциліндра.

Після цього вмикається зворотній хід. Виступ на обоймі штока гідроциліндра впирається в фігурний упор і переходить до наступного пальця. Здійснюється робочий хід гідроциліндра.

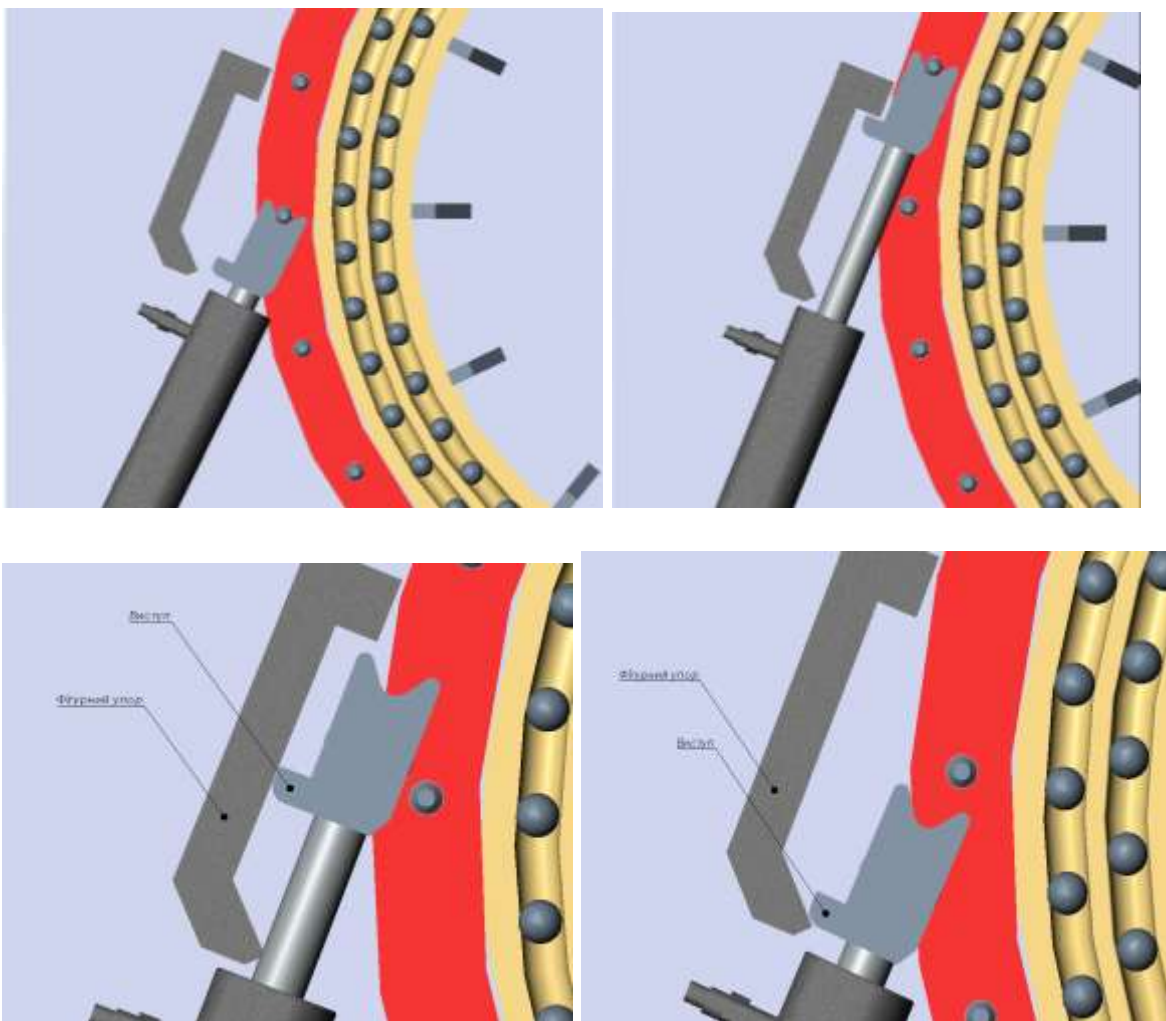


Рисунок 3.4 - 3.7 – Робота поворотного механізму

Так як в конструкції використані стандартні гідроциліндри, штовхач на штоці закріплений в провусині, і складається з двох частин (рис. 3.8).

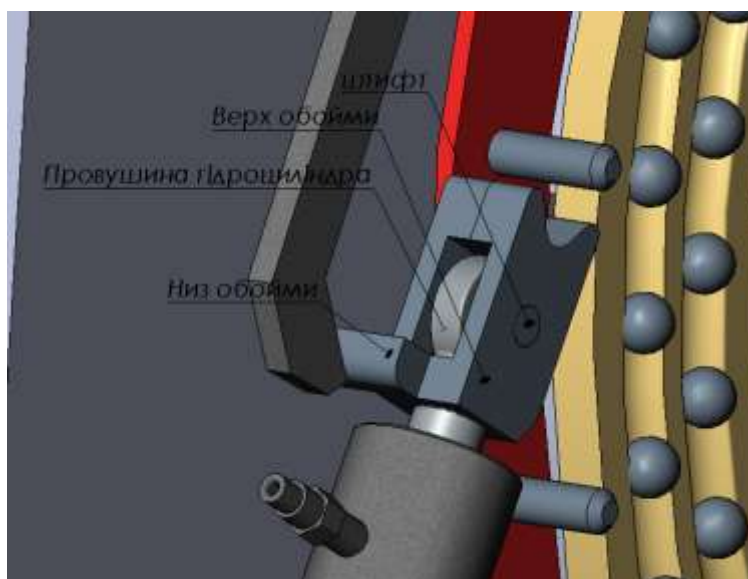


Рисунок 3.8 – Конструкція штовхача

### 3.3. Перевірковий розрахунок елементів конструкції устаткування

#### 3.3.1. Розрахунок зусиль в системі

Для розрахунку зусиль в елементах конструкції поворотної системи, скористаємось модулем Solidworks motion, для аналізу зусиль в рухомих конструкціях.

Для проведення розрахунків задамо навантаження на верхній диск поворотної системи у розмірі 200 т, (рис. 3.9).

Задамо переміщення штока гідроциліндра як лінійного двигуна з наступними параметрами:

- рух зворотно-поступальний з частотою 0,5 Гц;
- відстань одного цикла переміщення 250 мм, (рис. 3.10);
- в зоні контакту тіл, задамо як ковзання сталі по сталі з використанням мащення.

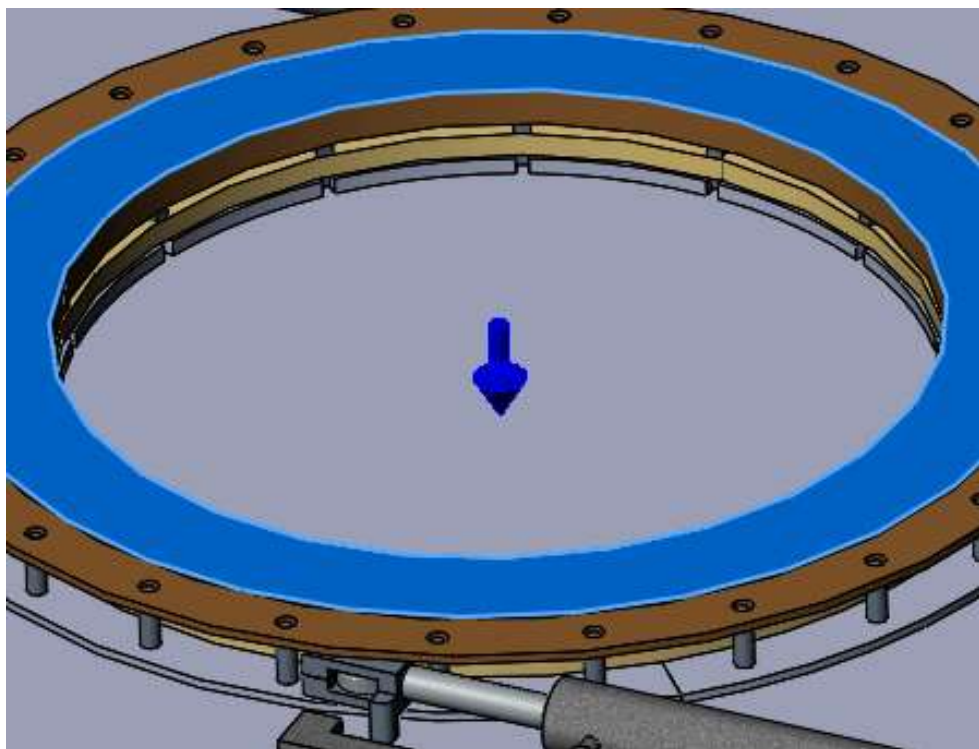


Рисунок 3.9 – Навантаження на поворотну систему від вантажу

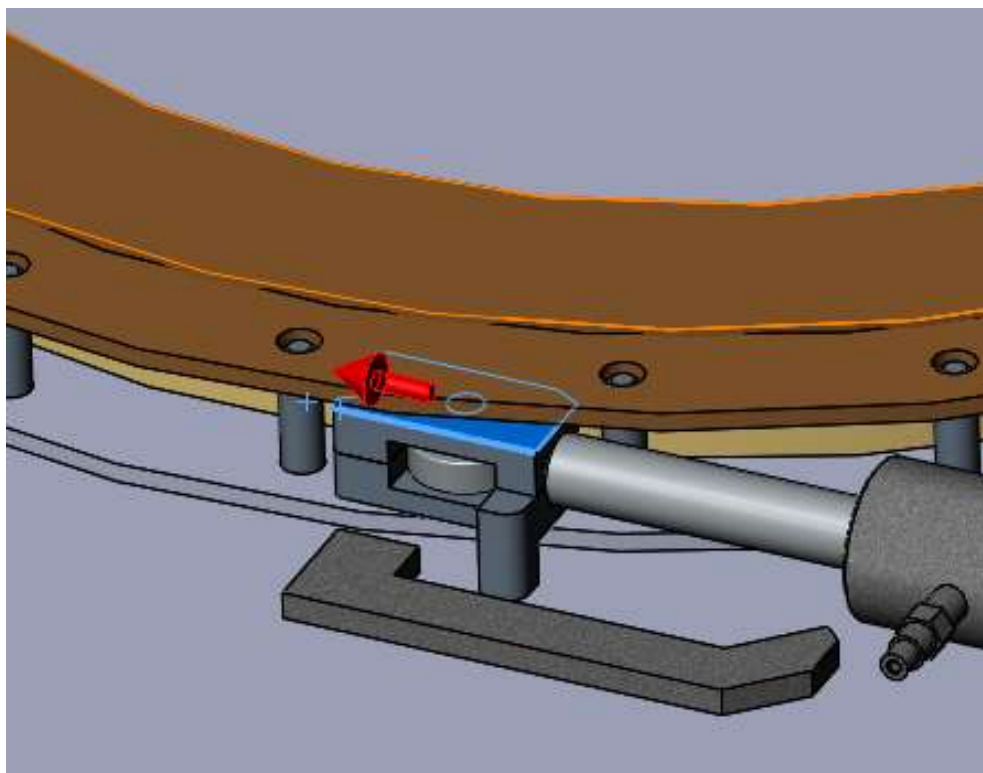


Рисунок 3.10 – Розташування лінійного двигуна

В результаті розрахунку отримуємо епюру навантаження на штоці гідроциліндра від величини переміщення (рис. 3.11).



Рисунок 3.11 – Епюра навантаження на штоці гідроциліндра.

Як бачимо з діаграми, максимальне зусилля становить  $F1 = 78000 \text{ N}$ .

Оскільки в конструкції використовується два гідроциліндри, які працюють синхронно, то навантаження буде рівне:

$$F = \frac{F1}{2} = \frac{78000}{2} = 39000 \text{ N}.$$

### 3.3.2. Перевірковий розрахунок елементів кріплення гідроциліндра

Перевірковий розрахунок елементів кріплення задньої провухини гідроциліндра проведемо в програмі Solidworks Simulation.

Для проведення аналізу вибираємо кріплення системи типу зафіксована геометрія (рис. 3.12). Оскільки гідроциліндр рухається поступально, вибираємо кріплення типу повзун (рис. 3.13), та задаємо осьове зусилля  $F$  по осі гідроциліндра (рис. 3.14).

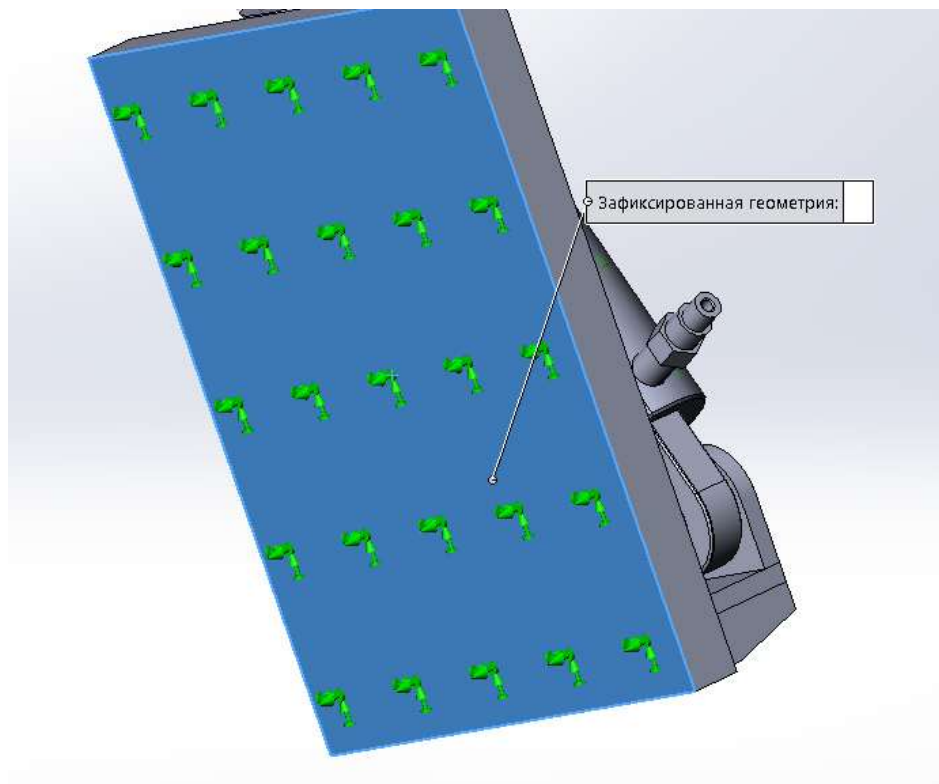


Рисунок 3.12 – Кріплення – зафіксована геометрія.

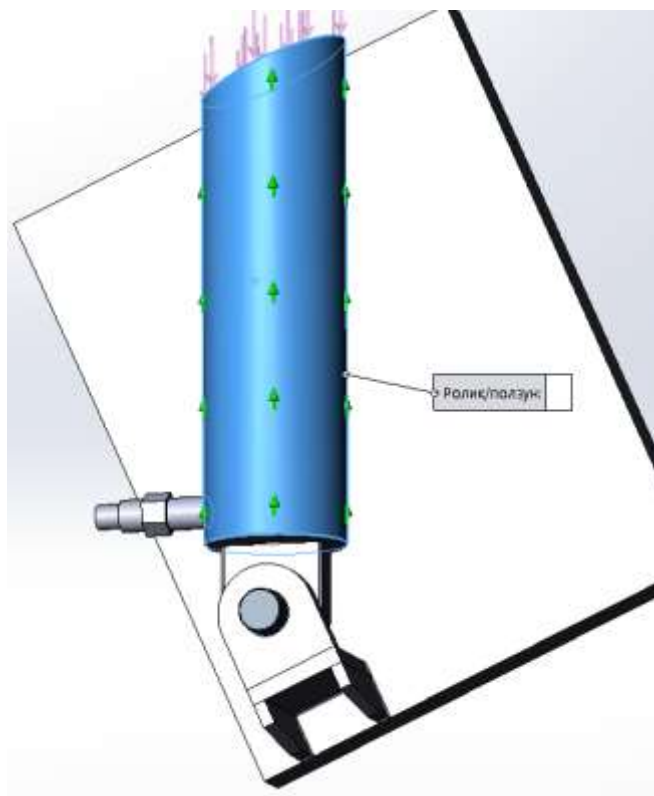


Рисунок 3.13 – Кріплення типу повзун.

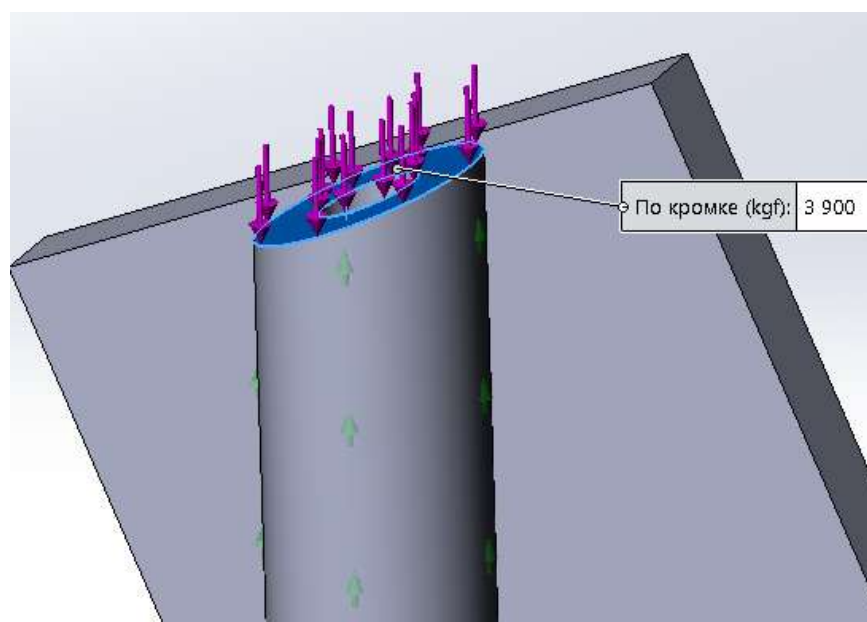


Рисунок 3.14 – Зусилля на гідроциліндрі

Після закінчення розрахунку програмою, та виведення епюри запасу міцності (Рис. 3.15.), бачимо, що мінімальний запас міцності складає 2,502, що достатньо для даної конструкції.

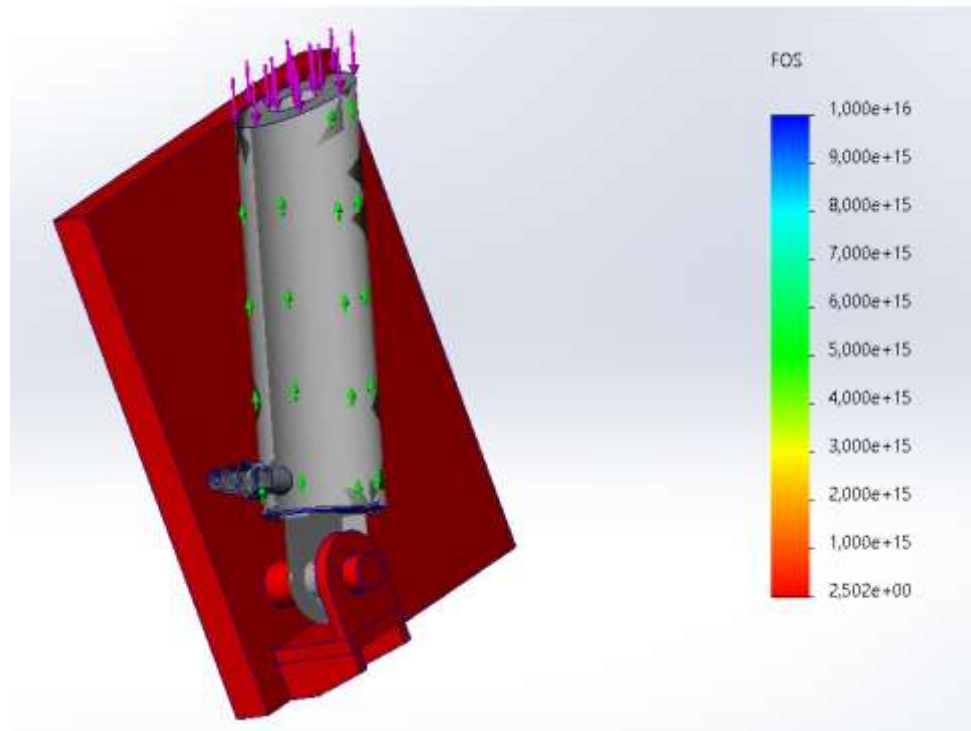


Рисунок 3.15 – Епюра запасу міцності кріплення гідроциліндра

### 3.3.3. Перевірковий розрахунок осі кріплення гідроциліндра

Як згадувалось нами раніше, привідний гідроциліндр до основи закріплюється за допомогою пальця, який вставляється у вухо та отвір висвердлений у основі (рис. 3.16.).

Оскільки навантаження, які виникають в місці кріплення гідроциліндра до основи діють перпендикулярно до осі, то в системі кріплення палець може працювати на згин і на зріз. А оскільки система кріплення виконана без зазорів і має одне небезпечне січення, то палець (вісь) працюватиме лише на зріз.

Тому проведемо перевірковий розрахунок діаметра пальця на зріз.

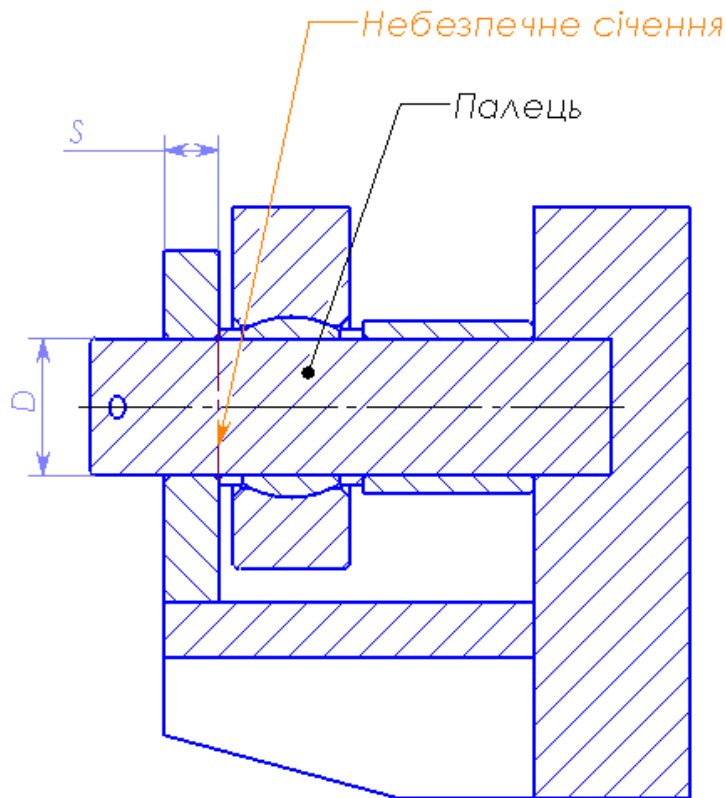


Рисунок 3.16 – Палець (вісь) кріплення гідроциліндра

Як ми вже згадували вище і можемо бачити з рисунка 3.16, конструкція кріплення вуха гідроциліндра виконана без зазорів і має одне небезпечне січення, де можливий зріз осі.

Умова міцності для зрізу має вигляд:

$$\tau_{зр} = \frac{4F}{z\pi d_0^2} \leq [\tau_{зр}], \text{ де}$$

де  $z$  – кількість небезпечних перерізів,

$z = 1$  шт.;

$d_0$  - діаметр осі, мм;

$d_0 = 35$  мм (приймаємо по геометрії гідроциліндра).

Тоді,

$$\tau_{зр} = \frac{4 \cdot 39000}{1 \cdot \pi \cdot 35^2} = 40,55 \text{ МПа}$$

$[\tau_{зр}]$  - максимально допустиме напруження, при розрахунку по основних навантаженнях;

$$[\tau_{зр}] = 140 \text{ МПа}, \text{ для сталі 10 [14].}$$

Як бачимо з отриманих розрахунків:

$40,55 < 140 \text{ МПа}$  – умова міцності виконується, отже діаметр пальця в даній конструкції кріплення підібрано правильно.

### 3.3.4. Перевірковий розрахунок вуха кріплення гідроциліндра

Конструкція вуха системи кріплення гідроциліндра приведена на рис. 3.16 та рис. 3.17.

Вуха виготовлені з листового металу, і оскільки зусилля прикладається перпендикулярно до перерізу (січенню) листа, можливий його розрив по найменшому перерізу (січенню).

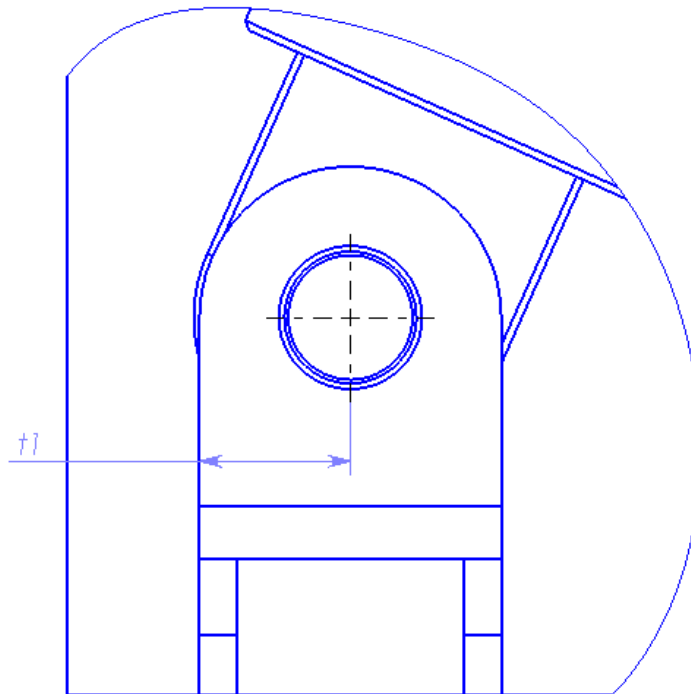


Рисунок 3.17 – Розрахункова схема для розрахунку міцності вуха кріплення гідроциліндра

В нашому випадку, умова міцності на розрив має вигляд:

$$\tau'_{зр} = \frac{F}{z \cdot 2(t_1 - d/2) \cdot S} \leq [\tau]_{зр},$$

де  $z$  – кількість небезпечних перерізів,

$z = 1$  шт.;

$t_1$  - відстань від осі до краю вуха;

$t_1 = 40$  мм – приймаємо з конструкторських міркувань;

$S$  - товщина вуха, мм;

$S = 14$  мм, (приймаємо з конструкторських міркувань).

Тоді,

$$\tau'_{зр} = \frac{39000}{2 \cdot 1 \cdot (40 - \frac{35}{2}) \cdot 14} = 61,90 \text{ МПа.}$$

$[\tau'_{зр}]$ - допустиме напруження на зріз для матеріалу вуха;

$\tau_{зр} = 120$  МПа – для ст.3 [14].

$z$  – кількість вух в конструкції

$z = 1$  шт. (по конструкторських міркуваннях)

Як бачимо з отриманих розрахунків:

$61,90 < 120$  МПа – умова міцності виконується, отже параметри конструкції підібрані правильно.

Можемо зробити висновок, що запас міцності в конструкції становить

$$\frac{120}{61,90} = 1,93 \approx 2,0, \text{ чого достатньо для нашого випадку.}$$

## ВИСНОВКИ

Наведено загальну класифікацію підіймально-транспортних машин, особливості використання, призначення та сфери застосування різних типів вантажопідіймальних кранів.

Проведено аналіз роботи, призначення та сфери застосування Skidding systems (систем ковзного переміщення) для транспортування великовагових вантажів. Розглянуто основні елементи систем ковзного переміщення та їх принцип дії. Проаналізовано техніко-економічні переваги і недоліки систем ковзного переміщення.

Обґрунтовано вибір конструкції пристосувань, для переміщення великогабаритного та великовантажного обладнання. Запропоновано конструкцію пристрою для розвертання великогабаритних вантажів.

Проведено перевіркові розрахунки елементів конструкції пристрою для переміщення великогабаритного та великовантажного обладнання, зокрема осі кріплення гідроциліндра, вуха кріплення гідроциліндра.

Визначено основні зусилля в конструкції проектного обладнання.

Проведено аналіз міцності елементів кріплення задньої провухини гідроциліндра в програмі Solidworks Simulation методом кінцевих елементів, що дало можливість зробити висновок, що мінімальний запас міцності становить 2.502, що цілком достатньо для даної конструкції.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Організація і технологія вантажно-розвантажувальних робіт : електронний навчальний посібник комбінованого (локального та мережного) використання [Електронний ресурс] / В. П. Кужель, А. А. Кашканов, В. А. Кашканов, О. П. Антонюк. – Вінниця : ВНТУ, 2022. – 152 с.
2. Перевезення трансформаторів та обладнання для енергетичних об'єктів України [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://saveprosolutions.com/blog/perevezennia-transformatoriv-ta-obladnannia-dlia-energeticnix-obektiv-ukrayini>
3. Крани козлові [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://nvk-tp.com.ua/products/krany-kozlovi/>
4. Крани мостові [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://nvk-tp.com.ua/products/krany-mostovi/>
5. Вантажопідйомні крани [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://ua.krankomplekt.com/grcran/kozlovye/>
6. Move Heavy Equipment Without Cranes, Delays, or Risk [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://hydra-slide.com/move-heavy-equipment-without-cranes-delays-or-risk/>
7. Heavy Lifting & Transportation Systems [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://www.holmatro.com/hydraulic-solutions/heavy-lifting-transportation-systems/skidding-systems/>
8. Skidding systems [Електронний ресурс]:– Режим доступу до ресурсу: <https://www.mammoet.com/equipment/special-equipment/skidding-systems/skidding-system/>
9. Северин О. О. Вантажні роботи на автомобільному транспорті: організація і технологія : підручник (Рекомендовано МОНУ як підручник для студентів вищих навчальних закладів напрямку „Транспортні технології”) / О. О. Северин. – Харків: ХНАДУ, 2007. – 344 с.
10. Гадзюк М. О. Організація та технологія навантажувально-розвантажувальних робіт : конспект лекцій для студентів напрямку підготовки

6.070101 "Транспортні технології" денної форми навчання /Укладач М. О. Гандзюк – Луцьк: Луцький НТУ, 2014. – 78 с.

11. Механізація та автоматизація навантажувально-розвантажувальних робіт [Текст] : навчальний посібник. Ч. 1 : Транспортні та навантажувально-розвантажувальні засоби / С. Л. Литвиненко, Г. І. Нестеренко, Т. Ю. Габрієлова, П. О. Яновський : МОН України, ДНУЗТ, НАУ; за ред. С. Л. Литвиненка. – Київ : Кондор, 2016. – 208 с.

12. Демічев Г. М. Складське та тарне господарство / Н. М. Демічев. - М. : Вища школа, 1990. – 192 с.

13. Правила перевезення вантажів автомобільним транспортом в Україні. Державний департамент автомобільного транспорту Мінтранс України. – Київ, 1998. – 129 с.

14. Самохвалов Я. А., Левицький М. Я. Довідник техника-конструктора. Київ : Техніка, 1978., 592 с.

15. Вільковський Є. К. Вантажознавство (вантажі, правила перевезень, рухомий склад) – 2-ге вид., перероблене і доповнене (рекомендоване МОНУ) / Є. К. Вільковський, І. І, Кельман, О. О. Бакуліч. – Львів : „Інтелект Захід“, 2007. – 496 с.

## **ДОДАТКИ**









